المرجع
فى التركيبات والتصميمات الكهربية
الخبرة العمليـــــــــــة والأسس النظريـــــــــــة

أ.د محمود جيلانى
الأستاذ بكلية الهندسة – جامعة القاهرة
وكلية الدراسات التكنولوجية – الكويت
mahmoudgilany@yahoo.com

الطبعة الأولى
أكتوبر 2010

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

"توجد نسخة كاملة من هذا الكتاب على هيئة PDF-File مثبتة على موقع

www.sayedsaad.com

وقد جعلتها

وقفا لله تعالى

ولكنى فقط أرجو من كل من يريد تنزيل نسخة من الكتاب

أن يتصدق فى سبيل الله بمثل ثمن الكتاب لأى جهة خيرية يريدها

على سبيل المثال لا الحصر : بيت الزكاة - الجمعية الشرعية - لجنة الإغاثة بنقابة أطباء مصر – جمعية العون المباشر - جمعيات دعم صمود غزة - جمعيات رعاية الأيتام بكافة أشكالها

والله من وراء القصد

شكر وتقدير

بتوفيق من الله سبحانه وتعالى انتهيت من هذا الكتاب فى حوالى أربعة سنوات ساعدنى خلالها العديد من أساتذتى وزملائى وتلامذتى وأبنائى ، ويأتى على رأس هؤلاء **الأستاذ الدكتور عصام أبو الذهب** الأستاذ بهندسة القاهرة الذى ساهم بملاحظاته القيمة منذ اللحظة الأولى لبداية كتابتى لهذا الكتاب ، وكذلك **الأستاذ الدكتور ممدوح عبد العزيز** الذى كان أول من درس لى هذه المادة وأنا طالب بهندسة القاهرة فكان ومعه **أ.د عصام أبو الذهب** و**أ.د محمد أبو المجد** أول من وضعوا قدمى على باب علم التركيبات الكهربية وخبراتها العملية.

كما ساهم بإيجابية شديدة فى مراجعة الكتاب العديد من الزملاء منهم **د. دعاء خليل** (هندسة القاهرة) **ود. تامر كوادى** (جامعة المنوفية) ، **وأ.د هانى أحمد عبد الله** (الأستاذ بقسم الهندسة المدنية بجامعة القاهرة) وأيضا أخى العزيز الاستشارى المميز **م. محمد أنور** (قطر للمشروعات) ، وكذلك **م. عبد المجيد عبد الباقى** المهندس الاستشارى بالكويت.

والحقيقة أن الشكر يجب أن يتوجه أيضا لكل من تعلمت منه شيئا فى هذا المجال سواء اطلع على هذا الكتاب أم لا وأخص بالذكر **المهندس المعمارى محمد الحسينى سعفان** الذى كان أول من عملت معه فى مكتبه الاستشارى وكذلك **أ.د محمود فؤاد** الأستاذ بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة القاهرة **وم. جلال زايد** ، **والمهندسان عبد الفتاح سالم و أحمد نصحى** (اسو استاندر سابقا) .

ولايفوتنى شكر أبنائى الثلاثة **نائلة ويحيى ويوسف** محمود جيلانى على جهدهم المشكور فى كتابة المسودات العديدة للكتاب على الكومبيتر وإعداد العديد من الرسومات بدعم من زوجتى الفاضلة **د. أسماء زيادة**.

وأخيرا أتوجه بالشكر لأخى الفاضل **م. سيد سعد** صاحب الموقع المشهور www.sayedsaad.com على وضع هذا الكتاب فى موقعه المميز ليتسنى لعموم المهندسين تنزيله بسهولة ويشاركنى الأجر إن شاء الله فى جعل هذا الكتاب :

"وقف لله تعالى".

الفهرس

شكر وتقدير..... 3

الفهرس 4

تمهيد..... 16

الفصل الأول
المشروع الكهربى

1-1 الأطراف المشاركة فى المشروع الكهربي..... 20

1-1-1 المالك..... 20

1-1-2 الإستشارى..... 20

1-1-3 المقاول (الشركة المنفذة) 20

1-1-4 المشرف على التنفيذ..... 21

2-1 التنسيق بين التخصصات المختلفة..... 22

1-2-1 التنسيق مع المعمارى 22

2-2-1 التنسيق مع مهندس الميكانيكا 23

3-2-1 التنسيق مع مهندس الانشاءات..... 23

3-1 المتطلبات العامة للتصميمات الكهربية..... 23

1-3-1 المتطلبات المعمارية 24

2-3-1 المتطلبات الميكانيكية 24

3-3-1 المتطلبات الكهربية..... 25

4-1 خطوات التصميم لمشروع كهربي 26

5-1 مواصفات الأعمال الكهربية..... 27

6-1 مستندات المشروع..... 27

7-1 خطوات طرح المشروع للتنفيذ 28

الفصل الثانى
المعدات الأساسية فى التركيبات الكهربية

المجموعة الأولى: أجهزة القوى الرئيسية 33

1-2 شبكات الجهد المتوسط..... 33

1-1-2 لوحات U.M.R..... 33

2-1-2 لوحات الجهد المتوسط المنفصلة (الموزعات) 36

2-2 المحول 37

2-2-1 بيانات المحول..... 39

2-3 مولدات الطوارئ 39

2-3-1 ما هو الـ ATS ؟ 41

2-3-2 تغذية الأحمال بواسطة الـ UPS 41

2-4 لوحات التوزيع الكهربية..... 43

2-4-1 توصيف اللوحات الكهربائية..... 43

2-4-2 Code-IP للوحات التوزيع..... 44

2-4-3 تصميم لوحات التوزيع 45

2-4-4 ملاحظات عامة على اللوحات الكهربية 45

المجموعة الثانية : الكابلات والموصلات الكهربائية و طرق تمديداتها 47

2-5 طرق تمديد الموصلات والكابلات 47

2-5-1 تمديد الموصلات 47

2-5-2 تمديد الكابلات..... 48

2-5-3 دفن الكابلات بالأرض :..... 49

2-5-4 ملاحظات عامة على تمديد الكابلات..... 49

2-6 تركيب الكابل 50

2-7 تصنيف الكابلات..... 51

2-7-1 التصنيف حسب جهد التشغيل..... 51

2-7-2 التصنيف حسب نوع الموصل..... 51

2-7-3 التصنيف حسب نوع العازل..... 52

2-7-4 عناصر أخرى لتصنيف الكابلات..... 52

2-8 عوازل الكابلات..... 53

2-8-1 قياس عزل الكابلات..... 53

2-8-2 تصنيف العوازل 54

2-9 جداول الكابلات 54

2-9-1 السعة الأمبيرية للكابل (Current Carrying Capacity) 56

2-9-2 كتابة اسم الكابل..... 56

2-10 مواصفات خط التعادل Neutral 57

11-2 مشاكل الكابلات 57
1-11-2 الفقد فى القدرة المنقولة Power Losses 57
2-11-2 التيارات المتسربة 58
3-11-2 تغير مقاومة الكابل 59
4-11-2 تغير مقاومة الكابل بالحرارة 59
5-11-2 تأثر الكابلات بالرطوبة 59

12-2 استخدام الـ Bus Duct 60
1-12-2 أنواع الـ Bus Duct 61
2-12-2 ملحقات الـ Bus Duct 61

المجموعة الثالثة : أجهزة الحماية الكهربية 64

13-2 مواصفات الـ Circuit Breakers 64

14-2 أنواع الـ CBs 64
1-14-2 النوع الأول: MCB 65
2-14-2 النوع الثانى: MCCB 67
3-14-2 النوع الثالث: GFCB 69

15-2 الفيوز (المصهرات) Fuse 71
1-15-2 المصهرات الخرطوشية 71
2-15-2 المصهرات ذات سعة القطع العالية C.R.H 72

المجموعة الرابعة : الأحمال الكهربية ومعدات التحكم 73

16-2 مفاتيح التلامس (Contactors) 73
1-16-2 أهم مواصفات الـ Contactor 73
2-16-2 الفئات المختلفة للـ Contractors 74

الفصل الثالث
تقدير الأحمال الكهربية

1-3 مراحل تقدير الأحمال 77

2-3 التقدير المبدئي لأحمال الإنارة 78

3-3 التقدير المبدئى لأحمال المخارج العامة (Sockets) 78
3-3 -1 أحمال الخدمات العامة 79

4-3 حسابات التكييف 79
3-4-1 تقدير أحمال التكييف 80

3-4-2 ملاحظات على تقدير كمية التبريد 81
3-4-3 أمثلة منوعة على تقدير الأحمال 82

3-5 معاملات تخفيض الأحمال..... 84

3-5-1 مفهوم عامل الطلب Demand Factor..... 84

جدول 3-5 : معاملات التخفيض فى الدوائر المختلفة..... 85

3-5-2 مفهوم عامل التباعد ity FactorDivers 85

3-6 المصاعد الكهربية..... 88

3-6-1 التقدير المبدئي لقدرة المصعد..... 90
3-6-2 ملاحظات هامة 92
3-6-3 التقدير التفصيلي لعدد المصاعد 92

3-7 طلمبات رفع المياه فى المبانى..... 95

3-7-1 طلمبات الحريق..... 95

3-8 تحسين معامل القدرة (تخفيض الأحمال) 95

3-8-1 حساب سعة المكثفات المطلوبة..... 97
3-8-2 التحسين باستخدام جداول الحسابات 98
3-8-3 التحسين الأتوماتيكى لمعامل القدرة..... 99
3-8-4 أين توضع المكثفات؟ 100
3-8-5 تأثير الـ Harmonics..... 100

3-9 منظومات التكييف..... 102

3-9-1 عناصر الراحة في المكان..... 102
3-9-2 مكونات منظومة التبريد 102
3-9-3 طريقة عمل المكيف..... 103
3-9-4 أنظمة التكييف القائمة بذاتها (Package) 103
3-9-5 التكييف المركزي (Central Air Conditioning)..... 104
3-9-6 فكرة عمل التكيف المائى..... 105
3-9-7 أجهزة التكييف فى الشقق الصغيرة..... 106
3-9-8 الوحدات الحرارية :..... 106

الفصل الرابع
حسابات الدوائر الفرعية

الجزء الأول : التصميم الأولي للدوائر الفرعية..... 110

4-1 مبادئ عامة لتصميم الدوائر الفرعية 110

4-1-1 ملاحظات إضافية من الكود المصرى 110

4-1-1 توزيع الأحمال على الرسم..... 111

4-2 تصميم دوائر الـ (LoadsStatic).....(114

4-3 تصميم دوائر المحركات (Dynamic Loads) 116

4-3-1 تحديد قيمة تيار البدء من الـ Name Plate 117

4-3-2 لوحة بيانات المحرك..... 118

4-3-3 خطوات التصميم للمحركات الصغيرة 118

4-3-4 خطوات التصميم للمحركات الكبيرة..... 119

4-3-5 تساؤلات هامة..... 120

4-4 حساب الحمل التصميمى لمجموعة أحمال ديناميكية 121

الجزء الثانى : اختبارات التأكد من صحة التصميم..... 124

4-5 الاختبار الأول : اختبار التحمل الحرارى..... 124

4-5-1 معاملات تصحيح تحميل الكابلات..... 124

تأثير درجة الحرارة..... 124

تأثير عمق الدفن : 125

تأثير الحرارة النوعية للتربة : 125

تأثير تجاور الكابلات فوق حوامل الكابلات : 125

تأثير تجاور الكابلات تحت الأرض :..... 125

4-6 الاختبار الثانى : نسبة الهبوط فى الجهد 128

4-7 الاختبار الثالث: تحمل أقصى تيار قصر متوقع 131

4-7-1 استخدام جداول تيارات القصر 131

4-7-2 استخدام منحنيات شركات الكابلات..... 132

4-7-3 استخدام الحسابات التقريبية 133

4-8 حسابات القصر 134

4-8-1 طريقة MVA Method..... 139

4-9 مثال شامل..... 141

الفصل الخامس
تصميم اللوحات وشبكات التوزيع العمومية

الجزء الأول : تصميم اللوحات الفرعية 148

1-5 قواعد عامة فى تصميم اللوحات الفرعية 148

2-5 حساب الحمل التصميمى للوحة 149

1-2-5 الحمل التصميمى طبقا للـ NEC 149

2-2-5 الحمل التصميمي طبقا للـ Total Connected Load 150

3-5 تقدير حمل لوحة توزيع فرعية فى المرحلة الاولية 150

4-5 تصميم لوحة توزيع فرعية فى المرحلة النهائية 151

5-5 مشاكل عدم التماثل فى لوحات التوزيع 156

الجزء الثانى : تصميم اللوحات العمومية 160

6-5 تغذية اللوحات العمومية 160

1-6-5 حساب أحمال اللوحات العمومية 161

7-5 تصميم عمارة سكنية (إسكان متوسط) 161

1-7-5 تصميم اللوحات العمومية بالعمارة 164

7-5 -2 ملاحظات على تصميم اللوحات العمومية للعمارة 167

8-5 أسلوب آخر فى تصميم العمارات السكنية 168

9-5 اللوحات العمومية لبرج إدارى 169

1-9-5 أحمال الشتاء والصيف 174

2-9-5 تحميل الزائد للمحولات العمومية 174

3-9-5 الشكل النهائى للوحات التوزيع العمومية 176

10-5 أمثلة لربط المشاريع بالشبكة الكهربية العامة 177

1-10-5 مشروع مكون من محول واحد MVA1 177

2-10-5 تغذية لوحات الطوارئ 178

3-10-5 مشروع مكون من محولين 178

4-10-5 مشروع مكون من أربعة محولات 180

11-5 ربط مجمع سكنى فاخر بالشبكة العامة 180

12-5 تغذية كبار المستهلكين 181

1-12-5 التغذية المقترحة للمصنع 182

5-12-2 المهمات اللازمة لتغذية المصنع 182

الفصل السادس
نظم التأريض

6-1 كيف تحدث الصدمة الكهربية؟ 187

6-2 تأثير التيار الكهربائي على جسم الإنسان 188

6-2-1 تأثير مسار التيار الكهربائي في الجسم 188

6-2-2 تأثير شدة التيار المار في الجسم 188

6-2-3 تأثير زمن مرور التيار في الجسم 189

6-3 أهمية التأريض 189

6-4 الفرق بين الـ Neutral وبين الـ Ground 190

6-5 مكونات نظام التأريض 191

6-5-1 الأرض 192

6-5-2 إلكترود التأريض 193

6-5-3 موصلات التأريض 194

6-5-4 اختيار مقطع موصل التأريض 195

6-5-5 اتصال الإلكترود بموصل التأريض 195

6-6 حساب قيمة المقاومة الأرضية 196

6-6-1 حساب مقاومة إلكترود نصف كروي 196

6-6- 2 الحسابات التقريبية 197

6-7 التأريض فى المبانى السكنية 199

6 - 8 الحماية من الصواعق البرقية 201

8-6 -1 متى نحتاج لمنظومة منع الصواعق؟ 203

8-6 - 2 أنواع مستقبلات الصواعق 203

8-6-3 المستقبلات الأفقية 204

8-6-4 حساب الجهد على موصلات النزول 205

6-9 توزيع الجهد 205

6-9-1 جهد اللمس 206

6-9-2 جهد الخطوة 207

6-9-3 أشكال توزيع الجهد 209

6-9-4 توزيع الجهد عند استخدام شبكة تأريض 209

10-6 أشهر نظم تأريض مصدر التغذية 210
1-10-6 التأريض المباشر Solidly Earthing 210
2-10-6 التأريض خلال مقاومة Resistance Grounding 210
3-10-6 التأريض خلال معاوقة Reactance Grounding 211
4-10-6 النظم المعزولة Isolated System 211

11-6 أشهر نظم التأريض عند المستهلك 211
1-11-6 النظام الأول : S-TN 212
2-11-6 النظام الثانى : C-TN 213
3-11-6 النظام الثالث: S-C-TN 213
4-11-6 النظام الرابع : IT 215
5-11-6 النظام الخامس : TT 215

12-6 التحات أو التآكل الكيميائي (Corrosion) 216

13-6 قياس قيمة مقاومة الأرضي 217

14-6 الإسعافات الأولية للمصاب بالصدمة الكهربائية 218

الفصل السابع
نظم الإضاءة الكهربية

1-7 أهمية علم الإضاءة 222

2-7 لمحة تاريخية 222

3-7 متطلبات لازمة لدراسة علم الإضاءة 223

4-7 الإضاءة الطبيعية 223
1-4-7 الإضاءة الصناعية 225

5-7 تركيب العين 225

6-7 كميات ووحدات الإضاءة الأساسية 225
1-6-7 الفيض الضوئى Luminous Flux 226
2-6-7 شدة الإضاءة (inous IntensityLum) 226
3-6-7 شدة الاستضاءة (Illumination) 226
4-6-7 المنحنيات القطبية Polar Curves 226
5-6-7 النصوع (Brightness) 227
6-6-7 الزغللة (البهر) Glare 228

7-7 الخواص الضوئية لوحدات الإنارة 228
7-7-1 أمانة إظهار (نقل) اللون 228
7-7-2 مظهر اللون 229
7-7-3 درجة حرارة اللون 229
7-7-4 الكفاءة الضوئية 230

7-8 حسابات شدة الاستضاءة (Illumination) 230
7-8-1 قانون التربيع العكسى 230
7-8-2 تطبيقات على قانون التربيع العكسى 232

7-9 حسابات الإضاءة الداخلية بطريقة الليومن..... 233
7-9-1 طريقة الليومن المعدلة 234

جدول 7-5 : معامل الحجرة (Ri) 241

7-10 اعتبارات هامة فى التصميمات 244

7-11 مصابيح الإضاءة 246
7-11-1 المصابيح المتوهجة Incandescent lamps 246
7-11-2 مصابيح الهالوجين 247
7-11-3 مصابيح التفريغ الغازى 248
7-11-4 مصابيح الفلورسنت (الزئبق منخفض الضغط) 249
ظاهرة الارتعاش Flicker 250
7-11-5 مصابيح بخار الزئبق عالى الضغط 250
7-11-6 مصابيح الصوديوم منخفض الضغط 251
7-11-7 مصابيح الصوديوم عالى الضغط 252
7-11-8 مصابيح الهاليد المعدنى Metal Halide Lamp 253
7-11-9 مصابيح الزينون 253
7-11-10 مصابيح النيون 254
7-11-11 مصابيح الـ LED 254
7-11-12 المصابيح الموفرة 255
7-11-13 مقارنة بين أنواع اللمبات المختلفة 256

7 -12 الإضاءة المنزلية 256

7-13 إضاءة الطرق 256
7-13-1 أين يوضع عمود الإنارة؟ 257
7-13-2 مستويات الإضاءة فى الشوارع 258
7-13-3 ارتفاع العمود وقدرة المصباح 258

14-7 لمبات الطوارئ 258

الفصل الثامن
استلام الأعمال الكهربية

1-8 أجهزة الإختبارات 264

2-8 اختبارات جودة منظومة الأرضى 266

8-2-1 اختبار استمرارية أسلاك الأرضى 266

8-2-2 اختبار قيمة مقاومة إلكترود الأرضى 268

3-8 اختبارات العازلية 268

8-3-1 قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات الكهربائية 268

8-3-2 قياس المعاوقة الكلية للدوائر الكهربية المغلقة 269

4-8 اختبار استمرارية اسلاك الموصلات 270

5-8 اختبارات القطبية 271

8-5-1 اختبار القطبية مع وجود الكهرباء : 271

8-5-2 أسلوب أيسر فى تحديد القطبية 272

6-8 شهادة إتمام العمل فى التركيبات الكهربائية 272

7-8 متطلبات عملية الاستلام الابتدائي 273

8-7-3 قوائم قطع الغيار 273

8-7-4 دفاتر حصر الأعمال 273

8-7-5 شهادات الاختبارات 273

8-7-6 قوائم استلام الأعمال 274

8-7-7 آلية الإستلام الإبتدائى 274

8-7-8 ضمان الأعمال 275

8-7-9 الاستلام النهائى 275

8-8-1 استلام مولدات الطوارئ 277

8-8-2 استلام لوحات التوزيع العمومية 280

8-8-3 استلام لوحات التوزيع الفرعية للجهد المنخفض 283

8-8-4 استلام قضبان التوزيع سابقة التجهيز Bus Duct 284

الملاحق

الملحق الأول 288

الرموز البيانية فى بعض المواصفات 288

ملحق -2 292

جداول تحميل الكابلات (المواصفات الكويتية) 292

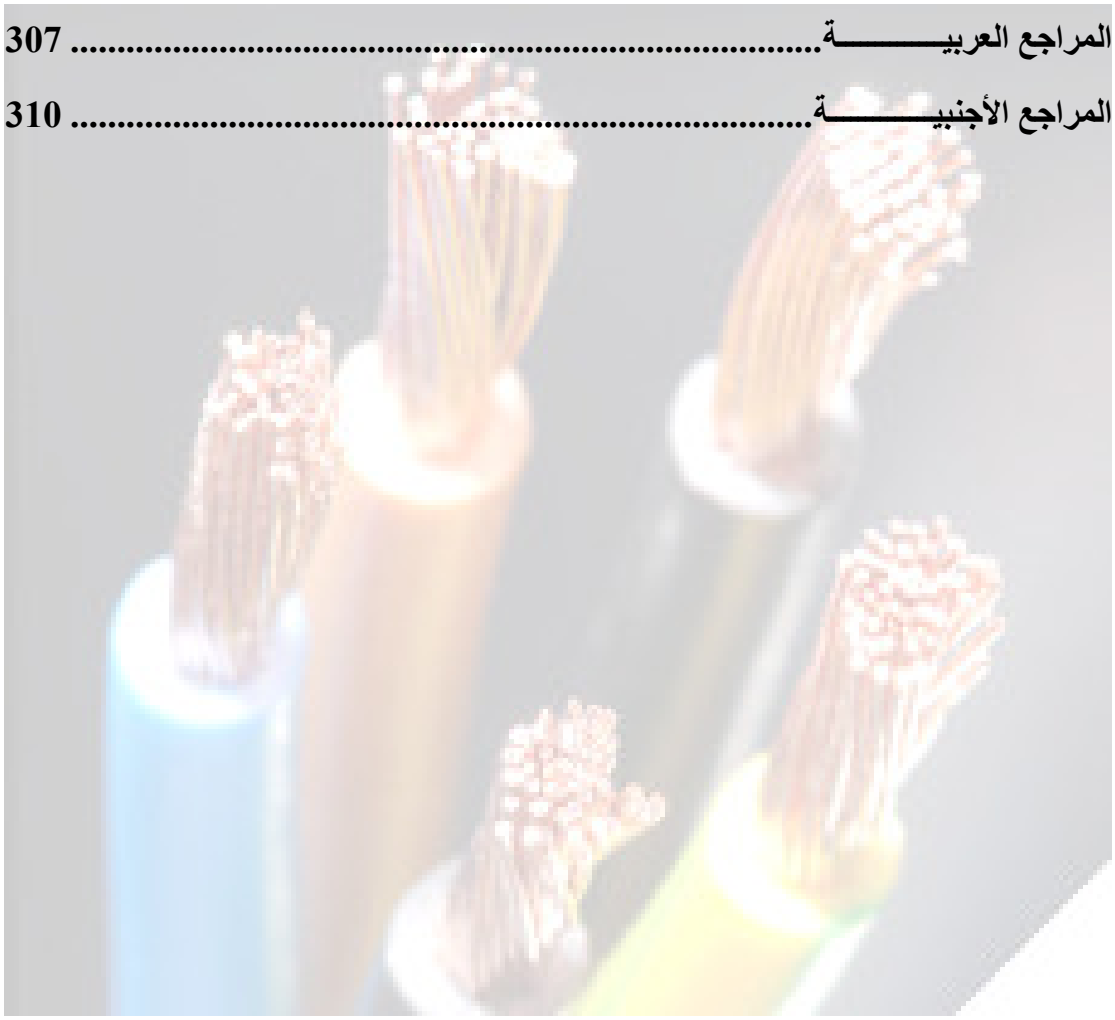
الملحق الثالث 301

الأحمال التقديرية للمحلات والمنازل..... 301

المراجع

المراجع العربيـــــــــــة..... 307

المراجع الأجنبيـــــــــــة..... 310



تمهيد

تمهيد

التصميمات و التركيبات الكهربائية علم له سمة مميزة ، حيث يحتاج من يشتغل في هذا المجال إلى أن يلم ليس فقط بمجموعة من قواعد و أسس التصميمات ، و لكن الأهم من ذلك يحتاج إلى ممارسة عملية واسعة و متعددة المجالات ، فلا نبالغ إذا قلنا أن أكثر من 70% من مهارات هذا العلم تستمد من الواقع ومن الممارسة العملية. ومن هنا تكمن أهمية هذا الكتاب الذي وضعت فيه خلاصة سنوات طويلة من الخبرة العملية في سوق العمل بالإضافة الخبرة الأكاديمية التى هى الأساس فى شرح القواعد الأساسية التي تحكم عمليات التصميم والتنفيذ على حد سواء. والهدف من هذا الكتاب أن يصل بالقارئ إلى مهارة تصميم شبكة كهربية بصورة متكاملة ، مع استيعاب الواقع العملى عند وضع هذه التصميمات وعند تنفيذها فى الواقع .

لماذا هذا الكتاب

لاشك أن هذا الكتاب ليس الأول فى مجاله ، فقد سبقه العديد من الكتابات فى نفس هذا المجال ، لكن بعضها كان مبالغا مثلا فى الحرص على استخدام المفردات العربية بشكل كبير ، فاستخدم من أجل ذلك مفردات غريبة تحتاج هى نفسها لترجمة ، حيث أنها ألفاظ غير مستعملة على الإطلاق فى الواقع العملى ، وليس لها وجود سوى فى الموسوعات اللغوية ، ومن ثم أضاع كثير من قيمة المعلومات الموجودة فى الكتاب .
والبعض الآخر - مثل مجموعة الكتب الرائدة التى ألفها عدد من أساتذة كلية الهندسة بجامعة الإسكندرية - تعتبر بالفعل كتب مميزة لكنها غطت عددا محدودا من مجالات التمديدات الكهربية ، كما أن كل كتاب منها كان يخدم مجالا واحدا فقط دون التطرق لدراسة تداخل هذه المجالات لتكوين منظومة متكاملة للتركيبات الكهربية ، وهو ما يحتاجه المهندس بشدة فى الواقع العملى .

لكنى ومنذ أكثر من 25 عاما حين طالبا أحضر محاضرات أساتذتى بالكلية (أ.د ممدوح عبد العزيز وأ.د عصام أبو الذهب) ، كنت أستمتع بالشرح المميز والمعلومات الوفيرة فى محاضراتهم والتى كانت تتميز بربط الواقع العملى بالمعلومات النظرية ، وكنت أعجب وقتها من عدم توافر مراجع بالمكتبات تتبع هذا الأسلوب فى ربط الدراسة النظرية بالعملية .

وبعد سنين طويلة لى فى مجالى التدريس بالجامعات ، والممارسة العملية فى سوق العمل أحسست بمدى الحاجة لكتاب يقدم على نفس الصورة التى تعلمتها وأنا طالب ، ثم مارستها فيما بعد فى حياتى العملية كأستاذ بالكلية ، وكاستشارى ، وكمشرف على تنفيذ العديد من المشروعات الكهربية الكبرى بمصر ، فكان هذا الكتاب الذى آمل أن يكون مميزا فى أسلوب عرضه وحجم ونوعية المعلومات التى يحتاجها الطالب فى دراسته ، و المهندس فى حياته العملية ، فيسد بذلك ثغرة فى مكتبة المهندس العربى.

لمن هذا الكتاب

هذا الكتاب كتب أساساً للمهندسى الكهرباء العاملين فى هذا لمجال ، و لطلاب أقسام الكهرباء سواء فى الجامعة أو ما يعادله من التعليم التطبيقى والفنى . ونظراً لأهمية الموضوع فقد روعي في أسلوب كتابته أن يكون مبسطاً من غير إخلال بعمق الدراسة ، كما أن كتابته باللغة العربية جعلته أيضاً مناسباً لقطاع عريض من الفنيين المتخصصين الباحثين عن فهم أساسيات ما يقومون به دون معوق من لغة أو تعقيد في الشرح.

وحتى يكون الكتاب ملائما لكل هذه الفئات فقد اشتمل فى كل باب على العديد من الأمثلة العملية المتدرجة فى المستوى ، فعلى سبيل المثال ، عند الحديث عن تصميم اللوحات العمومية قدمت أمثلة تبدأ من شقة صغيرة إلى عمارة فى إسكان متوسط وهكذا حتى وصلنا إلى برج إسكان فاخر.

وحيث أن العديد من مهندسى الكهرباء يعملون خلال سنوات عملهم فى أكثر من مكان وربما أكثر من دولة ، ومن هنا فأحب أن أشير لميزة جديدة فى هذا الكتاب وهى احتوائه على العديد من الأمثلة التطبيقية من أكثر من كود ، فهناك أمثلة من الكود المصرى ، وأخرى من الكود الكويتى ، حيث أنى عملت حوالى سبع سنوات بالكويت - إضافة إلى بعض الأمثلة من الكود القياسى الأمريكى ، وهذا سيجعل المهندس غير متهيب للإنتقال من عمل لآخر أو من دولة لأخرى.

لغة الكتاب

لغة الكتاب هى اللغة العربية ، لكن لا شك أن شيوع المصطلحات الإنجليزية جعلت كثير من العاملين فى المجال يستسهلون التعامل بالمصطلح الإنجليزي ، بل ربما لا يفهمون الترجمة العربية ، وهذا واقع يجب الاعتراف به ، ولذ فقد استخدمت الترجمة العربية للمصطلحات الأجنبية فقط فى مواضع قليلة من الكتاب ، والتزمت بذكر المصطلح باللغة الإنجليزية مباشرة - وبدون ترجمة - فى أغلب صفحات الكتاب ، و لا يخفى على أحد أن هذه الطريقة هى الطريقة المستخدمة فى كافة جامعاتنا : فالأستاذ يشرح كل شىء باللغة العربية عدا المصطلحات ، وهو الأسلوب المتبع فى هذا الكتاب.

فصول الكتاب.

الكتاب يبدأ **بالفصل الأول** الذى يعرض لأدوار كل طرف من الأطراف المشاركة فى إنجاز مشروع كهربى ، ويعرض لملامح التنسيق بين التخصصات الهندسية المختلفة مع مهندس الكهرباء بالمشروع ، ويعرض أيضا للخطوات العامة فى تصميم وتنفيذ الأعمال الكهربية . كما يتضمن الفصل تفاصيل المتطلبات اللازمة لتصميم وتنفيذ الأعمال الكهربية سواء المتطلبات المعمارية أو الميكانيكية ، أو غيرها. ويشتمل على شرح للمفردات والمصطلحات الشائعة فى عالم المشروعات الكهربية من قبيل : مناقصة ، ممارسة ، خطاب ضمان ، مهندس استشارى ، كراسة الشروط والمواصفات ، مقاول الباطن ، إلخ.

وفى **الفصل الثانى** يتم التعرف على المواصفات العامة للمعدات الأساسية التي تتكون منها أي شبكة كهربية و هي أربعة مجموعات:

المجموعة الأولى وهى مجموعة الـ Power Handling Equipments وتشمل لوحة الجهد المتوسط ، والمحول ، ومولدات الطوارئ ، ولوحات التوزيع Distribution Boards بأنواعها المختلفة ، و التى يلحق بها عنصرين آخرين هما الـ UPS والـ ATS .

أما المجموعة الثانية فتضم مجموعة نظم الـ Wiring and Raceways وتشمل الكابلات والموصلات بأنواعها المختلفة ، ويلحق بها دراسة طرق التمديدات المختلفة مثل استخدام حوامل الكابلات (Cable Trays) ، واستخدام الـ Bus Duct ، والـ Raceways ، والمواسير (Flexible & Rigid Conduits) إلخ.

و فى المجموعة الثالثة ندرس منظومة الحماية لشبكة التمديدات الكهربية من خلال دراسة أجهزة الـ CBs بأنواعها والفيوزات.

وأخيرا ، فتضم المجموعة الرابعة مجموعة الأحمال ومعدات التحكم Control and Utilization Equipments مثل لمبات الإنارة والمحركات وأجهزة التكييف ، و الـ Contactors ، والمفاتيح بأنواعها المختلفة (One-way, Two-way, Change-over , Cross-over switches) وغيرها ، بالإضافة إلى مجموعات التيار الخفيف والتى تشمل التلفونات وأجهزة الإنذار ضد الحريق والإيريال المركزى ، وغيرها. والفصل الثانى يتحدث بالتفصيل عن مواصفات أغلب - و ليس كل - العناصر السابقة فى المجموعات الأربعة.

ثم نقدم فى **الفصل الثالث** شرحا تفصيليا عن تقدير الأحمال Load Estimation لجميع أنواع الأحمال (إنارة ، تكييف ، إلخ) وكذلك تقدير أحمال أنظمة الحركة مثل المصاعد ، وطرق تخفيض الأحمال التعاقدية باستخدام تحسين معامل القدرة ، وذلك كله تمهيدا لشرح مبادئ تصميم الدوائر الفرعية الخاصة بمختلف أنواع الأحمال فى **الفصل الرابع** ، والذى نقدم فى الجزء الأول منه شرحا تفصيليا لتصميم كافة أنواع الدوائر الفرعية ، باستخدام عدة أشكال من المواصفات القياسية مثل الكود القياسى الأمريكى National Electric Code (NEC) ، وكذلك قدمنا أمثلة تطبيقية باستخدام مواصفات أخرى مثل المواصفات المصرية و الكويتية والسعودية.

على أن المهندس يحتاج بشدة إلى التمكن من بعض أدوات التصميم المتقدمة من أجل اختبار صحة التصميم ومراجعة القيم المختارة في المراحل السابقة مثل :

- طرق مراجعة التحمل الحرارى للكابلات.

- طرق حساب الهبوط في الجهد Voltage Drop و التأكد من عدم تجاوز قيمته للقيم المحددة بالمواصفات .
- طرق حساب تيارات القصر Short Circuit و التأكد من تحمل عناصر الشبكة الكهربية كالكابلات الـ CBS لهذه القيم العالية من التيارات خلال لحظات الأعطال إن حدثت.

ونعرض لهذه الأدوات الثلاثة تفصيلا فى **الجزء الثانى من الفصل الرابع**.

وعند هذه المرحلة يكون القارئ قد صار قادرا على تصميم ما يعرف بلوحات التوزيع الفرعية والتى نشرحها فى بداية **الفصل الخامس**. وحيث أن أغلب المشاريع تشتمل على عدد كبير من هذه اللوحات الفرعية ومن ثم فإن القارئ سيحتاج لدراسة الجزء الأخير من **الفصل الخامس** الخاص بتصميم لوحات التوزيع العمومية ، وشبكات التوزيع . وهذا الفصل يشتمل أيضا على عدة أمثلة عملية تطبيقية تبدأ بتصميم لوحات عمارة للإسكان المتوسط ، ثم نتدرج حتى نصل إلى تصميم لوحات برج سكنى فاخر. ونختم الفصل بدراسة تغذية مصنع كبير ، حيث التركيز يكون أكثر على مرحلة Medium Voltage دون الدخول في تفاصيل الأحمال الصغيرة بالمصنع (الجهد المنخفض).

وقد أضفنا بعد ذلك **الفصل السادس** لتصميم شبكات الأرضى بالمبانى السكنية ، حيث نتعرض فى هذا الفصل للعديد من النقاط الهامة المتعلقة بموضوع التأريض من قبيل تأثير التيار على جسم الإنسان ومكونات نظام الأرضى ، والأشكال المنوعة لتنفيذ شبكة الأرضى ، وطريقة توزيع الجهد الناشئ عن مرور التيار بالأرض ، وهو مدخلنا للتعرف على مصطلحات جهد الخطوة ، وجهد اللمس ، ونختم الفصل بالحديث عن نظم التأريض المختلفة (TN-C-S, TN-S, TT, IT, TN-C) عند المستهلك ، وأيضا عند مصادر التغذية ، ومميزات كل نظام منهم وطرق قياس مقاومة الأرضى.

وخصص **الفصل السابع** لحسابات وتصميمات الإنارة ، وفيه ندرس المتطلبات اللازمة لدراسة علم الإضاءة والكميات والمصطلحات الأساسية فى هذا العلم ، وندرس فيه أيضا العديد من سمات وخصائص وحدات الإنارة المختلفة ، ونقدم نماذج لحسابات الاستضاءة بطرق مختلفة متضمنة العديد من الأمثلة ، ونعرض كذلك للمشاكل العملية فى هذا المجال. ونختم الفصل بالحديث عن إضاءة الشوارع وبعض المتطلبات العملية فيها.

و **الفصل الثامن** والأخير بالكتاب يعرض لبعض تفاصيل عمليات اختبار واستلام الأعمال الكهربية بعد انتهاء التنفيذ.

وأسأل الله أن يكون هذا العمل قد تحقق فيه قول رسول الله صلى الله عليه وسلم : "
إذا مات ابن آدم انقطع عمله إلا من ثلاث : صدقة جارية ، أو

علم ينتفع به ،

أو ولد صالح يدعو له" .

القاهرة
سبتمبر 2010

الفصل الأول
المشروعات الكهربية

1

الفصل الأول

المشروعات الكهربية

تصميم منظومة الأعمال الكهربية فى أى مبنى يعتبر جزء من عمليات التصميم المتكاملة فى المبنى ، والتى تبدأ بالتصميمات المعمارية ، ثم تتابع الأعمال مثل الأعمال الإنشائية (أساسات و هيكل خرساني و حوائط إلخ) ، والأعمال الصحية (الصرف الصحى ومضخات المياه إلخ) ، والأعمال الميكانيكية (التكييف ، والتهوية ، والمصاعد ، وشبكة الحريق إلخ) ، وأعمال التيار الخفيف (التلفونات ، والتلفزيون المركزى ، و نظام الاستدعاء الآلى ، إلخ) ، وأعمال التشطيبات الداخلية و الخارجية ، وغيرها.
ومعظم هذه الأعمال تتطلب تغذية كهربية بمتطلبات معينة ، من ثم فالأعمال الكهربية هى أكثر الأعمال تداخلا مع الأعمال الأخرى ، ومن هنا تبرز أهمية دراسة التصميمات الكهربية بعناية فائقة ، لأنها ستؤثر على كافة الأعمال الأخرى بالمبنى.

1-1 الأطراف المشاركة فى المشروع الكهربي

بشكل عام هناك أربعة أطراف لأى مشروع كهربى ، وهى:

1- المالك (مالك المشروع).
2- الاستشاري (مكتب الإشراف الهندسي).
3- المقاول (الشركة التى تقوم بتنفيذ الأعمال) .
4- المشرف على تنفيذ أعمال الكهرباء .

1-1-1 المالك

المالك هو نقطة البدء فى أى مشروع ، وهو قد يكون فردا أو شركة أو غير ذلك ، هو الذى يحدد طبيعة المبنى واستخداماته ، فعند تصميم برج مثلا يحدد المالك كم من الأدوار يريد أن يجعله أدوارا تجارية ، وكم منها سكنية أو إدارية . وعليه ستختلف التصميمات المعمارية والحسابات الكهربية وغيرها بناء على طلبات المالك . و علاقة المالك تكون مباشرة ووثيقة مع المهندس المعمارى وكذلك مهندس الديكور ، أما مهندس الكهرباء فعلاقته بالمالك أقل من حيث شدة الارتباط ، اللهم إلا إذا كان للمالك متطلبات فنية خاصة بتوزيعات الإنارة أو نوع وحدات الإنارة وطرق التحكم فيها.

1-1-2 الإستشارى

يقوم المهندس الاستشارى للأعمال الكهربية بوضع التصميمات الكهربية للمشروع ، وإعداد مخططات التنفيذ ، ومواصفات عمليات التنفيذ. وفى أغلب المشاريع يكون الاستشارى هو المشرف على التنفيذ أيضاً ، وهذا أفضل من ناحية أنه الأعلم بالتصميم ومتطلباته ، لكن البعض قد يفضل أن يكون المشرف على التنفيذ جهة أخرى لضمان حسن المراجعة ومتابعة أى أخطاء قد تكون موجودة فى تصميم الاستشارى . وأهم جزء فى دور الاستشارى أن يراعى الدقة المتناهية فى توصيف الأعمال حتى إذا – لا قدر الله- حدث خلاف بين الأطراف تكون هذه المواصفات حكما أمينا بين الخصوم.

1-1-3 المقاول (الشركة المنفذة)

ودورها هو تنفيذ الأعمال الواردة فى مخططات المشروع التى أعدها الاستشاري بالمواصفات المحددة. وغالبا فى المشروعات الكبيرة تكون هناك شركة رئيسية تنفذ المشروع ، وفى كثير من الأحيان تقوم هذه الشركة الأم بتنفيذ الأعمال من خلال بعض مقاولى الباطن (شركات أصغر) ، حيث تكون كل واحدة من هذه الشركات الصغيرة مختصة بتنفيذ جزء من المشروع الكبير لضمان سرعة الانجاز. وعموما فإن من أهم مسؤوليات المقاول ما يلى:

1- الالتزام التام بقواعد الأمان Electric Safety أثناء تنفيذ الأعمال.
2- يجب أن تخضع جميع أعمال التركيبات الكهربائية التى ينفذها المقاول للتجارب واختبارات التشغيل والأداء والسلامة اللازمة لتأكيد صلاحيتها وكفاءتها ومطابقتها للمواصفات.
3- جميع التجارب والاختبارات التى يتم إجراؤها تكون على نفقة المقاول وتجرى بواسطة عماله أو مقاولى الباطن له ومعداته وبأجهزة قياس معايرة حديثاً يقدمها المقاول طبقاً لطلب المهندس.
4- يجب أن يقوم المقاول بتوريد كافة المهمات والأدوات والمعدات والأجهزة الكهربائية اللازمة لعماله أثناء تنفيذ أعمال الإنارة والكشافات ولوحات التوزيع وكابلات التغذية وخلافه، ويمنع منعاً باتاً أن يقوم المقاول ولو بصفة مؤقتة باستخدام أى من المهمات والأدوات والمعدات والأجهزة الكهربائية الموردة بغرض التركيب فى جزء معين من أجزاء المشروع.
5- على المقاول أن يزيل من الموقع جميع المنشآت المؤقتة والأعمال المؤقتة من كل نوع مع نقل المخلفات الخاصة إلى المقالب العمومية وأن يرمم كل التلفيات فى أعمال الدهانات والناتجة عن التركيبات وذلك فور الانتهاء من أعمال التعاقد.
6- عمل لوحات تنفيذية Shop Drawings والتى يجب أن يراعى فيها بدقة التنسيق مع التخصصات الأخرى. على المقاول تقديم رسومات التنفيذ موضحاً عليها أبعاد تنفيذ وطريقة تثبيت وتركيب الأعمال وكذا مسارات الكابلات والتمديدات الكهربائية قبل البدء فى التنفيذ. وتشمل الرسومات التنفيذية ما يلي:
   - مسارات المواسير وأنواعها وطريقة تثبيتها.
   - عدد الكابلات / الأسلاك ومقاطعها داخل كل من المواسير.
   - أبعاد تثبيت المخارج (Socket) من المحاور.
   - قطاعات جميع المهمات ، سعات المفاتيح ، تيار القصر عند نقاط التغذية المختلفة.
   - أماكن الصواعد وعددها وأقطارها والمسافات البينية وطريقة التركيب والتثبيت، وأسلوب الحماية من الحريق للصواعد أو الحد من انتشاره.
   - أماكن اللوحات الفرعية والعمومية وأبعادها وطريقة تثبيتها ودخول وخروج الكابلات / الأسلاك إلى ومن اللوحات.
   - كل التفاصيل اللازمة لبيان تركيب أو تثبيت جزء معين من المنظومة.
   - رسم/ رسومات لتوضيح العلاقات بين الأعمال المختلفة.

وبعد تقديم هذه الرسومات التنفيذية يقوم المشرف على التنفيذ بدراستها ثم اعتمادها ، وتعاد نسخة منها للمقاول مكتوب عليها إحدى العبارات التالية:
   - "تعتمد" (Approved) ، ويجب على المقاول توريد وتركيب وتنفيذ التوصيلات والمعدات والمهمات التى تم اعتمادها بموجب هذه العبارة.
   - "تعتمد طبقاً للملاحظات "(Approved as Noted) ، ويجب على المقاول توريد وتركيب كل ما يلزم لتنفيذ الملاحظات المشروطة فى الاعتماد.
   - "تعدل / ترفض ويعاد تقديمها" (Resubmit) ، وفى هذه الحالة لا يكون للمقاول الحق فى التوريد أو التركيب أو التنفيذ.
7- إعداد لوحات الـ As-Built ، وهى اللوحات النهائية بعد إتمام تنفيذ المشروع ، وهى غاية فى الأهمية لأن الواقع العملى يؤكد أن حجم التغييرات على مواضع المعدات ومسارات الكابلات الواردة في اللوحات التصميمية والتنفيذية يمكن أن يكون كبيرا نتيجة ظروف العمل ، ومن ثم يجب أن يكون لدينا لوحات نهائية للأعمال الكهربية تكون هى المرجع الوحيد للمهندس المشرف على صيانة المبنى فيما بعد .

4-1-1 المشرف على التنفيذ

سواء كان هذا المشرف هو الاستشارى نفسه أو كان مهندسا من قبل المالك فسوف تكون من مسؤولياته:

- مراجعة البرنامج الزمنى لتوريد المهمات اللازمة.
- مراجعة البرنامج الزمنى لتنفيذ الأعمال الكهربائية مع مراعاة التنسيق مع الأعمال الأخرى (إنشائية – معمارية – ميكانيكية – صحية – تكييف هواء) بحيث تتم جميع الأعمال على أكمل وجه وفى خلال الزمن المحدد لكل من هذه الأعمال.
- التأكد من قيام المقاول بتجهيز مخزن مناسب للمهمات.
- التأكد من قيام المقاول بتحقيق اشتراطات الأمن الصناعى بما فى ذلك توفير تسهيلات الإسعافات الأولية.

- إعتماد العينات المقدمة للمواد والمهمات التى سيجرى توريدها ، مع الحفاظ على هذه العينات إلى أن تنتهى جميع الأعمال ، فمن المشاكل المشهورة أن يتقدم المقاول بعينة من الكابلات مثلاً ثم ينفذ بنوعية أخرى ، فإذا كان من الصعب على مهندس الإشراف الاحتفاظ بالعينة لكبر حجم الجهاز مثلا فعلى الأقل يجب أن يطلب من المقاول أن يتقدم بكتالوجات الأجهزة التى سيوردها قبل أن يبدأ فى التوريد ، وأن يأخذ موافقة المشرف والاستشارى عليها كتابة.
- مراجعة المواد والمهمات الموردة من حيث مطابقتها للمواصفات وللعينات السابق تقديمها ولا يسمح بتوريد غير المطابق منها.
- التأكد من وجود الكتالوجات الفنية لكل المهمات والأجهزة الموردة.
- التأكد من وجود شهادات اختبار الطراز (Type test) أو شهادات الاختبارات التى أجريت على المهمات فى المصنع قبل التوريد (Routine test).
- التأكد من وجود واعتماد جميع الرسومات التنفيذية (Workshop drawings).
- الإشراف على الاختبارات Testing اللازمة عند استلام الأعمال من المقاولين فى نهاية المشروع.
- متابعة الحصول على اعتماد أى تعديلات تجرى على الرسومات التنفيذية أثناء التنفيذ.
- التأكد من وجود قوائم تعليمات التشغيل والصيانة للمهمات التى سيتم تركيبها.
- التأكد من إجراء التدريب الملائم لطاقم التشغيل بواسطة المقاول أو الشركات الموردة للمهمات.
- التأكد من وجود قوائم بقطع الغيار المطلوبة لضمان التشغيل الجيد لمدة خمسة سنوات بعد سنة الضمان طبقاً للوارد فى العطاء المقبول.
- التأكد من إعداد رسومات الحفظ النهائية As-Built ومطابقتها بما تم تنفيذه.

ونشير هنا إلى أن الاتحاد الدولى للمهندسين الاستشاريين FIDIC أعد نماذج لعقود تشمل جميع أطراف المشروع ، واشتهرت هذه النماذج حسب ألوانها ، فالكتاب الأحمر يمثل نموذجا للعقد بين المالك والمقاول فى الأعمال الإنشائية ، أما الكتاب الأصفر فيعطى نموذجا لعقد الأعمال الكهربية والميكانيكية. وهناك أيضا الكتاب الأبيض وفيه شروط المالك مع الاستشارى ، إلخ.

2-1 التنسيق بين التخصصات المختلفة

يعتبر التنسيق بين مهندس الكهرباء المشرف على التنفيذ وبين التخصصات الهندسية الأخرى من الأدوار الهامة التي يجب أن تراعى فى أى مشروع .

1-2-1 التنسيق مع المعمارى

يجب على مهندس تنفيذ الأعمال الكهربية أن يقوم بالتنسيق مع المهندس المعمارى من أجل تحديد المساحات أو الأماكن اللازمة لوضع المعدات الكهربية بالمبنى. ورغم أن المعدات الكهربية عموما لا تشغل حيزا كبيرا مقارنة بالمعدات الميكانيكية إلا أنها تحتاج على الأقل فى المبانى الكبيرة إلى تحديد أماكن ثلاثة عناصر هامة:

1. حجرة المحولات : فإذا كان حمل المبنى يتجاوز حمله 500kVA (قد يتغير هذا الرقم من دولة لأخرى) فهناك إلزام من وزارة الكهرباء للمالك بتوفير حجرة خاصة يوضع بها المحول الرئيسى للمبنى والذى سيرتبط بالشبكة العمومية للمدينة ، ويجب أن يكون الدخول والخروج من هذه الحجرة ميسرا لرجال وزارة الكهرباء من خلال باب خارجي للمبنى وليس من باب داخلي . ويجب أن يكون ارتفاع حجرة المحولات الجافة لا يقل عن نصف متر فوق أعلى نقطة فى المحول كحد أدنى ، كما يجب إضافة ممر عرضه 75 سم على الأقل من جميع الجوانب . وتزود حجرة المحولات الجافة بفتحتين للتهوية إحداهما سفلية والأخرى علوية فى حائطين متقابلين. وإذا كان المحول من النوع الزيتى فيجب إضافة حفرة تجميع للزيت أسفل المحول بعمق لا يقل عن 60 سم ، ويركب المحول على قاعدة خرسانية أو قضبان فولاذية مرفوعة عن الأرض. (راجع مواصفات مؤسسة الكهرباء فى بلدك قبل تطبيق هذه الأرقام).
2. حجرة مولدات الديزل : وتتوقف مساحتها على حجم أحمال الطوارئ بالمبنى ، مع ملاحظة أنه تصدر عن هذه المولدات أصوات عالية عند التشغيل ، فيجب مراعاة ذلك عند اختيار مكانها ، وأحيانا يطلب المالك أن تكون جدرانها عازلة للصوت. وتتميز حجرة المولد بارتفاع سقفها فى حدود تتراوح بين 3 و 5 متر حسب حجم المولد ، حيث نحتاج أحيانا لتركيب ونش Winch لتركيب المولد أو لنقله للصيانة. مع الأخذ فى الاعتبار أنه يجب الرجوع لكتالوج الشركة المصنعة لمعرفة الأبعاد المناسبة لحجرة المولد.

3. حجرة اللوحات العمومية : وتحتوى على اللوحات الرئيسية لشبكة التوزيع الخاصة بالمبنى.
وبالطبع ستتوقف مساحة كل حجرة من هذه الحجرات الثلاثة على حجم الأحمال الكهربية بالمبنى.

ونشير هنا إلى مشاكل عديدة تنجم عن إهمال مهندس الكهرباء فى تحديد هذه الأماكن بوضوح ، فقد يظن مهندس الكهرباء أن المهندس المعمارى لابد أنه سيأخذ ذلك فى اعتباره. وقد يراعى المعمارى بالفعل هذه الأشياء لكنه قد لا يقدرها بالصورة الصحيحة ، فمثلا قد يترك حجرة صغيرة فى مكان يصعب الوصول إليه للمهمات الكهربية كلها (اللوحات والمولدات والمحولات ، إلخ) ، ومن هنا تظهر المشاكل حين يعترض مهندس الكهرباء التابع للحى على هذه المساحة وترفض التوقيع على لوحات المبنى ، وربما يخصص مساحة كبيرة لكنها لا تتفق مع متطلبات شركة الكهرباء التى تشترط مثلا فى غرفة المحولات أن تكون ذات مساحة ، محددة وأن تكون هناك فراغات محددة الأبعاد حول المحول بعد وضعه بالغرفة ، إضافة إلى شرط هام وهو سهولة الوصول إلي الغرفة فى أى وقت دون معوقات.

ومن المهم كذلك للمصمم أن يحدد بالتنسيق مع المهندس المعمارى أماكن لوحات التوزيع ليتحدد بناء عليه مسار الخطوط الرئيسية والفرعية للدوائر الكهربية فى المبنى . وهل هى خارجية فوق حوامل للكابلات Cable Trays مثلا ، أم مدفونة بالحائط ، أم تحت الأرض. ويمكن للمهندس المعمارى أن يتدخل لتغير مسار بعض هذه الكابلات إذا كانت ستؤثر على الوظيفة المعمارية للمبنى وتشوه صورته ، وفى هذه الحالة يكون مهندس الكهرباء ملزما بإيجاد البديل .

وليس ببعيد أنه يحتاج أيضا للتنسيق مع مهندس الديكور حتى لا يضطر لإعادة تنفيذ بعض الأعمال الكهربية (مثل أماكن البرايز واللمبات) التى قد تتعارض مع طريقة توزيع الأثاث فى الفيلات أو توزيع المكاتب فى المبانى الإدارية الهامة.

1-2-2 التنسيق مع مهندس الميكانيكا

أما تنسيق مهندس الكهرباء مع مهندس الميكانيكا فهو ضرورى لاسيما فى مرحلة التنفيذ حتى لا تتعارض أماكن المعدات الكهربية مع الميكانيكية ، ومن أشهر نقاط التعارض مثلا تداخل الـ Cable Tray مع الـ Ducts الخاصة بالتكييف ، وكذلك تعارض أماكن اللمبات مع مخارج إطفاء الحريق (Sprinklers) ، وكذلك تتعارض فتحات التكييف مع كشافات الإنارة الكبيرة إلخ.

وكثيرا ما رأينا العديد من المشاكل من قبيل وضع مخرج إطفاء حريق (Sprinkler) مباشرة فوق كشاف فلورسنت متدلى من السقف ، مما يعوق عملية توزيع المياه عند إطفاء الحريق ، وبالطبع فقد حدث هذا بسبب سوء التنسيق بين مهندس الميكانيكا ومهندس الكهرباء.

وربما فى بعض الأحيان تبدأ الأعمال الميكانيكية قبل الكهربية فنشاهد مثلا الـ Ducts الخاصة بالتكييف وقد سدت كل الفراغ المتاح فى الممرات قبل أن يتمكن مقاول الكهرباء من تمديد مواسير الكهرباء الخاصة به ، مما يترتب عليه فك أعمال التكييف ، وإعادتها مرة أخرى بعد تمديد مواسير الكهرباء ، إلى غير ذلك من المشاكل الناجمة من عدم التنسيق بين التخصصات المختلفة.

1-2-3 التنسيق مع مهندس الانشاءات

ويحتاج مهندس الكهرباء (لاسيما المصمم) للتنسيق مع مهندس الإنشاءات المدنية فى حدود ضيقة ، على سبيل المثال لا بد لمهندس الكهرباء أن يحدد بدقة أماكن المعدات الكهربية ذات الأوزان الثقيلة التى سيتم وضعها فى أدوار عليا ، حتى يمكن لمهندس الإنشاءات أن يأخذها فى اعتباره عند تصميم سمك البلاطة الخرسانية للأسقف الحاملة لهذه المعدات. وحتى المعدات التى توضع فى الدور الأرضى فإنها قد تحتاج لمواصفات خاصة لأرضيتها ، على سبيل المثال أرضية غرفة المحولات الكبيرة والتى تحتاج لكمرات خرسانية متناسبة مع أبعاد المحول ، وهو ما يؤكد على ضرورة التنسيق مع المهندس المدنى بالمشروع.

ونشير أيضا لنقطة هامة ، وهى أنه فى حالة الأبراج العالية (100 دور مثلا) ففى بعض الأحيان توضع محطة لمحولات التوزيع قريبة من منتصف المبنى لتغذية النصف العلوى من المبنى ، وأحيانا فى الأبراج العالية توضع محولات التوزيع فى الدور الأخير لتركز أحمال التكييف فى هذا الدور ، وفى هذه الحالة على مهندس الإنشاءات أن يراعى أن بلاطة الخرسانة فى هذا الدور ستكون غير عادية لأنها تحمل حملا زائدا هو وزن محولات التوزيع.

1-3 المتطلبات العامة للتصميمات الكهربية

المقصود بالمتطلبات العامة للتصميمات الكهربية هى مجموعة المعلومات الخاصة بالمبنى المراد تصميم شبكة كهربائية له، والتى يحتاجها مهندس الكهرباء قبل بدء العمل من أجل الوصول لتصميم ذو كفاءة عالية . وهذه المتطلبات تنقسم إلى عدة أقسام:

أ. متطلبات معمارية.
ب. متطلبات ميكانيكية
ج. متطلبات كهربية

1-3-1 المتطلبات المعمارية

أ. طبيعة المبنى

أولى المعلومات الأولية المهمة التى يحتاجها المصمم هى طبيعة استخدام المبنى ، حيث إن شبكة التوزيع الكهربية تختلف من مبنى الى آخر ، فالشبكة الكهربية لمدرسة تختلف عن الشبكة الكهربية فى مجمع تجارى أو مستشفى أو سكن خاص أو مصنع وهكذا . ولذلك يحتاج المصمم للشبكة الكهربية إلى كم من المعلومات المرتبطة بطبيعة المبنى من أهمها:

1. معلومات تفصيلية عن طبيعة استخدام كل مساحة من مساحات المبنى .
2. أماكن المعدات التى ستستخدم بالمبنى ، حيث يحتاج المصمم الكهربي إلى التنسيق مع المهندس المعماري (وأحيانا مع مهندس الميكانيكا أيضا) من أجل تحديد أماكن هذه المعدات لأن ذلك سيؤثر على اختيارات مهندس الكهرباء .
3. من المهم أيضا تحديد طبيعة بيئة المبنى Building Environment ، و هل المبنى مكيف أم لا و هل توجد تدفئة في الشتاء أم لا.
4. طبيعة التشطيب ، و هل هو مبنى فاخر أم متوسط مثلا ، حيث سيؤثر هذا الخيار على العديد من اختيارات المصمم الكهربائي.
5. تحديد شدة الإضاءة في كل مساحة ، و عدد نقاط الإنارة ، و المخارج العامة الخ.
6. تحديد التوقعات المستقبلية لأي توسعات بالمبنى سواء من ناحية المباني أو المعدات ، حيث يساعد كل ذلك فى تحديد الأحمال. و يمكن القول بأن المهندس الكهربائي هو أكثر المهندسين احتياجا للمعلومات الخاصة بالتوسعات المستقبلية خاصة إذا أخذنا في الاعتبار أن عمر أي مبنى قد يصل إلى 100 سنة بينما الأعمال الكهربائية تتجدد بالمبنى ربما كل 20 : 30 سنة. و بصفة عامة فالمصمم يضع في اعتباره نسبة توسعات لا تقل عن 25%.

بمعنى آخر فان التحديد الدقيق لطبيعة استخدام المبنى سيؤثر على كافة أعمال التصميمات الكهربية.

ب. المخططات المعمارية

ويحتاج المصمم بعد ذلك إلى الحصول على المخططات المعمارية للمبنى المراد تصميم شبكة كهربية له ، فمن خلال هذه المخططات تتوفر الكثير من المعلومات من أجل تحديد هيكلية الشبكة الكهربية ، فمن خلال هذه المخططات المعمارية يمكن تحديد مسار الكابلات وأماكن المعدات الكهربية المختلفة ، و تحديد أماكن لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية فى المبنى إلخ.

و غالبا يحتاج المصمم إلى مجموعة كاملة من لوحات المساقط الأفقية (الـ Plans) ، والمساقط الجانبية (Side Views) ، والواجهات (Elevations) الخاصة بالمبنى ، و إن كانت لوحات المساقط الأفقية هي أكثر اللوحات استخداما بالنسبة لمهندس الكهرباء ، لكنه في الواقع سيحتاج إلى الأنواع الأخرى من اللوحات لا سيما في أعمال إنارة الواجهات ، و تصميم المصاعد كما سيحتاجها المقاول لعمل المخططات التنفيذية (Shop Drawings) .

2-3-1 المتطلبات الميكانيكية

1- تحديد الأحمال الميكانيكية

الأجهزة الميكانيكية هى الأجهزة التى تتضمن محركات مثل المصاعد و السلالم المتحركة والمضخات المائية فى المبنى ومضخات مكافحة الحريق وغيرها من الأجهزة الخاصة . وما ينطبق على الأجهزة الكهربية ينطبق على الميكانيكية ، فالمصمم بحاجة إلى معلومات تفصيلية عن هذه الأجهزة حتى يمكنه تصميم الشبكة المناسبة لتغذية هذه الأحمال.

2- تحديد أحمال التبريد والتهوية

يحتاج المصمم إلى معلومات تفصيلية ودقيقة عن أماكن تركيب أجهزة التدفئة والتهوية و التبريد Heating –Ventilation and Air Condition (HVAC) حتى يوفر نقاط التغذية فى المكان المناسب لها ، كما يحتاج المصمم لتحديد أحمالها الكهربية ليتمكن من تصميم الدوائر المناسبة لها ، و تحديد الحمل الكلي للمبنى لاسيما أن هذه الأحمال بالذات تعتبر الأعلى ضمن كافة أنواع الأحمال .

1-3-3 المتطلبات الكهربية

A- الأحمال الكهربية

من المتطلبات اللازمة أيضا لعمل مخططات تصميمية كهربائية معرفة الأحمال الكهربية المستخدمة فى المبنى ، مثل أحمال الإنارة ، والمخارج العامة ونوعية الأجهزة التى تتصل بها ، وكذلك المعدات الخاصة بالمطابخ أو الأجهزة الكهربية فى العيادات الطبية أو المعدات فى ورشة صناعية وغيرها كما سبق أن ذكرنا .

B – الأنظمة المساعدة

هناك بعض الأنظمة يشترك فى القيام بتنفيذها وبتصميماتها مهندس الكهرباء مع مهندسين آخرين مثل أنظمة الإنذار والإطفاء ، ونظم الاستدعاء الآلى ، والتلفونات والإريال المركزي ، وشبكة الانترنت وساعات الحوائط وغيرها. وهذه المنظومات وإن كانت لا تؤثر كثيرا على الحمل الكهربى الكلى للمبنى (باستثناء منظومة الإطفاء التى قد تحتاج لمضخة حريق لها قدرة كهربية عالية) إلا أنه من المهم أن يأخذها مهندس الكهرباء فى اعتباره عند تصميم اللوحات الكهربية على الأقل ، وذلك إن لم يكن بالفعل سيشارك فى التصميم بنفسه. والمهندس المعمارى - بحكم أنه المنسق بين كافة التخصصات العاملة بالمبنى - هو الأقدر على إعطاء مهندس الكهرباء ما يحتاجه من معلومات بشان هذه الأنظمة ، وبالطبع سيرجع مهندس الكهرباء إلى مصممى هذه الأنظمة أيضا .

C .تحديد نظام التغذية الرئيسية فى المبنى .

تعتبر معرفة موقع نقطة التغذية الرئيسية فى المبنى هى المدخل لتحديد مسار الكابل الرئيسى ، وتحديد مسار خطوط التغذية الرئيسية فى المبنى . وباختصار فإن تحديد هذا الموقع يساعد على تحديد الخطوط العريضة للمخطط الكهربى .

ونظام التغذية قد يكون Single- Phase كما فى المبانى الصغيرة (غالبا فى المبانى الأقل من 12 kW كما فى المواصفات الكويتية مثلا) ، أو يكون Three-Phase فى المبانى ذات الأحمال الأكبر من ذلك. وفى بعض البلاد مثل مصر لا يوضع اشتراطات معينة سوى فرق التكلفة.

وإذا كان المبنى كبيراً كمصنع أو مستشفى أو مدرسة أو مجمع تجارى فتكون نقطة التغذية هى المحول الكهربائى الخاص بالمبنى وهذا المحول يكون فى الغالب مربوطا بالشبكة الحلقية Ring System الخاصة بالمدينة . وقد يحتاج المبنى إذا كان هاما إلى نقطتين للتغذية Two in-takes مربوطتين بالشبكة العامة.

أما المنشآت ذات الأحمال الكبيرة جدا (المصانع الكبيرة مثلا) فتكون التغذية غير مرتبطة بشبكة المدينة (Ring System) بل ترتبط مباشرة بشبكة الـ 66/11 أو 132/11 kV المغذية للمدينة كما سيتضح تفصيلا عند دراسة نظم التغذية فى الفصل الخامس.

D .تحديد المتطلبات الفنية التفصيلية .

1- نوع لمبات الإنارة

من المعلوم أن أنواع لمبات الإنارة كثيرة حتى تتناسب مع نوع استخدام الغرف وأذواق الناس ، فلمبات المنازل تختلف عن الكشافات المستخدمة في الورش الصناعية وهكذا ، ولذلك فلابد من تحديد نوع اللمبات بالتنسيق مع المهندس المعمارى ومهندس الديكور الداخلى. و ذلك حسب مستوى التشطيب المراد (فاخر ، متوسط ، إلخ).

2- شدة الإضاءة .

ومن خلال تحديد نوع اللمبات وطبيعة استخدام الغرف والمساحات فى المبنى ، يمكن تحديد شدة الإضاءة ، وعليه يمكن تحديد عدد اللمبات المطلوبة وطريقة توزيعها فى الغرفة، كما سيتضح بعد ذلك فى موضوع حسابات الإضاءة فى الفصل السابع.

3- تحديد أماكن ونوعية المخارج العامة

في العادة تكون البرايز (Sockets) (وتسمى أيضا المخارج العامة) بقدرة 13 أمبير ، وبعضها 15 أمبير أو20 أمبير ، ولكن بعض الأجهزة قد تتطلب برايز بقدرة 40 أمبير أو30 أمبير مثل المطابخ

الكهربية و في هذه الحالة سيوضع Double Pole Switch, DP SW فى المكان المطلوب ، كما أن بعض الأجهزة تتطلب تغذية (Three Phase) مثل بعض الأفران وغيرها ، ولذلك يحتاج المصمم أن يعرف نوع الأجهزة المستخدمة فى كل مكان ليحدد أماكن ونوعية الـ Sockets المناسبة. وبالطبع فإن المصمم يحتاج إلى تحديد الأحمال الكهربية لهذه الأجهزة الخاصة ليمكنه تقدير الحمل الكلى للمشروع.

4-1 خطوات التصميم لمشروع كهربي

يمكن تلخيص الخطوات الرئيسية والأساسية للقيام بالأعمال الكهربية فيما يلى:

1- تحديد المتطلبات العامة للتصميمات الكهربية كما تم شرحه فى الجزء السابق من هذا الفصل.
2- تقدير الأحمال الكهربية Load Estimation بصورة مبدئية بناء على حسابات المساحات (وتشمل تقدير أحمال الإنارة ، البرايز، التكييف ، الصحى إلخ). وتشمل هذه المرحلة أيضا حساب الحمل الكلى التقريبي باستخدام عوامل الطلب Demand Factors وعوامل التباين Diversity Factors. وعموما فهذه الخطوة مهمة خاصة لبدء إجراءات التعاقد والحصول على تراخيص البناء من الهيئات المعنية حيث تبدأ هذه الإجراءات فى الغالب قبل الانتهاء من التصميمات النهائية. لاحظ أننا لو انتظرنا حتى تكتمل كافة المعلومات التفصيلية الخاصة بكافة عناصر المشروع (المتطلبات المعمارية والميكانيكية والإنشائية وغيرها) فإن ذلك سيكلفنا تأخيرا كبيرا ، فالمعمارى مثلا لن يتمكن من تحديد المساحات المطلوبة للأعمال الكهربية وأماكنها ومساراتها ، كما سيتأخر مهندس الإنشاءات الذى يحتاج لمعرفة أماكن المعدات الثقيلة المتعلقة بالكهرباء ، وهكذا كافة التخصصات الأخرى ، ومن هنا لزم أن نكون قادرين على عمل تقدير مبدئى للأحمال إلى أن يتم مراجعة هذا التقدير خلال مراحل المشروع المختلفة (تفاصيل ذلك تجدونه فى الفصل الثالث من هذا الكتاب).
3- تصميم أعمال الإضاءة (كما فى الفصل السابع من هذا الكتاب) ، ووضع رموز الوحدات الإضاءة (اللمبات والمفاتيح) على الرسم ، وتحديد أماكن المخارج العامة (البرايز) ، ووضع رموزها فى أماكنها على الرسم.
4- تصميم الأعمال الكهربية لأحمال القوى مثل التكييف والمصاعد ، مضخات المياه ، ....إلخ) ، مع وضع رموز مناسبة لأماكن كافة مخارج القوى الكهربية اللازمة لهذه الأعمال ، وهذا كله بالطبع يتم بالتنسيق مع المهندسين المختصين فى هذه التخصصات. لاحظ أن الرموز المستخدمة يجب أن تكون رموزا قياسية ويمكن الرجوع لملحق -1 لعرض بعضها. وفى كل الأحوال سواء استخدمت رموزاً قياسية أو استخدمت بعض الرموز الغير قياسية فيجب أن توضح كافة الرموز داخل جداول توضيحية باللوحات.
5- البدء فى حسابات الدوائر الفرعية Branch Circuits وتصميم دوائرها ، وهذه الدوائر الفرعية هى الدوائر الكهربية التى تنتهى بأحمال (لمبات ، مخارج عامة ، مخارج قوى ، الخ) ، وتفاصيل ذلك تجدونه فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.
6- تصنيف الأحمال طبقا لطبيعتها (إنارة ، قوى ، هامة ، حرجة ، طوارئ ، إلخ).
7- تجميع الدوائر الفرعية فى لوحات توزيع فرعية (Distribution Boards (DBs طبقا لطبيعة الحمل وتصنيفه الذى تم فى الخطوة السابقة ، بحيث يتم مثلا تجميع دوائر الإنارة مثلا بأنواعها المختلفة فى لوحات منفصلة مع تصميم جداول حسابات لهذه اللوحات يأخذ فيها في الاعتبار قواعد التصميم الأساسية (على سبيل المثال توازن الأحمال باللوحات).
8- تصميم دوائر المغذيات العمومية (وهى الدوائر الكهربية التى تنتهى بلوحة توزيع وليس بحمل محدد) حيث تتم تغذية اللوحات الفرعية من لوحات أخرى عمومية ، ويتم فى هذه المرحلة تحديد أماكن اللوحات الفرعية والعمومية بدقة .
9- تصميم المغذيات ومفاتيح الوقاية (Circuit Breakers) CB & Feeders للوحات العمومية طبقا لقواعد التصميم المتفق عليها وعمل جداول اللوحات العمومية .
10- عمل مراجعات التصميم الضرورية (Short Circuit Study, Voltage Drop, etc) كما فى الفصل الرابع من الكتاب ، و الخطوات الخمسة من السابعة إلى الحادية عشرة مذكورة بالتفاصيل فى الفصل الخامس من هذا الكتاب).
11- اعتماد نظام تغذية للوحات الكهربية بالمشروع Distribution System طبقا لطبيعة وأهمية المبنى من خلال الإجابة على عدد الأسئلة المهمة على سبيل المثال : هل يتم التغذية من مصدر واحد أم مصدرين؟ ، ما حجم مولد الطوارئ إن وجد ؟ وكيف ستتم توصيله؟ ، وهكذا). مع رسم Single Line Diagram مبدئي للشبكة. كما يتم تصميم منظومة الأرضى الخاصة بالمشروع ، وقد خصص الفصل السادس لتفاصيل تصميم نظام الأرضي.

12- بالتوازي وبالتنسيق مع ما سبق يتم تصميم دوائر تغذية الأنظمة المساعدة الـ Auxiliary Systems ، وهى أنظمة عديدة مثل Fire alarm, Fire Fighting, Earthing, Telephone, Antenna, Data Networks, etc).

13- كتابة كراسة الشروط والمواصفات و عمل جداول الكميات. مع العلم بأن جداول الكميات تكون في الغالب مقسمة إلى مجموعات مثل : جداول حصر الكابلات – جداول حصر اللوحات DBs والتى قد تتضمن حصر الـ CBs المستخدمة و عدد الدوائر التي يتم التحكم فيها من خلال هذه اللوحة أو تلك و الأحمال المغذاة من اللوحة . و هناك أيضا جداول حصر أعمال الجهد المتوسط ، و جداول حصر المعدات مثل عناصر الإنارة (اللمبات ، و مفاتيح off/on إلخ) . وهناك أيضا جداول خاصة بالأحمال مثل المكيفات ، و المحركات ، وهذه بالطبع ليس الغرض منها وضع أسعار فى هذه الجداول وإنما ليرجع إليها مهندس الكهرباء حين الحاجة . و أخيرا جداول الأنظمة المساعدة (التليفون – النت – الخ) و يتم فيها حصر الأعمال الخاصة بكل عنصر من هذه العناصر والتى فى الغالب تكون بنظام المقطوعية.

و في كافة الجداول السابقة تكون وحدة القياس هي العدد أو الطول ، و في بعض الحالات تكون وحدة القياس للأعمال هي الـ Lump sum أو المقطوعية ، و تعني أن المورد عليه أن يورد النظام المناسب بكافة مشتملاته ، ومن ثم لن تجد تفاصيل لهذه المعدات في جداول الحصر كما في جداول الحصر الأخرى.
و عموما ، فكافة الخطوات السابقة تفترض حتما أن يكون المهندس قد صار فى الأساس ملما بسمات وخصائص ومواصفات العناصر والمعدات الكهربية التى تستخدم فى كافة هذه الخطوات مثل الكابلات والقواطع CBs ولوحات التوزيع DBs وغيرها ، وهو ما سيتم شرحه بالتفصيل فى الفصل الثانى من هذا الكتاب.
والجزء الباقى من هذا الفصل سنخصصه لشرح المواصفات العامة للتصميمات الكهربية ، وعرض فكرة عامة عن مستندات المشروع ، وكيفية طرحه للتنفيذ ، على أن نستكمل شرح الخطوات التصميمية الفنية فى الفصول التالية من هذا الكتاب.

1-5 مواصفات الأعمال الكهربية

وكثيرا ما يتكلم المختصون فى التصميمات الكهربية عن **"الكود المستخدم"** ، فما المقصود بالـ "الكود"؟.
بداية ، هناك فرق بين كلمة "مواصفات" ، وكلمة "كود" ، وإن كان الشائع هو استخدام كل واحدة منها مكان الآخرى ، وهذا غير دقيق ، فعلى سبيل المثال فإن طريقة تركيب المحول مثلا يحددها **الكود** ، لكن مواصفات المحول الفنية تجدها فى **المواصفات**.
وفى جميع الخطوات السابقة يفترض أنها تمت بناء على مواصفات قياسية محددة ، ولها مرجعية تنفيذية طبقا لـ **"الكود"** المتبع فى الدولة. و تفاصيل هذا الكود تتحدد بواسطة الهيئات الحكومية في الدولة ، وبالطبع يمكن أن تستخدم أى كود عالمي مثل (NEC (National Electric Code أو BS (British Standards) شريطة ألا تتعارض مع الكود القياسي بالبلد.
وفى بعض التخصصات مثل الإنشاءات المدنية يكون الكود المستخدم متغير ومتجدد أيضا ، فمعاملات الأمان فى حسابات الخرسانة المسلحة كثيرة (من تأثير الرياح والتربة والزلازل إلخ) ، وكثير منها يعتمد على معاملات لها قيم تقديرية ، وهى تتغير حسب التقدم في الدراسات فى هذه المجالات ، ومن ثم تختلف مثلا كمية الحديد المستعمل فى الخرسانة من كود لآخر ، وربما من فترة زمنية لأخرى.

أما فى التصميمات الكهربية فالتغير ليس كبيرا ، لأنه لا توجد مجاهيل غير متوقعة فى التصميمات الكهربية اللهم إلا نسبة التوقعات المستقبلية ، ومن ثم فالاختلاف من كود لآخر محدود . ويتوقف حجم التغيرات فى الغالب بناء على المستوى الحضارى للمكان (دولة متقدمة أم نامية) ، وعلى درجات الحرارة كعنصر مؤثر فى تقدير بعض معدلات الأمان.

1-6 مستندات المشروع

فى المشروعات الكبيرة يوضع المشروع فى صورته النهائية على صورة عطاء (Tender) . و العطاء يتكون من مجموعة من الوثائق تشمل:

1. المخططات أو الرسومات (Drawings) ، و تتضمن رسومات الإنارة و القوى و تمديدات الجهد المنخفض ، ومخططات شبكة التوزيع ، ومخططات التيار الخفيف... الخ . و كما ذكرنا فإن هذه الرسومات تظهر معظمها على لوحات الـ Plans الخاصة بالمبنى ، و البعض الآخر من الرسومات

مثل مخططات الإضاءة الخارجية تظهر في لوحات الـ Elevations . و عموما تنقسم المخططات الكهربية إلى نوعين أساسيين :

أ- مخططات تصميمية و فيها تظهر أماكن العناصر الكهربية بصورة تقريبية ، كما يظهر أسلوب التغذية بصورة رمزية. أما إذا أردت أن تحدد المسار الفعلي للأسلاك فأنت تحتاج الى النوع الثاني من المخططات و هي :

ب- المخططات التنفيذية Shop Drawings و هي التي يحتاجها المقاول للتنفيذ الفعلي للمشروع. و غالبا لا نحتاج إليها إلا إذا كان هناك صعوبة في التنفيذ أو أن هناك متطلبات خاصة للمسار أو متطلبات معمارية خاصة .

2. جداول الكميات (Bill of Quantities) ، وهى جداول تتضمن معلومات عن كل عنصر مطلوب فى تنفيذ المشروع من حيث عدده ومواصفاته بصورة دقيقة ومختصرة. وتقوم شركات المقاولات الراغبة فى تنفيذ هذا المشروع بوضع أسعارها أمام كل عنصر فى هذه الجداول بناء على المعلومات والبيانات المذكورة أمام كل بند (بالإضافة للشروط العامة الأخرى) .
3. الشروط الفنية العامة ، والشروط الخاصة للتنفيذ .

وفى الغالب فإن كراسة الشروط والمواصفات تضم جميع هذه المستندات. والمصمم عليه أن يتعرف على كيفية إعداد هذه الوثائق التى بدونها يعتبر المشروع منقوصاً.

ملحوظة: المستندات السابقة هى التى يلزم وجودها لبدء تنفيذ المشروع ، لكن عليك أن تراجع الجزء الخاص باستلام الأعمال الكهربية فى الفصل الثامن من هذا الكتاب للتعرف على مستندات المشروع بعد الانتهاء من تنفيذه.

7-1 خطوات طرح المشروع للتنفيذ

فى البداية يقوم المالك بطرح العطاء على المقاولين الراغبين فى تنفيذ هذا المشروع (من خلال إعلان بالصحف مثلاً) . وبعده سيقوم عدد من المقاولين الراغبين فى المشاركة بشراء كراسة الشروط والمواصفات الخاصة بالمشروع لدراستها ووضع أسعار فى جداول الكميات الخاصة بالمشروع ، ثم يتقدمون بعد ذلك إلى إدارة المشروع بمظروفين : الأول فنى ، والثانى مالى .

ويتم أولا فتح المظاريف الفنية من قبل إدارة المشروع لاستبعاد المقاولين الذين قدموا فى عطاءاتهم عروضا غير مطابقة للمواصفات الفنية ، ثم يتم عمل جلسة خاصة علنية لفتح المظاريف المالية لكافة المقاولين الذين أجيزوا فنيا فى المرحلة السابقة ، ليتم اختيار المقاول الذى قدم أقل سعر ، ويسمى هذا الأسلوب بالـ **"مناقصة"**.

ويراعى أن تتم هذه العملية بأمانة وسرية حتى لا تتسرب معلومات عن عطاء شركة معينة إلى شركة أخرى. وأحيانا يتم نوع من التلاعب فى هذه المناقصات بين الشركات المشتركة فيتم الاتفاق مثلاً بينهم على أن يتقدم الجميع بأسعار عالية جداً عدا شركة واحدة لضمان أن المناقصة تكون من نصيبها على أن- ترد لهم الجميل – فى مناقصة أخرى وهكذا. وفى حالة استخدام هذا الأسلوب الغير أمين يجب على إدارة المشروع استبعاد هذه الشركات ، وإعادة طرح هذه المناقصة مرة أخرى .

ويمكن إختيار الشركة المنفذة باستخدام ما يسمى بالـ **"ممارسة"** وفى هذه الحالة ستجتمع الشركات التى قدمت أقل الأسعار معا وتحاول إدارة المشروع أن تحصل منهم على أقل سعر للتنفيذ فى جلسة مفتوحة.

وبعد **ترسية** المناقصة على شركة معينة فإن من مسئولية المالك أن يسلم **"موقع العمل"** للشركة خاليا من أى معوقات لتبدأ بالتنفيذ . وعلى المقاول أن يقدم للمالك **خطاب ضمان** بمبلغ معين (يسمى مبلغ التأمين) وغالباً يكون خطاب الضمان بقيمة حوالى 10- 20% من قيمة المشروع ، و يتم حجز **مبلغ التأمين** هذا من حقوق المقاول فلا تسلم إليه إلا بعد انتهاء فترة الضمان المتفق عليها والتى تكون غالبا سنة كاملة. وخلال هذه السنة تكون مسؤولية المقاول إصلاح أى عطل دون مقابل ، فإذا انتهت فترة الضمان فمن حق المقاول استلام مبلغ التأمين المحجوز لدى المالك . وهذا المبلغ الكبير المحتجز لدى المالك سيجعل المقاول حريصا على أن يتم العمل على أكمل وجه حتى لا يحدث أى أعطال تتسبب فى تأخير رد هذا المبلغ أو حدوث أى خصم منه.

الفصل الثانى
المعدات الأساسية فى التركيبات الكهربية

2

الفصل الثانى

المعدات الأساسية فى التركيبات الكهربية

بعد توليد الطاقة الكهربية فى محطات التوليد الرئيسية يتم رفع الجهد داخل هذه المحطات حتى يصل إلى 500 kV أو 220 kV كما فى مصر ، أو 400 kV كما فى معظم دول الخليج بواسطة محولات رفع من أجل خفض الفقد فى الطاقة أثناء مرحلة نقل الطاقة إلى مناطق الاستخدام ، وكذلك من أجل تقليل الهبوط فى الجهد Voltage Drop . ويتم بعد ذلك خفض الجهد إلى (11 KV) (وأحيانا 22kV) قرب مناطق التوزيع الرئيسية مثل المدن والمنشآت الصناعية الكبيرة تمهيدا لتغذية الأبنية الكبيرة والمصانع والأحياء السكنية من المحولات التي توضع فى محطات التوزيع الثانوية Distribution Substation ، حيث تقوم هذه المحولات بخفض الجهد مرة أخرى إلى 400 V (3-Phase) وهو الجهد المستخدم داخل المنازل.

والكتاب لا يتعرض للمعدات القوى الكهربية الموجودة فى مرحلة التوليد أو مرحلة النقل ، فشبكة التمديدات التى نحن بصدد الحديث عنها فى هذا الكتاب تبدأ فعليا من محطة التوزيع الثانوية ، وتنتهى عند الأحمال داخل المبانى ، ولذا يهتم الكتاب فقط بالمعدات المستخدمة ضمن هذه المرحلة .

ويمكن القول بأن منظومات (شبكات) التوزيع الكهربية Power Distribution System - مهما كانت درجة تعقيدها – فإنها تتكون فى الأساس من أربعة مجموعات رئيسية من **المعدات** ، وهى:

1-المجموعة الأولى وهى مجموعة أجهزة القوى الرئيسية الـ Power Handling Equipments وتشمل :

- لوحة الجهد المتوسط.
- المحول.
- مولدات الطوارئ ، و يلحق بمولدات الطوارئ الـ ATS ، كما سنشير بالتبعية إلى الـ UPS.
- لوحات التوزيع Distribution Boards بأنواعها المختلفة.

2-المجموعة الثانية و هي مجموعة الكابلات والموصلات وطرق تمديداتها Wiring and Raceways وتشمل :

- الكابلات والموصلات Conductors بأنواعها المختلفة.
- الـ Bus Duct
- ويلحق بهذه المجموعة دراسة طرق التمديدات المختلفة مثل استخدام حوامل الكابلات (Cable Trays) ، والـ Raceways ، والمواسير (الصلبة والمرنة) إلخ.

3- المجموعة الثالثة Protective Devices ، وتضم أجهزة الوقاية المختلفة مثل :

- القواطع (CBs) بأنواعها.
- الفيوزات.

أما أجهزة الحماية الأعلى من ذلك مثل الـ Differential or Overcurrent Relays فهى خارج نطاق هذا الكتاب ، ويمكن الرجوع لكتاب "نظم الحماية الكهربية[1]" للمزيد حول هذه النوعية من أجهزة الوقاية.

3- المجموعة الرابعة Control and Utilization Equipments وتشمل

- الأحمال مثل لمبات الإنارة والمحركات والمصاعد وأجهزة التكييف. ويلحق بها المفاتيح ، والبرايز (Sockets) إلخ.

[1] كتاب "نظم الحماية الكهربية" ، د. محمود جيلانى ، نهضة مصر ، 2007.

- كما تشمل معدات التحكم مثل الـ Contactors ، والـ Dimmers ، والمفاتيح الخاصة بأنواعها المختلفة (Change-over Switches , Cross-over Switches) وغيرها.
- بالإضافة إلى مجموعات التيار الخفيف والتى تشمل التلفونات وأجهزة الإنذار ضد الحريق والإيريال المركزى ، وغيرها.

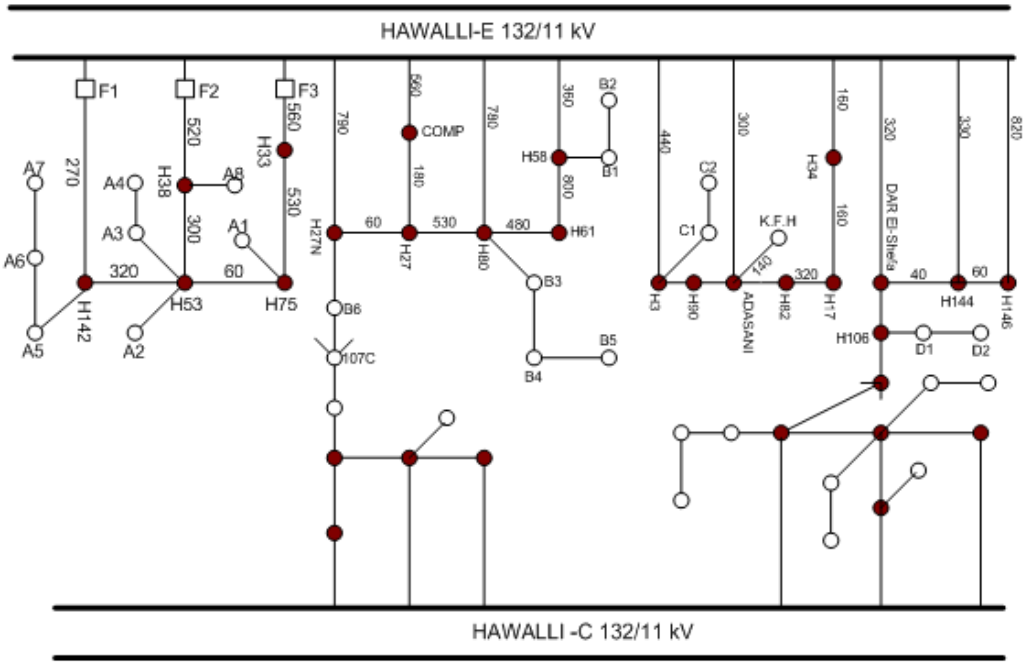
وفى الأجزاء التالية سنبدأ فى شرح طبيعة دور كل عنصر من عناصر المجموعة الأولى والثانية والثالثة ، وأهم المواصفات الخاصة به ، بالإضافة إلى عناصر منتقاة من المجموعة الرابعة ، مثل الـ Contactors الذي سندرسه في هذا الفصل ، و مثل اللمبات و التي سيتم الحديث عنها تفصيلا فى الفصل السابع ، وسنشير أيضا إلى ملامح فى عمل التكييف والمصاعد فى الفصل الثالث . أما بقية عناصر المجموعة الرابعة فمعظمها خارج عن حدود هذا الكتاب وتحتاج لكتاب منفصل.

المجموعة الأولى: أجهزة القوى الرئيسية
Power Handling Equipments

1-2 شبكات الجهد المتوسط

من المفيد قبل الحديث عن أجهزة القوى المستخدمة ضمن هذه المجموعة أن نشير باختصار إلى ملامح شبكات توزيع الجهد المتوسط . فشبكات التوزيع فى المدن (وتعرف أيضا بشبكات الجهد المتوسط ، والتى تكون عادة إما 11 kV أو 20 kV) تتكون فى الغالب من مجموعة حلقات أو دوائر مغلقة Rings ، كما في الشكل 2-1 الذى يمثل نموذجا متبعا فى الكويت ، وذلك لتغذية المواقع المختلفة بالمدن. وتتكون كل Ring منها من ثلاثة أو أربعة فروع ، فعلى سبيل المثال فالـ Ring اليسرى فى الشكل 2-1 مكونة من ثلاثة فروع هى F1 , F2, F3 ، و تبدأ الفروع جميعا من داخل محطة توزيع رئيسية - وهى هنا على سبيل المثال محطة تسمى Hawalli-E وهى المحطة التى تضم بداخلها 3 محولات لخفض الجهد من 132 kV إلى 11kV ، أى أنها تمثل حلقة الربط الأساسية بشبكة الجهد الأعلى المستخدمة بالدولة .

و تمثل النقاط المصمتة فى الشكل 2-1 محطات التوزيع الفرعية Substations ، تضم كل واحدة منها من 2 إلى 3 محولات جهد 11 / 0.4 kV ، ثم تخرج من هذه المحطات (الممثلة بدوائر مصمتة) كابلات الجهد المنخفض إلى المنازل . أما الدوائر البيضاء بنفس الشكل فتمثل امتدادات أو تفريعات تؤخذ من الشبكة الأصلية لتغذى محول واحد فقط 11 / 0.4 kV يعرف بـ Unit Distribution System أو اختصارا UDS ، وهو محول مزود بلوحة الـLT التى يخرج منها 3 كابلات أو أكثر لتغذية مبنى معين ذى حمل مرتفع أو حملين متجاورين .



شكل 2-1 : شبكات التوزيع بالمدن

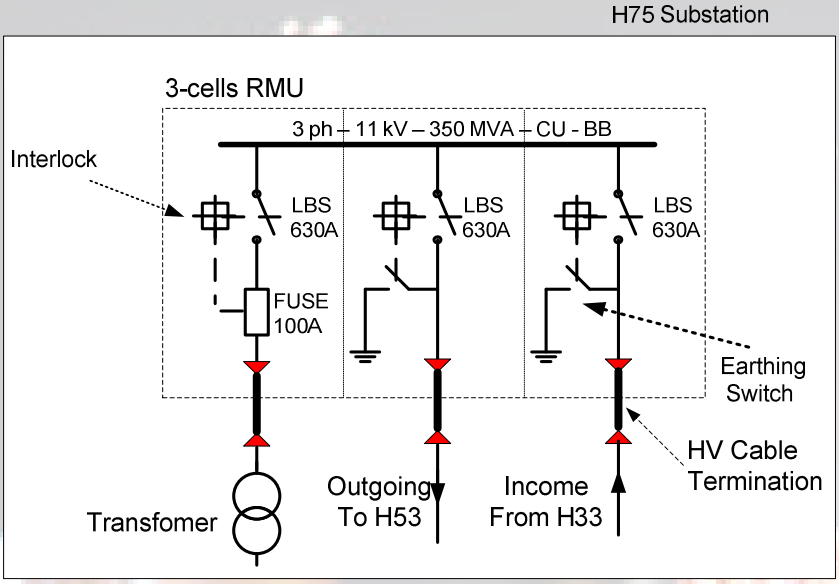
وتمثل الأرقام المكتوبة على الخطوط فى الشكل أطوال كابلات الجهد المتوسط مقاسة بالمتر ، وهى الكابلات التى تربط جميع أجزاء الـ Ring الواحدة. لاحظ فى الشكل السابق أن كل محطة فرعية يبدأ اسمها بحرف الـ H وهو الحرف الأول فى اسم المحطة الرئيسية التى تغذى جميع المحطات الفرعية.

وترتبط المحولات الموجودة داخل كل محطة فرعية Substation بشبكة الجهد المتوسط من خلال لوحات تعرف بالـ Ring Main Unit . والتفاصيل الكاملة للمعدات الموجودة داخل لوحات الـ RMU نعرضها فى الجزء التالي.

1-1-2 لوحات U.M.R

تستخدم اللوحة المعروفة بـ (Ring Main Unit , RMU) من أجل ربط المحطات الفرعية ببعضها ضمن الـ Ring الواحدة أو ربط محول التوزيع الخاص بمبنى معين بشبكة الجهد المتوسط المقام بها المبنى. وعادة تستخدم لوحة الـ RMU فى ربط المحولات ذات قدرة أقل من 5 MVA ، فعلى سبيل المثال لو نظرنا إلى

المحطة H75 فى الـ Ring اليسرى المرسومة فى الشكل 2-1 (وهذه المحطة ممثلة بالتفاصيل فى الشكل 2-2) سنجد بداخلها لوحة RMU بداخلها ثلاثة خلايا 3- Cells :
إحدى هذه الخلايا بها كابل دخول قادم من المحطة H33 ، والخلية الثانية بها كابل خروج متجه إلى المحطة H35 وكلهما مزود بـ Load Break Switch, LBS-630A ، وذات تيار قصر 25 كيلو أمبير عند جهد 12 كيلو فولت |(عند جهد 24 كيلو فولت ، يكون التيار المقنن للـ LBS هو 1250 أمبير). أما الخلية الثالثة فتحتوى على الوقاية الخاصة بالمحول المغذى من هذه الـ RMU ، تحتوى على فيوز 100A لحماية المحولات قدرة 1000 ك.ف.أ. كما فى الشكل (يستخدم فيوز 40 أمبير للمحول إذا كانت قدرة المحول 500 ك.ف.أ.).
ويقتصر دور الـ Load Break Switch, LBS على فصل كابلات الدخول والخروج لإجراء عمليات الصيانة ، وليس له دور فى حماية أو وقاية المحول من الأعطال والتى هى مسئولية الفيوز.
وتحتوى اللوحة أيضا على خلية بها أطراف (روزيتة) توصل إلى أطراف محولات التيار ومحولات الجهد لزوم تركيب عدادات قياس الطاقة (Active and Reactive Power) وذلك للوحات التى تغذى محول قدرة 1000 ك.ف.أ أو اكبر ، أما المحولات قدرة 500 ك.ف.أ أو أقل فيتم تركيب العدادات على الجهد المنخفض.

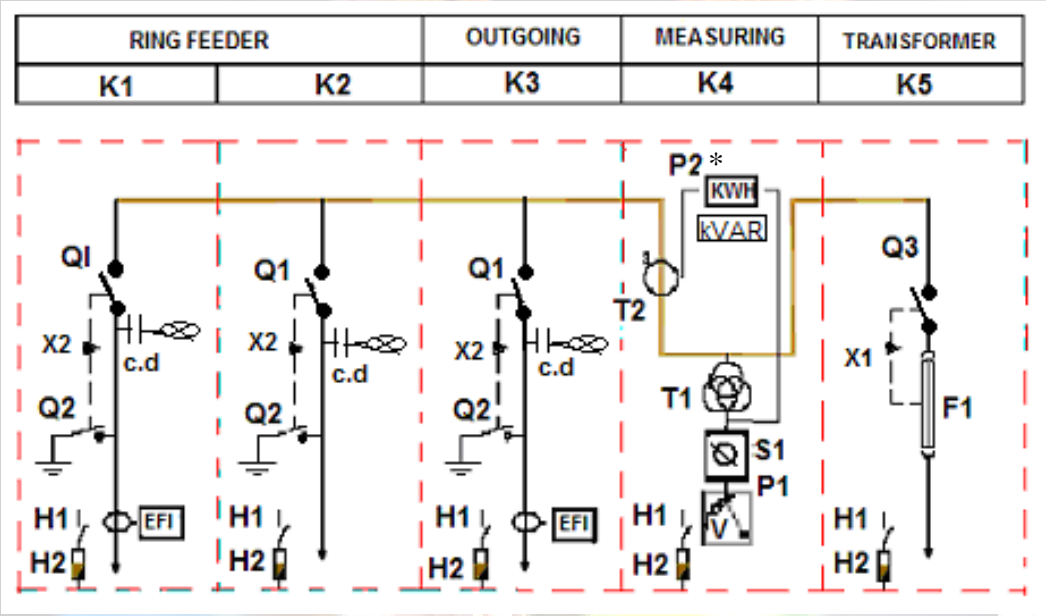


شكل 2-2 مخطط لمحطة توزيع فرعية بداخلها لوحة Ring Main Unit

وتحتوى لوحة الـ RMU أيضا على مفاتيح الأرضى Earthing Switches وهو يستخدم لضمان تسريب أى شحنات بعد فصل اللوحة من الخدمة و قبل إجراء الصيانة بداخلها ، أى أنه يمثل عنصر أمان أثناء عمل فريق الصيانة. و تزود اللوحة كذلك بـ Interlock يوصل بين كل LBS وبين الـ Earthing Switch ، لضمان ألا يكون الاثنان فى الوضع "Close " فى نفس الوقت حتى لا يحدث قصر.
و يستخدم الفيوز على التوالى مع الـ LBS للحماية من تيارات القصر شديدة الارتفاع ، وأحيانا يستخدم الفيوز مع CB مقنن على 400A (بدلا من الـ LBS) حيث إنه من المعلوم أن الفيوز دائما أسرع من الـ CB في فصل الأعطال شديدة الارتفاع.
لاحظ أن الـ Rated Current للـ CB المستخدم (400A) يكون أعلى بكثير من قيمة تيار الفيوز المستخدم فى حماية نفس المحول (100A) ، وذلك حتى لا يفصل الـ CB عند مرور تيارات الـ Inrush Currents المرتفعة ، والتى غالبا لا تؤثر فى الفيوز لأنه - و إن كانت تيارات الـ Inrush مرتفعة القيمة - إلا أنها تستمر لفترة وجيزة جدا ، و يعود التيار بعدها بسرعة لقيمته الطبيعية ، و من ثم لا تحدث التأثير الحراري الكافي لفصل الفيوز.
وتزود اللوحة عادة بتجهيزات لدخول الكابلات للوحة HV. Cable Termination ، وتحتوى اللوحة أيضا على معدات تحكم وقياس كما فى الصورة 2-1 التى تمثل نموذجا لهذه اللوحة. لاحظ أن التعبير بـ HV هو تعبير عرفى شائع ولكنه غير دقيق ، لأننا بالطبع نقصد به الـ Medium Voltage, MV.

صورة 2-1 : لوحة RMU

ويمكن أن يعاد رسم الشكل 2-2 بشئ من التفصيل كما فى الشكل 2-3 وهو الشكل المتبع فى الكود المصرى ، بحيث تظهر عددات القياس التى ذكرناها فى خلية منفصلة (الخلية رقم K4).



شكل 2-3 : رسماً تخطيطياً لوحدة حلقية Ring Main Unit مبيناً عليها خلايا الدخول والخروج والقياس وأجهزة الوقاية

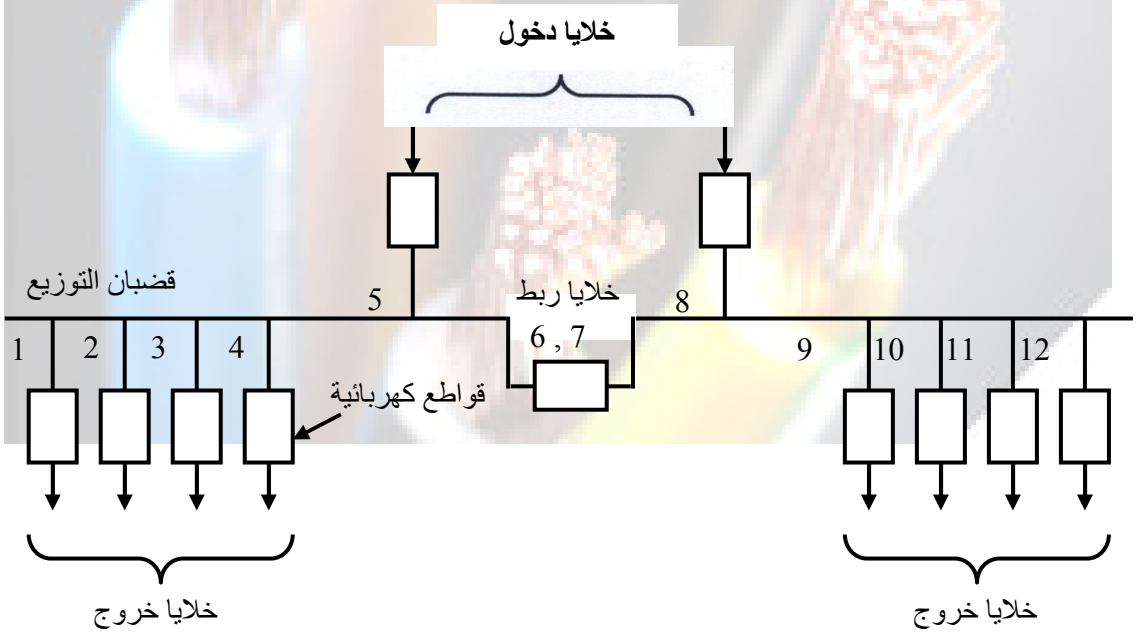
والجدول 2-1 فيه تبيان لمعانى الرموز المستخدمة فى الشكل السابق.

جدول 2-1 : توصيف الرموز الواردة فى الشكل 2-3

Q1: Load break switch	Q2: Earthing switch
Q3: Load break switch with fuses	EFI: Earth Fault Indicator(واحد فقط أو أكثر)
H1: Hygrostate	H2: Heater
T1: Single pole potentiel transformer	T2: Current transformer
P1: Voltmeter	P2: kWh meter + kVARh meter (*)
S1: Voltmeter selector switch	F1: H.R.C fuse
X1: Mechanical interlock تعمل على فصل LBS عند قطع Fuse واحد أو أكثر	X2: Mechanical interlock يعمل على توصيل سكينة الأرضى عند فصل LBS والعكس بالعكس
c.d Capacitor divider unit with neon lamp	by electricity company(*)

2-1-2 لوحات الجهد المتوسط المنفصلة (الموزعات)

فى حالة المشروعات الكبيرة (كبار المستهلكين) يتم تغذية المشروع من خلال لوحة للجهد المتوسط خاصة تعرف بالموزع Distributor ، ومتصلة مباشرة بمحطة التغذية الرئيسية بالمدينة (جهد 66/11 kV أو جهد 132/11) ، كما سيتم تفصيله فى الجزء الأخير من الفصل الخامس عند الحديث عن تصميم شبكات التوزيع.
ويتكون الموزع من عدد من خلايا الدخول Incoming للتغذية (غالبا عددهم يكون اثنين) وعدد من خلايا الخروج Outgoing لتغذية محولات التوزيع الخاصة بهذا المشروع كما فى الشكل 2-4 الذى يوضح نظام ترتيب خلايا موزع به 12 خلية.



شكل 2-4 : رسم تخطيطى لنظام ترتيب خلايا موزع

وتتميز هذه اللوحات بأن كافة المعدات بها تكون من فئة الجهد المتوسط (11 or 22 kV) كما هو واضح فى الصورة 2-2 التى يظهر فيها الـ Circuit Breaker الخاص بإحدى الخلايا ، وهو يختلف فى الشكل تماما عن قواطع الجهد المنخفض. وعادة تكون قواطع الجهد المتوسط أما من النوع الهوائى Air Circuit Breaker ، أو من النوع المفرغ من الهواء Vacuum CB .

صورة 2-2 : لوحة موزع جهد متوسط .

2-2 المحول

وهو أهم جهاز فى الـ Distribution Station إذ يتم بواسطته تخفيض الجهد من (11 KV) إلى (400V) تمهيدا لتوزيع الطاقة على المستهلكين. وعادة يتم توصيف المحول بناء على عدة عناصر ، من أهمها:

1- **قدرة المحول** Rating مقاسة بالـ MVA ، وعادة تسمى المحولات ذات قدرة أقل من 5MVA بمحولات التوزيع ، وهى التى نتعامل معها فى منظومة التمديدات ، أما المحولات الأكبر من ذلك فهى محولات لنقل القدرة بين محطات التوليد ومحطات التحويل الرئيسية فى الشبكة الكهربية العامة للدولة.

2- **طريقة الـ Earthing الخاص بنقطة التعادل** ، وعادة تكون نقطة الـ Neutral إما موصلة توصيلا مباشرا بالأرض Solidly Earthed ، أو من خلال مقاومة صغيرة فى حدود 10Ω ، ويكون الغرض من هذه المقاومة إن وجدت هو خفض مستويات القصر Short Circuits Current.

3- **قيمة الـ Percentage Impedance الخاصة بالمحول X% أو Z%** ، وتعرف بالمعاوقة ، وهذه القيمة لها أهمية كبيرة فى حسابات Short Circuit التى سندرسها تفصيلا فى الفصل الرابع ، لكننا نشير هنا فقط إلى أن تيار القصر المار عند حدوث عطل فى أى نقطة فى شبكة التمديدات (الجهد المنخفض) سيتأثر بدرجة كبيرة بإجمالى الـ Impedance, Z التى يلاقيها من لحظة خروجه من مصدر التغذية وحتى نقطة العطل . وتعتبر قيمة Z% الخاصة بالمحول من القيم المؤثرة جدا فى هذه الحسابات. لاحظ أن قيمة تيار القصر الناتج من هذه الحسابات ستتوقف عليه قيمة الـ Short Circuit Capacity لكافة العناصر المستخدمة فى منظومة التركيبات (الكابلات ، القواطع ، لوحات التوزيع إلخ) ، والتى يتوقف عليها أيضا بشكل أساسى أسعار هذه العناصر.

4- **طريقة توصيل الملفات** ويتم توصيف المحولات أيضا بناء على طريقة توصيل ملفات المحول الابتدائية و الثانوية Primary & Secondary Windings ، والتى توصل فى الغالب إما على شكل دلتا/ستار ، أو ستار /دلتا ، أو دلتا / دلتا ، إلخ . ولكل توصيلة من هذه التوصيلات ميزات وعيوب ، و تتمحور جميع هذه الميزات والعيوب حول كفاءة كل توصيلة فى واحد من السمات التالية:

1. منع ظهور الـ Third Harmonic أو Zero Sequence Current .
2. مدى تحملها للإجهادات الكهربية والميكانيكية الناشئة عن المجالات الكهربية.
3. مدى الحاجة إلى توصيل المحولات على التوازى أم لا .
4. اقتصاديات التصنيع (عدد اللفات وشدة العزل المطلوبة).
5. مدى ثبات جهد نقطة التعادل .
6. مدى الحاجة إلى وجود نقطة تعادل من عدمه (هل توجد أحمال Single Phase مثلا).

إلى آخر هذه المتغيرات التى تقع تفاصيلها خارج نطاق هذا الكتاب.

5- **معامل الـ K-Factor** ظهرت أهمية هذا المعامل مع تزايد نوعية الأحمال التى بها أجهزة إلكترونية والتى تستخدم Hi Speed-Electronic Switches ، وكذلك مع تزايد استخدام لمبات التفريغ الكهربى Discharge Lamp ، فكل هذه الأحمال تصنف على أنها أحمال غير خطية Non-Linear loads ويعنى ذلك أنها لا تخضع لقانون أوم المشهور ، بمعنى آخر أن مقاومة هذه الأجهزة غير ثابتة بل تتغير

مع تغير الجهد والتيار ، ومن ثم فاحتمال وجود الـ Harmonics المسببة لارتفاع درجة حرارة المحول يكون كبيرا. ومن ثم ظهرت الحاجة لوجود نوعية من المحولات لها تصميم خاص للتعامل مع النسبة العالية لوجود الأحمال الغير خطية. على سبيل المثال فالـ K-4 Transformers تستخدم إذا كانت نسبة الأحمال الغير خطية تصل إلى 50% ، وعادة تستخدم هذه النوعية من المحولات فى تغذية المبانى الإدارية التى تكثر بها هذه النوعية من الأحمال .

6- **طريقة تبريد المحول** (زيت ، هواء ، مراوح ، إلخ) ، وتعتبر عملية التبريد أمرا ضروريا حيث أنه كلما ازدادت كفاءة التبريد كلما ارتفعت كفاءة المحول وازداد عمر المكونات الداخلة فى تركيبه ، بل وازدادت الـ Power التى يمكن أن نحصل عليها من هذا المحول.

وعادة يحدد المصنع طريقة تبريد المحول باستخدام أربع حروف ، يرمز الحرفان الأولان إلي الموائع المستخدمة في تبريد الملفات داخل المحول ، ووسيلة دفع هذه الموائع ، و يرمز الحرفان الآخران إلي الموائع المستخدمة لتبريد جسم المحول من الخارج ، ووسيلة دفع هذه الموائع ، و يحتوي الجدول (2-2) علي الرموز المستخدمة في هذا النظام ، على سبيل المثال فإن طريقة التبريد "ONAN " يقصد بها أن لدينا محول زيتي (يبرد داخلياً بسريان الزيت سرياناً طبيعياً ويبرد الجسم من الخارج بسريان الهواء حوله سرياناً طبيعياً أيضاً).

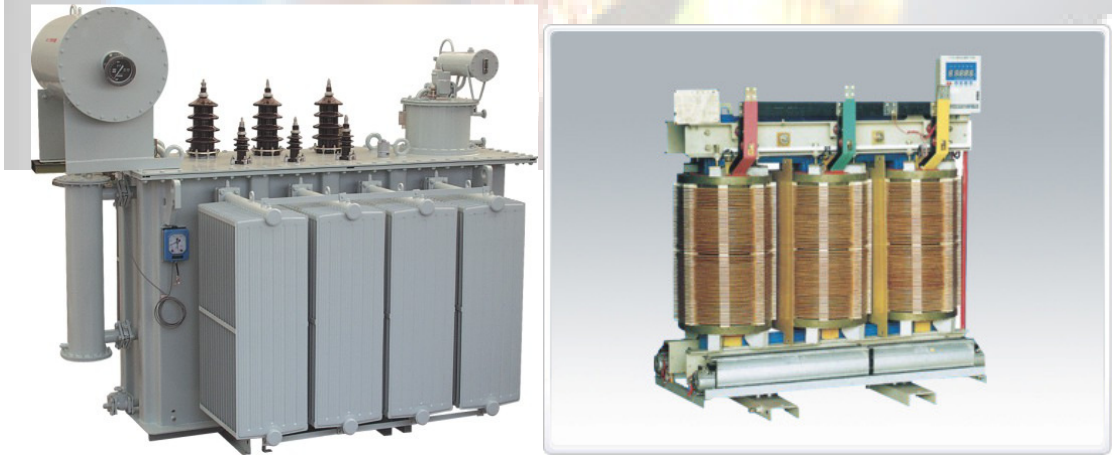
جدول 2-2 : جدول توضيحي للحروف المستخدمة في هذا النظام

المائع المبرد	الرمز	سريان المائع	الرمز
زيت معدني أو زيت اصطناعي درجة حرارة اشتعاله ≥300° م	O	طبيعي	N
زيوت اصطناعية أخري	L	اصطناعي (دفع بمضخات)	F
غاز درجة حرارة إشتعاله ≥300° م	G		
هواء	A		
ماء	W		

والمحولات المستخدمة مع التركيبات الكهربية عادة تكون:

- إما محولات جافة Dry Transformers ، وهذه تستخدم داخل المبانى السكنية والتجارية.
- أو محولات مغمورة فى الزيت ، وقد أصبح هذا النوع لا يستخدم عادة داخل المبانى السكنية أو التجارية ، وإذا وجد فهناك اشتراطات أمان عالية يجب إتباعها اذا استخدم فى مبنى سكنى ولكنها تعتبر الأكثر انتشارا فى الشبكات العامة بالشوارع.

والصورة 2-3 فيها محول زيتى قدرة 2MVA وعلى يمينه محول آخر من النوع الجاف Dry Transformer .



صورة 2-3 المحولات الزيتية والجافة

7- **الزيت المستخدم** ، يستخرج الزيت المعدنى المستخدم فى المحولات من البترول ثم يضاف إليه مادة مانعة للأكسدة . ويعتمد أداء المحول إلى درجة كبيرة على خواص الزيت الفيزيائية والكيميائية والكهربية. ويجب أن يخضع زيت المحولات لعدة اختبارات تحددها المواصفات العالمية .
ومن أهم هذه الاختبارات اختبار درجة اللزوجة ، واختبار نسبة الماء فى الزيت ، واختبار شدة العزل الكهربى ، واختبار معدلات تزايد درجة الحرارة ، إلخ.
و يقوم الزيت فى المحولات الزيتية بوظيفتين أساسيتين:
1. العزل بين الملفات وبعضها ، وكذلك العزل بين الملفات والقلب الحديدى للمحول .
2. المساعدة فى عملية تبريد قلب المحول وملفاته ، ويتم ذلك عن طريق انتقال الحرارة المتولدة فى القلب والملفات إلى الزيت المحيط بها ، ثم يقوم الزيت بنقل تلك الطاقة الحرارية إلى خزان المحول وملحقات التبريد الخاصة به ، حيث يتم التخلص من الحرارة إلى خارج المحول.

8- **مستويات الصوت** ، وهذا أيضا عنصر مهم عند توصيف المحولات خاصة تلك التى ستوضع داخل المبانى السكنية ، حيث يجب مراعاة أن تكون نسبة الضوضاء الصادرة منها فى مستويات منخفضة ، ويفضل أن تكون أقل من 65 dB (مستوى الصوت العادى للإنسان يتروح بين 40 – 50 dB). ونشير هنا إلى أن المحولات تصدر منها عادة أصوتا تشبه الأزيز ، وسبب هذا الصوت هو المجال المغناطيسي المتردد داخل المحول والذى يتسبب فى نوع من الحركة البسيطة جدا لشرائح الحديد بسبب تغير المجال المغناطيسي والتى ينتج عنها هذا الصوت.

2-2-1 بيانات المحول

البيانات الهامة الخاصة بالمحول يمكن الحصول عليها من لوحة البيانات المثبتة على جسم المحول. وفى حالة فقد هذه اللوحة يمكن تحديد على الأقل قدرة المحول من رقم موجود ومحفور على جسم المحول بين عوازل الجهد العالى والمنخفض. والمثال التالى يشرح كيفية استنتاج البيانات من هذه الأرقام:

مثال 2-1:

وجد الرقم: 925554 محفورا على جسم محول. حدد ما يمكن استنباطه من هذا الرقم.

الحل:

- الرقمين الأول والثانى من اليسار دائما يعبران عن سنة تصنيع المحول فـ "92" هنا تعنى 1992 ، (و "75" فى مثال آخر تعنى 1975 ، و"02" تعنى 2002 ، وهكذا).
- أما الرقم الثالث من الشمال ، فهو أهم رقم ، لأنه يبين قدرة المحول ، ويقرأ على النحو التالى:

1 يعنى محول ذو قدرة تساوى	50 KVA
2 يعنى محول ذو قدرة تساوى	100 KVA
3 يعنى محول ذو قدرة تساوى	200 KVA
4 يعنى محول ذو قدرة تساوى	300 KVA
5 يعنى محول ذو قدرة تساوى	500 KVA
6 يعنى محول ذو قدرة تساوى	800KVA
7 يعنى محول ذو قدرة تساوى	1000 KVA
8 يعنى محول ذو قدرة تساوى	1500 KVA

وأخيرا ، فالرقم الأول والثانى والثالث من اليمين فيعبروا معا عن الـ Serial Number الخاص بخط الإنتاج بالمصنع . وعلى هذا فالرقم المذكور بالمثال يعبر عن محول بقدرة 500 kVA مصنوع سنة 1992.

2-3 مولدات الطوارئ

يمكن تقسيم الأحمال فى أى مبنى إلى نوعين : أحمال عادية وأحمال مهمة (أحمال الطوارئ) ، والفرق الأساسي بينهما أن الأحمال المهمة هى التى لا يجب أن ينقطع عنها التيار. ويتم تجميع هذه النوعية من الأحمال فى لوحات منفصلة تسمى لوحات الطوارئ Emergency DBs ، هذه اللوحات يتم تغذيتها بواسطة مولدات الطوارئ عند انقطاع المصدر الأساسي للتغذية والتى يظهر أحدها فى الصورة 2-4 .

صورة 2-4 : مولد طوارئ قدرة 300 kW

وعموما فإنه عند توفير مصدر بديل للطاقة للطوارئ يجب مراعاة البعد الاقتصادى وذلك بحساب مقدار الخسائر والأضرار والخطورة الناتجة عن فقد مصدر التيار وفى نفس الوقت تقدير اقتصاديات الوسائل البديلة والتى تتراوح بين الاتفاق مع شركة التوزيع بالمنطقة على تأمين تغذية المبنى من مصدرين منفصلين بتكاليف إضافية بحيث تظل تغذية المبنى مؤمنة فى حالة فصل أو عطل أحدهم أو استخدام مجرد استخدام بطاريات (منفصلة أو مركزية) لتأمين إنارة الطوارئ فقط أو استخدام مولد للطوارئ لتأمين تغذية عدد من الأحمال الهامة بالمبنى. ويتم نقل الأحمال إلي المولد بإحدى طريقتين : إما يدويا بواسطة ما يعرف بالـ MTS (Manual Transfer Switch,) ، أو أتوماتيكيا (بواسطة الـ ATS) .

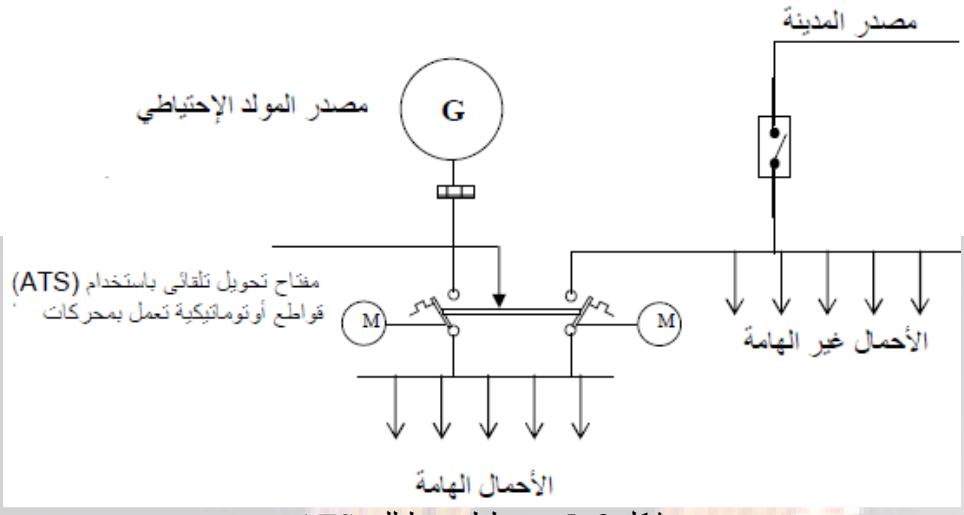
وقد لا يكون هناك أحمالا هامة فى المنازل العادية تستلزم تخصيص مولد طوارئ لها ، لكن يجب على الأقل فى هذه الحالة أن نستخدم اللمبات ذات البطارية التى تضيء أوتوماتيكيا بمجرد انقطاع التيار فى المداخل والسلالم لضمان سهولة الحركة عند انقطاع التيار.

و بصفة عامة تكون نسبة أحمال الطوارئ فى المبانى الإدارية والأبراج السكنية فى حدود 10-20% ، حيث تغطى على الأقل إنارة الطرقات ، ومراوح سحب الدخان من ممرات وسلالم الهروب ، وأنظمة إنذار الحريق وأنظمة التلفونات والإذاعة الداخلية بالمبنى وثلاجات المطابخ ، ومعدات ضخ وصرف المياه وربما يضاف أحد المصاعد ، بينما تصل هذه النسبة فى المستشفيات إلى حوالى 50% من إجمالي الأحمال لكثرة الأحمال المرتبطة بحياة المرضى.
مع ملاحظة أنه عند حساب القدرة اللازمة لمولد الطوارئ فى مبنى معين فإننا لا نطبق على الأحمال السابقة أى معاملات لتباعد الأحمال (No Diversity Factors) ، كما أننا لا نضيف أى نسبة للأحمال المستقبلية. أما الأحمال ذات المحركات فلها جداول خاصة بحساباتها ويمكن الرجوع للكود المصرى لمزيد من التفاصيل حول هذه الجداول.
وهناك مواصفات خاصة فى كل كود لكل من نظام العادم ، والقواعد الخرسانية ، ونظم التبريد والتهوية ، ونظام الوقود إلخ. ويمكن الرجوع للجزء الثانى فى الفصل الثامن للاطلاع على بعض المواصفات الهامة فى توصيف مولدات الطوارئ حسب الكود المصرى.
فعلى سبيل المثال ينص الكود المصرى على بعض المواصفات الخاصة بغرفة الماكينات منها :

(أ) يجب ترك مسافة لا تقل عن 1.00 متر من الأجناب وخلف مولد الطوارئ.
(ب) تكون مساحة مخرج الهواء مساوية على الأقل لمساحة سطح الرديتاير.
(ت) تكون مساحة مأخذ الهواء مساوية لضعف مساحة مخرج الهواء تقريباً.
(ث) يراعى نسبة المساحة الفعالة لمأخذ أو مخرج الهواء فى حالة تغطية هذه المساحات بسلك شبك أو فلاتر.
(ج) عند تحديد أبعاد الغرفة يجب الأخذ فى الاعتبار أن استخدام خزان وقود مثبت فى قاعدة الماكينة يؤدى إلى زيادة ارتفاع الغرفة.

2-3-1 ما هو الـــ ATS ؟

جهاز الـ Automatic Transfer Switch أو ما يعرف اختصارا بـ ATS ، يمكنه أن ينقل تغذية أى لوحة طوارئ أتوماتيكيا فى حالة انقطاع التيار من المصدر الأصلى وهو عادة الكهرباء العمومية ، إلى المصدر الثانى وهو مولد الديزل كما هو واضح فى الشكل 2-5 بصورة مبسطة.



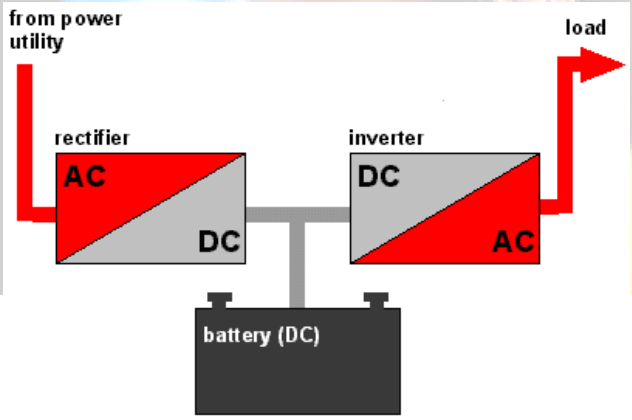
شكل 2- 5 : مخطط مبسط للـ ATS

2-3-2 تغذية الأحمال بواسطة الـ UPS

أما الأحمال فائقة الأهمية مثل بعض أجهزة الحاسوب فى البنوك أو الـ Server الخاص بموقع معين مثلا فيتم تغذيتها من خلال جهاز خاص يعرف بالـ Un-interrupted Power Supply ، أو اختصارا UPS. ووظيفة هذا الجهاز هو ضمان منع انقطاع التيار الكهربى مطلقا عن هذه الأحمال الهامة. والـ UPS يتكون داخليا من ثلاثة أجزاء :

- فى الجزء الأول منه يتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر.
- فى الجزء الثانى يتم استخدام التيار المستمر فى شحن عدد من البطاريات.
- فى الجزء الثالث يتم تحويل التيار المستمر الخارج من البطارية إلى تيار متردد مرة أخرى.

والأجزاء الثلاثة تظهر فى الشكل 2-6.



شكل 2-6 : مكونات الـ UPS (يسار) وأحجام مختلفة للجهاز (يمين)

واضح من الشكل أن تغذية الحمل تأتى دائما من خلال البطارية ، ومن ثم فعند انقطاع التيار فلن تتأثر هذه الأحمال مطلقا ولن تشعر بأى اهتزاز فى مصدر التغذية ، لكن بالطبع عند انقطاع التيار فلن يكون هناك مصدر شحن للبطارية ، ومن ثم سيستمر الـ UPS فى تغذية هذه الأحمال لمدة تتوقف على سعة البطارية وكمية التيار المسحوب منها ، ولذا يتم توصيف البطاريات عادة بوحدات الـ Amp-Hour.

ولذلك فإن أهم عنصرين يجب تحديدهما فى مواصفات الـ UPS عند شرائه هما:

1. **قيمة أقصى تيار يمكن أن يغذيه .**
2. **أقصى مدة لهذه التغذية .**

وبالطبع كلما زاد التيار وزادت المدة كلما كبر حجم الـ UPS وزاد سعره. و فى الغالب فإننا نحتاج لهذا الجهاز لمدة وجيزة (فى حالة أجهزة الحاسوب مثلا نحتاج لدقائق يمكن خلالها لمشغل الجهاز أن يخزن المعلومات التى يخشى من ضياعها) ، وأثناء هذه المدة الوجيزة تكون الشحنة المخزنة في بطاريات الـ UPS هي المصدر الوحيد للتغذية ، ويستمر ذلك إلى أن ينتهى جهاز الـ ATS من تحويل التغذية من المصدر الرئيسى إلى المصدر الاحتياطى (الديزل) ، وبعدها تعود البطارية لتشحن مرة أخرى لكن هذه المرة من خلال الديزل وليس من المصدر الرئيسى.

تابع المجموعة الأولى

2-4 لوحات التوزيع الكهربية

لوحات التوزيع هى أحد العناصر الأساسية فى أي منظومة للتمديدات الكهربية ، ووظيفتها الأساسية هى التحكم فى فصل وتوصيل التيار الكهربائى مع التشغيل الآمن لأى معدة أو جهاز ، بالإضافة إلى حماية الأفراد والممتلكات من الأذى ، والوقاية من التيار الزائد ، ومن تيارات العطل وكذلك الآثار الحرارية الناتجة من التشغيل أو عند الأعطال .

وهى ليست مجرد صندوق معدنى به قضبان توزيع BBs تركب عليها القواطع الكهربية CBs بأنواعها المختلفة (أو الفيوزات بأنواعها أو الـ LBS) بهدف الكابلات الخارجة من اللوحة ، وعدد من أجهزة القياس ولمبات البيان ، فالأمر ليس بهذه البساطة ، لأن طريقة توزيع وترتيب القواطع داخل اللوحة سيتحكم بشكل كبير في كفاءة الشبكة الكهربائية فيما بعد ، كما أن طريقة توصيل مجموعة اللوحات الكهربائية ضمن المشروع الواحد تؤثر بدرجة كبيرة على كفاءة الخدمة و استمرارية التوصيل كما سيتبين لاحقا . ويتم اختيار موقع لوحة التوزيع بحيث يكون قريبا من مركز الأحمال التى تغذى منها بغرض تقليل أطوال الكابلات والأسلاك ، وبالتالى التكلفة النهائية للمشروع.

ولوحات الجهد المنخفض تنقسم إلى نوعين : لوحات عمومية (رئيسية) ولوحات التوزيع الفرعية.

2-4-1 توصيف اللوحات الكهربائية

يمكن تصنيف اللوحات الكهربية حسب الشكل على النحو التالى :

(أ) اللوحات ذات الإطار المفتوح Open Frame Construction

نظراً لأن الأجزاء المكهربة بهذا النوع يتم بناؤها مكشوفة داخل إطار اللوحة ومن الممكن الوصول إليها من جميع الاتجاهات نتيجة لعدم وجود غطاء ، فإنه لا يسمح بتركيبها إلا داخل الأماكن المغلقة تفادياً لحدوث الصدمة الكهربائية.

(ب) اللوحات ذات البناء Construction Panels

تحقق هذه اللوحات الوقاية من التلامس مع الأجزاء المكهربة من واجهة اللوحة ولكن لا تحقق ذلك من الواجهات الأخرى التى يمكن منها الوصول إلى مكونات اللوحة بسهولة ، لذا يجب أن يتم تركيب هذه اللوحات فى الأماكن المغلقة فقط.

(ت) اللوحات ذات الخلايا Cubicle Construction

تكون اللوحات من هذا الطراز مغلقة من جميع الجوانب بحيث يستحيل لمس الأجزاء المكهربة بها أثناء التشغيل ، لذا فإنه من المسموح تركيبها فى أماكن التشغيل المفتوحة. ويصنع كل قسم من عدة خلايا وتكون مفردات المعدات مركبة خلف أبواب الأقسام المختلفة.

(ث) اللوحات ذات الوحدات القابلة للسحب Withdraw able units

يتم بناء هذه الوحدات داخل خلايا اللوحة ويمكن تقسيم الخلية إلى أقسام منفصلة كل منها يحتوى على وحدات قابلة للسحب وبذلك يضمن الأمان التام للأفراد والسهولة أثناء الصيانة.

(ج) اللوحات ذات الطراز الصندوقى Box type construction

وتتكون من مجموعة من الصناديق المجمعة مع بعضها بطريقة مأمونة وتحتوى على وحدات المعدات مثل قضبان التوزيع والـ CBs والكونتاكتورات. وتحول هذه الصناديق دون التلامس مع الأجزاء المكهربة. ويمكن أيضا إضافة حواجز للوقاية ، كما يمكن باستخدام درجة معينة من الحماية (على الأقل IP 55) استعمال هذا النوع من اللوحات فى الأماكن عالية التلوث بالغبار أو ذات ظروف التشغيل القاسية (على عكس الطرازات الأخرى).

وهناك العديد من النقاط الأخرى التى تؤخذ فى الاعتبار عند توصيف لوحات التوزيع ، ويمكن الرجوع للجزء الثانى فى الفصل الثامن للاطلاع على بعضها حسب الكود المصرى ، وستلاحظ هناك حجم الفرق بين طريقة توصيف اللوحات العمومية وحجم المعلومات الكثيرة اللازمة لدقة التوصيف مقارنة بلوحات التوزيع الفرعية. ويحسن الآن بالقارئ أن يذهب للفصل الثامن لقراءة التوصيف حسب الكود المصرى.

2-4-2 Code-IP للوحات التوزيع

ويلاحظ عند توصيف اللوحات الكهربائية استخدام ما يعرف بـ IP –Code و هو رمز مكون من رقمين (XY)

الرقم الأول X يتراوح بين 1 إلى 6 ، و يعطي مقياسا لدرجة حماية اللوحة ضد الأتربة.
أما الرقم الثاني Y فيتراوح بين 1 إلى 7 ، ويعطي مقياسا لدرجة حماية اللوحة ضد المياه.

و بالطبع كلما ارتفعت قيمة الرقمين (Y and X) كلما دل ذلك على مناعة اللوحة ضد المياه و الأتربة حتى نصل إلى اللوحة IP67 فنعني أنها لوحة مؤمنة تماما ضد المياه و الأتربة . Dust-Proof and Water-Proof . و تتدرج درجات الحماية كما فى الجدول 2-3.

وبالطبع كلما ارتفعت قيمة IP كلما ارتفع سعر اللوحة ، و كلما ارتفع أيضا سعر ملحقات اللوحة Accessories ، فعلى سبيل المثال فاللوحة IP66 تكون مزودة بإطار مميز من المطاط لا يسمح مطلقا بدخول الأتربة و المياه ، لكن هذا غير كاف ، لأنه عند استخدام هذه اللوحة ضمن منظومة التوزيع سنحتاج إلى عمل فتحات لدخول وخروج الكابلات ، و هذه الفتحات يجب أن تكون هى الأخرى مزودة بجلندات Glands مميزة وعالية الجودة حتى تدخل الكابلات من خلالها ثم تغلق بإحكام بعد مرور الكابلات لمنع تسرب الأتربة و المياه من هذه الفتحات . و سعر هذه الجلندات سيكون أيضا مرتفعا (ليس فقط سعر اللوحة). وهذه من النقاط التى قد تغيب عن بعض مسئولى التنفيذ فى المشروعات الكهربية ، فهو قد يهتم بالعنصر الأساسى - وهو بالطبع اللوحة الغالية السعر - لكنه يهمل فى توصيف ملحقات اللوحة ، فتضيع قيمة المواصفات العالية التى اشترطها فى اللوحة بسبب عنصر قد لا يمثل سعره 1% من سعر اللوحة.

جدول 2-3 : تصنيفات الـIP للوحات الكهربية

Y (الوقاية ضد المياه)	X (الوقاية ضد الأتربة)	IP
لا يوجد حماية	لا يوجد حماية	**0**
حماية ضد قطرات المياه الساقطة (قد تدخل لكن لن تضر)	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 50 مم	**1**
حماية ضد قطرات المياه الساقطة بدون قوة Drop-proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 12 مم	**2**
حماية ضد الأمطار Rain Proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 2.5 مم	**3**
حماية ضد المياه المقذوفة على اللوحة من أى زاوية Splash- proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 1 مم	**4**
حماية ضد المياه المندفعة بقوة Jet-Proof	قد تدخل بعض الهبات لكنه هناك حماية شبه تامة ضد الأتربة التى تضر التشغيل	**5**
ضد أمواج البحر	حماية مطلقة ضد الأتربة	**6**
ضد الغمر فى الماء		**7**

وأخيرا نشير إلى أنه قد يضاف فى بعض المواصفات رقم ثالث للإشارة إلى درجة حماية اللوحة ضد الاهتزازات Vibration خاصة فى اللوحات التى بها تيارات عالية تتسبب فى مجالات كهرومغناطيسية قوية.

3-4-2 تصميم لوحات التوزيع

الشكل العام للوحة الكهربية يوحى بأنها مجرد صندوق به مجموعة من القضبان النحاسية (5 بارات : 3PHASE +N+E) ومصنوعة من صاج جيد (سمكه لا يقل عن 2 ملم)، ومفصلات جيدة ، ولمبات بيان ، وأجهزة قياس إلخ

بالطبع هذا ما يراه الشخص العادى ، لكن : **هل يمكن مثلا لورشة حدادة إذا استخدمت صاج مناسب وبارات نحاسية جيدة ومفصلات ممتازة أن تنتج لوحات توزيع كهربية ؟** بالطبع لا!!.

لأن الخطأ فى تحديد المسافات - على سبيل المثال - بين قضبان التوزيع المركبة داخل اللوحة يمكن أن يترتب عليه انفجار اللوحة وتحطمها عند حدوث أول قصر فى الدوائر المغذاة من هذه اللوحة . ولتوضيح ذلك فإننا نذكر القارئ ببعض المبادئ الأساسية فى الكهربية.

فمن المعروف أن مرور تيار كهربى فى موصلين متوازيين ينتج عنه قوة تجاذب (إذا كان التيار فى الموصلين فى اتجاهين مختلفين) أو قوة تنافر(إذا كان التيار فى الموصلين فى نفس الاتجاه) وهذه القوة تتناسب طرديا مع شدة التيار وعكسيا مع مربع المسافة بين الموصلين.

وهذه القاعدة هامة جدا عند تطبيقها على لوحات التوزيع ، فعند حدوث عطل سيمر تيار عالى جدا فى اتجاه موحد خارج اللوحة من خلال القضبان المركبة داخل اللوحة ، فإذا كانت المسافة بين هذه القضبان صغيرة فستكون قوة التنافر بين القضبان كبيرة جدا ويمكن أن تتسبب فى **" خلع"** القضبان من اللوحة وانفجار اللوحة . ومن ثم فتصميم اللوحة ليس عملا سهلا بل هو يحتاج لدراسات وحسابات فنية.

4-4-2 ملاحظات عامة على اللوحات الكهربية

- يتم تركيب لوحة توزيع رئيسية قريبة من نقطة تغذية المبنى بالتيار الكهربائى وتتفرع منها المغذيات الرئيسية التى تغذى اللوحات الفرعية.
- يقسم المبنى إلى عدة مناطق يركب فى كل منها لوحة توزيع فرعية للتحكم فى الدوائر العمومية التى تغذى المنطقة.
- يفضل دائماً فى المبانى الكبيرة الممتدة أفقياً والتى تتكون من أجزاء يفصل بينها فواصل تمدد أن تختص كل لوحة أو عدد من لوحات التوزيع الفرعية بجزء من أجزاء المبنى وذلك لتقليل عبور التوصيلات والكابلات لفواصل التمدد إلى الحد الأدنى.
- يجب ترك فراغ كافى حول اللوحة من جهة التشغيل وبين واجهة اللوحة والحائط المقابل لها أو بينها وبين اللوحة التالية أو المعدات القريبة منها أو بينها وبين أى عائق لضمان سهولة التشغيل والصيانة للوحات.
- يجب تأريض أجسام جميع لوحات التوزيع.
- اللوحات الرئيسية تكون مزودة بأجهزة لقياس الجهد والتيار ، بالإضافة إلى الطاقة المستهلكة بصورها المختلفة (KWh, kW and kVAR). وقد تزود بأجهزة لقياس معامل القدرة (Power Factor) أو التردد ، وذلك كله حسب حجم وأهمية اللوحة.
- يجب أن تزود لوحات التوزيع المنزلية بأجهزة حماية ضد التسريب Earth Leakage CB فى معظم الأكود وليس كلها.
- يفضل أن يكون كل واحد من بارات اللوحة معزولاً بواحد من الألوان الثلاثة (أحمر – أصفر –أزرق) حتى لا يحدث أخطاء فى توصيل الدوائر وتوزيعها بين الـ 3-Phases كما فى الصورة 2-5 .
- يجب عند التنفيذ أن تستخدم جميع الدوائر التى تغذى من Red-phase موصلات حمراء اللون ، وأن نستخدم لجميع الدوائر المغذاة من Blue-phase موصلات زرقاء وهكذا ، مع مراعاة أن يكون موصل خط التعادل (Neutral) أسود اللون ، وأن يكون خط الأرضى Earth أخضر، أو أخضر /أصفر.
- لمبات البيان في لوحات التوزيع الجهد المنخفض يجب أن تغذي مباشرة من أطراف كابل الدخول . فالبعض أحيانا يغذي هذه اللمبات من نقاط A_2 B_2 C_2 (أى من نقط الخروج للقاطع الذي يحمي كابل التغذية الرئيسى) ، وهذا خطأ ، والصحيح أن تغذى اللمبات من نقاط الدخول على القاطع (A_1,B_1,C_1) لأن دور لمبات البيان هو أن تعطى إشارة عن وجود مصدر التغذية من عدمه ، فإذا كان هناك عطل تسبب فى فصل القاطع الرئيسي للوحة أو حتى فصل قاطع فرعى داخلها فإننا ننظر أولا إلى لمبات البيان فإذا كانت اللمبات مضاءة فمعنى ذلك أن مصدر الكهرباء متاح وبالتالى فالخطأ سببه مشكلة داخلية وليست خارجية .أما إذا كانت اللمبات غير مضاءة فهذا يعنى أن العطل فى مصدر الكهرباء وليس فى اللوحة.

- يجب أن تزود اللوحات برسم مخطط Single Line Diagram أو جدول يبين طريقة توزيع الأحمال داخل اللوحة ، و اسم كل قاطع ، واسم كل حمل داخل اللوحة من أجل سهولة الصيانة والمتابعة بعد ذلك.

صورة 2-5 : شكل لوحة توزيع رئيسية من الخلف .

المجموعة الثانية : الكابلات والموصلات الكهربائية و طرق تمديداتها
Wiring & Raceways

إن أهم مبدأ يجب مراعاته عند التعامل مع المعدات الكهربية عموما هو مبدأ الأمان Safety ، وذلك نظرا لطبيعة الكهرباء وخطورة التعامل معها . ومن أجل تحقيق هذا المبدأ عند التعامل مع الكابلات فقد تميزت الكابلات بسمات خاصة تتعلق بالتركيب وطرق التمديد كلها صممت من أجل تحقيق عنصر الأمان . وقبل الدخول فى التفاصيل نشير إلى أن مصطلح "كابل" يطلق هنا على المغذيات الرئيسية Feeders التي تغذي لوحات التوزيع ، أما المصطلح " الموصلات Wires " فيطلق على الأسلاك المستخدمة في دوائر التغذية الفرعية وخاصة ذات المقطع الصغير.

وفى الأجزاء التالية سنتعرض لدراسة عدد من المواضيع المتعلقة بالكابلات وهى:

1. طرق تمديد الموصلات والكابلات Layout
2. تركيب الكابلات Cable structure
3. تصنيف الكابلات Classifications
4. عوازل الكابلات.
5. كيفية استخدام جداول الكابلات.
6. بعض مشاكل الكابلات.

كما سنتعرض فى جزء منفصل إلى الحديث عن الـ Bus Duct كأحد البدائل للكابلات . مع ملاحظة أن كيفية اختيار المقطع المناسب للكابل ، و الحسابات الخاصة بذلك سيتم شرحها بصورة تفصيلية في الفصل الرابع من الكتاب.

2-5 طرق تمديد الموصلات والكابلات

هناك عدة طرق لتمديد شبكة الكابلات والموصلات داخل المشروع الكهربى ، من أهمها:

- استخدام المواسير بأنواعها (Conduits) .
- استخدام حوامل الكابلات (Cable Trays) .
- الدفن المباشر فى الأرض .

2-5-1 تمديد الموصلات

يعتبر عنصر الأمان هو الأهم داخل المبانى ، ومن ثم توضع جميع الموصلات (الأسلاك) داخل مواسير Conduits ، و هذه المواسير تكون إما خارجية ، أو داخل الحوائط أو تحت الأرضيات. وهناك أنواعا عديدة من المواسير Conduit ، فمنها المواسير البلاستيك PVC وتتميز بخفة الوزن وكونها لا تحتاج لتأريض ، وكذلك تتميز بسهولة الثنى والقطع. ومنها أيضا المواسير المعدنية الصلبة والتى تعطى حماية ميكانيكية للموصل ، وهناك أيضا المواسير المرنة Flexible Conduit والتى غالبا تستخدم عند نهايات الأحمال من أجل سهولة فصلها عن الحمل أثناء الصيانة.

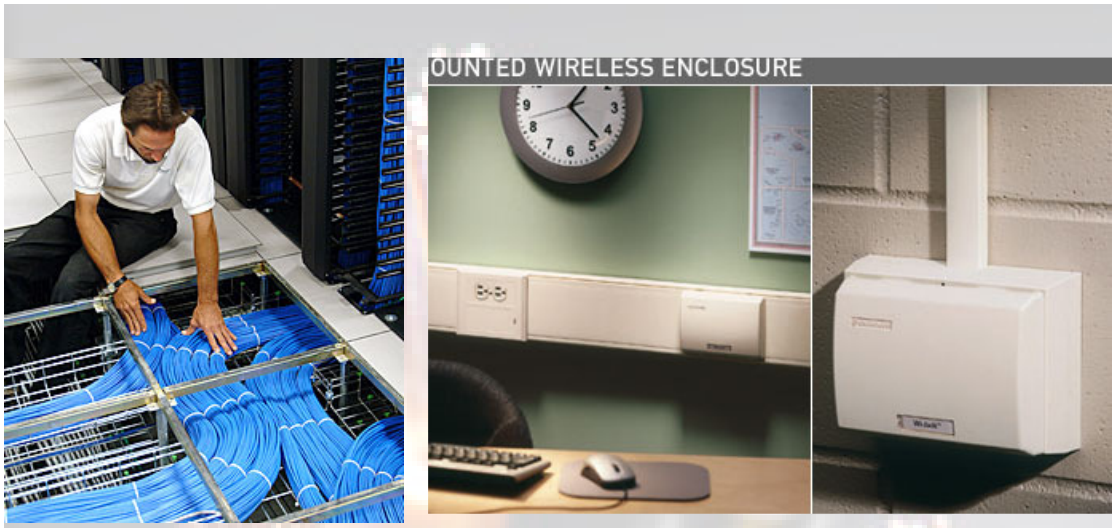
وأهم النقاط التى يجب مراعاتها عند التعامل مع هذه المواسير طبقا للموصفات هى :

1. التأكد من أن عدد الموصلات داخل الماسورة لا يتعدى الحد الأقصى الذى تحدده المواصفات طبقا لمقطع الموصل وقطر الماسورة.
2. تطبيق قواعد المسافة القصوى بين نقاط تثبيت الماسورة.
3. تصحيح الحد الأقصى لعدد الموصلات داخل الماسورة طبقا لعدد الانحناءات على طول مسار الماسورة ، والذى يجب ألا يزيد عن ثلاثة انحناءات متتالية. (إذا زاد العدد عن ذلك يلزم عمل صندوق اتصال ويسمى أيضا صندوق مناولة).

وتجدر الإشارة إلى أنه داخل المبانى يستخدم أسلوب آخر للتمديدات يعرف باسم الـ Raceways أو الترنكات Trunking ، وهى مصنوعة من البلاستيك أو المعدن ولها غطاء يمكن فتحه. وتتميز عموما بسهولة تغيير الدوائر بداخلها.

وبعض أنواع الـ Raceways أو الترنكات يكون تحت الأرض لاسيما فى المكاتب ، والبعض الآخر يركب فوق الحوائط كما فى الصورة 2-6. وغالبا تستعمل الـ Raceways المركبة فوق الحوائط حين يكون هناك العديد من المخارج المنوعة التى تضم مخارج كهربية ومخارج للتلفونات والانترنت وغيرها. وأيضا يكثر استخدامها مع أجهزة الحواسب الآلية ، حيث تحتاج هذه الأجهزة لمخارج منوعة كثيرة (طباعة ، كهرباء ، تليفونات ، نت ، ....) ولا يصلح معها المواسير المدفونة بالحوائط .

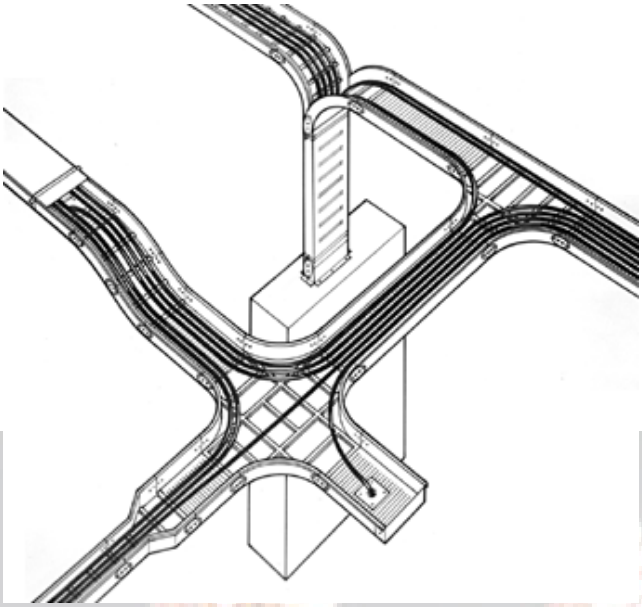
وهناك أنواعا حديثة من هذه الـ Raceways تتصل المخارج فيها بـ Busbars داخلية ممدة بطول الـ Raceway ، وبالتالى تسمح بتغيير المكان الذى تضع فيه الجهاز على طول الـ Raceway مما يعطى حرية فى تغيير نظام المكاتب وطريقة وضع الأثاث بلا أدنى مشكلة. وما عليك سوى تحريك الغطاء يمينا ويسارا لتغلق مخرجا قديما وتفتح مخرجا جديدا فى مكان آخر.



صورة 2-6 بعض أنواع الـ Raceways : فوق الحوائط (يمين) ، تحت الأرض (شمال).

2-5-2 تمديد الكابلات

تتوقف الطريقة التى يتم اختيارها لتمديد كابل على عدة عوامل ، من أهمها طبيعة المشروع . فالمشروعات الصناعية مثلا يفضل معها استخدام Cable Trays لكون الكابلات توضع على هذه الحوامل مكشوفة كما فى الشكل 2-7 ، وبالتالى فتسريب الحرارة من الكابل يكون أفضل منه من وضعها داخل مواسير ، كما يسهل تتبع الأخطاء التى يمكن أن تحدث بالكابلات (وما أكثرها فى حالة المنشآت الصناعية) .



شكل 2-7 : تمديد الكابلات فوق Cable trays

بينما يفضل دائما فى حالة تمديد الشبكات الرئيسية بالمدن أن تكون الكابلات مدفونة مباشرة بالأرض ، لأن ذلك أفضل من حيث جودة التسريب للحرارة المتولدة بالكابلات ، كما أنه أوفر اقتصاديا (تذكر أننا هنا سنتعامل مع عدة كيلومترات وليس أمتارا).

2-5-3 دفن الكابلات بالأرض :

عند دفن الكابل في الأرض مباشرة يراعى أن يتم على النحو التالي :

- عمق الدفن لا يقل غالبا عن 80 سم .
- توضع أولا طبقة من الرمل الناعم بسمك 10 سم ثم يتم تمديد الكابل فوقها مباشرة .
- يضاف الرمل مرة أخرى فوق الكابل بعد تمديده حتى نصل لارتفاع 20 سم من عمق الدفن.
- نضع قوالب من الطوب على طول مسار الكابل كعلامة إرشادية.
- نرد التراب العادي الذي خرج أثناء الحفر إلى الحفرة مرة أخرى حتى مسافة 20 سم من حافة الحفر ، ثم نضع شريط تحذير أصفر عند هذا العمق . وبعد وضع الشريط نستكمل الردم ثم نضع طبقة من الأسفلت لرصف الشارع.

- في حالة وضع أكثر من كابل داخل الخندق الواحد يراعى وضع Separators جاهزة (قديما كنا نستخدم قالب طوب) للفصل بينهما على طول مسار الكابلين وليعمل كحاجز للحريق بينهما ، مع ترك مسافة مناسبة بين الكابلين لتحسين الـ De-rating factor .
- عند قطع مسار الكابل لأي شارع يجب أن يوضع الكابل داخل ماسورة PVC لزيادة حماية الكابل من الضغوط الميكانيكية الناتجة عن عبور السيارات فوق الكابل ، مع ملاحظة أن سمك طبقة الرمل تزداد إلى 30 سم في هذه الحالة لنفس السبب.
- قطر الماسورة يجب أن يزيد عن قطر الكابل 4 سم لضمان سهولة تمديد الكابل فيه.
- لاحظ أن التحميل الزائد للكابل سيتسبب في زيادة حرارة المتولدة داخل الكابل المدفون بالأرض مما يترتب عليه ارتفاع درجة الحرارة التربة و تبخر الرطوبة بها و هذا يتسبب في زيادة المقاومة الحرارية للتربة فتصبح أقل كفاءة في تسريب حرارة الكابل ، وقد يترتب على ذلك - في حالة استمرار تزايد الحرارة - أن يدخل داخل الكابل في مرحلة Thermal Run away أي مرحلة الانهيار الحراري ، و ينتهي الأمر باحتراق الكابل .

2-5-4 ملاحظات عامة على تمديد الكابلات

- يجب ألا نضع كابل منفرد Single Core داخل ماسورة معدنية لأن التيار الكهربي المار به يصاحبه مجال مغناطيسي يتسبب في نشوء تيار حثى Induced Current داخل الماسورة المعدنية قد يتسبب في سخونة الماسورة و من ثم احتراق الكابل بالإضافة الى الفقد الكبير في القدرة.

- يجب وضع Fire Barrier (حاجز للحريق) بين كابلات القوى العادية و كابلات الطوارئ إذا كانا موضوعين على حامل كابلات واحد و ذلك لحماية كابلات الطوارئ. والبعض يفضل عمل مسارين مختلفين حتى يتجنب استخدام الـ Fire Barrier لارتفاع سعره.
يجب وضع كابلات الـ Control ، وكابلات التليفونات و غيرها من كابلات التيار الخفيف على مسافة لا تقل عن 30 cm بعيدا عن كابلات القوى منعا لحدوث تداخل مغناطيسي. ويمكن الاسترشاد بالمسافات الواردة فى الكود المصرى كما فى الجدول 2-4 :

جدول 2-4 : المسافات بين الأنواع المختلفة من الكابلات

(أ) كابل جهد منخفض بجانب كابل اتصال	المسافة 300 مم على الأقل
(ب) كابل جهد منخفض بجانب كابل تحكم	بدون مسافة فاصلة
(ت) كابل تحكم بجانب كابل تحكم	بدون مسافة فاصلة
(ث) كابل جهد منخفض بجانب كابل جهد منخفض	قطر الكابل وبحد أدنى 10مم وتستعمل فواصل بين الكابلات توضع كل مسافة تتراوح ما بين 1و1.5 متر
(ج) كابل جهد متوسط بجانب كابل جهد متوسط	150 مم ويفصل بينهما إذا كانت مدفونة في الأرض بقوالب طوب توضع رأسياً على جانبها

6-2 تركيب الكابل

يتكون الكابل فى أبسط صوره من موصل ذى مقاومة منخفضة (نحاس أو ألومنيوم) يسمى قلب الكابل (Core) مغلف بعازل لعزل الموصلات عن بعضها البعض ، وعزلها عما يحيط بها ، وعن الأرض. وفى حالة الكابلات التى تستخدم فى التمديدات الكهربية فإن الكابل لا يحتوى فى تركيبه على أكثر من ذلك ، ولذا تسمى بالكابلات المرنة. ولكن بصفة عامة كلما ارتفع الجهد كلما ازداد تركيب الكابلات تعقيدا ، حتى تصل مكونات الكابل فى بعض الجهود العالية إلى ثمانية طبقات هى كما فى الصورة 2-7 :

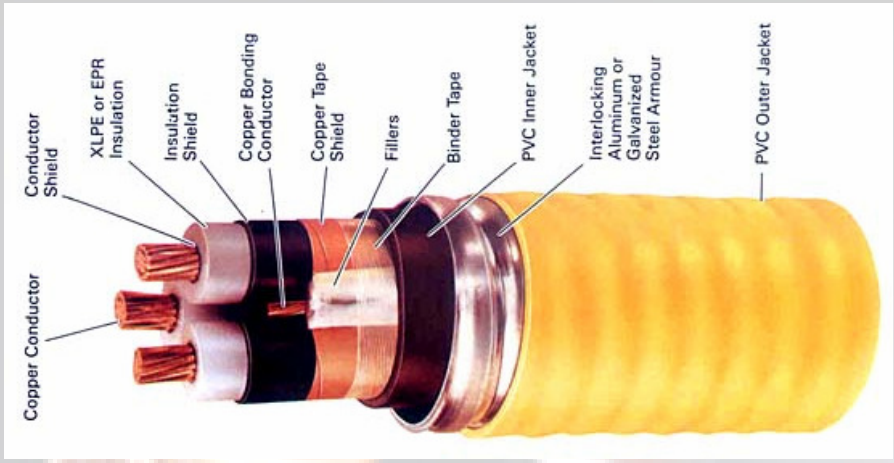
1- موصل معدنى Conductor وهو الحامل للتيار (نحاس أو ألومنيوم).
2- ستارة الموصل (Conductor Screen) و تسمى أيضا حجاب الموصل Conductor Shield وهى طبقة رفيعة من مادة شبه موصلة تستخدم للحصول على توزيع أفضل للمجال الكهربي على السطح المشترك بين الموصل والعازل. فمن المعلوم أن الموصلات تصنع مجدولة (Stranded) وبالتالى فالسطح المشترك بينها وبين العازل لا يكون منتظما مما يؤدى إلى عدم انتظام توزيع المجال الكهربى ، وقد يؤدى ذلك إلى ارتفاع قيمة المجال إلى قيم عالية فى بعض النقاط مما قد يؤدى إلى انهيار العزل. ومن هنا جاءت أهمية هذه الطبقة التى تجعل سطح الموصل أملسا قدر المستطاع.
3- العازل الرئيسي Insulation or Dielectric وأشهر الأنواع هى الـ PVC and XLPE
4- غلاف العازل Insulation Shield ، وهى طبقة رقيقة جدا من مادة شبه موصلة تؤدى نفس الدور الذى تقوم به ستارة الموصل ، حيث أن الطبقة التالية ستكون معدنية أيضا. وبالتالى فهى تساعد فى توزيع المجال الكهربى بانتظام على السطح الخارجى للعازل.
5- ستارة العازل المعدنية Metallic Sheath أو الغلاف المعدني Tape Shield وهى شريط نحاسى سمك 0.1 mm ، ويقوم بالدور الأساسى فى الحماية الميكانيكية للكابل و لا سيما حماية الكابل من

تسرب الرطوبة بداخله . وقديما كان هذا الغلاف يصنع من الرصاص لكنه أصبح يصنع من الألومنيوم لخفة وزنه و رخص سعره إضافة إلا أنه لا يتأثر بالاهتزازات الميكانيكية كالتي تحدث بخطوط السكك الحديدية أو الكباري . وقد يستخدم هذا الغلاف أيضا كشبكة تأريض معدنية و من ثم يجب الاهتمام بتصميمه ليتحمل تيار القصر.

6- حشو وبطانة (Filler): أما الحشو فيكون غالبا من الجوت لملأ الفراغ بين الـ Cores فى كابلات الـ Multi-core ، و أما الـ Inner Jacket فغالبا تكون من PVC.

7- درع معدني (Armour) أو التسليح وذلك لزيادة الحماية الميكانيكية للكابل ، وهى عبارة عن أسلاك من الصلب المجلفن وأحيانا تكون على صورة شريط من الصلب المجلفن أو أسلاك الألومنيوم . وتنص بعض المواصفات على أن الكابلات الأعلى جهدا من 1 kV يجب أن تكون ذات تسليح معدنى.

8- الغطاء الخارجي Outer Jacket لحماية الأجزاء المعدنية خاصة الألمنيوم من التآكل وعادة يكون من الـ PVC.



صورة 2-7 : تركيب الكابل فى صورته العامة.

2-7 تصنيف الكابلات

الكابلات أنواع عديدة ، ويمكن تصنيفها على أسس متعددة مثل جهد التشغيل أو نوع الموصل أو نوع العازل أو عدد الـ (Cores) فى الكابل الواحد ، وكذلك يمكن أن تصنف حسب مجال استخدامها.

2-7-1 التصنيف حسب جهد التشغيل

- تصنف الكابلات حسب جهد التشغيل إلى:
  - كابلات الجهد العالى (أعلى من 66kV) .
  - كابلات الجهد المتوسط (أعلى من 3.3 kV) .
  - كابلات الجهد المنخفض .

مع ملاحظة أنه لا يوجد اتفاق عالمى على قيم محددة لهذه التصنيفات ، وربما تختلف من مكان لآخر. لكن أهم ما يميز كابلات الجهد العالى هو تعقد التصميم مقارنا بالكابلات الأخرى نتيجة الحاجة لكفاءة عزل عالية جدا ، والحاجة أيضا لأساليب تبريد أكثر كفاءة ، فارتفاع الجهد والتيار يؤديان إلى ارتفاع قيمة المفقودات Losses سواء خلال الموصلات أو خلال العوازل ، وهذا بالطبع سيؤدى إلى ارتفاع فى درجة حرارة الكابل.

2-7-2 التصنيف حسب نوع الموصل

وهناك نوعان من الموصلات هما النحاس والألومنيوم ، و كلاهما جيد التوصيل للكهرباء ، وإن كان النحاس أفضل حيث يصل معامل التوصيل Conductivity له إلى 1.724 μΩ.cm مقارنة بمعامل التوصيل

للألومنيوم الذي يصل إلى أقل من نصف هذا الرقم ، غير أن الألمونيوم يتميز بأنه أرخص سعرا ، وأخف وزنا ، حيث تصل كثافة الألومنيوم النوعية الى أقل من ثلث كثافة النحاس النوعية.
ويعتبر تكون طبقة رقيقة صلدة من أكسيد الألومنيوم على سطح الموصل من العيوب الأساسية لموصلات الألومنيوم ، ورغم أن هذه الطبقة من جهة تحمى الموصل من التآكل لكنها من جهة أخرى تتسبب فى مشاكل عديدة فى عمليات اللحام وتركيب أطراف الكابلات (Glands).

ويجب ملاحظة أن وجود معادن أخرى مدفونة تحت الأرض بجوار كابلات الألومنيوم ولها أنودية أقل من الألومنيوم مثل النحاس أو الرصاص قد تساعد فى عملية تآكل كابلات الألومنيوم ، وتظهر هذه المشكلة بوضوح عند تركيب كابلات الألومنيوم على بارات نحاس داخل لوحة التوزيع ، حيث يبدأ بعد فترة حدوث تآكل فى الألومنيوم ، ولذا نستخدم ما يسمى Bi-metal Gland لمنع حدوث هذه المشكلة داخل لوحات التوزيع. والـ Bi-metal Gland عبارة عن وصلة معدنية خاصة مصممة للاستعمال بين معدنين مختلفتين.

3-7-2 التصنيف حسب نوع العازل

فى الكابلات المستخدمة مع التمديدات الكهربية تكون المادة العازلة غالبا إحدى المواد البوليميرية مثل :

1- البولى فينيل كلورايد PVC ويتميز بخواص كهربية ممتازة عند الجهود المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة إلى جانب رخص ثمنه. ومن ثم فهو دائما الاختيار الأول فى جميع أنحاء العالم حتى جهد 3.3kV ، حيث ترتفع قيمة مفقودات العزل مع الجهود الأعلى من ذلك. لكن يعيب هذا النوع أن عازليته تتأثر بدرجة الحرارة ومن ثم لا يصلح فى التطبيقات ذات الحرارة العالية ، فعند ارتفاع درجات الحرارة تكون مادة (PVC) أكثر ليونة وهذا بالطبع غير مرغوب فيه . كما أن مقاومته تكون ضعيفة فى درجات الحرارة المنخفضة جدا و يمكن أن يحدث به تشققات . و يتميز الـ PVC بخاصية الإطفاء الذاتى للهب ، فهو يشتعل عند تقريب لهب إليه لكنه ينطفئ بمجرد إبعاد اللهب عنه ، إلا أنه ينتج غازات سامة عند اشتعاله. وأخيراً ، يجب أن يراعى ألا يتعرض الـ PVC إلى الانحناءات الحادة فهو ليس مثل المطاط مثلا فى هذه الخاصية.
2- البولى إيثيلين التشابكى XLPE ، ويتميز بمقاومة عالية للرطوبة ، وتحمل درجات الحرارة المرتفعة ، وتحمل حالات القصر والتحميل الزائد. وهو أصلد العوازل المعروفة ولذا لا يحتاج غالبا إلى تسليح إلا عند توقع تعرضه لإجهادات ميكانيكية عنيفة لاسيما عند دفنه بالأرض ، مع ملاحظة أن هذه الصلادة تستلزم تجنب تعرضه لانحناءات شديدة أثناء التمديد.
3- العوازل المطاطية وأهمها الإثيلين بروبلين EPR ، ويعتبر المطاط مقاوم للمياه ولكنه لا يقاوم النفط والبنزين .

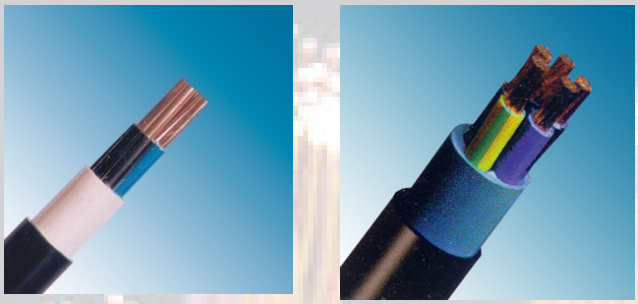
4-7-2 عناصر أخرى لتصنيف الكابلات

- تصنف الكابلات أيضا إلى كابلات مسلحة Armoured و غير مسلحة Non-Armoured . و يقصد بالتسليح هذا الشريط الصلب (سمكه حوالى 0.5-0.1 ملم) الذي يلف حول الكابل من الخارج لإعطائه صلابة ميكانيكية تحميه من الضغوط الخارجية التي تقع على الكابل مثل وزن التربة و السيارات المارة فوقها ....إلخ كما يظهر فى الصورة 2-8 (يمين). مع ملاحظة أن التسليح يقلل كثيرا من مرونة الكابل وسهولة التعامل معه.

صورة 2-8 :كابلات مسلحة (يمين) وغير مسلحة(يسار).

لاحظ أن الكابلات التى توضع داخل المباني أو فوق حاملات الكابلات Cable Trays لا تكون معرضة لأي ضغوط ميكانيكية لذا يناسبها النوع الثاني الغير مسلح Non-Armoured الذى يظهر فى الصورة 2-8 يسار).

كما يمكن **تصنيف الكابلات حسب عدد الـ Cores** ، فالكابل أما أن يكون Multi -core حيث تكون الأوجه الثلاثة وكابل التعادل (3- Phases+ Neutral) كلهم داخل عازل الكابل الخارجى كما فى الصورة 2-9 (يمين) ، أو يكون Single -core كما فى الصورة رقم 2-9 (يسار) .
وعموما يفضل النوع الـ (Multi-core) لسهولة التعامل معه من حيث نقله وتمديده فى المواسير. أما مع المقاطع الكبيرة (غالبا أكبر من 240 ملم) فتصبح هناك صعوبة فى لف الكابل حوله البكرات التى تنقله من المصنع إلى المستهلك ، كما تصبح هناك صعوبة بالنسبة للعمال فى تمديد الكابل داخل المواسير أو حتى داخل خنادق الكابلات بسبب وزنه الزائد ، ومن ثم ففى هذه الحالات يفضل استخدام كابلات من النوع الـ Single Core .



صورة 2-9 :كابلات: Multi-core (يمين) & Single core (يسار).

2-8 عوازل الكابلات

سبق الحديث فى الجزء السابق عن تصنيف الكابلات حسب نوع العازل ، وذكرت هناك ثلاثة من أشهر أنواع عوازل الكابلات وهى البولى فينيل كلورايد PVC ، و البولى إيثيلين التشابكى XLPE ، و العوازل المطاطية. واستكمالا للفائدة ، نشير هنا إلى مواد أخرى تستخدم فى عزل الكابلات والموصلات مثل :

A-الزيت العازل: يعد الزيت العازل من أهم العوازل الكهربية المستخدمة فى المحولات والكابلات والقواطع. ولكى يمكن الاعتماد على الزيت كعازل جيد يجب توافر عدة شروط منها أن يكون الزيت على درجة عالية من النقاوة ، لأن وجود الشوائب يساعد على انهيار عزل الزيت . ويجب أن تكون الرطوبة الموجودة فى الزيت أقل ما يمكن ، لأن زيادة نسبة الرطوبة تساعد على انهيار عزل الزيت . كما أن درجة الحرارة العالية تؤدى الى انخفاض قيمة الجهد اللازم لانهيار عزل الزيت . وجهد الانهيار للزيت يتراوح بين kV/cm (70-120) وهذا يعنى أنه أعلى من جهد الانهيار للهواء الذى يساوى 30 kV/cm فقط .
B-الورنيشات العازلة اللاصقة : وهى مواد لها أهمية كبرى فى الصناعات الكهربية وخاصة فى صناعة الآلات والأجهزة وأهم فوائدها أنها تعطى عمرا طويلا للمواد العازلة الأخرى ، و تحمى المواد العازلة والملفات من الرطوبة و تقلل من تماسك التراب والغبار بالملفات المكشوفة .
C-العوازل المعدنية Mineral Insulation ، ويتكون هذا النوع من العوازل من مسحوق أكسيد المغنسيوم ، ويستخدم فى الأماكن ذات درجات الحرارة العالية حيث يتميز بأن له مقاومة عالية ضد الحريق .

2-8-1 قياس عزل الكابلات

يعتبر مدى تحمل العازل للإجهاد الكهربائى دون أن ينهار من الصفات المهمة للعازل ، والتى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار فى العديد من التطبيقات.

ويقصد بانهيار العازل فقدان العازل لخاصية العزل وتحوله الى موصل . وتقاس متانة العازل بدلالة المجال الكهربائى (E) الذى ينهار العزل عنده ، فإذا كان لعازل ما سمك قدره (d) متر وكان الجهد بين طرفيه عند

الانهيار هو (V) فولت فإن : $E = \frac{V}{d}$. وتعرف القيمة القصوى لتحمل العزل بالمتانة الكهربية للعزل Dielectric Strength.

وتقاس المتانة الكهربية للعزل أيضاً بقيمة أخرى تسمى Impulse Strength ، وتعبر عن تحمل العزل لجهود شديدة الارتفاع لكنها لمدد وجيزة جدا ، وتحدث فى الواقع العملى عند لحظات الـ Switching أو بسبب الصواعق الرعدية (Lightning).

وتجدر الإشارة إلى أن واحداً من أهم الاختبارات التى تجرى على الكابلات عند تسليم الأعمال هو اختبار العازلية حيث يتم اختبار الكابل تحت جهد مرتفع تحدده الموصفات لضمان سلامة العزل وجودته ، وذلك قبل إطلاق التيار بالكابل كما سيتم شرحه بالتفصيل فى الفصل الأخير من هذا الكتاب.

2-8-2 تصنيف العوازل

يعتبر تحمل المواد العازلة لدرجات الحرارة المختلفة من الخواص المهمة فى تصنيف العوازل الكهربية ، ولهذا السبب تقسم المواد العازلة إلى سبعة أصناف كل منها يستعمل حتى درجة حرارة معينة كما ورد فى مواصفات جمعية المهندسين العالمية IEC والمختصرة فى الجدول 2-5:

جدول 2-5 : تصنيف العوازل حسب تحملها لدرجة الحرارة

الصنف	أقصى درجة حرارة	أمثلة
Class (0)	(90 Cº)	هذا الصنف يحتوى على المواد الآتية : القطن – الحرير- الورق بدون أن تعالج بمواد أخرى .
Class A	(105 Cº)	وهذا الصنف يشمل المواد السابقة (القطن ، الحرير ، الورق) بعد معالجتها بالورنيش العازل أو الزيت.
Class (B)	(130 Cº)	ويشمل المايكا والاسبستوس ونسيج الحرير.
Class (F)	(155 Cº)	ويشمل المواد السابقة بعد معالجتها بمواد لاصقة.
Class (H)	(180 Cº)	ويشمل المواد السابقة ومعها السيليكون المرن بعد معالجتها بمواد لاصقة.
Class-220	(220 Cº)	ويشمل أى مادة عازلة تتحمل 220 درجة مئوية .
Class (C)	over (220 Cº)	وتشمل الخزف الصينى والزجاج والكوارتز.

2-9 جداول الكابلات

و من الضروري أن يكون المهندس على دراية تامة بطريقة استنتاج المعلومات الخاصة بالكابل من جداول الكابلات. والجدول 2-6 يمثل نموذجا مصورا من إحدى كتالوجات شركات الكابلات.

جدول 2-6

0.6/ 1(1.2) kV , multi-core Cables, with stranded Copper Conductors , PVC-Insulation, PVC, sheathed

ACC - Code	Nominal Cross Sectional Area	Max. Conductor Resistance		Current Rating			Approx. Overall Diameter	Approx. Weight
		DC at 20°C	AC at 90°C	Laid Direct in Ground	Laid in Ducts	Laid in free Air		
	MM^2	Ω / KM	Ω / KM	A	A	A	MM	KG/KM
Two Core Cables								
CX1-T102-U04	1.5 rm	12.1	15.4	30	25	25	11.6	164
CX1-T102-U06	2.5 rm	7.41	9.45	37	32	34	12.6	198
CX1-T102-U08	4 rm	4.61	5.88	50	40	46	13.6	263
CX1-T102-U09	6 rm	3.08	3.93	63	52	60	14.8	325
CX1-T102-U10	10 rm	1.83	2.33	82	69	79	16.9	459
CX1-T102-U11	16 rm	1.15	1.47	106	83	105	18.9	647
CX1-T102-U12	25 rm	0.727	0.927	139	107	139	22.2	946
CX1-T102-U13	35 rm	0.524	0.669	166	134	166	24.5	1212
Three Core Cables								
CX1-T103-U04	1.5 rm	12.1	15.4	26	23	22	12.2	181
CX1-T103-U06	2.5 rm	7.41	9.45	35	29	32	13.0	234
CX1-T103-U08	4 rm	4.61	5.88	45	36	41	14.2	322
CX1-T103-U09	6 rm	3.08	3.93	57	45	50	15.6	393
CX1-T103-U10	10 rm	1.83	2.33	75	60	68	17.6	557
CX1-T103-U11	16 rm	1.15	1.47	97	75	89	20.2	900
CX1-T103-U12	25 rm	0.727	0.927	128	102	120	23.8	1300
CX1-T103-U13	35 rm	0.524	0.669	155	120	145	26.4	1700
Four Core Cables								
CX1-T104-U04	1.5 rm	12.1	15.4	26	23	22	13.0	218
CX1-T104-U06	2.5 rm	7.41	9.45	35	29	32	14.0	275
CX1-T104-U08	4 rm	4.61	5.88	45	36	41	15.2	397
CX1-T104-U09	6 rm	3.08	3.93	57	45	50	16.6	506
CX1-T104-U10	10 rm	1.83	2.33	75	60	68	18.7	734
CX1-T104-U11	16 rm	1.15	1.47	97	75	89	21.2	975
CX1-T104-U12	25 rm	0.727	0.927	128	102	120	25.3	1480
CX1-T104-U13	35 rm	0.524	0.669	155	120	145	28.0	2940
CX1-T104-U14	50 sm	0.387	0.494	185	145	179	27.9	2180
CX1-T104-U15	70 sm	0.268	0.343	220	180	225	31.6	3020
CX1-T104-U16	95 sm	0.193	0.248	265	210	268	35.4	4070
CX1-T104-U17	120 sm	0.153	0.197	305	245	310	39.2	5140
CX1-T104-U18	150 sm	0.124	0.160	335	275	352	43.6	6315
CX1-T104-U19	185 sm	0.0991	0.129	375	310	404	48.7	7860
CX1-T104-U20	240 sm	0.0754	0.099	435	365	483	54.5	10190
CX1-T104-U30	300 sm	0.0601	0.081	490	405	562	60.0	12640

1. يضم العمود الأول من جهة اليسار فى هذا الجدول المسمى الخاص بالكابل داخل الشركة المنتجة ، ومن ثم لا يفيدنا هنا فى شئ .
2. أما العمود الثاني فيضم مقاطع الكابلات مقاسة بالـ mm^2 .
3. العمود الثالث فى الجدول السابق يعطي مقاومة الكابل عند استخدامه في دوائر التيار المستمر DC ، أما العمود الرابع فيعطي مقاومة الكابل عند استخدامه في دوائر التيار المتردد AC . و هناك فرق بين مقاومة السلك فى الحالتين بسبب أن التيار المتردد يميل - كلما زاد التردد - إلى المرور فى أطراف السلك الخارجية بحيث تصبح مساحة السطح الفعلية أصغر من المساحة الأصلية .
4. العمود الخامس والسادس والسابع فى الجدول يندرجون جميعا تحت عنوان Current Rating ، وتمثل قيمة أقصى تيار يتحمله الكابل فى الظروف الطبيعية حسب طريقة التمديد (هل هو تمديد مباشر بالتربة ، أم فى مواسير ، أم بالهواء ، كما سيرد بالتفصيل فى الجزء التالى).
5. العمود قبل الأخير فى الجدول يمثل قطر الكابل الخارجى ، ونستفيد منه فى حساب قطر الماسورة المناسبة عند تمديد الكابل داخل مواسير.

6. أما العمود الأخير فيمثل وزن الكابل ونستفيد منه فى تصميم حوامل الكابلات خاصة فى حالة الكابلات الكبيرة التى يصل وزن الكيلو متر الواحد منها إلى عدة أطنان كما فى حالة الكابل $300mm^2$ الذى يصل وزن الكيلومتر الطولى منه إلى أكثر من 12 طن.

2-9-1 السعة الأمبيرية للكابل (Current Carrying Capacity)

لاحظ أن تحمل أى كابل للتيار يختلف من طريقة تمديد لأخرى ، فالكابل الموضوع فى ماسورة مثلا يتحمل تيارا أقل من الكابل الموضوع مباشرة داخل التربة .

وترجع اختلاف قيمة تحمل الكابل للتيار من ظرف لآخر إلى اختلاف كفاءة التبادل الحرارى بين الكابل والجو المحيط به. فالكابل تتولد فيه حرارة نتيجة مرور التيار فيه ، فإذا كان معدل طرد هذه الحرارة من الكابل أعلى من معدل توليدها داخله فإننا يمكن أن نزيد من قيمة التيار المار بالكابل والعكس صحيح . ومن ثم فإنه من غير الدقيق أن نقول أن الكابل الذى مقطعه $16mm^2$ مثلا يتحمل 80 أمبير. فهذه العبارة تعتبر غير دقيقة إلا إذا أضفنا إليها معلومة تشير إلى طريقة تمديد الكابل ، وهل هى مثلا فوق الأرض أم تحت الأرض ، وهل الكابل موضوع فى ماسورة Duct أم مباشرة فى الهواء فوق حامل كابلات Cable-Trays ، وهكذا.

وتقوم شركات الكابلات بأخذ ظروف التمديد المختلفة وكافة هذه المفقودات وما يترتب عليها من ارتفاع فى درجة حرارة الكابل فى الاعتبار عند حساب السعة الأمبيرية التي يتحملها الكابل ، ولذا تختلف القيم الموجودة فى الأعمدة 6، 7، 8 فى الجدول 2 – 6 . بمعنى آخر فإن هذا هو السبب في عدم صحة وجود قيمة واحدة لأقصى تيار ليتحمله الكابل . والملحق الثانى يعطى نموذجا لبعض جداول تحميل الكابلات المستخدمة فى دولة الكويت.

لاحظ أن هناك العديد من الجداول داخل كتالوجات الشركات ، حيث يختص كل جدول منهم بالسعة الأمبيرية للكابل فى ظروف تشغيل وتمديد معينة ، وحسب تصنيفات العازل والجهد والتسليح إلخ . ولذا يجب التأكد بدقة قبل استخدام قيمة تحمل الكابل من جدول معين أن هذا الجدول يتطابق عنوانه مع ظروف تشغيل الكابل المراد حساب سعته الأمبيرية .

2-9-2 كتابة اسم الكابل

تسمى الكابلات دائما بدلالة مساحة مقطعها وليس بقيمة التيار المار فيها ، فيقال كابل 10 ملم^2 ولا يقال كابل 50 أمبير مثلا . ويكتب اسم الكابل بطريقة يمكننا من خلالها استنتاج مقطع الكابل ونوعه (أحادى أم ثلاثى الأوجه) كما فى المثال التالى.

مثال 2-2

ما معنى الصيغة التالية لأحد الكابلات $3x95+50\ mm^2$ PVC/CU ؟

الحل:

هذه الصيغة تعنى أن لدينا:

كابل نحاسى ثلاثى الأوجه (3-phase) ، معزول بـ PVC و متعدد القلوب multi-core ، بداخله 4-cores ، مساحة المقطع فى ثلاثة منهم تساوى $95mm^2$ (وهذه الثلاثة تمثل الـ Phases الحاملة للتيار) ، بالإضافة إلى موصل رابع مقطعه $50mm^2$ ويمثل Neutral .

لاحظ أنه يمكن إجراء بعض التعديلات على الصيغة السابقة كما فى المثال التالى:

مثال 2-3

ما معنى الصيغة التالية لأحد الكابلات $(3x95+50)+25\ mm^2$ PVC/CU؟

الحل:

هذه الصيغة تعنى أن لدينا كابل multi-core ، مثل السابق بالإضافة إلى سلك مفرد للأرضى مقطعه $25mm^2$.

مثال 2-4

ما معنى الصيغة التالية 3[3x240+120] ؟

الحل:
هذه الصيغة تعنى وجود ثلاثة كابلات من النوع الـ Multi-core ، موصلة على التوازى ، ومقطع الـ Phase في كل كابل من الثلاثة يساوى $240mm^2$ ، بينما مقطع الـ Neutral فى كل كابل يساوى $120mm^2$.

10-2 مواصفات خط التعادل Neutral

مقطع الـ Neutral يكون غالبا نصف مقطع الـ Phase ، وهذا طبيعى ، لأن المفترض نظريا أن سلك Neutral لا يمر فيه تيار فى حالة اتزان الأحمال على الـ Phases الثلاثة ، وحيث أنه فى كل الأحوال الطبيعية يكون مجموع الأحمال الثلاثة يقترب من الصفر وأقل من تيار أيا من phases وبالتالى فكان طبيعيا أن يكون مقطع الـ Neutral أصغر من مقطع الـ Phases . لكن بالطبع هذا فرض نظرى ولا يمكن دائما التحكم فى اتزان الأحمال خاصة فى الأحمال السكنية .

وعموما ، ليس بالضرورة أن يكون مقطع الـ N نصف مقطع الـ Phase بل هناك استثناءات منها:

1- فى حالة الكابلات الصغيرة (أصغر من $35mm^2$) فإننا لا نحتاج لهذا الخفض فى مقطع الـ Neutral لأنه جدواه الاقتصادية محدودة جدا ، ثم إنه من الأسهل على شركات تصنيع الكابلات أن تجعل الكابلات الأربعة ذات مقطع موحد ، وبالتالى فالكابل مقطع $6\ mm^2$ يكتب اسمه على النحو التالى : $4x6\ mm^2$. وهذا يعنى أن الـ 3- Phases+ Neutral جميعهم لهم مقطع يساوى $6\ mm^2$.

2- فى حالة الأحمال الصناعية المحتوية على أجهزة Power Electronics أو الشبكات التى بها أجهزة UPS ، يفضل جعل الـ Neutral مساويا للـ Phase حتى نضمن عدم حدوث ارتفاع فى درجة حرارة الـ Neutral نتيجة الـ Third Harmonic التى تتولد من هذه الأجهزة الإلكترونية ويسمى هذا النوع من الكابلات Full Neutral Cable.

3- تستخدم الكابلات Full Neutral Cable أيضا فى حالة دوائر الإضاءة التى تستخدم اللمبات الفلورية Florescent Lamps حيث ترتفع قيمة الـ 3rd Harmonic بشدة ، مما ينتج عنه ارتفاع قيمة التيار فى الـ Neutral .

11-2 مشاكل الكابلات

هناك العديد من المشاكل المتعلقة بالكابلات نذكر منها هنا :

1-11-2 الفقد فى القدرة المنقولة Power Losses

القدرة الكهربية Electric Power المنقولة عبر أى كابل تتعرض لتناقص فى قيمتها Power loss نتيجة عدة عوامل منها :

1- الفقد بسبب مقاومة الموصل R ، وتقدر قيمة هذا الفقد من المعادلة :

$$P_{Loss}=I^2R \qquad 2\text{-}2$$

بمعنى أنه كلما زادت مقاومة الكابل كلما ارتفعت قيمة الفقد فى القدرة.

2- أيضا هناك مفقودات فى القدرة خلال العازل المحيط بالموصل Insulation Loss ، وهذه تحسب من المعادلة التالية:

$$P_{ins} = V^2 \omega C \tan\delta \qquad \text{.....} 2-3$$

حيث (δ) هى زاوية الفقد Loss angle لمادة العازل المحيط بالكابل ، وهى الزاوية بين الجهد والتيار المتسرب ، وهى تختلف عن زاوية الـ Power Factor التى تكون بين الجهد وتيار الـ Load . والزاوية (δ) إحدى الثوابت التى تميز مادة عازلة من أخرى ، ومن الواضح أنها كلما زادت قيمتها كلما زادت الـ Power loss خلال العازل.

3- وهناك أيضا فقد فى الغلاف المعدنى Metallic Sheath Loss ، وهذا يحدث نتيجة التيارات الدوامية Eddy Current والتى تمر فى الغلاف المعدنى بتأثير الحث Induction ، ومن ثم تتسبب فى فقد فى القدرة.

وجميع هذه المفقودات تسبب ارتفاع فى درجة حرارة الكابل ، ومن ثم يجب التأكد دائما من وجود اتزان حراري للكابل ، بمعنى أن الحرارة المتولدة تساوى (أو اقل من) الحرارة المتسربة من الكابل . لاحظ أن الحرارة المتسربة من الكابل تتوقف فى حالة دفن الكابل تحت الأرض على المقاومة الحرارية لنوعية التربة ومسامية حبيباتها.

وفى حالة كابلات الجهد العالى - حيث المفقودات تكون ضخمة – فإننا نحتاج إلى كابلات زيتية Oil Filled Cable تستخدم أنابيب مملوءة بالزيت بامتداد طول الكابل بغرض التبريد. ويعيب هذا النوع من الكابلات أنه يتأثر بالارتفاعات والانخفاضات فى مستوى التربة على طول مسار دفن الكابل ، فيتجمع الزيت فى أماكن المنخفضات وينخفض مستواه فى أماكن الارتفاعات مما قد يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة الكابل فى (نقاط الارتفاعات) ومن ثم حدوث أعطال. ولذا فدائما تستخدم خزانات تعويضية ومضخات فى أماكن تغير مناسيب التربة لتجنب انخفاض مستوى الزيت فى أى منطقة على طول مسار الكابل. ومن ثم فهذه الكابلات تحتاج لخزانات زيت تعويضية عند أطراف الكابل ، و عند كل تغير (صعودا وهبوطا) فى مستويات الأرض المدفون بها الكابل.
والصورة 2-10 تبين مقطع فى أحد الكابلات الزيتية. لاحظ أن الزيت موجود فى منتصف الـ Core ، الذى يوجد فوقه طبقات العزل المختلفة.

صورة 2- 10 كابل زيتى

2-11-2 التيارات المتسربة

وهناك نوع آخر من المشاكل ، لكنه يتعلق هذه المرة بالتيار مباشرة. حيث تعتبر ظاهرة تسرب التيار على مدى طول الكابل خلال طبقات العازل التى تحيط بموصل الكابل من المشاكل السلبية التى تظهر بوضوح فى الكابلات ، ويسمى هذا التيار بتيار الشحن Charging Current أو التيار المتسرب Leakage Current . وتحسب قيمة هذا التيار من المعادلة:

$$I_C = V\omega C.....2-4$$

حيث

V هو جهد التشغيل مقاسا بالـ Volt.
ω ترتبط بتردد التيار(f) المار بالكابل من خلال العلاقة ($\omega = 2\pi f$).
C هى السعة (Capacitance) مقاسة بالـ Farad .

ومن هنا ، فكلما زاد جهد التشغيل ، أو زادت الـ Capacitance الخاصة بالكابل كلما ارتفعت قيمة التيار المتسرب على طول الكابل ، حتى أنه يصل إلى 13A لكل كيلومتر طولى فى الكابلات جهد 220 kV.
و عندما يصل طول الكابل إلى قيمة معينة (تسمى الطول الحرج Critical Length) فإن قيمة تيار الشحن المتسرب من الكابل تصبح مساوية لقيمة التيار المقنن للكابل I_R . و هذا يعني أن كل الـ Power المنقولة خلال الكابل قد تسربت ، و لم يصل للحمل منها شئ. و الطول الحرج في منظومة الـ 132 kV هو 64 Km ، بينما يصل هذا الطول الحرج في منظومة الـ 400 KV إلى 24 Km فقط.

2-11-3 تغير مقاومة الكابل

ومن مشاكل الكابلات أيضا ارتفاع قيمة مقاومة السلك فى دوائر التيار المتردد بسبب ميل التيار للمرور فى أطراف الكابل الخارجية ومن ثم تصبح المساحة الفعلية لمقطع الموصل التى يمر بها تيار كهربى أصغر ، وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة التأثير السطحى (Skin Effect) (انظر الشكل 2-8 يسار).
ونشير هنا إلى أن مقاومة الكابل الفعلية أيضا تزيد إذا وضع كابل أخر بجواره وكان يحمل تيارا ، حيث يميل التيار فى كلا الكابلين للتباعد عن بعضهما البعض مما يترتب عليه نقص فى المساحة الفعلية التى يمر فيها التيار ومن ثم ترتفع أيضا مقاومته الفعلية عن المقاومة المحسوبة نظريا ، وتسمى هذه الظاهرة بالتأثير التجاوري (Proximity Effect) (انظر الشكل 2-8 يمين) و بالطبع تزيد مقاومة الكابل كلما قلت المسافة بين الكابلين.

شكل 2-8 : التأثير السطحى (Skin effect) و التأثير التجاوري (Proximity effect)

أخيرا نشير إلى أن التيارات الدوامية eddy currents التي تمر في الأغلفة المعدنية للكابلات Metallic Sheath نتيجة وجود فيض مغناطيسي متغير تتسبب هي الأخرى في زيادة مقاومة الكابلات التي تحمل تيارا مترددا.

2-11-4 تغير مقاومة الكابل بالحرارة

لاحظنا أن المقاومة المذكورة بجداول الكابلات (مثل جدول 2-6) هى مقاومة الكابل عند 20 درجة مئوية (R_{20}) ، (فى بعض الكتالوجات تكون محسوبة عند 40 درجة مئوية) وهي قيمة يجب تعديلها إذا كان الكابل مستخدما فى بيئة درجة حرارتها أعلى من ذلك. ويمكن حساب القيمة المعدلة للمقاومة حسب درجة الحرارة الجديدة من المعادلة:

$$R_T = R_{20}\left[1+\alpha(T-20)\right]$$

حيث

α هى المعامل الحرارى لمادة الموصل (تساوى 0.0039 Ω/ **ºC** للنحاس بينما تساوى 0.004 للألومنيوم)

T هى درجة الحرارة الفعلية .

2-11-5 تأثر الكابلات بالرطوبة

تسرب الرطوبة لداخل العازل سواء الـ PVC أو XLPE يمكن أن يؤدى إلى نشوء ظاهرة التشجير المائى (Water Treeing) - لاسيما إذا كان سطح الموصل غير أملس والمجال غير منتظم - فعدم انتظام المجال يمكن أن يساعد فى وجود نقاط تركيز للمجال ذات قيمة مرتفعة فى المناطق ذات التنوءات بين سطح الموصل و العزل ، فيتكون شق يشبه الخيط الرفيع داخل العازل أو على أطرافه ، وتزداد تفرعات هذا الشق فى جميع الاتجاهات حتى يصنع ما يشبه الشجرة ، ومن هنا جاء الاسم لهذه الظاهرة التى تنتهى فى الأخير بانهيار العازل .

12-2 استخدام الـ Bus Duct

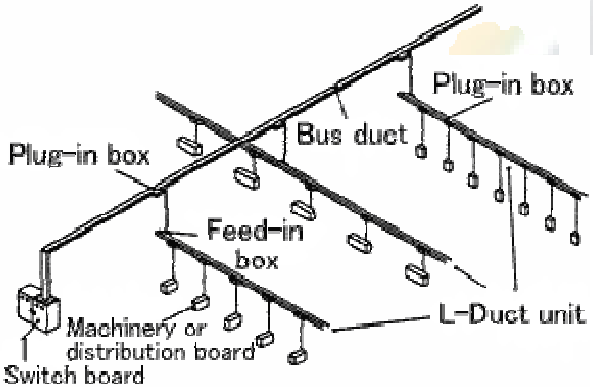
هناك بديل للكابلات هو الـ Bus Duct ، وهو عبارة عن بارات من النحاس أو الألومنيوم مجمعة معا ومعزولة عن بعضها داخل هيكل معدنى كما فى الصورة 2-11.

صورة 2-11 بعض أشكال الـ Bus Duct

ويستخدم الـ Bus Duct كبديل للكابلات فى كثير من الحالات ، لكنه يصبح البديل الأول المفضل فى حالة الأبراج العالية ، فعندها يصبح من غير الملائم اقتصاديا (وحتى شكليا) استخدام عدد كبير من الكابلات .

ويصبح استخدام الـ Bus Duct مفضلا أيضا فى حالة التعامل مع كابلات تحمل تيارات عالية و يؤخذ منها تفريعات على طول مسارها ، أو فى حالة أن يكون مكان الأحمال التى يتم تغذيها من هذه التفريعات قابل للتغيير من وقت لآخر ، فعندها يصبح تغيير مكان الـ Taps أو الـ Plug-In Units المركبة على الـ Bus Duct أيسر بكثير من تغيير منظومة الكابلات كما فى الشكل 2-9 .

ورغم أن المساحة التى يحتاجها عدد معين من الكابلات أكبر بكثير من مساحة الـ Bus Duct المكافئ ، لكن الكابلات تتميز عن الـ Bus Duct بشئ أساسى وهو الاعتمادية العالية Reliability لاسيما إذا كانت متصلة Continuous (أى بدون وصلات) من نقطة التغذية وحتى الحمل ، فهذه ميزة لها لأن أى Bus Duct لابد له من عدد من الوصلات لاسيما عند المنحنيات ، ومعلوم أن هذه الوصلات هى مصدر للكثير من الأعطال.



شكل 2- 9 : استخدام الـ Bus duct مع الأحمال المتنقلة

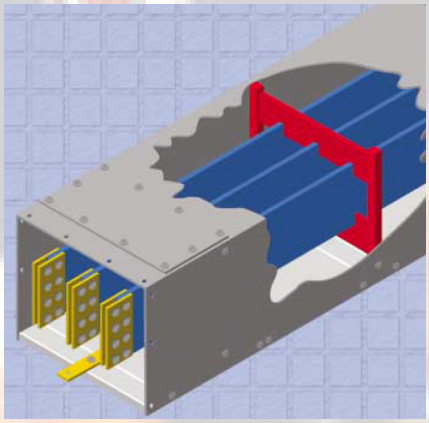
2-12-1 أنواع الـ Bus Duct

هناك ثلاثة أنواع من الـ Bus Ducts :

1- النوع الأول ويسمى Non-Segregated Duct .
2- النوع الثانى ويسمى Segregated Duct .
3- النوع الثالث ويسمى Isolated Duct .

والفرق الأساسى بين الأنواع الثلاثة - كما هو واضح من الاسم - هو فى طبيعة العزل الموجود بين الـ Phases الثلاثة .

ففى النوع الأول تكون الـ Phases الثلاثة داخل نفس الإطار المعدنى Housing وبدون فواصل بينهم سوى عوارض التثبيت التى تصنع من البورسلين أو البوليستر وتظهر باللون الأحمر فى الصورة 2-12 . ويتراوح تحمل هذا النوع بين 1200 أمبير و5000 أمبير ، و يمكن استخدامه حتى 38 kV ، وتتراوح مساحة المقطع له بين 24 بوصة حتى 96 بوصة.



صورة 2-12 : النوع الأول من الـ Bus Ducts

بينما فى النوع الثانى يكون هناك فواصل داخل الإطار المعدنى الذى يضم الـ Phases الثلاثة . أما النوع الأخير فيكون لكل Phase من الـ Phases الثلاثة غلاف معدنى Housing منفصل ، وهذا يعنى أن الـ Phases الثلاثة معزولة تماما عن بعضها البعض.

وتصنع البارات الداخلية الحاملة للتيار (تظهر باللون الأزرق فى الصورة السابقة) فى جميع الأنواع من النحاس بنقاوة تصل على 98 % وتطلى هذه البارات فى حالة الجهود الأعلى من 2400 فولت بمادة عازلة تتحمل حتى $130\ ^0C$ أى أنها (Class-B طبقا للجدول 2-5) ، وهذه المادة عبارة عن بودرة تعرف بـ Epoxy Powder Insulation. ومادة الـ Epoxy لا تشتعل ولها خواص حرارية ممتازة ، بالإضافة بالطبع إلى خواصها العازلية. وهذه المادة أيضا تساهم فى تقوية البارات وزيادة صلادتها . وتستثنى من الطلاء فقط مناطق الوصلات ، وعادة تتم هذه العملية فى أفران خاصة.

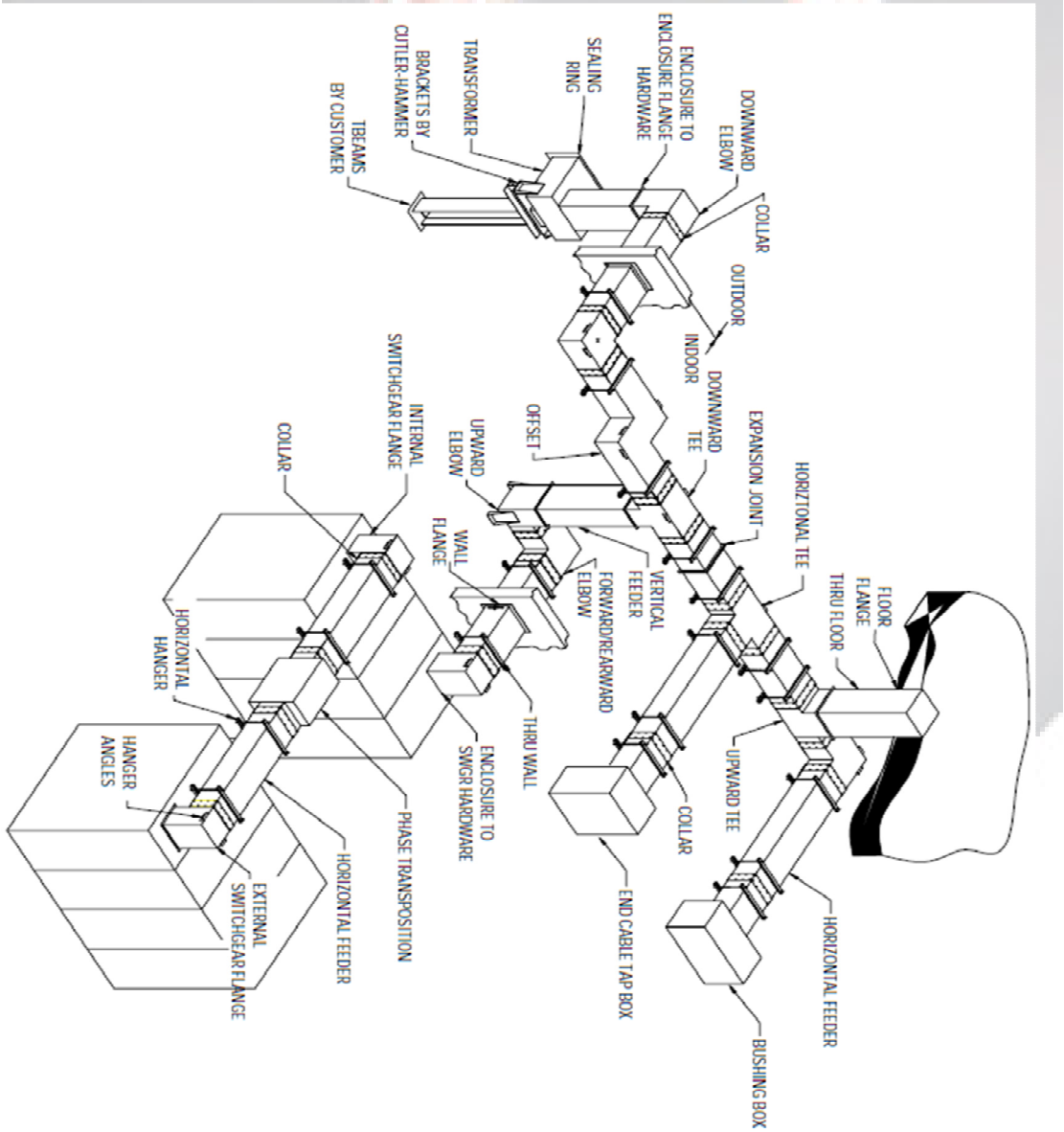
2-12-2 ملحقات الـ Bus Duct

يحتاج الـ Bus Duct عادة إلى وصلات (ملحقات) لعمل تغذيات فرعية للأحمال على طول مساره. والصورة 2-13 تمثل نموذجا لبعض هذه الوصلات. وأهم الملحقات الشائعة الاستخدام هى :

1- الـ Elpow ويستخدم لعمل تغيير فى زاوية السير بـ 90 درجة.
2- الـ Tee ويستخدم لعمل تفريعة ذات ثلاث أطراف.
3- الـ Offset ويستخدم لعبور العوائق.
4- وصلة التمدد وتستخدم إذا زاد الطول عن 50 قدم وذلك لمراعاة ظروف التمدد بالحرارة.
5- الـ Wall Flange وتستخدم عند عبور حوائط .
6- الـ Cable Tap box ويستخدم عند عمل اتصال بين كابل عادى وبين الـ Bus Duct.

صورة 2-13 : وصلات الـ Bus Duct

والصورة 2-14 تبين نموذجا متكاملا لتمديد الـ Bus duct وملحقاته.



صورة 2 -14 : نموذج متكامل للتغذية باستخدام الـ Bus Ducts .

ويمكن الرجوع للجزء الثانى فى الفصل الثامن للمزيد عن توصيف الـ Bus Duct حسب الكود المصرى.

المجموعة الثالثة : أجهزة الحماية الكهربية

جميع دوائر التمديدات معرضة لحدوث قصر Short Circuit نتيجة انهيار العازل فى الكابلات مثلا أو نتيجة قطع في الكابلات مصاحبا بحدوث تلامس بين أسلاكه ، وكل هذه الاحتمالات ستؤدي حتما إلى حدوث ارتفاع كبير في التيار قد يتسبب في احتراق الكابل ، وربما لوحة التوزيع كلها إن لم يتم فصل التيار بسرعة. و الأجهزة المسئولة عن اكتشاف الارتفاع في التيار و فصله فى معظم دوائر التمديدات الكهربية هى القواطع (الـ Circuit Breaker أو CB) ، و سنستعرض هنا أبرز سمات القواطع الكهربية.

13-2 مواصفات الـ sCircuit Breaker

تتحدد مواصفات الـ CB عادة بتحديد قيمتين هامتين :

- Rated Current, I_{rated} (Amp)
- Short Circuit Capacity , SCC (KA)

فالأولى تحدد قيمة أقصى تيار يمكن أن يمر فى الـ CB باستمرار دون أن يتسبب فى فصل الـ CB ، وتقاس بالأمبير. ولها قيم قياسية Standard معروفة ، وهى (بالأمبير):

6, 10, 15,16, 20, 25, 32, 40,50, 63,100, 125, 150,163, 200, 225, 250, 300, 400, 500, 630, 800,1000, 1200,1500,1750,2000,2200, 2500,3000,3200,4000, 5000, 6300

أما القيمة الثانية التى تحدد مواصفات الـ CB فهى قيمة سعة القصر Short Circuit Capacity SCC ، وتقاس بـ (kA) ، ويقصد بها أقصى قيمة للتيار يمكن أن يتحملها الـ CB أثناء القصر Short Circuit دون أن يحترق ، وهى قيم عالية بالطبع. لاحظ أن المقصود أن يتحملها الـ CB لمدة وجيزة جدا تقاس بالثانية ، ولا تتعدى ثوانى معدودة ، وليس المقصود بالطبع أن يتحملها لمدة طويلة.

وأشهر القيم القياسية للـ Short Circuit Capacity (مقاسة بـ kA) هى:
3 و 6 و 10 و 15و 22 و 35 و 50 و 75 و 80 و 100 .

14-2 أنواع الـ CBs

فى البداية نشير إلى أن هناك عدة أنواع من الـ CBs يكثر استخدامها فى التمديدات الكهربية ، فهناك نوع يستخدم مع الجهود المتوسطة وهو النوع المعروف بـ Power Circuit Breakers ، و يستخدم فى وقاية المحولات ولوحات الجهد المتوسطة ، ويكون دوره هو فصل الدوائر فقط بناء على أوامر من جهاز منفصل لاكتشاف الأعطال وهو الـ Relay . وغالبا تكون إما Vacuum CB ، أو Air CB . و وتوضع هذه الـ CBs داخل اللوحات المعروفة بـ Draw-out Switchgear حيث يكون الـ CBs فى هذه الأنواع محمولا على عجلات لتسهيل دخوله وخروجه من اللوحة أثناء الصيانة مثلا ، كما فى الصورة 2-2. وهذا النوع موجود بالسوق بـ Rated Current يتراوح بين 600 إلى 4000 أمبير.

أما الأنواع المستخدمة فى شبكة الجهد المنخفض فتختلف عن النوع السابق فى أنها تعتبر Relay و CB فى نفس الوقت . ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

الأول : ويسمى Miniature Circuit Breaker و اختصارا MCB
الثانى : ويسمى Molded Case Circuit Breaker واختصارا MCCB
الثالث : ويسمى Ground Fault Circuit Breaker و اختصارا GFCB

كما يوجد جهاز مختلف عنهم فى التصميم ، لكنه يتشابه معهم فى الوظيفة وهو الـ Fuse .

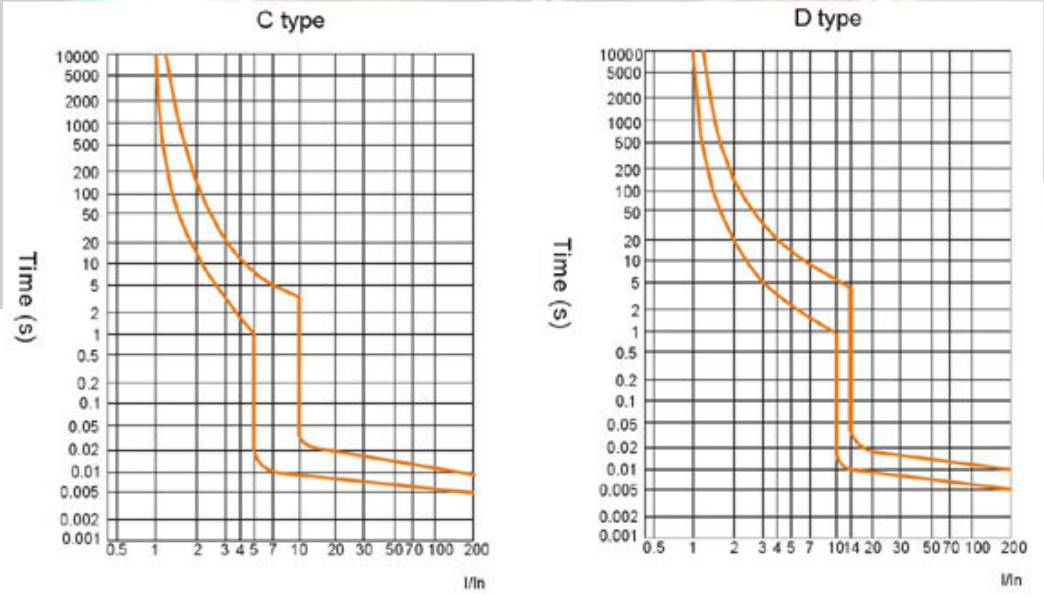
والفرق الأساسى بين النوعين الأول والثانى هو فى القدرة على تحمل تيارات القصر العالية ، فالنوع الأول يتحمل غالبا مالا يزيد عن 10kA فقط ، بينما يتحمل النوع الثانى إلى أضعاف هذا الرقم ، وربما وصل إلى أكثر من 100 kA . أما النوع الثالث فيستخدم للحماية من الصدمات الكهربية الناتجة عن تسرب التيار.

2-14-1 النوع الأول: MCB

الصورة 2-15 يظهر فيها نموذجان لهذه الـ CBs ، الأيمن يستخدم مع دوائر الـ 3-phase والأخر مع دوائر الـ 1- phase .

صورة 2-15 : MCB : 3-Poles و 1-Pole

فى حالة الـ MCB ، تتحدد علاقة تيار العطل (مقاسا بمضاعفاته من التيار المقنن I_{Rated}) وبين زمن فصله Trip Time (مقاسا بالثوانى) من خلال المنحنى الموجود فى شكل 2- 10 ، والذى يظهر نوعين من هذه العلاقات : C-Type ، والـ D-Type (وهناك نوع ثالث هو الـ B-Type) ، وسيتضح الفرق بينهم بعد التعرف على المناطق الأربعة فى هذه العلاقة ، و هي :



شكل 2-10 :العلاقة بين تيار الـ CB وزمن الفصل

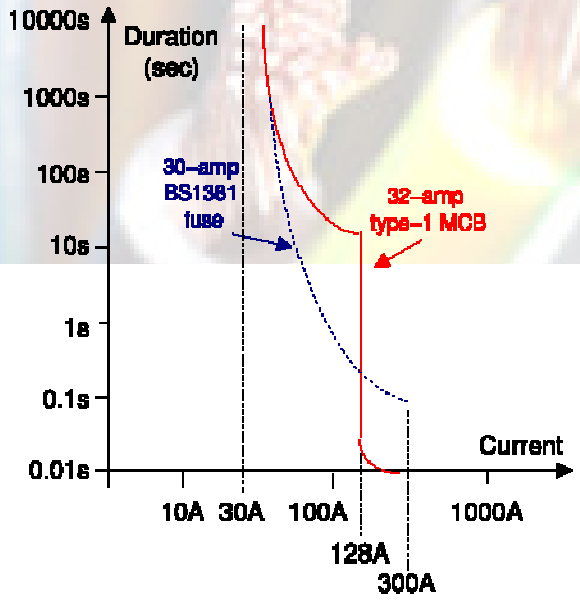
المنطقة الأولى: و تشمل القيم الأقل من I_{rated} وتقع على يسار المنحنى ، و في هذه المنطقة لا يفصل الـ CB أبدا مهما كانت مدة مرور التيار.

المنطقة الثانية : و تقع بين I_{rated} والمنطقة الرأسية ، و خلال هذه الفترة يفصل الـ CB بقيم زمنية تتناسب عكسيا مع قيمة التيار حسب المنحنى المائل كما هو موضح في الشكل. لاحظ أن النوع الأول C-Type تمتد هذه المنطقة من قيمة التيار المقنن إلى حوالى سبعة أمثال هذا التيار ، بينما فى النوع الثانى تمتد المنطقة إلى حوالى عشرة أمثال التيار المقنن . أما النوع الثالث - الذى لم يظهر فى الشكل - فتمتد هذه المنطقة إلى أربعة أمثال التيار المقنن فقط .
و البعض قد يظن أن الـــ CB الذى له I_{rated} تساوى 20 أمبير مثلا سوف يفصل فى التو بمجرد أن يمر تيار أزيد ولو بقليل من 20 أمبير ، وبالطبع هذا التصور خاطئ . فهناك كما هو واضح من الشكل 2-10 منحنى يحدد زمن هذا الفصل ، والزيادة الطفيفة الأعلى من I_{rated} ربما يشعر بها القاطع بعد مرور عدة دقائق وليس لحظيا.

أما المنطقة الثالثة فتمتد من يمين المنطقة الرأسية حتى تصل إلى قيمة أقصى تيار قصر يمكن أن يتحمله القاطع وهى قيمة الـ (SCC) ، وقيمتها كما قلنا تصل فى الـ MCB إلى 10 kA ، وخلال هذه المنطقة الثالثة (التى تسمى "منطقة الفصل اللحظى" Instantaneous trip) يفصل الـ CB لحظيا وليس بناء على قيم زمنية مختلفة كما فى المنطقة الثانية.

أما إذا مر تيار خلال الـ CB وكانت قيمته أعلى من الـــ SCC فإن الـــ CB يحترق فورا ، ولا يمكن إعادة استخدامه مرة أخرى .

ملاحظات:
- لاحظ أن النوع C و D يناسبان التطبيقات التى تشتمل على تحميل زائد يمكن قبوله مثل المحركات ، ومن ثم فزمن الفصل اللحظى يتأخر نسبيا مقارنة بالنوع B-Type الذى يناسب دوائر الإنارة والتسخين .
- فى بعض التطبيقات ربما يستخدم الفيوز بدلا من الـــ CB لرخص ثمنه مقارنة بالـــ CB ، وأيضا لتقارب منحيات التشغيل لهما كما هو واضح فى الشكل 2-11 الذى يظهر مقارنة بين CB له تيار مقنن 32 أمبير وبين فيوز بقيمة 30 أمبير.
- لاحظ أنه فى الفترة التى تسبق منطقة الـ Instantaneous Trip الخاصة بالـ CB يكون الفيوز أسرع فى فصل العطل ، بينما يكون القاطع أسرع بعد هذه المنطقة. لكن بالطبع يتميز القاطع بأنه يمكن إعادة تشغيله بسهولة ، بينما يحتاج الفيوز إلى استبداله بعد كل عطل.



شكل 2-11 : علاقة التيار بزمن الفصل فى حالتي الـ CB والـ Fuse

مثال 2-5:
ما المقصود بـ CB مكتوب عليه 25A, 10KA ؟

الحل:
أما الـ 25A فتسمى التيار المتقن Rated Current ، و أما الـ 10kA فهى قيمة الـ SCC لهذا الـ CB ، ومن ثم فهذا الـ CB يمكن أن يتحمل أى تيار أقل من 25A دون أن يفصل الدائرة ، فإذا زاد التيار عن 25A لكنه أقل من 10kA فإن الـ CB سيفصل إما بعد مدة زمنية طبقا للمنحنى ، أو سيفصل لحظيا إذا كان تيار القصر قريبا من 10 kA وبالتالى يمكن أن نعيد تشغيل الـ CB مرة أخرى. أما إذا ارتفع تيار العطل لقيمة أعلى من 10kA فإن الـ CB سيحترق ولا يمكن إعادة استخدامه مرة أخرى .
لاحظ أن سعر الـ CB يتوقف أساسا على قيمة سعة القصر التى يتحملها ، فالفرق فى السعر بين CB تياره المقنن يساوى 10A و CB آخر تياره المقنن يساوى 63 A مثلا ، فربما لا يكون كبيرا ، ولا يتعدى عشرات الجنيهات ، أما الفرق فى السعر بين CB تياره 100A وله سعة قصر 10kA وبين آخر تياره المقنن 100A لكن له سعة قصر تساوى 100 kA فإنه قد يصل إلى آلاف الجنيهات.

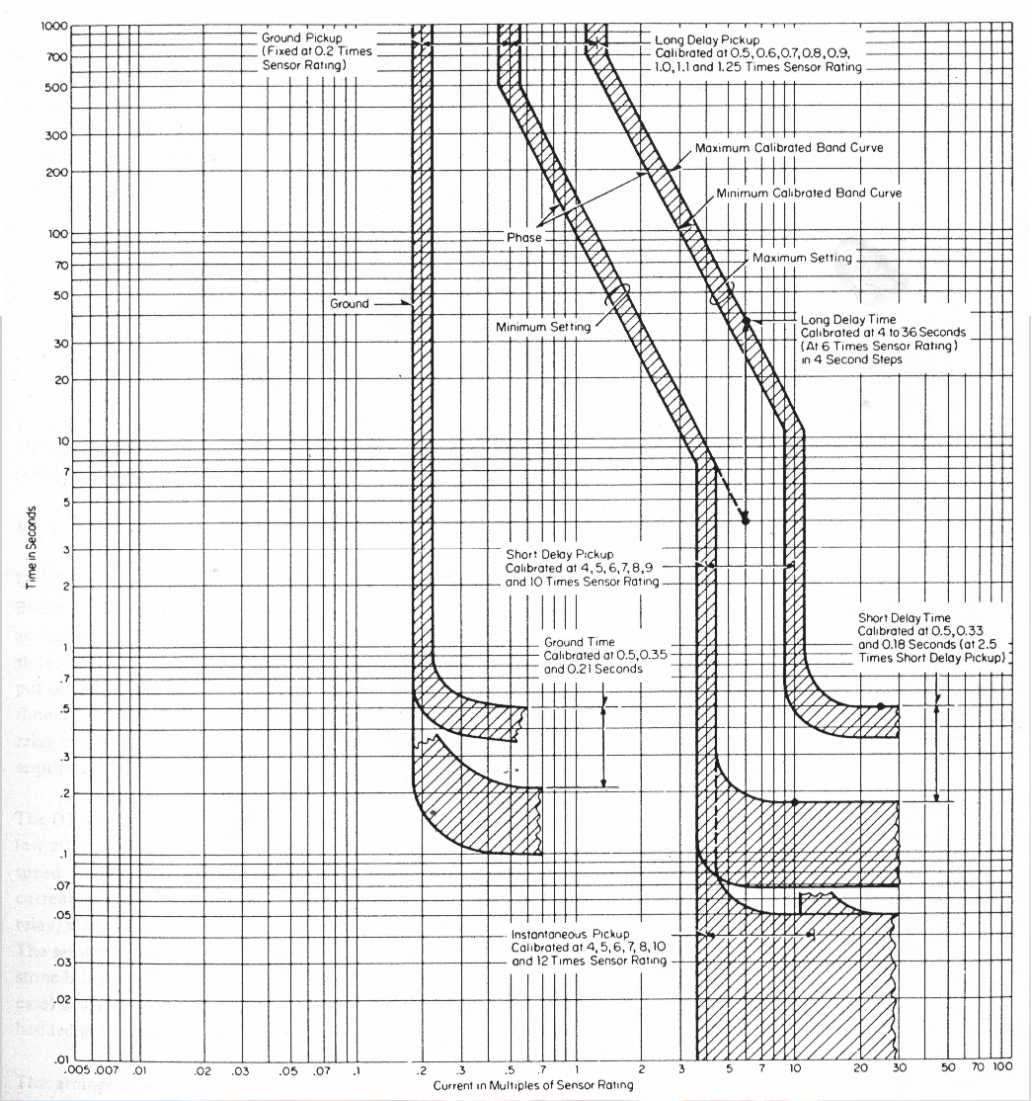
2-14-2 النوع الثـــانى: MCCB

هذا النوع أعقد فى تركيبه من MCB ، ويستخدم غالبا فى حماية دوائر التغذية الرئيسية . ويتميز هذا النوع بأنه أكبر حجما من الـ MCB نظرا لقدرته على تحمل تيارات القصر العالية. والصورة 2-16 تظهر نوعين من هذه القواطع.
وهذا النوع يتميز عن النوع السابق بالمرونة الواسعة فى مجال ضبط العلاقة بين زمن الفصل وقيمة تيار العطل ، كما في الشكل 2-12 ، و يوجد منه أكثر من فئة ، حيث تختلف الفئات فيما بينها فى سعة القصر ومدى المرونة فى الضبط.
وعموما ، فكلما كبرت سعة القصر كلما زود الجهاز بمرونة أكبر ، فالفئة التى تظهر على سبيل المثال فى يمين الصورة 2-16 تستطيع من خلالها تغيير ثلاثة متغيرات ($I_{Thermal}$ ، T_{mag} , I_{mag}) ، بينما فى الفئة التى على يسار الصورة فلن تستطيع سوى تغيير فى المتغيرين الأول والثالث فقط.

صورة 2-16 : قواطع من النوع MCCB .

وفى القواطع الأكبر حجما تستطيع تغيير متغيرات أكثر ، فعلى سبيل المثال فالمنحنى الأول والثانى من اليمين فى الشكل 2-12 يمثل المدى الذى تتغير فيه العلاقة بين التيار فى الـ CB من النوعMCCB (ذو سعة قصر عالية) وبين زمن الفصل. ووجود هذا المدى الواسع بين المنحنى الأول والثانى من اليمين فى الشكل السابق يدل على الحرية فى ضبط هذا النوع.

أما المنحنى الثالث من اليمين فيمثل العلاقة بين التيار و زمن الفصل للـــ CB المستخدم فى دوائر الحماية من الأعطال الأرضية Earth Fault.



شكل 2-12 : منحنيات الـــ MCCB

لاحظ أن المنحنى الممثل لعلاقة تيار الـ MCCB وزمن الفصل يتكون من جزأين:
الجزء الأول يسمى (LD) (Long Delay Time) وهو الجزء الخاص بفصل الأعطال ذات التيار المنخفض ، والتى يمكنه تحملها لمدة طويلة نسبيا (تصل إلى عدة ثوانى). وهذا الجزء الخاص بـ LD يبدأ فى الشكل 2-12 بعمود رأسى تضبط به قيمة الـــ LD ، ثم خط مائل (ليعطى زمن تدريجى للفصل) حتى ينتهى عند عمود رأسى آخر تضبط به قيمة بداية الـــ SD . وبالتالى فمنطقة الـــ LD تقع أساسا بين العمودين الرأسيين اللذين يحددان المدى الذى يمكن أن يتغير خلاله . لاحظ مرة أخرى أن العمودين الرأسيين فى الشكل وما يتبعهما من أجزاء مائلة يمثلان فى الواقع أقصى مدى لضبط الـــ MCCB أى أنهما يخصان CB واحد، ويمكن أن نتحكم فى قيمتهما لضبط هذه المنطقة.

وأما الجزء الثانى من منحنى هذه القواطع فيسمى (SD) (Short Delay Time) وهو خاص بالأعطال الخطرة التى يتم فصلها فى زمن قصير جداً (يقاس بـ ms). ويبدأ من العمود الرأسى الثانى الذى يمثل بداية منطقة الـــ SD ثم يمتد أفقيا كما فى الشكل 2-12. والمنحنيين (فى أقصى اليمين والوسط) يقع بينهما المدى المسموح به لتغيير قيم الضبط.

لاحظ أن المنحنى فى أقصى اليسار لا يوجد له جزء مائل ، وذلك لأنه يستخدم مع الوقاية ضد الأعطال الأرضية والتى تفصل لحظيا بدون زمن تأخير.

i ضبط الـ (Long Delay Time):

ويتم أولاً ضبط الجزء الخاص بـ (Long Delay Time) ، وذلك باختيار قيمة واحدة لكل من:

1- Pick up current
2- Trip time

بالنسبة لضبط Pickup Current فعادة تزود هذه المفاتيح بإمكانية لضبط التيار على 0.5، 0.7، 0.9، 1.0، 1.25 من القيمة الاسمية للـ CB وهذا هو السبب فى وجود علاقتين متوازيتين فى الشكل 2-12 ، حيث أنهما فى الواقع يمثلان حدود الضبط للـ CB . والشكل 2-12 يبين القيمة العظمى والصغرى لمجال الضبط للـ LD للمفتاح. فمثلا المفتاح 600A يمكن ضبطه ليعمل على قيمة تبدأ من 300A ، كما يمكن ضبطه ليعمل عند قيمة تصل إلى 725A.

ii ضبط الزمن LD

أيضا تزود هذه المفاتيح بعدة اختيارات لزمن الفصل فى مرحلة LD ، و القيم المتاحة على المفتاح هى (4، 12، 20 ، 28 ، 36 ثانية) ، بمعنى أنه يمكنك ضبط المفتاح 600A ليفصل الدائرة إذا مر فيه تيار أعلى من 600 أمبير وذلك بعد 4 ثوانى أو 12 ثانية ... وحتى 36 ثانية حسب اختيارك.

وحيث أن تيار العطل يمكن أن يتجاوز Rated Value بدرجات متفاوتة ، فقد اتفق على أن زمن الضبط الذى يتم اختياره يقابل تحديداً 6 أمثال القيمة الاسمية للـ Rated value للمفتاح ، بمعنى أنه إذا اخترنا أن نضبط المفتاح 600A على 4 ثوانى مثلا ، فإنه سيفتح بعد 4 ثوانى بالضبط إذا مر به 3600 أمبير ، ولكن هذا الزمن سيختلف قليلا إذا مر به 4 أمثال أو 7 أمثال القيمة الاسمية للمفتاح.

لاحظ وجود دائرة سوداء مبينة لهذه القيمة فى الشكل 2-12 عند كلا من القيمة العظمى والقيمة الصغرى لضبط القاطع. لاحظ كذلك أن الخط المائل بين العمودين الرأسيين اللذين يحددان بداية ونهاية منطقة LD لابد أن يمر بالنقطة الممثلة لـ (6 أمثال الـ Rated مع زمن الفصل) التى ذكرناها آنفا.

iii ضبط I_{Pickup} فى حالة (Short Delay Time)

تزود هذه القواطع بإمكانية لضبطها على قيم 4، 6، 8، 10 أمثال القيمة الاسمية للقاطع ، و الشكل 2-12 تظهر فيه القيمة العظمى والصغرى لهذا المجال على العلاقتين المتوازيتين كما ذكرنا.

IV ضبط الجزء المائل بين القيمتين السابقتين

يتم ضبط الخط المائل الذى يصل بين الخط الرأسى الأول LD Pickup line وبين الخط الرأسى الثانى SD Pickup Line بحيث أن الميل يكون (2-) على ورق الرسم البيانى المعروف بـ Log-Log (Log – Log).

لاحظ أنه يمكن رسم عدة خطوط متوازية كلها مائلة بهذه القيمة (2-) ، ولذلك تم الاتفاق على خط واحد منها وهو الخط الذى يمر بنقطة تقاطع الخط الرأسى عند 6 أمثال القيمة الإسمية للمفتاح مع الخط الأفقى الذى يمثل زمن Long-delay الذى تم اختياره فى الجزء كما سبق.

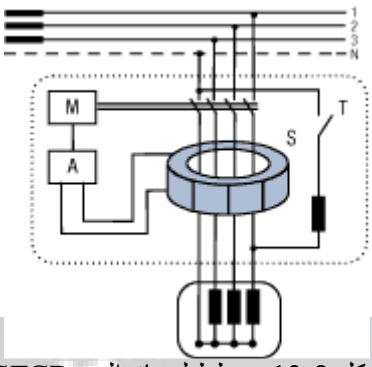
v ضبط الزمن فى (Short Delay Time)

يتم اختيار قيمة من بين القيم المتاحة وهى غالبا: 0.5 ، 0.33 ، 0.18 ثانية. ويكون هذا الزمن هو الزمن الدقيق تماما عند مرور تيار يساوى تحديداً مرتين ونصف من القيمة التى ضبط عليها I_{pickup} الخاص بـ Short delay والذى تم اختياره كما سبق. بمعنى لو ضبط الـ SD ليعمل بدءا من 6 أمثال قيمة الـ Rated وتم ضبط زمن فصله ليكون 0.33 ثانية ، فهذا يعنى أنه عند مرور 9000 أمبير (3600 X 2.5) فسيتم فصل الـ CB بعد زمن قدره 0.33 ثانية بالضبط.

2-14-3 النوع الثالث: GFCB

هذا النوع يستخدم للحماية من التيار المتسرب إلى الأرض فى التمديدات الكهربية ، حيث تعتمد فكرة عمله على مقارنة قيمة التيار الداخل إلى الدائرة (تيار الـ Phase فى حالة دوائر الـ 1-phase أو مجموع التيارات الثلاثة فى دوائر الـ 3-Phase) بقيمة التيار الخارج منها (التيار فى الـ Neutral) كما فى الشكل 2-13 ، فإذا حدث فرق بين التيار الداخل والخارج فذلك دليل على حدوث تسرب للتيار خارج الدائرة الأصلية. فإذا كان هذا الفرق

فى التيار أكبر من قيمة محددة تسمى "حساسية الجهاز" فإن قوة مغناطيسية M ستتولد تكون كافية لفصل الـ CB الرئيسى للوحة ومن ثم فصل الدائرة و إيقاف التسريب.



شكل 2-13 مخطط لجهاز الـ GFCB

لاحظ فى الشكل السابق أنه فى الظروف الطبيعية عندما يكون مجموع التيارات فى الأوجه الثلاثة (المقصود بالطبع هو المجموع الاتجاهى) مساويا للتيار الراجع فى الـ Neutral فإن الفيض الناشى داخل الحلقة المغناطيسية S سيساوى صفرا ، ومن ثم فالـ Circuit المغذاة من الـ CB أسفل الحلقة S ستظل Closed . أما إذا حدث أي فرق بينهم فسيتم فتح هذه الدائرة .

ويتم توصيف الجهاز فى الأساس بناء على قيمة الحساسية للتيار المتسرب . وأشهر قيم الحساسية فى السوق هى 5mA و 30mA. والأجهزة من الفئة الأولى (5mA) غالية الثمن جدا ، لذا لا تستعمل إلا مع المواصفات العالية فقط ، أما الفئة الثانية (30mA) فهى التى تستخدم فى الشقق السكنية. وهناك أيضا فئة ثالثة (300mA) وهى تصلح فقط لاكتشاف التسريب الأرضى فى الأجهزة المعرضة بطبيعتها للرطوبة مثل أجهزة التكييف فوق السطوح ، و من ثم فهى ليست لحماية البشر ، حيث أن التيار الكهربى بقيمة 300mA يكون كافيا لصعق إنسان بل وحرقه كما سيتم تفصيله في الفصل السادس.

ويتم توصيف هذه الأجهزة أيضا طبقا لقيمة الـ Rated Current الذى يمكن أن يتحمله الجهاز طوال الوقت وأشهر هذه القيم 100 ، 63 ، 40 ، 32 أمبير.
ويزود الجهاز عادة بمفتاح Test للاختبار T وهو عبارة عن Push Button موصل على التوالى بمقاومة كبيرة كما فى الشكل 2-13 ، فإذا ضغطنا على هذا المفتاح فإننا فى الواقع نقوم عمدا بتسريب جزء صغير من تيار أحد الـ Phases الثلاثة ، وعندها سيقوم الجهاز بفصل الدائرة إذا كان بالفعل جاهزا .

مع ملاحظة أن بعض هذه الأجهزة تؤدى نفس وظيفة الـ MCB فى الحماية ضد الـ Short Circuits بالتوازي مع أداء دورها فى الحماية ضد التسريب ، والبعض الآخر منها يستخدم للحماية ضد الترسيب فقط ومن ثم تحتاج لوجود CB آخر لحماية الدائرة من القصر.

والصورة 2-17 تمثل نموذجا لأحد الأنواع وله حساسية قدرها 0.03A ويتحمل تيار مقنن قدره 63A .

صورة 2-17 قاطع Earth Leakage .

وهناك أنواع أخرى من هذه الـقواطع تعتمد فكرتها على قياس التيار المار فى سلك الأرضـى الخـاص بـالمبنى ، على أساس أنه فى الظروف الطبيعية سيكون التيار المـار بوصـلة الأرضـى يسـاوى صـفر ، ولـن يمـر بـه تيـار إلا أثناء العطل فقط ، لكن هذا النظـام يعتمـد فـى تنفيذه علـى وجـود نظـام أرضـى جيـد Earthing System علـى العكس من النوع المرسوم فى الشكل 2-13 الذى لا يحتاج فى توصيله إلى وجود سلك الـ Earthing .

2-15 الفيوز (المصهرات) Fuse

يمكن أن نعتبر الفيوز نـوع من أنـواع الـ CBs علـى أسـاس التشـابه بينهمـا فـى الوظيفـة وهـى قطـع التيـار المـار بالدائرة إذا تعدى حدودا معينة ، وهو أرخص سعرا من كافة أنواع الـ CBs السابقة ، ويستخدم لحمايـة الأجهزة من تيار القصر "العالى جدا" حتى فى وجود الـ CB. والفيوز أقدم الوسائل لحماية التمديدات والمعدات الكهربيـة من التلف والاحتراق ، والغرض الأساسى من الفيوز هو قطع الـدائرة الكهربيـة عنـدما يسـحب الحمـل تيـارا أعلـى من I_{rated} .

ويتميز الفيوز بأنه أسرع من الـ CB فى حالة الارتفاع الشـديد فـى قيمـة التيـار ، فيمكن استخدامه بـدون الحاجـة لوجود CB لكن بالطبع سيحتاج إلى بعض الوقت لتبديله كلما حدث قصر بالـدائرة ، وهـذا قـد لا يكـون مريحـا فـى بعض التطبيقات ، كما أن من عيوبه – فى حالة استخدامه لحماية الـ 3-Phase Motors أنه قد لا يفصل كل الـ Phases فى وقت واحد عند حدوث عطل - مما يعنى أن الموتور المحمى بواسطة الفيوز قد يعمل أحيانا علـى 2- phases .

ويعتمد مبدأ عمل الفيوز علـى التـأثير الحـرارى للتيـار الكهربـى المـار فيـه حيـث ينصـهر عنـد تيـار معـين ويقطـع التيار. ويشترط فى الـ Fuse Element وهو العنصر الأساسى داخل الفيوز أن يكون مصنوعا من مادة جيدة فلا يستهلك مع مرور الزمن ، و لا تتغير صفاته مع مرور التيـار ، ويجـب أيضـا أن يكـون سـريع الانصـهار ، وأن لا يسبب انصـهاره أية عواقب (كالاشتعال مثلا). ويستعمل الفيـوز حسـب التحمل المسـجل عليـه ، فـإذا كـان الحمـل الطبيعي أعلى من تحمل الفيوز فذلك يعنى عدم ملائمة هذا الفيوز.

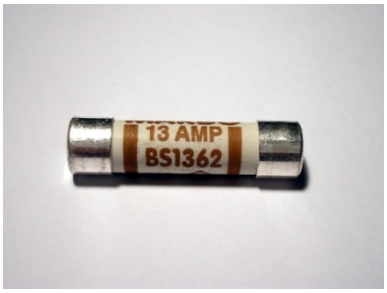
وللمصـهرات أنواع ، من أهمها:

1. المصـهرات الخرطوشية Cartridge Fuses
2. المصـهرات ذات سعة القطع العالية High Rupturing Capacity. HRC

2-15-1 المصـهرات الخرطوشية

صنعت الفيوزات الخرطوشية لتغطى بعض مسـاوىء الفيـوزات القديمـة التـى كانـت تسـتعمل سـلك عـادى رفيـع ، وكان يعاد تشعيره بسلك آخر عند كل عطل. وكان يعيب هذا النوع القديم أن السلك الجديد ربمـا يكـون مـن مقطـع غير مناسب. أما المصـهرات الخرطوشية (صـورة 2-18) فهـى عبـارة عـن حيـز اسـطوانى مـن الخـزف يحتـوى على عنصر الفيوز Fuse Element (الذى لا يمكن تغييره) . والاسطوانة تكون مملوءة بالرمل السليكونى

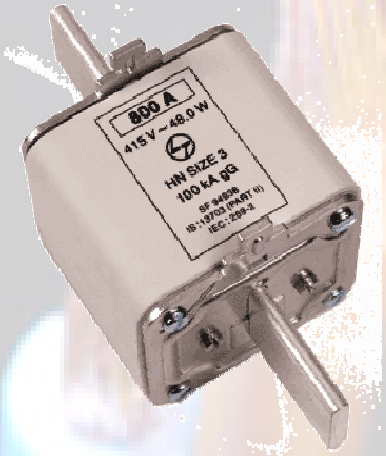
الذى يساعد على الاطفاء . لكن يعيب هذا النوع أنه لا يفرق بين الحمل الزائد الذى يمكث فترة طويلة والحمل الزائد الذى يزول بعد فترة قصيرة .



صورة 2-18 مصهرات خرطوشية

2-15-2 المصهرات ذات سعة القطع العالية C.R.H

تتكون من اسطوانة أو مكعب من الخزف الجيد ونجد أن Fuse Element هنا عبارة عن سلك رفيع من الفضة الخالصة ، أما الاسطوانة فإنها تملأ بمسحوق السيلكون ، ويتحمل هذا النوع قيم عالية للقصر ، كما يزود فى الغالب بمبين للعطل Fault Indicator ليدل على حدوث عطل (صورة 2-19) .



صورة 2-19 فيوزات من النوع المعروف بـ HRC .

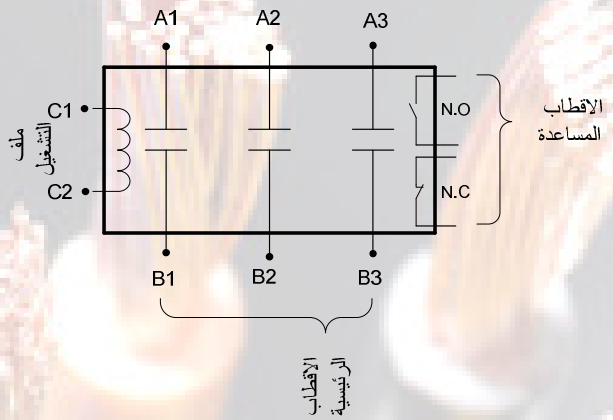
ونشير أيضا إلى أن هناك نوعين من الـ Fuse element : الأول يعرف بـ Single Element ، وفيه يكون عنصر الفيوز المصنوع من الفضة مكونا من مقطع واحد ، بينما الثانى يعرف بـ Dual Element وفيه يضاف لعنصر الفيوز السابق جزء إضافى موصل معه على التوالى و يتأثر فقط بالـ Overload .

المجموعة الرابعة : الأحمال الكهربية ومعدات التحكم
Control & Utilization Equipments

سنكتفى من عناصر هذه المجموعة بشرح عنصر واحد فقط هو مفتاح التلامس (Contactor) ، غير أن هناك عناصر أخرى سيتم التعرض لها خلال الفصل الثالث (التكيف والمصاعد) ، وعناصر أخرى بالفصل السابع (اللمبات) .

16-2 مفاتيح التلامس (Contactors)

يعتبر الـ Contactor من العناصر الأساسية فى دوائر التحكم عموما ، ودوائر المحركات والإنارة عالية القدرة على وجه خاص. وهو عبارة عن أقطاب أساسية Main Poles قادرة على حمل تيار عالى يتم التحكم فيها بواسطة ملف التحكم الذى يمر فيه تيار صغير كما يظهر فى رسمه التخطيطى فى الشكل 2-14. ومن ثم فيمكن من خلاله التحكم فى تيارات عالية بواسطة تيارات منخفضة .



شكل 2-14 مخطط لأجزاء الـ Contactor

يزود الـ Contactor بعدد من الأقطاب المساعدة Auxiliary Contacts وهى نوعان:

- N/O Normally Open
- N/C Normally Closed

النوع الأول (N/O) يكون فى الوضع الطبيعى "مفتوحا" طالما لا توجد إشارة كهربية فى ملف الـ Contactor ، ومن ثم فالأقطاب الرئيسية أيضا مفتوحة ، ثم أتوماتيكيا يتحول إلى الوضع "مغلق" بمجرد أن يكون ملف الـ Contactor مكهربا energized ، والعكس بالعكس فى حالة النوع الثانى (N/C) .

والاستخدام الأساسى لهذه الأقطاب المساعدة يكون فى دوائر التحكم ذات التيار الخفيف ، حيث يمكن متابعة الـ Status الخاصة بالأقطاب الأساسية الحاملة للتيار الأساسى من خلال متابعة الـ Status الخاصة بهذه الأقطاب المساعدة.

16-2-1 أهم مواصفات الـ Contactor

ويتم توصيف الـ Contactor حسب عدة متغيرات من أهمها:

1- جهد التشغيل وقيمته وهل هو AC مثلا أم DC .
2- عدد الأقطاب المساعدة ونوعها (N/O and N/C Auxiliary Contacts) ، وفى أغلب الأنواع يكون الـ Contactor مزودا بـقطب مساعد واحد من النوع الـ N/O ، ومعه N/C واحد أيضا.
3- التيار المقنن Rated Current الذى يمر خلال الـ Main Poles .
4- عدد الأقطاب الأساسية Main Poles وهى دائما فى الوضع Normally Open .

5- طبيعة الحمل : فالـ Contactor يمكن أن يحمل 100A إذا كان الحمل المركب عليه من النوع Single Phase Resistive Load ، بينما لا يتحمل أكثر من 75A إذا كان الحمل يمثل مثلاً موتور 3-Phase Inductive Load .

6- ويتم التوصيف أيضا طبقا لمعلومات عن أقصى جهد تشغيل وأقصى جهد مفاجئ ، وأقل تيار لتشغيله ، وزمن الانتقال Switching Time ، وعدد مرات الـ Switching خلال عمره الافتراضى إلخ.

2-16-2 الفئات المختلفة للـ Contractors

وأبرز الفئات فى هذا المجال هى :AC1 و AC3 و AC4 (سيتوقف السعر أساسا على الفئة) .

فئة AC1 :

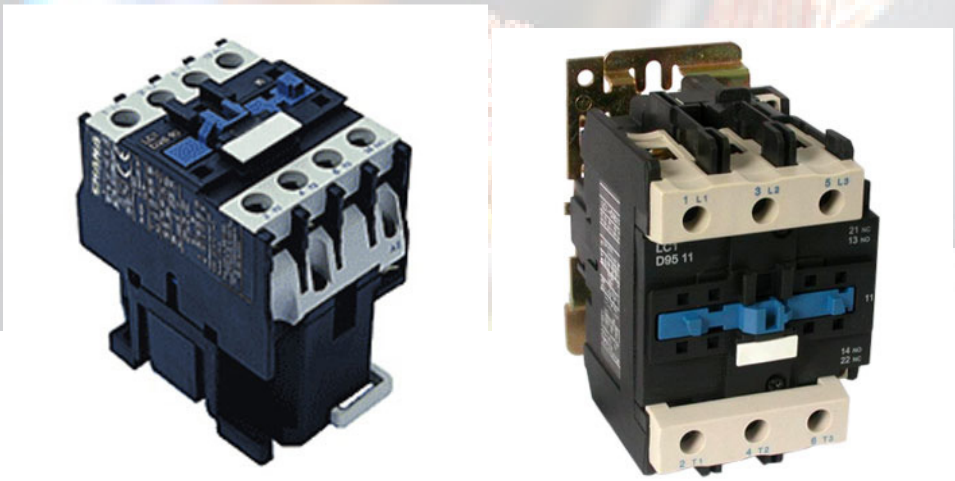
وأبرز استخدامات الـ Contactors من هذه الفئة فى فصل وتشغيل دوائر الإنارة. وفى هذه الحالة يجب ألا تقل سعة التصنيع للـ Contactor المستخدم عن 1.25 من قيمة التيار المغذى لمجموعة اللمبات.

فئة AC3 :

فى هذه الفئة يستخدم الـ Contactor لأداء عدد من المهمات مثل Starting of Induction Motor أو فصل وتشغيل هذا المحرك الثلاثى الأوجه. وفى هذه الفئة يجب ان يكون سعة التصنيع للـ Contactor المستخدم تساوى على الأقل عشرة أمثال تيار المحرك المقنن .

فئة AC4 :

أما هذه الفئة فهى مثل السابقة ، لكن يمكن استخدام هذا الـ Contactor فى عكس دوران المحرك الثلاثى الأوجه ، أو تحريكه على دفعات متتالية فى فترة تشغيل قصيرة ، وهذا يعنى أن تتوقع أن يكون الـ Contactor المستخدم فى هذه الفئة يتحمل قيمة قصوى للتيار أعلى من النوعية المستخدمة فى الفئة السابقة. و غالبا تكون سعة التصنيع للـ Contactor المستخدم من هذه الفئة تساوى على الأقل 12 مرة من تيار المحرك المقنن . والصورة 2-20 تمثل بعض أشكال الـ Contactors.



صورة 2-20 : بعض أشكال الـ Contactors

الفصل الثالث
تقدير الأحمال الكهربية

3

الفصل الثالث

تقدير الأحمال الكهربية

هناك خطوة تسبق القيام بالتصميمات التفصيلية لأى مشروع كهربى ، وهى خطوة مطلوبة فى مرحلة الحصول على التراخيص ، حيث يكون المطلوب فقط فى هذه المرحلة هو تحديد القدرة الكهربية الإجمالية للمشروع دون الحاجة إلى تفاصيل. ولتنفيذ هذه الخطوة يلزم التعرف على طرق تقدير الأحمال إجمالا في المشروعات الكهربية.

وفى البداية نشير إلى أن الأحمال الكهربائية (غير الصناعية) تصنف إلى المجموعات التالية:

1. أحمال الإنارة ، وتنقسم إلى الإنارة الداخلية (للفراغات و الممرات و الإنارة العامة) ، و الإنارة الخارجية (إنارة تجميلية ، إنارة الساحات الخارجية ، مواقف السيارة المكشوفة ، إنارة السلالم ، إلخ) . وتغطي أحمال الإنارة كل ما يتعلق بالإنارة العادية و إنارة الطوارئ.
2. أحمال الأجهزة الكهربائية الصغيرة Small Appliances ، وتشمل الأجهزة المستخدمة في المكاتب و مقابس الاستخدام العامة Sockets التى تغذى مثلا الثلاجات و التليفزيونات و غيرها.
3. أحمال التكييف Space Conditioning و تغطي أجهزة التبريد و التدفئة وغيرها.
4. الأحمال الكهربائية لأجهزة المياه ، والصرف الصحي مثل المضخات و سخانات المياه و إطفاء الحرائق Fire Fighting وغيرها.
5. أحمال أجهزة الإنذار والتليفونات وغيرها ، وتسمى بأحمال التيار الخفيف.
6. المصاعد الكهربائية و السلالم المتحركة و غيرها. وتسمى أيضا بالأحمال الديناميكية لانها تشتمل على حركة.

أما الأحمال الكهربية الصناعية فتصنف إلى ثلاثة أنواع من الصناعات : الخفيفة والمتوسطة والثقيلة . وبالطبع فهذه الأحمال تحتاج إلى معلومات تفصيلية أكثر من مجرد جداول عند تقديرها وهى خارج نطاق الكتاب.

3-1 مراحل تقدير الأحمال

يختلف تقدير الأحمال الكهربائية بحسب مرحلة التصميم للمشروع ، فالأحمال الكهربائية للمشروع في مرحلة التصميم الأولي تختلف عن الأحمال الكهربائية للمشروع بعد إنجاز التصميم النهائي. و نستعرض فيما يلي بعض المراحل التي تمر بها عملية تقدير الأحمال الكهربائية .

1 تقدير الأحمال في المرحلة الابتدائية

يتم تقدير الأحمال الكهربائية في هذه المرحلة باستخدام الأحمال الكهربائية النوعية (القياسية) للمتر المربع و بمعرفة مساحة الفراغات المعمارية الأولية في المشروع. وتستخدم هذه الأحمال لتقدير الحمل الكلي للمشروع للحصول على التراخيص ، و لتقدير قدرة المحولات المطلوبة و المساحات التي يجب إضافتها للمشروع لأغراض المعدات الكهربائية ، إلخ.

ملحوظة:

يوجد بكل شركة توزيع جداول نمطية لتقدير الأحمال ، يمكن لمهندس الوزارة الاسترشاد بها. وملحق-3 فيه نموذجين لتقدير للأحمال النمطية الأول فى السعودية والثانى فى نطاق القاهرة الكبرى. مع ملاحظة أن التوسع فى تركيب أجهزة التكييف فى مصر قد قلبت هذه الجداول رأسا على عقب ، فأصبح من الضرورى رفع قيم التقدير وعدم الاعتماد على مثل هذه الجداول القديمة.

وعموما ، يقدر الطلب على الحمل بالكيلو فولت أمبير لكل مائة متر مربع من المباني السكنية بمصر بحوالى - 2 4 VA فى الإسكان المتوسط ، بينما يصل فى الإسكان الفاخر إلى حوالى 6-10 kVA . أما التجارى فيقدر عموما بـ 8-12 kVA .

2 تقدير الأحمال في مرحلة التصميم النهائي

عند انتهاء التصميم النهائي للمشروع تكون الأحمال الكهربائية قد تحددت بدقة ، فيمكن بالرجوع إلى المخططات وكتالوجات الأجهزة لمراجعة الـ Ratings للأجهزة المختلفة وتدوينها بجداول تصميم اللوحات الرئيسية كما فى الفصل الرابع من هذا الكتاب .

3-2 التقدير المبدئي لأحمال الإنارة

تشكل أحمال الإنارة بين 20% إلى 50% من الحمل الكهربائي . و يتراوح الحمل القياسي لأحمال الإنارة لكل متر مربع في المباني المختلفة بين 2 واط/م^2 كما فى المخازن إلى حوالى 50 واط/م^2 كما في الملاعب. وتتوقف القيمة المستخدمة على الكود القياسى المستخدم .

ويلاحظ أن أحمال الإنارة القياسية (W/m^2) قد تغيرت كثيرا فى السنوات الأخيرة بسبب انتشار اللمبات الموفرة للطاقة ، فعلى سبيل كان الكود الأمريكى فى الثمانينيات ينصح بقيمة تتراوح بين 30 إلى 50 وات لكل متر مربع فى المبانى الإدارية فأصبح فى أواخر التسعينيات ينصح بقيمة تدور حول 20 وات لكل متر مربع ولا تزال تتناقص. ويبين الجدول 3-1 الأحمال القياسية لأنظمة الإنارة كما وردت في الكود الأمريكى المعروف بـ National Electrical Code أو اختصارا بـ NEC .

جدول 3-1 : **أحمال الإنارة القياسية فى بعض المرافق المختلفة.**

نوع الحيز أو المرفق	الحمل النوعى لكل متر مربع (واط)
البنوك	25
أماكن العبادة	20
النوادى الملاعب	50-20
المستشفيات	35-20
الفنادق ومبانى الشقق المفروشة	15
المدارس	20-16
المكتبات	20-15
المتاجر	25
السلالم	10

وبالطبع يجب مراجعة هذه القيم لأن هذا الكود ربما يتغير كل عدة سنوات ، كما أن لكل دولة يوجد كود خاص بها ، فعلى سبيل المثال فى الكويت تحسب أحمال الإنارة – طبقا لكود الوزارة – كما يلى :

15 W/m^2 فى المبانى السكنية .
30 W/m^2 فى المكاتب .
60 W/m^2 فى المحلات و المولات الكبيرة .
30 W/m^2 فى المساجد والمدارس والصالات العامة.

3-3 التقدير المبدئى لأحمال المخارج العامة (Sockets)

توجد طرق عديدة لتقدير أحمال المخارج العامة ، منها حساب حمل تقديرى يساوى 180VA للمخرج الواحد ، أو اعتبار كل مخرج يكافئ 1.5 أمبير ، أو استخدام جداول الأحمال القياسية للأجهزة المنزلية مثل الجدول 3-2 .

جدول 3-2 : الأحمال القياسية لبعض الأجهزة المنزلية

الجهاز	الحمل التقديرى (W)
جهاز تكييف :	
0.5 tan	800
0.75 tan	1200
1 tan	1600
2 tan	3000
سخان مياه	6000-3000
فرن كهربى	5000-3000
تلفزيون	1000-300
ميكروووف	1000-500
غسالة	1200-800

وفى الكود الأمريكي NEC يتم اعتبار مجموع هذه الأحمال العامة فى حسابات الشقق السكنية يساوى كحد أدنى 3000 VA للشقة لكنهم يضيفون بعد ذلك بصورة منفصلة الأحمال المنزلية ذات الحمل المرتفع مثل الغسالة والمجفف Dryer والفرن .

ويلاحظ أن هذه النوعية من الأحمال – على العكس من أحمال الإضاءة – تتزايد القيمة التقديرية للـ W/m^2 باستمرار ، فالكود الأمريكى فى الثمانينيات كان يفترض أنها تساوى من 20 إلى 30 W/m^2 ، فصار فى التسعينات يصل إلى 50 W/m^2 ، والسبب فى ذلك يرجع إلى تزايد استخدام أجهزة الاتصالات والكومبيتر ، وكذلك الأجهزة المنزلية مثل الميكروووف وغيرها .

والجدول 3-3 يعطى قيم تقريبية للأحمال العامة (Sockets) فى الأماكن المختلفة كما فى الكود الكويتي.

جدول 3-3 : أحمال تقديرية للمخارج العامة

المكان	الحمل التقريبى W/m^2
المكاتب / غرف الاجتماعات/المنازل	50 – 30
المحلات	60 - 40
الفصول	20-10
المطابخ	2 : 6 Circuits (each of 20A)

3-3 -1 أحمال الخدمات العامة

بالإضافة إلى أحمال الإضاءة الداخلية والمخارج العامة – وكذلك التكييف كما فى الجزء التالى – هناك أحمال تمثل منافع عامة لكافة السكان ، من أهمها المصاعد ، ومضخات رفع المياه . وهناك بالطبع أحمال أخرى لكنها أقل فى التأثير منهما مثل إنارة السلم أو المداخل.

وأحمال المصاعد والمضخات يقوم بتقديرها مهندس الميكانيكا ، ثم تضاف إلى إجمالى أحمال الإنارة والمخارج والتكييف. ويمكن تقدير حمل المصعد الواحد بحمل تقديرى يتراوح بين 15 kW - 25 حسب ارتفاع المبنى وعدد المستخدمين ، كما يمكن تقدير المضخة الواحدة بحوالى 5 kW .

3-4 حسابات التكييف

نشير فى البداية إلى أن التقدير الدقيق لحسابات التكييف ليس من مسئولية مهندس الكهرباء بل مسئولية مهندس التبريد والتكييف ، لكن يجب على مهندس الكهرباء أن يكون على الأقل ملما بطرق الحسابات التقريبية لأحمال التكييف.

وتتوقف قيمة القدرة الكهربائية اللازمة لأحمال التكييف على الظروف المناخية ، و جودة مواد البناء المستخدمة (لاسيما مواد العزل الحرارى) ، و أحمال الإنارة الداخلية ، و عدد الأشخاص في الفراغ أو الحيز المراد حساب أحماله ، و نوع الأجهزة و المعدات الموجودة فيه.

وتجدر الإشارة إلى أن تزايد الاعتماد على الأجهزة الكهربية المختلفة يعنى بالضرورة تزايد حمل التكييف حتى مع ثبات عدد الأشخاص فى الحيز الواحد ، وذلك ببساطة لأن كل استهلاك للطاقة ينتج عنه طاقة حرارية بالضرورة وهذا يستلزم زيادة قدرة جهاز التكييف للتخلص من هذه الحرارة الإضافية. فكل طاقة كهربية قدرها

1 W وتعمل لمدة ساعة واحدة سوف تولد كمية من الحرارة قدرها 3.4 BTU ، فزيادة مستوى الإنارة مثلا تتطلب زيادة قدرات وحدات التكييف ، نتيجة زيادة الحرارة المتولدة من اللمبات ، وكتقدير تقريبى فإن كل 100 كيلو وات ساعة إنارة تتطلب حوالى 20 kWH من التبريد.
وتقوم فكرة معظم القوانين المستخدمة فى حسابات التكييف على قياس الكميات الحرارية (محسوبة بوحدات BTU أو British Thermal Unit) المتولدة داخل المبنى من الأشخاص و الأجهزة و وحدات الإنارة ، وأيضا حساب كمية الحرارة الداخلة إلى المبنى من البيئة الخارجية عن طريق الإشعاع الشمسى من خلال النوافذ والأبواب والحوائط والأسقف. وبعد أن ننتهي من تجميع كل هذه الكميات بوحدات الـ BTU/Hr أو بوحدات بالـ "طن تبريد" (طن التبريد = 12000 BTU/Hr) فإننا نقوم بترجمتها بعد ذلك إلى قدرة كهربية بوحدات الـ kW بالضرب فى ثابت معين تتراوح قيمته بين 1.6 إلى 2.5 لكل طن تبريد وذلك حسب نظام التكييف المستخدم .
وقيمة هذا الثابت تتوقف على جودة تصنيع جهاز التكييف ، فكلما كانت صناعته أجود كلما كان هذا الثابت أصغر ، ومن ثم يجب عليك عند شراء جهاز تكييف أن تتعرف على هذا الثابت أولا ، فربما يكون هناك جهاز أغلى بخمسمائة جنيه مثلا من جهاز آخر ، لكن ثابت التحويل له أصغر بكثير من الجهاز الأرخص ، فعندها لا تتردد فى شراء الأغلى لأن ما ستوفره عند الشراء ستدفع أضعافه من خلال فواتير الكهرباء المرتفعة شهريا .

مثال 3-1

قارن بين تكلفة جهازي تكييف قدرة كل منهما 7 طن- تبريد ، الأول أغلى من الثانى بمقدار 700 جنيه ، ومعامل التحويل له (Kw/Tan) يساوى 1.6 ، بينما معامل التحويل للأرخص يساوى 2.5 . علما بأن كل جهاز منهما سيعمل لمدة 8 ساعات يوميا لمدة 6 شهور فى السنة . اعتبر سعر الـ KWH يساوى 15 قرش.

الحل :

استهلاك الكهرباء للجهاز الأول (الأغلى سعرا) خلال الستة أشهر :

7 x 1.6 x 8 x 30 x6 = 16128 kWh

استهلاك الكهرباء للجهاز الثانى (الأرخص) خلال الستة أشهر :

7 x 2.5 x 8 x 30 x6 = 25200 kWh

الفرق فى تكلفة الاستهلاك خلال ستة أشهر =

(25200 – 16128) x 0.15 = 1360 LE

واضح الآن أنه فى خلال سنة واحدة أثبت الجهاز الأغلى سعرا أنه الأوفر . فرغم أنك وفرت 700 جنيه عند الشراء لكنك خلال ستة أشهر دفعت فاتورة كهرباء أعلى بمقدار1360 جنيه .
وربما لا يعرف البائع قيمة هذا المعامل ، لكنك يمكن أن تدخل إلى موقع الشركة المصنعة للتعرف من خلال الكتالوج الفنى للجهاز على قيمة هذا المعامل . وقديما قالوا : " الغالى ثمنه فيه " !!.

3-4-1 تقدير أحمال التكييف

الشائع فى بعض البلاد مثل مصر أن يتم تركيب وحدات منفصلة Split units لتبريد الغرف المختلفة ، ويمكن الرجوع للجدول 3-4 لتقدير الحمل الكهربى المناسب حسب الكود المصرى .
ملحوظة : في حالة الأجهزة بارد/ساخن فإن السخانات الكهربائية تعمل شتاء بينما يعمل الـ Compressor صيفا ، وبالطبع فأنهما لا يعملان معا فى وقت واحد.

جدول 3-4 : سعات وقدرات الوحدات الـ Split

القدرة الحرارية		قدرة الوحدة الكهربائية		نظام التشغيل	المساحة المخدومة ($م^2$)
(و.ح.ب/ساعة)	(طن تبريد)	بارد فقط (ك.و.)	بارد/ساخن (ك.و.)		
12000	1	1.540	1.5	1/50/220	12 – 10
18000	1.5	1.930	1.6	1/50/220	18 – 15
24000	2	2.670	2.670	1/50/220	25 – 20
36000	3	3.745	4.20	1/50/220	30 - 25
42000	3.5	3.5	4.50	3/50/380	40 – 35
48000	4	4.5	5.00	3/50/380	50 – 40
60000	5	6.25	7.00	3/50/380	60 - 50

أما فى دول الخليج – نأخذ الكويت على سبيل المثال – حيث ترتفع درجة الحرارة فوق الخمسين درجة مئوية فالشائع هو استخدام نظام التكييف المركزى Central Air Condition لتكييف المنزل بالكامل ، ومن ثم ترتفع قيمة أحمال التكييف بشدة مقارنة بالدول ذات المناخ المعتدل . وتحسب أحمال التكييف التقديرية (تبريد هواء) طبقا للمواصفة رقم MEW/R-6 كما يلى:

فى المنازل	65 W/m^2
فى المكاتب	70 W/m^2
فى المحلات	90 W/m^2
فى المولات الكبيرة	80 W/m^2
فى المساجد	120 W/m^2
فى المدارس	100 W/m^2
فى الصالات العامة	145 W/m^2

ويمكن أن تحسب القيمة التقريبية لحمل التكييف بطريقة أبسط حيث يفضل البعض حسابها بوحدات الطن / تبريد ، وتتراوح هذه القيمة بين 3.5 - 5.5 $ton/100m^2$ ، أو ما يعادل (420 – 660 $BTU/Hr/m^2$) ، حسب طبيعة استخدام المبنى ، ثم نستخدم معامل التحويل من طن تبريد إلى قدرة كهربية ، وهذا المعامل يساوى (1.6 – 2.5 kW/ton) .

لاحظ أن القيم التقريبية ليست قيمة واحدة بل تقع بين قيمتين ، وذلك لأن حسابات التكييف تتضمن عناصر متعددة منها عدد الأشخاص المتواجدين بالمبنى ، ومساحات النوافذ ، وهل هناك شجر حول المبنى أم لا ، وهل واجهة المبنى شرقية أم غربية ، وما نوع ودرجة جودة العوازل المستخدمة فى الحوائط والأسقف ، إلخ. وكثرة هذه المتغيرات تجعل من المستحيل استخدام قيمة واحدة ، لكن يمكن للمصمم أن يختار قيمة بين هاتين القيمتين طبقا لتقديره الشخصى. وفى كل الأحوال لابد من قيمة دقيقة فى المرحلة النهائية لتصميم المشروع ، وهذه القيمة تحسب بواسطة مهندس التكييف وليس مهندس الكهرباء.

لاحظ لأن حسابات التكييف تعتمد كما ذكرنا على كمية الحرارة الداخلة إلى المبنى بالإضافة إلى كمية الحرارة المتولدة داخل المبنى ، ورغم أن كمية الحرارة الداخلة تتأثر بشدة بدرجة الحرارة الخارجية إلا أن تطبيق قوانين صارمة فى استخدام المواد العازلة الجيدة فى البناء يجعل من درجة الحرارة الخارجية عنصرا غير مؤثر بدرجة كبيرة فى المقارنة مثلا بين دولتين بسبب الالتزام الصارم باستخدام مواد عازلة جيدة فى المبانى السكنية بالكويت. وبالطبع كلما كانت المواد العازلة رديئة الجودة كلما كان تأثير درجة الحرارة الخارجية أكبر.

3-4-2 ملاحظات على تقدير كمية التبريد

- يتم احتساب الكمية المطلوبة بعد دراسة مساحة المكان ، و معرفة ما إذا كان المبنى المراد تكييفه معزولا حراريا أم لا ، فإذا لم يكن معزولا فإن الكمية المطلوبة لتبريد (أو التدفئة فى البلاد الباردة) تزيد بنسبة 25% -30% عن المبنى المعزول.
- يجب على المهندس المعماري المصمم أن يراعى توجيه البيت الاتجاه الذي يساعد على تقليل أحمال التكييف ، وذلك بتقليل أو معالجة الفتحات في الواجهات المعرضة للشمس.

- ينظر عند تقدير كمية التبريد إلى الطوابق كل على حدة ، حيث السرداب على سبيل المثال يحتاج إلى كمية تبريد تقل بنسبة 45% عن الدور الأخير المعرض للشمس.
- يجب أيضا أخذ طريقة استعمال المكان بالاعتبار عند تقدير كمية التكييف ، فمثلا الديوانية المنفصلة عن المنزل تحتاج إلى كمية تبريد تزيد بمقدار الضعف عن الغرفة التي تستعمل على أنها غرفة نوم بنفس المساحة. كما أن الغرفة التي تحتوي على مصادر حرارية (على سبيل المثال أفران أو أجهزة كهربائية كثيرة) فإنها تحتاج إلى كمية تبريد أكبر تبعا للحمل الإضافي الموجود بها.
- يتم غالبا تحديد أماكن و نوع ومقاسات مخارج الهواء بالتنسيق مع الديكور و نقاط الإضاءة الكهربائية المطلوبة ، كما يتم تحديد سرعات الهواء داخل مجاري الهواء (Ducts) و عند المخارج . و التي يجب ألا تتخطى السرعات المصرح بها فى البيوت السكنية حتى لا تسبب إزعاج أثناء الاستخدام .
- أخيرا ، يجب أن يتم التنسيق بين المخططات الإنشائية والمخططات المعمارية حتى لا تتعارض مجاري الهواء مع الكمرات و الأعمدة و الجدران للمنزل المراد تكييفه.

3-4-3 أمثلة منوعة على تقدير الأحمال

مثال 3 -2
احسب الحمل المبدئى لمسجد بالكويت مساحته 500 متر مربع.

الحل:
أحمال الإنارة التقريبية = $15\ W/m^2$ x 500 = 7500 وات (بفرض استخدام اللمبات الموفرة).
أحمال التكييف التقريبية = $120\ W/m^2$ x 500 = 60000 وات.

ولأن طبيعة المسجد لا يناسبها تقدير أحمال المخارج العامة Sockets بطريقة المتر المربع ، فالأفضل أن يكون التقدير حسب عدد المخارج ، وبفرض وجود 25 مخرج عام داخل المسجد ، فإن الأحمال العامة التقريبية = 25 x 180 = 4500 VA ، وهو ما يعادل تقريبا 3600 W (على اعتبار أن الـ PF = 0.8).
وبالتالى فالحمل المبدئى لهذا المسجد يساوى تقريبا 72 kW ، وبالطبع قد يختلف قليلا عند الانتهاء من التصميم النهائى للمشروع.
لاحظ أن حمل التكييف يمكن تقديره بوحدات BTU ، على أساس $660\ BTU/Hr/m^2$ ، وهذا يعنى أننا نحتاج لهذا المسجد إلى حوالى 500 x 660 = 330000 BTU/Hr ، وهو ما يعادل تقريبا 330000/12000 = 27.5 طن تبريد ، وهذه القيمة تعادل كهربيا ما يساوى تقريبا (2.5 x 27.5) = 69 kW ، وهى قيمة قريبة جدا من القيمة السابقة. مع الأخذ فى الاعتبار أن جميع هذه القيم هى قيم تقديرية مبدئية ويجب أن تراجع فى الحسابات النهائية.

مثال 3-3
احسب الحمل الكهربى لعمارة سكنية مكونة من 12 شقة ، والمساحة الفعلية لكل شقة تساوى 150 متر مربع؟
الحل
لاحظ هنا فى البداية استخدام مصطلح "المساحة الفعلية للشقة" ، فمن المعلوم أن مساحة الشقة المدونة بعقد البيع تكون دائما أقل من المساحة الحقيقية الفعلية للشقة ، لأن المساحة المدونة بالعقد تشتمل على نسبة من المنافع العامة للعمارة مثل السلالم والمناور وغيرها ، فالشقة التى مساحتها 180 متر مربع ربما لا تزيد المساحة الفعلية داخلها عن 150 متر مربع. وبالطبع فإننا عند حساب الأحمال الكهربية لا نلتفت للمساحة المدونة بالعقد بل للمساحة الفعلية للشقة.

وفى المثال الحالى فإننا نحسب الحمل الكهربى لكل شقة كما يلى:
أحمال الإنارة = 150 x 15 = 2250W (على اعتبار $15\ W/m^2$)
الأحمال العامة = 150 x 50 = 7500W (على اعتبار $50\ W/m^2$)
أحمال التكييف = 150 x 65 = 9750W (على اعتبار $65\ W/m^2$)
الحمل الكلى للشقة = 9750 + 7500 + 2250 = 20 kW تقريبا.
الحمل الكلى للعمارة = 12 x 20 = 240 kW.
ويجب أن تضاف بعد ذلك أحمال الخدمات العامة للمبنى (المصاعد والمضخات).

مثال 3-4

احسب الحمل التقديرى لمبنى مكون من 20 دور ، منهم 3 أدوار مساحة كل منهم $200m^2$ ويفترض أن تشغل بمحلات تجارية ، وهناك أيضا 17 دور مساحة كل منها $100\ m^2$ ويفترض أن تكون مكاتب إدارية.

الحل:

طبقا للمواصفات الكويتية فإن الأحمال الأساسية تقدر كالتالى:

المكاتب : 30 W لإنارة ، 50 W للمخارج ، 70W للتكييف

المحلات : 60 W لإنارة ، 60W للمخارج ، 90 W للتكييف

وعليه فإن إجمالى الأحمال التقديرية يكون كالتالى:

$$(30+ 50 + 70)\ W/m^2 \times 17 \times 100m^2 + (60 + 60 + 90)\ W/m^2 \times 3 \times 200m^2 = 381\ kW$$

وتضاف قيمة تقديرية لثلاثة مصاعد على الأقل (قدرة كل منهم 25kW نظرا لارتفاع المبنى) ، و أيضا ثلاثة مضخات للمياه قدرة كل منهم 5 kW ، لتصبح القدرة الإجمالية المضافة تساوى 100 KW ، وعلى هذا يصبح الحمل التقديرى يساوى تقريبا 480 kW .

لكن مؤسسة الكهرباء المعنية بتوصيل الطاقة تعتبر أن الأحمال متباعدة بنسب تختلف حسب طبيعة المناطق السكنية ومن ثم يصبح تقدير الحمل لكل متر مربع من وجهة نظر شركة الكهرباء أقل من تقدير المهندس المصمم. والملحق -3 كما ذكرنا به نماذج لجداول حسابات أحمال الشقق السكنية فى مؤسسة الكهرباء السعودية وفى نطاق القاهرة الكبرى.

مثال 3-5

إذا كان لدينا اللوحة العمومية لأحمال الإنارة تغذى 6 شقق سكنية مساحة كل منها 200 متر وتغذى معهم أيضا 3 محلات تجارية مساحة كل منهم 100 متر. أحسب الحمل التصميمى للوحة العمومية ، من وجهتى نظر المهندس المصمم ومهندس الوزارة .

الحل:

طبقا للكود الوارد فى الملحق -3 فالشقة مساحة 200 متر حملها التقديرى 32 kVA ، لكنها من وجهة نظر المؤسسة فإن حملها يساوى فقط 16 kVA (DF = 0.5) . أما المحلات مساحة 100 متر فحملها التقديرى 22 kVA ويقدر بـ 13.2 kVA فى مؤسسة الكهرباء. وعلى هذا يكون الحمل الكلى لهذا المبنى :

1- من وجهة نظر المهندس المصمم (وعليه ستحسب قيم الـ CBs والكابلات) =

$$5 \times 32 + 3 \times 22 = 226\ kVA$$

2- من وجهة نظر مهندس الوزارة (وعليه تقدر أحمال المحول الرئيسى للمنطقة) =

$$5 \times 16 + 3 \times 13.2 = 119.6\ kVA.$$

مثال 3-6 :

مبنى سكنى تجارى على مساحة 600 م2 عبارة عن:

- دور بدروم جراج وخدمات
- عدد / 2 دور (أرضى + ميزانين) تجارى
- عدد/16 دور متكرر بكل دور عدد/5 شقة
- عدد/3 مصعد كهربائى كل منهم 15 ك.وات
- محطـــة طلمبـــات مياه لرفـــع المياه إلى الخزان العلوى بها عدد/3 طلمبة رفع مياه قدرة 17.5 حصان وكفاءة 88٪ أحدهما احتياطية.
- محطة طلمبة كسح مياه من البدروم بها عدد/ 2 طلمبة قدرة 6.5 حصان وكفاءة 87٪ أحدهما احتياطية

المطلوب حساب سعة المحول (المحولات) اللازمة لتغذية المبنى:

الحل:

على اعتبار أن :

- طلب الحمل لكل 100م^2 سكنى 8 – 10 ك.ف.أ

- طلب الحمل لكل 100م^2 تجارى 12 ك.ف.أ

تكون الأحمال كالتالى:

(1) البدروم بمساحة 600 م^2 × $\frac{\text{2 ك.ف.أ}}{\text{100 م}^2}$ = 12 ك.ف.أ

(2) التجارى عدد/2 دور × 600 م^2 = 1200 م^2

× 1200 $\frac{12}{100}$ = 144 ك.ف.أ

(3) السكنى عدد/16 دور × 600 م^2 = 9600 م^2

× 9600 $\frac{\text{10 ك.ف.أ}}{\text{100 م}^2}$ = 960 ك.ف.أ

(4)المداخل+السلالم+غرف السطح (يمكن أخذها جميعاً مثل البدروم)=12ك.ف.أ

وبذلك يكون إجمالى أحمال الإنارة: 144 + 12 + 960 + 12 = 1128 ك.ف.أ

(5)أحمال القوى:

* 3 مصعد: $\frac{\text{3 × 15 ك.وات}}{\text{0.85 (معامل القدرة)}}$ = 53 ك.ف.أ

* 2 طلمبة مياه: $\frac{\text{0.746×17.5×2}}{\text{0.85(معامل القدرة)×0.88(الكفاءة)}}$ = 35 ك.ف.أ

* 1 طلمبة كسح مياه: $\frac{\text{6.5 حصان × 0.746}}{\text{0.85(معامل القدرة)×0.87(كفاءة)}}$ = 6.6 ك.ف.أ

إجمالى أحمال القوى: 53 + 35 + 6.6 ≅ 95 ك.ف.أ

ملحوظة :

إذا ما أضيفت أحمال الإنارة كاملة دون تطبيق معاملات تباين عليها إلى أحمال القوى تصبح القيمة الإجمالية للطلب=1128+95=1223 ك.ف.أ.

سعة المحول على أساس أن التحميل 80٪ من السعة = $\frac{1223}{\text{٪ 80}}$ = 1528.75

وبالتالى تكون سعة المحول المناسبة هى 2000 ك.ف.أ

أما إذا سمحت ظروف المكان وشركة توزيع الكهرباء ونسبة الإشغال بالمبنى بتطبيق معامل تباين فإن تطبيقه يتم فقط على أحمال الإنارة أما أحمال القوى فلا يطبق عليها معاملات تباين. فإذا ما افترض معامل تباين قيمته 68٪ فيكون الحمل المطلوب = 1128 × 68٪ + 95 = 862 ك.ف.أ

وتكون سعة المحول المناسب = $\frac{862}{\text{٪80}}$ = 1077 ك.ف.أ

وبالتالى يكون المحول المناسب بسعة 1500 ك.ف.أ.

3-5 معاملات تخفيض الأحمال

3-5-1 مفهوم عامل الطلب Demand Factor

ونظرا لأنه ليس من الطبيعى عندما نتحدث عن أحمال الإنارة مثلا فى المبنى أن نفترض أن تعمل كافة اللمبات فى وقت واحد ، بل الطبيعى هو أن تعمل نسبة معينة فقط من حمل الإنارة الكلى ، وتكون بالطبع أقل من 100% . وتسمى هذه النسبة بعامل الطلب Demand Factor. و عامل الطلب (يتعلق فقط بنوعية واحدة من الأحمال) يختلف من مبنى لأخر ومن حمل إلى حمل ، فالـDemand Factor لأحمال الإنارة فى العمارات السكنية يفترض ألا يقل عن 90% ، و هو بذلك يختلف عن الـDemand Factor على البرايز الذى يصل إلى 50% . ومن ثم فقد تم عمل جداول تقديرية لعامل الطلب للأحمال المختلفة ، ويرجع إليها فى الكود الخاص بكل بلد .

يمثل الجدول 3-5 حالات السماح باستخدام معاملات تخفيض الأحمال التصميمية للدوائر فى المبانى حسب الكود المصرى.

جدول 3-5 : معاملات التخفيض فى الدوائر المختلفة

نوع الحمل	عمارات تتكون من عدة وحدات سكنية	وحدة سكنية أو وحدات سكنية خاصة	فنادق صغيرة أو مباني عامة للنوم والمعيشة	مكاتب ومتاجر ومبان عامة خلاف الورش والمصانع
الإنارة	50٪ من الحمل الكلي	66٪ من الحمل الكلي	75٪ من الحمل الكلي	90٪ من الحمل الكلي
المآخذ الكهربائية (البرايز)	100٪ من التيار التصميمي لأكبر مآخذ بالدائرة. + 40٪ من مجموع التيارات التصميمية لباقي مآخذ الدائرة	100٪ من التيار التصميمي لأكبر مآخذ بالدائرة. +40٪ من مجموع التيارات التصميمية لباقي مآخذ الدائرة.	100٪ من التيار التصميمي لأكبر مآخذ بالدائرة. +40٪ من التيار التصميمي لباقي مآخذ الدائرة. +75٪ من التيار التصميمي لباقي المآخذ في دوائر الأماكن العامة بالمبني.	100٪ من التيار التصميمي لأكبر مآخذ بالدائرة +75٪ من مجموع التيارات التصميمية لباقي مآخذ الدائرة
الأجهزة الكهربائية الثابتة خلاف المحركات والسخانات وأجهزة الطهي	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +50٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز +33٪ من الحمل الكامل للجهاز الثاني الذي يلي أكبر جهاز +20٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من إجمالي الحمل الكامل لمجموع الأجهزة حتى سعة 10 أمبير +50٪ من الحمل للأجهزة التى حملها يزيد عن 10 أمبير	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +75٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة.
أجهزة الطهي الثابتة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +50٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز 33٪ من الحمل الكامل للجهاز الثاني الذي يلي أكبر جهاز +20٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل للأجهزة حتى 10 أمبير. +30٪ من الحمل المقنن الزائد على 10 أمبير +5 أمبير إذا كان يوجد بالجهاز مخرج إضافي.	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز. +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز. +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة
المحركات الكهربائية "خلاف محركات المصاعد التي لها اعتبارات خاصة"	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك + 50٪ من الحمل لباقي المحركات	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك + 50٪ من الحمل لباقي المحركات	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك +50٪ من الحمل الكامل لباقي المحركات.	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك +80٪ من الحمل الكامل للمحرك الذي يلي أكبر محرك. +60٪ من الحمل الكامل لباقي المحركات.
السخانات الكهربائية متقطعة التشغيل	100٪ من الحمل لأكبر سخان +100٪ من الحمل الكامل للسخان الذي يلي أكبر سخان +25٪ من الحمل الكامل لباقي السخانات.			تقدر بمعرفة المختصين تبعاً لظروف التشغيل الفعلية المحتملة.
السخانات الكهربائية مستمرة التشغيل	100٪ من الحمل الكامل في جميع الحالات.			

3-5-2 مفهوم عامل التباعد *ity FactorDivers*

يختلف عامل التباعد (ويسمى أيضا عامل التباين) عن الـ Demand Factor الذى تحدثنا عنه فى كونه لا يتعلق بنوع محدد من الأحمال كما فى حالة الـ Demand Factor ولكنه يتعلق بالتباعد الزمنى عند تشغيل مجموعة

أحمال ذات طبيعة مختلفة ، فقد يكون عامل الطلب لحمل الإنارة 90% وعامل الطلب لحمل المخارج العامة 20 % ، لكن سيظل هناك سؤال:

ما هو احتمال أن تعمل الإنارة والمخارج فى وقت واحد؟

الإجابة عن هذا السؤال هى عامل التباعد (بمعنى أن عامل التباعد (Diversity factor) هو تباعد بين أحمال ذات طبيعة مختلفة ، وعامل الطلب (Demand factor) فهو تباعد بين أحمال من نفس النوع.

وغالبا فى التصميمات ذات الحجم الصغير والمتوسط فإننا نأخذ معامل التباعد بقيمة تساوى واحد صحيح ، حيث نحتاج لحسابه بطريقة دقيقة إلى دراسات مفصلة ، وبالتالى يمكن فى حالة الشقق السكنية الصغيرة والمتوسطة أن نعتبر الأحمال المختلفة تعمل فى وقت واحد .

وفيما يلى أمثلة لتقدير الأحمال السكنية من الكود المصرى.

مثال 3-7

مطلوب تحديد الحمل الكهربائى لفيلا (وحدة سكنية خاصة) تحتوى على الآتى:

(1) عدد من مخارج الإنارة بإجمالى 15000 وات

(2) مآخذ كهربائية: سعة 2 أمبير بعدد 30 دائرة (كل دائرة تحتوى على عدد ست مآخذ).

(3) أجهزة كهربائية:

- باب جراج يعمل بموتور 1.2 حصان
- جهاز ألعاب رياضية بقدرة 1400 وات
- عدد 7 أجهزة تكييف:

عدد 2 بقدرة 3.5 حصان (2.6 ك.وات)

عدد 3 بقدرة 2.5 حصان (1.9 ك.وات)

عدد 2 بقدرة 2 حصان (1.5 ك.وات)

(4) أجهزة الطهى:

- جهاز طهى رئيسى كهربائى بقدرة 6000 وات
- عدد 2 جهاز طهى كهربائى فرعى قدرة 2000 وات
- جهاز تسخين كهربائى قدرة 1200 وات

(5) طلمبات تعمل بموتور كهربائى:

- طلمبة ضخ مياه بقدرة 1.6 ك.وات
- طلمبة رى حدائق بقدرة 2.8 ك.وات
- طلمبة كسح بالبدروم بقدرة 0.6 ك.وات

(6) السخانات وما يماثلها:

- عدد 2 سخان من النوع الذى يعمل مستمراً بسعة 3 ك.وات
- عدد 1 سخان من النوع الذى يعمل مستمراً بسعة 2 ك.وات
- عدد 1 سخان لحظى بسعة 6 ك.وات
- جهاز سخان للتسخين لجهاز الجاكوزى بسعة 5 ك.وات
- جهاز سخان للتسخين بغرفة الساونا بسعة 4 ك.وات

الحل:

تحسب معاملات الطلب المناسبة فى هذا المثال من العمود الخاص بوحدة سكنية خاصة فى الجدول (3-5) وذلك على النحو التالى :

(1)الإنارة: تحسب 66٪ من أحمال الإنارة

$$66\% \times 15000 = 9.9 \text{ ك.وات}$$

(2)المآخذ: حمل دائرة المأخذ الكهربائية بالأمبير:

$$\text{أمبير } 6 = 5 \times 2 \times \frac{40}{100} + 2$$

حمل الدائرة الكهربية بالكيلووات = $6 \times 220 \times 0.85 = 1.122$ ك.وات (معامل قدرة 0.85):

الحمل الكلى للمآخذ = 1.122 × 30 = 33.66 ك.وات.

(3)الأجهزة الكهربائية:

100٪ من إجمالى الحمل الكامل لمجموع الأجهزة حتى سعة 10 أمبير [(1.87 ك.وات) على أساس 0.85 معامل قدرة] + 50٪ من الحمل للأجهزة التى حملها يزيد عن 10 أمبير.

$$= (3 + 1.4 + 0.9) + \frac{50}{100}[5.7+5.2]=5.4+5.3=10.75 \text{ ك.و} \quad [1.9 \times 3 + 2.6 \times 2\ ] \ ٪\ 50 + (1.5 \times 2 + 1.4 + 0.746 \times 1.2)$$

(4)أجهزة الطهى:

100٪ من الحمل الكامل للأجهزة حتى 10 أمبير + 30٪ من الحمل المقنن الزائد على 10 أمبير (2.2 ك.وات على أساس معامل قدرة واحد صحيح).

= (2 × 2.00 + (1.2 + 2.00 = (6) ٪30 = 7.00 ك.وات.

(5)المحركات الكهربائية:

100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك + 50٪ من الحمل لباقى المحركات = 100٪ [2.8] + 50٪ [1.6 + 0.6] = 3.9 ك.وات.

(6)السخانات وما يماثلها:

(أ) السخانات الكهربائية متقطعة التشغيل:

100٪ من الحمل الكامل لأكبر سخان + 100٪ من الحمل الكامل للسخان الذى يلى أكبر سخان + 25 ٪ من الحمل الكامل لباقى الساخانات

= 6 + 5 + 25٪ (4) = 12 ك.وات

(ب) السخانات الكهربائية مستمرة التشغيل:

100٪ من الحمل الكامل فى جميع الحالات

= 2 × 3 + 2 = 8 ك.وات

الإجمالي:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6أ)	(6ب)	
+ 9.9	+33.66	+10.75	+ 7	+3.9	12	+ 8	= 85.21 ك.وات

ملاحظة:

إذا تم جمع جميع الأحمال جمعاً جبرياً نجدها 137.722 ك.وات فيكون:

معامل التباين الإجمالى (diversity factor) = $\frac{85.21}{137.722}$ = 61.87٪

مثال 3-8 :

مبنى يحتوى على عدة وحدات سكنية يشتمل على الأحمال التالية:

(1) أحمال إنارة 75 ك.و. ومعامل قدرة = 1 .

(2) 30 دائرة للمآخذ الكهربية تحتوى كل دائرة على ست مآخذ كل منها بسعة 2أمبير.

(3) 10 سخانات كهربية متقطعة التشغيل والحمل الإسمى لكل منها 1.5 ك.و. ومعامل قدرة = 1 .

المطلوب تحديد الحمل الأقصى لهذا المبنى مع السماح باستخدام معاملات التباين فى حالة:

(أ) إذا كان المبنى عمارة سكنية.

(ب) إذا كان المبنى سوق تجارى.

الحل:

(أ) **فى حالة استخدام المبنى كعمارة سكنية مكونة من عدة وحدات سكنية**

فى هذه الحالة نستخدم معاملات الطلب المناسبة من العمود الأول فى الجدول (3-5) وذلك على النحو التالى :

حمل الإنارة = ٪50 × 75 = 37.5 ك.وات = 37.5 ك.ف.أ

حمل دائرة المآخذ الكهربائية بالأمبير = 2 + 0.40 × 2 × 5 = 6 أمبير

حمل الدائرة الكهربية بالكيلو فولت أمبير = $\frac{220 \times 6}{1000}$ = 1.32 ك.ف.أ

الحمل الكلى للمأخذ = 30 دائرة × 1.32 = 39.6 ك.ف.أ

حمل السخانات الكهربية = 1.5 + 1.5 + ٪25(8×1.5) = 6 ك.وات (6 ك.ف.أ)

الحمل الكلى = 37.5 + 39.6 + 6 = 83.1 ك.ف.أ

(ب) فى حالة استخدام المبنى كسوق تجارى

هنا سنستخدم المعملات الموجودة فى العمود الأخير بالجدول 3-5 على النحو التالى :

حمل الإنارة = ٪90 × 75 = 67.5 ك.وات (ك.ف.أ)

حمل دائرة المآخذ الكهربائية = 2 + ٪75 (5 × 2) = 9.58 أمبير

حمل الدائرة بالفولت أمبير = $\frac{220 \times 9.58}{1000}$ = 2.108 ك.ف.أ

حمل البرايز = 30 دائرة × 2.108 = 63.23 ك.ف.أ

حمل السخانات = 10 × 1.5 = 15 ك.ف.أ

الحمل الكلى = 67.5 + 63.23 + 15 = 145.73 ك.ف.أ

3-6 المصاعد الكهربية

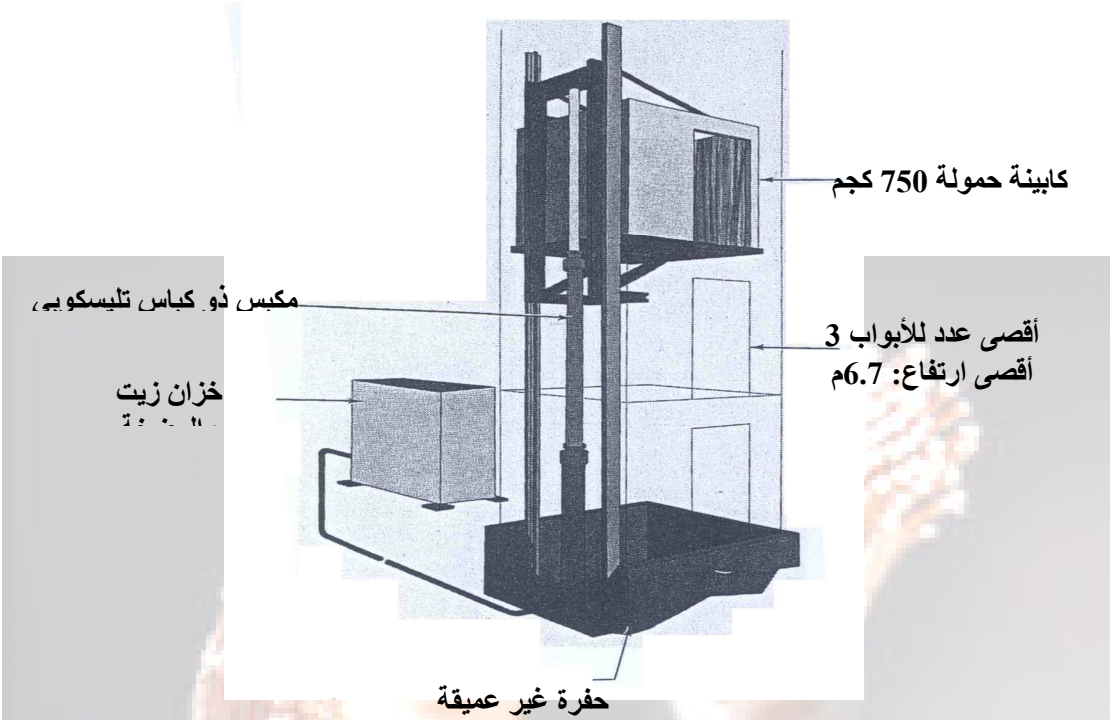
هناك نوعان من المصاعد : المصاعد الهيدروليكية والمصاعد التقليدية المجرورة بالحبال.

1. المصاعد الهيدروليكية

يعمل هذا المصعد بمكبس يتحرك هيدروليكياً يكون مثبتاً بأسفل الكابينة يرفعها أو يخفضها ، وبذلك لا يكون هناك احتياج لحبال أو طنابير كما هو الحال فى مصاعد الركاب العادية . وتكون وسائل الأمان والتحكم بسيطة وغير معقدة ، وهذا النوع من المصاعد مناسباً جداً واقتصادياً فى حالة تحريك الكابينة بسرعات منخفضة (حتى 1م/ث) لمسافات غير مرتفعة (حتى 25 متراً) وخاصة إذا كانت حفرة الاسطوانات الهيدروليكية أسفل الكابينة لا تمثل مشكلة معمارية. و يبين شكل 3-1 التجهيزات المطلوبة للمصعد الهيدروليكى حيث تكون هناك مضخة لدفع الزيت إلى المكبس الهيدروليكي من خزان الزيت.

ومن العيوب الرئيسية للمصعد الهيدروليكى أن تكلفة التشغيل مرتفعة ، فبسبب غياب ثقل الموازنة يحتاج هذا المصعد إلى محرك بقدرة كبيرة لتشغيل مضخة الزيت وتكون كل الطاقة المستخدمة مفقودة حرارياً.

شكل 3-1 : مصعد هيدروليكى مزود بكابينة ركاب حمولة 750 كجم



2. المصاعد التقليدية

في حالة المصاعد التقليدية ترتفع وتنخفض كابينة المصعد - Elevator Car - كما فى الشكل 3-2 بواسطة حبال السحب الفولاذية (3) الملفوفة حول بكرة تتصل بمحرك كهربائي (2) تتحكم فيه دائرة تحكم (1) تحتوي على معالج Processor لبيانات مختلفة تتعلق بالحمل في عربة المصعد ، و الطابق المتواجدة فيه ، و خط سيرها المطلوب ، إلخ. وعادة يكون عدد الحبال الفولاذية مابين 4 إلى 8 اعتماداً على سرعة الكابينة وحمولتها، ويتوزع وزن الكابينة بحمولتها بين هذه الحبال بالتساوى .

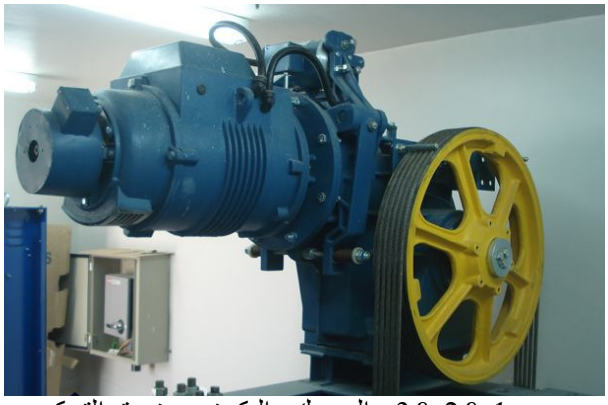
ويسمى النظام السابق بنظام التعليق 1 : 1 ، وفيه وتوضع البكرة والمحرك ونظام التحكم جميعهم في غرفة فوق بئر المصعد (فوق السطح) ، مع ملاحظة أن هناك عدة أنظمة أخرى يتم فيها تركيب بكرة وماكينة الجر فى البدروم أسفل بئر المصعد . ويتوقف اختيار نظام من آخر حسب حمولة المصعد وسرعته وعدد الأدوار التى يخدمها ، ويرجع فى تفاصيل ذلك للشركات المصنعة .

وتربط الحبال التي ترفع العربة وتخفضها من طرفها الآخر بثقل (4) معلق في الجانب الآخر من البكرة ، ويزن هذا الثقل العكسي Counter Weight نفس وزن الكابينة مضافا إليه 50% من أقصى حمولة يسمح بها فى المصعد ، ووظيفته أنه يعمل على تخفيف الحمل الواقع على الموتور ، ففي حالة كون المقصورة محملة مثلا بنسبة 50% من حملها الكلي تكون الأحمال على طرفي الحبال في حالة توازن تام. ولو أنك تخيلت المصعد بدون هذا الثقل وكانت الكابينة فى الدور الأرضى مثلا ، وأردنا أن نرفعها لأعلى فيجب أن يكون عزم المحرك كافيا لرفع الحمل كله ، بينما لو كان الثقل العكسى موجودا فسيخفف ذلك من العبء الملقى على المحرك لأن الثقل متجه لأسفل ، وهذا يعنى أنه سيساهم فى رفع الكابينة لأعلى.

فمثلاً إذا كان وزن الكابينة بمشتملاتها 600 كجم ، وكانت الحمولة مثلاً 1000 كجم ، فيكون ثقل الموازنة فى نظام التعليق 1 : 1 مساوياً لوزن الكابينة مضافا إليه نصف حمولتها (600+500= 1100 كجم)، وفى هذه الحالة يكون المحرك مصمماً على تحميل 50٪ فقط من الحمولة الكاملة صعوداً أو هبوطاً (يلزم أن يضاف إلى ذلك 10٪ زيادة حمولة).

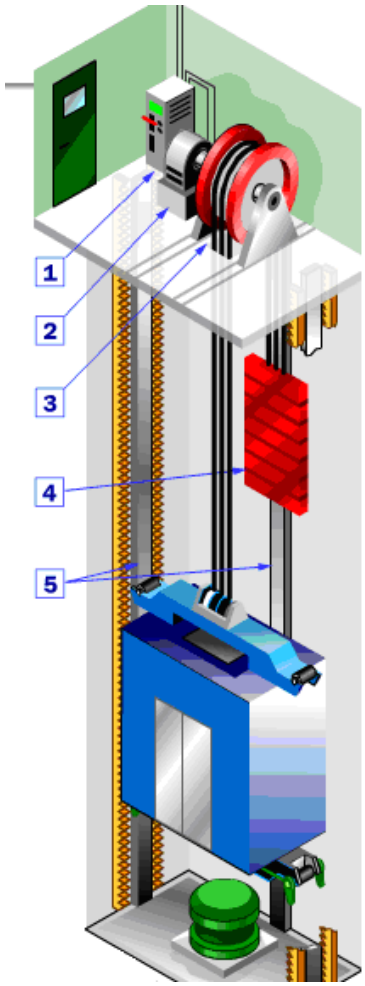
إذن فالغاية من هذا التوازن هو حفظ الطاقة حيث لن تحتاج حركة الكابينة فى الجزء الأكبر من مسافة المشوار إلا إلى التغلب فقط على قوة الاحتكاك ، لأن الوزن على الجانب الآخر سيقوم بأغلب العمل. ويمكن استخدام محرك DC أو AC والأخير (AC) هو المستخدم فى مصر).

وتتم المحافظة على الكابينة والثقل الموازن من الاهتزاز ذهاباً وإياباً بواسطة قضبان تشبه قضبان السكك الحديدية (5) تسمى سكة التثبيت Guide Rails وذلك لضمان سير الكابينة عليها باستقامة. ويتم تركيب سكة التثبيت Guide Rails داخل بئر المصعد ، وهي عبارة عن زوايا من الحديد تثبت في حوائط البئر الخرسانية ، ويتم تحريك عربة المصعد على هذه القضبان بواسطة عجلات من الحديد الصلب بحيث يسهل الحركة ويحافظ على حركة المقصورة داخل هذه السكك.
ويتم تغذية دوائر الإنارة والتهوية داخل المصعد وكذلك تغذية دوائر التحكم فى فتح وغلق الأبواب أوتوماتيكيا بواسطة كابل كهربي متحرك Traveling Cable يرتفع وينخفض مع حركة عربة المصعد ويتصل مباشرة بغرفة التحكم.



1 &2 &3 : المحرك والبكرة وصندوق التحكم

4- الثقل العكسى 5- قضبان التثبيت



شكل 3-2 : منظومة المصاعد التقليدية

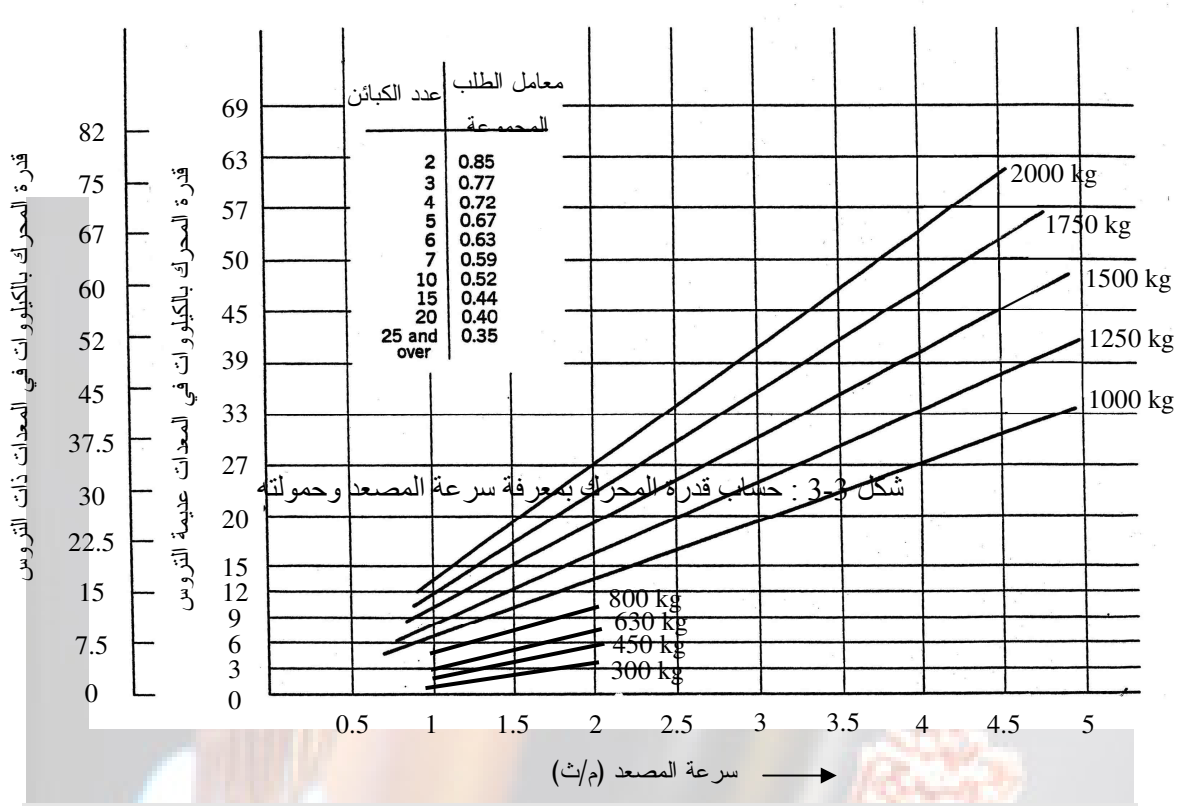
3-6-1 التقدير المبدئي لقدرة المصعد

فيتم تحديد القدرة الكهربائية للمصاعد فى مرحلة التصميم الأولى بمعرفة المعطيات التالية :

1. نوع الآلة المستخدمة (هل هى آلة ذات تروس Gear Machine ، أم ألة بدون تروس Gearless Machine
2. عدد المصاعد فى المبنى
3. سرعة المصعد متر/ ثانية .

4. وزن المصعد مقاسا بالكجم
5. عامل الطلب : وعامل الطلب للمصاعد يختلف حسب عدد المصاعد بالمبنى فهو مثلا فيساوى 0.85 إذا كان لدينا مصعدان ، بينما يساوى 0.72 إذا كان لدينا أربعة مصاعد . وهذا منطقى ، فكلما زادت عدد المصاعد كلما قل الطلب على المصعد.

وبمعرفة هذه المعطيات البسيطة يمكننا حساب قدرة المحرك اللازمة للمصعد وذلك باستخدام شكل 3-3 .



شكل 3-3 : حساب قدرة المحرك بمعرفة سرعة المصعد وحمولته

مثال 3-9 :

احسب قدرة موتور مصعد كهربى فى مبنى به 4 مصاعد ، وسرعة كل منها لا تقل عن 3 متر/ثانية ، علما بأن وزن كابينة المصعد والأفراد داخله لن تزيد عن 1500 كجم.

الحل:

من المنحنيات الموجودة بالشكل رقم 3-3 ، لو رسمنا خطا رأسيا عند السرعة 3 م/ث حتى يتقاطع مع الخط المائل الممثل للوزن 1500كجم ثم نرسم من نقطة التقاطع خطا أفقيا إلى اليسار فسيعطى قيمة تقريبية لقدرة المحرك المطلوب بالكيلوات ، وفى هذه الحالة يساوى تقريبا 30 kW (Gearless Machine). وحيث أن عدد المصاعد بالمبنى تساوى 4 فإن معامل الطلب يساوى 72% (طبقا للجدول الموجود فى الشكل 3-3) ، أى نحتاج فقط إلى موتور بقدرة تقريبية (30 x 0.72) = 22 kW.

لاحظ من الشكل 3-3 أن القدرة المطلوبة للآلة ذات التروس Gear Machine تساوى تقريبا 37.5 kW وهى تزيد عن تلك المطلوبة للآلة بدون تروس ، لكنها بالطبع أرخص سعرا.

ويتم تحديد سرعة المصعد المطلوبة فى المبنى بمعرفة عدد الطوابق التى يخدمها المصعد المذكور حيث أن هناك علاقة وثيقة ما بين ارتفاع المبنى وسرعة المصعد المقترحة كما هو واضح من الجدول 3-6 ، فإذا كان المبنى يتكون من 23 طابقا فإن السرعة المقترحة ستتراوح ما بين 210 متر/دقيقة إلى 240 متر/دقيقة.

جدول 3-6 : السرعة المقترحة للمصعد حسب عدد الأدوار

عدد الطوابق	السرعة المقترحة متر / دقيقة
5	60 - 90
10	105 -120
15	120 -150
20	180 – 210
25	210 – 240
30	240 – 300

والجدول 3-7 فيه مقارنة بين المصاعد المستخدمة لماكينات جر ذات تروس وبدون تروس

جدول 3-7 : مقارنة بين المصاعد المستخدمة لماكينات جر ذات تروس وبدون تروس

الماكينة	ارتفاع المبنى (م)	السرعة (م/ث)	التحكم	العمر الافتراضى	الاحتياج للصيانة	التكلفة	درجة النعومة
ذات تروس	45 – 15	1 – 0.25	تغيير الجهد	40 - 30	متوسط	منخفضة إلى متوسطة	منخفضة إلى متوسطة
	55 – 15	2 - 1					
بدون تروس	50 <	2 <	تغيير الجهد	غير محدد	منخفض	عالية	عالية

3-6-2 ملاحظات هامة

1. تستخدم المحركات ذات التيار المتردد فى التطبيقات ذات السرعات المنخفضة (ما بين 0.125 ، 0.75 م/ث) وتكون ذات سرعة واحدة أو سرعتين
2. يمكن استخدام ماكينات جر بدون تروس تعمل بالتيار المستمر لتغيير سرعات الجر فى المبانى ذات الارتفاعات أكبر من 50 متراً وللحمولة الكبيرة حتى 5000 كجم وبسرعة لا تقل عن 2 م/ث، وتكون قدرة المحرك من 15 ك.وات إلى 260 ك.وات (الكود المصرى).
3. يوجـد نظام حديث يسمى ماكينات بدون-غرف (Room-less Machine) ولا يوجد به غرفة ماكينات وإنما تركب جميع المهمات فوق الصاعدة مباشرة.
4. تستخدم المحركات 3-Phase Induction Motors ذات السرعتين 1500/375لفة/الدقيقة مع نظام Microprocessor Control مع ثبات التردد.
5. تستخدم الـ 3-Phase Induction Motors ذات سرعة واحدة 1500 لفة/الدقيقة مع نظام مغير التردد والجهد ويستخدم نظام التروس لتحديد سرعة المصعد.

وأخيرا ، فيمكن الاسترشاد فى مرحلة التصميم التفصيلى بالمعلومات فى الجزء التالى.

3-6-3 التقدير التفصيلي لعدد المصاعد

يعتمد تقدير عدد مصاعد الركاب وحمولتها وسرعتها المقررة لمبني معين على خصائص ذلك المبني مثل :

1. عدد الطوابق .
2. عدد السكان في كل طابق.
3. الحمولة المطلوب نقلها.
4. طبيعة استعمال المبني .
5. ارتفاع المبنى.
6. سرعة المصعد .
7. عدد المصاعد فى المبنى .
8. معدل جودة الخدمة المطلوبة .

ويحسن الرجوع إلى البرامج الجاهزة Software Programs التى تقدمها الشركة المصنعة لتقدير عدد وقدرة المصاعد. وسنعرض هنا لنموذج لهذه الحسابات . وقبل أن نعرض لهذا النموذج سنعرف أولا بعض الرموز التى سيرد ذكرها فى الحسابات لاحقا.

الرموز المستخدمة:

P هو إجمالى عدد الذين يستخدمون المصعد خلال فترة الذروة من كل الأدوار .
N أقصى عدد من الأفراد داخل كابينة المصعد .
n عدد الأدوار المسموح بالوقوف فيها خلال ساعات الذروة .
V سرعة المصعد .
P1 هو العدد المحتمل أن يغادروا المصعد فى كل رحلة فى الدور الأول خلال فترة الذروة فقط .
P2 هو العدد المحتمل أن يغادروا المصعد فى كل رحلة فى الدور الثانى خلال فترة الذروة . وهكذا.
S_n متوسط عدد مرات التوقف Stops فى الرحلة الواحدة (وقت الذروة) .
D ارتفاع المبنى .
d المسافة التى يقطعها المصعد خلال فترة التسارع Acceleration والتباطؤ عند كل توقف .
T_{io} زمن دخول / خروج الأفراد للمصعد فى كل توقف (نفرضه = 10 ثانية).
T_{c-o} زمن فتح /غلق الأبواب (يمكن فرضه 4 ثوانى).

وفيما يلى أهم الخطوات بالترتيب :

1. متوسط عدد مرات التوقف خلال الرحلة S_n:

ولتوضيح معنى هذا المعامل نفرض مثلا أن عدد من الأشخاص N قد ركبوا المصعد فى الدور الأرضى **فى وقت الذروة** . وبالطبع هناك احتمال أن يغادر عدد من الركاب P1 المصعد فى الدور الأول ، وبالمثل هناك احتمال أن يقف المصعد فى الدور الثانى ليغادره عدد آخر يساوى P2 وهكذا . وسنعتمد هنا على نظرية الاحتمالات لتقدير متوسط عدد مرات التوقف Stops فى الرحلة الواحدة (خلال وقت الذروة) وسنرمز له بالرمز S_n . وطبقا لحسابات هذه الشركة فإن S_n يمكن تقديره من المعادلة التالية :

$$S_n = n - \left[\left(\frac{P-P_1}{P}\right)^N + \left(\frac{P-P_2}{P}\right)^N + ... + \left(\frac{P-P_n}{P}\right)^N\right] .....3-1$$

2. الزمن الكلى الذى يستغرقه المصعد أثناء الحركة ذهابا وإيابا Total Traveling Time , TTT

بالطبع هذا الزمن لا يمكن أن نحصل عليه بمجرد قسمة ارتفاع المبنى على السرعة ، بسبب التوقفات الكثيرة. ولذا يحسب هذا الزمن بمعادلة تقديرية كما يلى :

$$TTT = \frac{2(dS_n + D)}{V} \quad (3-2) .....$$

3. زمن فتح وغلق الأبواب فى كل التوقفات : بفرض أن زمن فتح / غلق باب المصعد فى كل توقف = أربع ثواني ، ومن ثم يكون الزمن الكلى لفتح وغلق الأبواب =

$$T_{c-o} = S_n \times 4 \quad (3-3)$$

4. زمن الرحلة الكامل (ذهابا وإيابا) Round Trip Time , RTT

يشمل هذا الزمن كلا من :

- زمن الذى يستغرقه المصعد أثناء الحركة Total raveling Time , TTT .
- زمن فتح وغلق الأبواب فى كل التوقفات .
- زمن دخول وخروج الأشخاص .
- بالإضافة إلى Time Constant للأمان (يضاف 10 ثوانى على المجموع السابق).

$$S_n + T_{io} \times S_n + \text{time constant} \times RTT = TTT + T_{c-o} \quad (3-4)$$

5. عدد الرحلات لكل مصعد خلال فترة الذروة = (زمن فترة الذروة ÷ زمن الرحلة الواحدة)
6. عدد الأشخاص الذين استخدموا المصعد الواحد خلال فترة الذروة = عدد الرحلات x سعة الكابينة
7. عدد المصاعد المطلوبة = (إجمالى عدد المستخدمين ÷ عدد المستخدمين للمصعد الواحد).

8. معامل جودة الخدمة Grade of Service **:** تتوقف قيمة هذا المعامل على مجموع قيمتين : (متوسط زمن الانتظار + متوسط زمن الرحلة) **.**

زمن الانتظار WT : وهو يساوى فى أسوأ الحالات زمن الرحلة ذهابا وإيابا (Round Trip Time, RTT) مقسوما على عدد المصاعد (N) .

WT = RTT ÷ N .....(3-5)

متوسط زمن الانتظار = (WT ÷ 2) .

متوسط زمن الرحلة = (RTT ÷ 4) .

Grade of Service = (WT ÷ 2) + (RTT ÷ 4) .....(3-6)

9. تقييم معامل جودة الخدمة :

إذا كانت أقل من 45 ثانية	فالخدمة ممتازة .
إذا كانت بين 45 – 55 ثانية	فالخدمة جيدة.
إذا كانت بين 55 – 65 ثانية	فالخدمة مقبولة.
إذا كانت أكبر من 65 ثانية	فالخدمة سيئة.

10.حساب القدرة الكهربية

نحسب أولا إجمالى الوزن (الكابينة + الأفراد) ، ثم نعتبر الوزن المكافئ هو نصف الوزن السابق على اعتبار أن الثقل المستخدم فى المصاعد التقليدية يكافئ تقريبا نصف الوزن على طول مشوار الرحلة . وأخيرا نضرب الوزن المكافئ فى معامل تقديرى للتحويل مباشرة إلى القدرة الكهربية بالـ HP ، وهذا المعامل يساوى (1.5/75) .

مثال 3 -10

مطلوب حساب عدد المصاعد المناسبة لمستشفى مكون من 5 أدوار ، و ارتفاع المبنى 20 متر و كابينة المصعد تتسع لـ 10 أفراد ، ومسافة التسارع والتباطؤ فى كل توقف هى متر ونصف ، ووزن الكابينة 1000 كجم ، وسرعة المصعد 100 m/min. علما بأن المستشفى له فترة ذروة قدرها ساعة واحدة (ما بين صلاة المغرب وصلاة العشاء) ، ومتوسط إجمالى عدد الأفراد الذين يستخدمون المصعد فى كل دور خلال هذه الساعة كما يلى :

الدور	1	2	3	4	5
عدد الأشخاص	100	150	250	250	250

الحل :

يمكن من معلومات المسألة تحديد قيم الرموز التالية :

P = 1000 (P1 = 100, P2 = 150 , P3 = 250 , etc)

N = 10 .

n = 5 .

V 100 متر/دقيقة .

D = 20 متر.

d = 1.5 متر

T_{io} = 10 ثانية.

T_{c-o} = 4 ثوانى.

الآن نبدأ خطوات التصميم بالترتيب كما سبق :

1. احسب متوسط عدد التوقفات S_n:

$$S_n = 5 - \left[\left(\frac{1000-100}{1000} \right)^{10} + \left(\frac{1000-150}{1000} \right)^{10} + 3\left(\frac{1000-250}{1000} \right)^{10} \right] = 4.4$$

2. احسب زمن الـ TTT

$$TTT = \frac{2(1.5 \times 4.4 + 20)}{100} = 0.55\,min = 32\,sec$$

3. احسب زمن فتح وغلق الأبواب

$T_{c-o} = S_n \times 4 = 4.4 \times 4 = 17.6$ sec

4. احسب زمن الرحلة الكامل RTT
RTT = 32 + 17.6 + 10 (4.4) + 10 = 103 sec
5. عدد الرحلات لكل مصعد خلال فترة الذروة = 103 / (60 x 60) = 35 رحلة.

6. عدد الأشخاص الذين استخدموا المصعد الواحد خلال فترة الذروة = 35 x 10 = 350 فرد .
7. عدد المصاعد المطلوبة = (1000 ÷ 350) = 3 مصاعد .
8. زمن الانتظار = 103 ÷ 3 = 34.3 ثانية .
9. درجة جودة الخدمة = 34.3/2 + 103 /4 = 43 (الخدمة ممتازة) .
10. الوزن الكلى = 1000 + (10 x 80) = 1800 كجم. (على اعتبار ان وزن الشخص الواحد يساوى 80 كجم , من ثم فإن الوزن المكافئ = 900 كجم).
قدرة المحرك الكهربى بالحصان = 900 x (1.5/75) = 18 حصان.

3-7 طلمبات رفع المياه فى المبانى

عادة تكون تغذية المياه للمبانى المنخفضة (ذات الطابقين أو الثلاثة طوابق) من مصدر مرفق مياه الشرب مباشرة اعتماداً على ضغط الشبكة الذى يتراوح فى الغالب بين 3.5 بار إلى 4.8 بار حسب المنطقة السكنية ، وهو ضغط عمومى كاف لدفع الماء إلى الصنابير داخل المنازل ليخرج منها الماء بضغط يتراوح ما بين 0.35 بار و 1.35 بار ، بعد التغلب على الاحتكاك فى المواسير والصنابير.
أما فى المبانى متوسطة الارتفاع حتى 30 متراً (حوالى 10 طوابق) فيتم ضخ الماء من المصدر الرئيسي مباشرة (أو من خزان أرضى بالبدروم يملأ من الشبكة العمومية تلقائياً) إلى خزان علوى فوق سطح المبنى بواسطة طلمبة كهربائية تعمل بمحرك فى حدود 7.5 kW ، وتعمل تلقائياً من مفتاح منسوب (Level Switch). ويوجد عادة طلمبتان أحدهما تعمل والثانية احتياطية.
فإذا كان الضغط عند الأدوار أسفل الخزان مباشرة منخفضاً ، فلا بد من استخدام مضخة أخرى صغيرة لرفع الضغط وتركب بالسطح (قدرة حوالى 1.5 Kw) مزودة بخزان تمدد (Expansion tank) تعمل تلقائياً وذلك لضمان ضغط أعلى عند هذه الأدوار.
ويمكن تحديد قدرات المحركات حسب الارتفاع وكمية المياه من قوانين الهيدروليكا ، و تحسب قدرة محرك الطلمبة (P) من المعادلة التالية:

$$P = \frac{\omega . Q \times H}{75 \times \eta} \times 0.746\, KW$$

حيث:

Q: معدل التصرف (م3/ث)
H: الرافع الاستاتيكى (م)
η: الكفاءة (حوالى 80 ٪)
ω: الكثافة = 1000 (كجم/م^3)

3-7-1 طلمبات الحريق

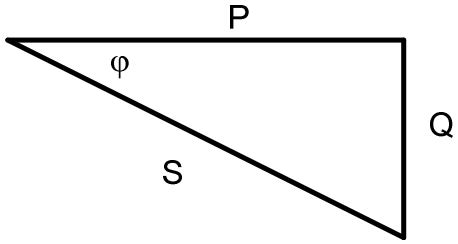
يمكن أن تستخدم طلمبة منفردة لضخ المياه عند حدوث حريق ، فعلى سبيل المثال قد يكون تصرفها حوالى 40 م^3 / ساعة عند رفع الضغط إلى حوالى 10 بار . وتكون قدرة محركها الكهربائى فى حدود 22 ك.و.
وفى معظم المبانى يكون هناك طلمبة تدار بمحرك كهربائى وأخرى تدار بواسطة محرك ديزل يقوم تلقائياً عند حدوث حريق فى حالة عدم قيام الأولى أو فى حالة عدم قدرة الأولى على رفع ضغط المياه إلى القيم المطلوبة (تركب حساسات لقياس الضغط Pressure Valves فى عدة أماكن) ، وتتولى طلمبة جوكى (Jokey pump) إيجاد ضغط دائم على طول خط مواسير مياه الحريق (Header) الرئيسي.

3-8 تحسين معامل القدرة (تخفيض الأحمال)

هذا الجزء خاص بتحسين معامل القدرة Power Factor وسنعتبره من ضمن المواضيع المتعلقة بتقدير الأحمال لأن النتيجة النهائية له هى خفض القدرة التعاقدية لصاحب المبنى أو المشروع مع وزارة الكهرباء ، ومن ثم فهو من صميم تقدير الأحمال.

لو تخيلنا فى البداية أن لدينا محرك يدخل إليه تيار قدرة I تحت فرق جهد قدره V ، فإننا نقول أن القدرة الظاهرة Apparent Power, S تساوي S = I.V ، أى أن الظاهر لنا أن قدرة هذا المحرك تساوى S ، لكن هل بالفعل ستتحول كل هذه القدرة إلى حركة بفرض أن الكفاءة تساوي % 100 ؟.

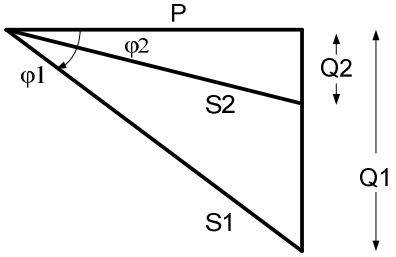
بالطبع لا ، لأن هذه القدرة تنقسم داخل المحرك إلى جزأين : الجزء أول يسمى Active Power , P ، و يقاس بالـW ، والجزء الثاني يسمى Reactive Power, Q ، و يقاس بـ V.A.R . و الجزء الأول هو فقط (P) هو الذي نستفيد منه و يتحول بالفعل إلى طاقة حركية ، أما الجزء الثاني (Q) فينحصر دوره في توليد مجال مغناطيسي ليساعد المحرك على الدوران . أى أن الجزء الثاني هو عامل مساعد فقط. و مثلث القدرة المشهور يبرز علاقة الثلاثة أنواع من القدرة ببعضهم البعض كما فى الشكل 3-4 . وتسمى الزاوية φ بين P و S بزاوية القدرة Power Angle ، ويسمى Cosine هذه الزاوية بمعامل القدرة Power Factor .



شكل 3-4 : مثلث القدرة

وواضح من الشكل أنه كلما كانت الزاوية φ صغيرة كلما كانت Q صغيرة ، و كلما كانت الـ P وهى الجزء المتحول إلى طاقة مفيدة أكبر ما يمكن ، ولذا فالقدرة الفعالة P تتناسب طرديا مع قيمة هذا المعامل حيث تحسب ($P = V . I . \cos \varphi$). و بالطبع من مصلحتنا أن تكون قيمة cos φ تقترب من الواحد الصحيح.

ولكن في بعض الأجهزة تكون قيمة معامل القدرة منخفضة (ربما تصل إلى 0.3) ، و هذا يعني أن 30 % **فقط** من قيمة القدرة الداخلة للجهاز (S) ستتحول إلى P و سنستفيد منها . بمعنى آخر ، لو تصورنا أن لدينا مصنع كبير يسحب تيار قدرته 1000A عند جهد 400 V مع معامل قدرة يساوى ($\text{Cos } \varphi_1 = 0.33$)، فهذا يعني أن مؤسسة الكهرباء قد جهزت لهذا المصنع شبكة كهربائية تتحمل قدرة 400 MVA لكن هذا المصنع سيستفيد فقط من حوالى ثلث هذه الطاقة ، ومن ثم فثلثي هذه الطاقة المحجوزة لهذا المصنع لم يستفد منها. الآن لو تخيلنا أن معامل القدرة لهذا المصنع قد أصبح ($\text{Cos } \varphi_2 = 0.9$)، بعد تحسين زاوية القدرة من φ_1 إلى φ_2 كما فى الشكل 3-5 ، فهذا يعني أن القدرة الظاهرة Apparent Power التي سيحتاجها المصنع ستنخفض من S1 إلى S2 بفرض أنه حافظ على نفس القدرة P التى ينتجها.



شكل 3-5 : مثلث تحسين معامل القدرة

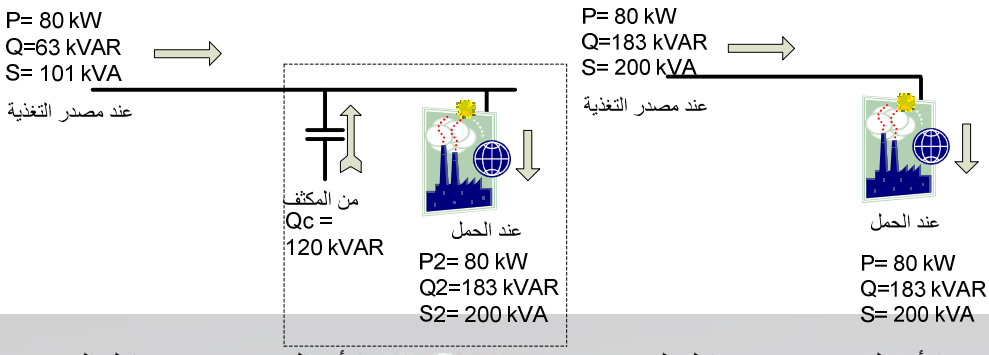
فكيف يمكن عمل ذلك ؟

هذا ما يعرف بتحسين معامل القدرة P.F Improvement ، حيث تركب مكثفات على التوازي مع الحمل ، لتغذي هذه المكثفات الحمل بجزء من الـ Reactive Power المطلوبة ، بدلا من أخذها كلها من المصدر. ومن ثم تقل قيمة Q . وحيث أن قيمة P ثابتة فلذلك ستقل قيمة S التى يسحبها من مصدر التغذية. وبالتالى تقل قيمة الحمل التعاقدى.

على سبيل المثال لو فرض أن لدينا مصنع أحماله قدرها $S_1 = 200$ kVA ، وله معامل القدرة PF= 0.4 ، فهذا يعنى أن يستهلك Active Power قدرها $P_1 = 80$kW ، و يسحب أيضا Reactive Power قدرها $Q_1 = 183$ kVAR ، وهى نفس الكميات المسحوبة من مصدر التغذية العمومى – بفرض عدم وجود فقد فى القدرة خلال كابلات النقل – كما في الشكل 3-6 (يسار) .

لو فرضنا الآن أننا قد أضفنا مجموعة مكثفات على التوازى مع هذا المصنع (كما فى الشكل 3-6 يمين) ، بحيث أن هذه المكثفات تضيف للمنظومة Reactive Power تساوى مثلا $Q_C = 120$ kVAR فستجد أن هذا المصنع مازال يستهلك نفس الكميات السابقة من الـ P, Q, S ، وهذا طبيعى فتحسين الـ PF لا يؤثر على أحمال

المصنع الداخلية ، ولكن الجديد أنه يحتاج الآن إلى Reactive Power من المصدر العمومى قدرها (63 kVAR) فقط لأن الجزء الباقى (120 kVAR) قد حصل عليه من المكثفات .



يمين : الأحمال بعد تحسين معامل القدرة يسار : الأحمال بعد تحسين معامل القدرة

شكل 3-6 : تغير قيم الأحمال بعد تحسين معامل القدرة

بمعنى آخر أننا كنا قبل تحسين معامل القدرة نسحب من المصدر قدرة ظاهرة Apparent Power قدرها 200 kVA = S_1 ، لكننا أصبحنا نسحب فقط $S_2 = 101$ kVA ، حيث

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{80^2 + 63^2} = 101\ kVA$$

وهذا يعنى أننا خفضنا القدرة التعاقدية من 200 kVA إلى 100 kVA بمجرد تحسين معامل القدرة . لاحظ أن معامل القدرة PF الجديد (للمصنع + المكثفات) يساوى تقريبا 0.79 . حيث

$$\tan\varphi_2 = \frac{63}{80} \Rightarrow\Rightarrow \cos\varphi_2 = 0.79 \quad or \quad \cos\varphi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{80}{101} = 0.79$$

من أجل ذلك أصبحت شركات توزيع الكهرباء تفرض غرامة كبيرة على المستهلكين الكبار الذين ينخفض معامل القدرة لمؤسساتهم عن 0.9 . وفى الغالب تكون هذه الغرامة متناسبة مع حجم تباعد الـ PF عن الرقم (0.9) ، ومتناسبة أيضا مع حجم الاستهلاك ، فلو فرضنا مثلا أن أحد المصانع تبلغ فاتورته السنوية مثلا مليون جنيه وكان متوسط معامل القدرة له يساوى 0.7 فهذا يعنى أن الغرامة المستحقة عليه تساوى:

(0.9-0.7) x 1000000 = 200000

وهذا المبلغ الضخم يمثل غرامة إضافية فوق الفاتورة .

3-8-1 حساب سعة المكثفات المطلوبة

يمكن من الشكل 3-5 حساب قيمة Q_C التي تضاف لتحسين الـ Power Angle من φ_1 إلى φ_2 باستخدام المعادلة التالية :

$$Q_C = P[\tan\phi_1 - \tan\phi_2] \quad .....3-7$$

ومنها يمكن حساب قيمة الـ C للمكثفات المطلوبة من المعادلة

$$C = \frac{Q_C}{V\omega} \quad .....3-8$$

لاحظ أن جميع القيم فى المعادلتين السابقتين هى *Per Phase* .

مثال 3-11

احسب قيمة الـ C للمكثف المناسب لتحسين معامل القدرة من 0.7 إلى 0.95 فى أحد المصانع التى قدرتها الإجمالية 500 kW وجهد التشغيل 11 kV .

الحل:

من قيم الـ PFs نجد أن من المعادلة 3-7 نجد أن $\varphi_1 = 45$ ونجد أن $\varphi_2 = 18$

$$Q_C = P[\tan\phi_1 - \tan\phi_2] = \frac{500{,}000}{3}[\tan 45 - \tan 18] = 115.88 \quad kVAR\ (per-phase)$$

ومن المعادلة 3-8 نجد أن سعة المكثف Per-Phase =

$$C = \frac{Q_C(per-Phase)}{V\ \omega} = \frac{115880\times\sqrt{3}}{11000\times 2\pi\times 50} = 0.058\ Farad$$

لاحظ أن الـ 3-Phase Rating لهذه المكثفات يساوى تقريبا 345 kVAR .

3-8-2 التحسين باستخدام جداول الحسابات

يمكن حساب قيمة الـ KVAR المطلوبة لتحسين معامل القدرة من قيمة معينة منخفضة إلى قيمة محسنة باستخدام الجدول رقم 3- 8 . حيث يمثل العمود الأيسر قيمة معامل القدرة قبل التحسين بدلالة قيمة cos أو الـ tan ، وعليك أن تختار واحدا من الأعمدة الرأسية الموجودة تحت العنوان " KVAR Rating of ..... Capacitors " حسب قيمة معامل القدرة المطلوب الوصول إليها. والقيمة الموجودة عند تقاطع القيمتين تمثل الـ kVAR per kW ، بمعنى أنك تحتاج فقط لضربها فى قيمة الـ kW لتحصل على سعة المكثفات المطلوبة كما فى المثال التالى.

مثال 3-12 :

مصنع قدرته kVA 666 ومعامل القدرة له يساوى 0.75 والمطلوب تحسين هذه القيمة لتصل إلى 0.93 احسب الـ KVAR المناسبة للمكثفات المستخدمة.

الحل:

من القيم المعطاة بالمسألة نحسب قيمة الـ kW لهذا المصنع:

$P = 0.75 \times 666 = 500$ kW

ثم باستخدام الجدول 3-8 نحدد قيمة الـ PF القديمة (0.75) والجديدة (0.93) وعند تقاطع القيمتين ستجد أن الـ kVAR / kW تساوى 0.478 . وهذا يعنى أن إجمالى الـ kVAR المطلوبة تساوى:

$Q = 0.478 \times 500 = 244$ kVAR

مثال 3-13:

احسب السعة المطلوبة للمكثفات فى المثال 3-12 باستخدام الجدول 3-8.

الحل:

من تقاطع 0.95 and 0.7 نجد أن المعامل kVAR / kW يساوى 0.691 وهذا يعنى أن سعة المكثفات تساوى :

$Q = 0.691 \times 500 = 345$ kVAR

وهى نفس القيمة التى حصلنا عليها بالحسابات ، مع ملاحظة أن هذا الجدول يصلح لجميع قيم الجهود سواء المنخفضة أو المتوسطة ، ولذا فهو أسهل وأسرع .

جدول 3-8 : تقدير قيم الـ kVAR / kW عند تحسين معامل القدرة

Before compensation		kvar rating of capacitor bank to install per kW of load, to improve cos φ (the power factor) or tan φ, to a given value													
		tan φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.0
tan φ	cos φ	cos φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
2.29	0.40		1.557	1.691	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
2.22	0.41		1.474	1.625	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
2.16	0.42		1.413	1.561	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
2.10	0.43		1.356	1.499	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
2.04	0.44		1.290	1.441	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
1.98	0.45		1.230	1.384	1.501	1.532	1.561	1.592	1.628	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
1.93	0.46		1.179	1.330	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
1.88	0.47		1.130	1.278	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
1.83	0.48		1.076	1.228	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
1.78	0.49		1.030	1.179	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
1.73	0.50		0.982	1.232	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
1.69	0.51		0.936	1.087	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
1.64	0.52		0.894	1.043	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
1.60	0.53		0.850	1.000	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54		0.809	0.959	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
1.52	0.55		0.769	0.918	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
1.48	0.56		0.730	0.879	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
1.44	0.57		0.692	0.841	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
1.40	0.58		0.665	0.805	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
1.37	0.59		0.618	0.768	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60		0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.30	0.61		0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62		0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63		0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64		0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65		0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
1.14	0.66		0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67		0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68		0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69		0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70		0.270	0.420	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.99	0.71		0.242	0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.96	0.72		0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73		0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.91	0.74		0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75		0.132	0.82	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.86	0.76		0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77		0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78		0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79		0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80			0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81			0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82			0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83			0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.65	0.84			0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85			0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.51	0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.48	0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

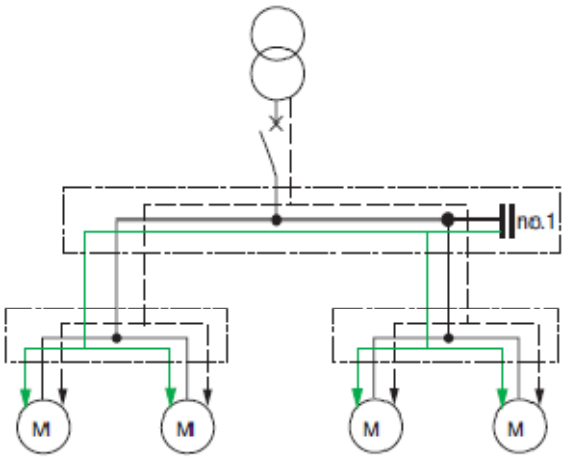
3-8-3 التحسين الأتوماتيكي لمعامل القدرة

نظرا لتغير الأحمال من وقت لآخر فان معامل القدرة ممكن أيضا أن يتغير ، و هذا يعني أن قيمة الـ C التي حسبناها يجب بالتبعية أن تتغير ، ومن أهم عيوب استخدام المكثفات ذات سعة ثابتة القيمة أنها تعمل على رفع جهد الشبكة الكهربية إلى قيم أعلى من الجهد المقنن في خلال فترات اللاحمل و الأحمال الخفيفة ، كذلك تقل الاستفادة من تخفيض الفقد لأن اختيار قدرة المكثفات من هذا النوع يعتمد على قيمة ثابتة للقدرة غير الفعالة خلال ساعات اليوم الكامل .

ولعلاج هذه المشكلة تزود لوحات التوزيع بمنظومة تحكم في قيمة C المناسبة Automatic Power Factor Regulator, APFR ، حيث يكون لدينا مجموعات منفصلة من المكثفات يمكن توصيلها على التوازي بقيم مختلفة حسب الحاجة . و تتحكم دائرة APFR في فصل و تشغيل هذه المجموعات على مراحل و بالتالي نتحكم في قيمة الـ C عند تغير معامل القدرة .

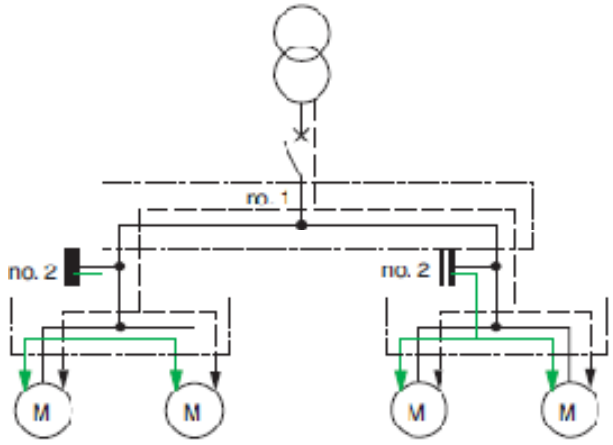
3-8-4 أين توضع المكثفات؟

هناك عدة اختيارات لأماكن وضع المكثفات ، فالاختيار الأول أن تركب المكثفات على الـ BB العمومى للجهد المنخفض كما فى الشكل 3-7 ، وفى هذه الحالة سنحقق عدة مكاسب منها تخفيض الـ KVA Demand للمنشأة ، و تجنب الغرامات الناتجة عن انخفاض الـ PF ، وتخفيف الأحمال عن المحول العمومى . لكن تذكر أن تحسين الـ PF يقلل الـ kVAR المارة فى كافة الكابلات الواقعة قبل المكثفات ، أما الكابلات التى تقع بعد المكثفات فسيمر بها نفس الـ kVAR الأصلية وهذا ما يعيب هذا الاختيار .



شكل 3- 7 : الاختيار الأول لمكان وضع المكثفات

ولعلاج هذه المشكلة يمكن تحريك مكان المكثفات إما لتوضع على اللوحات العمومية للأحمال كما فى الشكل 3-8 ، حيث يتم تخفيف الحمل على الكابلات الرئيسية المغذية للوحات العمومية وهذا هو ما يميز هذا الاختيار الثانى . أما إذا أردت أن تخفف الأحمال عن كافة الكابلات فعليك أن تضع المكثفات مباشرة عند الأحمال.



شكل 3-8 : الاختيار الثانى فى أماكن وضع المكثفات

يجب فى جميع الأحوال دراسة مزايا تركيب مجموعات المكثفات في المواقع المختارة دراسة اقتصادية متأنية ، من حيث التكاليف اللازمة عند كل حالة والمردود الاقتصادي لتحسين معامل القدرة حسب كل موقع أخذين في الاعتبار طبيعة الأحمال المراد تصحيح معامل القدرة لها وظروف تشغيلها بما يحقق أكبر فائدة لكل من مؤسسة الكهرباء وللعميل معا لما في ذلك من مدلول اقتصادي إيجابي على مستوى الناتج القومي بصفة عامة.

3-8-5 تأثير الـ Harmonics

هناك بعض المشاكل التى تنتج من وضع المكثفات على التوازى مع الأحمال من أجل تحسين الـ PF ، وأخطر هذه المشاكل هى انخفاض معاوقة المكثفات X_C مع ارتفاع قيمة التردد حيث

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

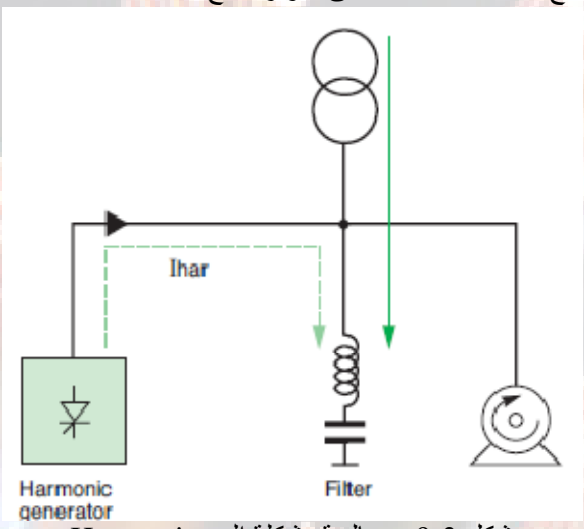
وهذا يعنى أنه كلما ارتفعت قيمة التردد كلما قلت قيمة X_C ، وإذا انخفضت قيمة X_C بشدة فهذا يعنى أن المكثفات أصبحت وكأنها Short Circuit مما يؤدى إلى انفجار المكثف.

والتيار الطبيعى تردده 50Hz إذا كان Pure Sin وبالطبع هذا غير موجود فى الحياة العملية لأنه الشبكات الكهربية تحمل ترددات من مضاعفات الـ Hz 0-5 تعرف بالـ Harmonics ، وأهم مصادر هذه الـ Harmonics هو الأجهزة الإلكترونية التى تحتوى على SCRs أو High-Frequency Switches ، وهذه الأجهزة تتسبب فى ظهور الـ Harmonics ، مع ملاحظة أن المولدات الكهربية أيضا لا تنتج Pure Sin .

وما يهمنا هنا أن هذه الترددات العالية (Harmonics) إذا وجدت بنسب كبيرة مقارنة بالتردد الأصلى فإنها تتسبب فى انخفاض قيمة الـ X_C بدرجة خطيرة كما ذكرنا قد تؤدى إلى حدوث Short Circuit بالمكثفات.

ولعلاج هذه المشكلة يضاف Inductor صغير على التوالى مع مجموعة المكثفات كما فى الشكل 3-9 ، وذلك لزيادة قيمة المعاوقة المكافئة Z للتيار المار بالمكثفات .

ويمكن أن نستخدم الطول الزائد فى الكابل الواصل لمجموعة المكثفات لتصنيع هذا الـ Inductor الصغير وذلك بلفه حول قلب ما عدة لفات للحصول على قيمة الـ Inductance المناسبة. وهذا الحل البسيط يصلح إذا كانت الـ Harmonics المؤثرة عبارة عن تردد محدد ، أما إذا كانت الـ Harmonics متنوعة ومتغيرة من وقت لاخر ففى هذه الحالة سنحتاج لوضع Active Filter على التوازى مع المكثفات.



شكل 3-9 : معالجة مشكلة الـ Harmonics

ملحوظات :

1- يجب أن يراعى في مرحلة التصميم أن يكون المكثف أو مجموعة المكثفات قادرة على إنتاج قدرة غير فعالة (KVAR) بنسبة 135٪ من القيمة المحسوبة ، لتشمل القدرة غير الفعالة الإضافية التي تصاحب الجهود الزائدة نتيجة لظروف التشغيل غير العادية التي تمر بها المنظومة.

2- يتم اختيار قيمة الجهد المقنن للمكثف بنسبة 115٪ من القيمة المتوسطة للجهد المعتاد على أساس (Rated voltage r.m.s) ، علما بان قيمة القدرة غير الفعالة المطلوبة للتحسين تحسب عند جهد التشغيل وهو 400 فولت ، كما يمكن زيادة هذه القيمة للجهد إلى 440 فولت في حالة تبين وجود Harmonics عالية فى الجهود أثناء القياس.

3- يجب حماية المكثفات بواسطة CB يكون الـ Long-Time-Delay Setting له فى حدود 1.3 In بينما يكون الـ Short-Time-Delay Setting لا يقل عن I_n 10 حتى لا يفصل بسبب تيارات الـ Inrush عند البدء. علما بأن In تحسب من المعادلة :

$$I_n = \frac{kVAR}{\sqrt{3}\, V_L}$$

$$remember : \sin\phi = 1$$

4- وأخيرا نشير إلى أن أهم الأحمال التي تحتاج لتحسين معامل القدرة هي المحركات الحثية Induction Motors و اللوحات المغذية لدوائر الإنارة خاصة التى تحتوى على لمبات فلورسنت.

3-9 منظومات التكييف

نظرا لأن معظم مهندسى الكهرباء يتعاملون مع التكييف كرقم رغم أنه يمثل لهم أكبر حمل فى منظومة الأحمال فقد رأينا أن نختم هذا الفصل ببعض المعلومات الإضافية عن عملية التكييف وأجهزته .

وعملية التكييف هي عملية معالجة الجو المحيط و ذلك بالتحكم بمستوى درجة الحرارة و الرطوبة و حركة الهواء داخل المكان المراد تكييفه من أجل الحصول على جو مناسب يشعر الموجود فيه بالراحة و الحرارة المناسبة.

و هنا يجب أن نلاحظ أن درجة الحرارة 25 °C و الرطوبة 50% هما المستوى النسبي المطلوب توفيرها في المكان في أغلب الأحيان. و قد صمم جهاز التكييف على أساس استغلال التغيير في كمية الحرارة الناتجة أثناء عمليتي التبخير و التكثيف لأي سائل ، حيث أن كل سائل يحتاج إلى كمية من الحرارة تساعده على التبخر ، و هى الحرارة التي يكتسبها من المكان المراد تبريده ، ثم يفقدها خارجه خلال عملية التكثيف و العمليتان معا هما أساس أجهزة التكييف.

3-9-1 عناصر الراحة في المكان

1 - درجة الحرارة

و هى تشير إلى مدى سخونة أو دفئ أو برودة الجسم أو المادة ، فمثلا درجة حرارة الجسم للإنسان السليم هي 37.5 °C ، و عليه مثلا عندما تكون درجة الحرارة 34 °C مع نسبة رطوبة 75 % فإننا نشعر بعدم الراحة و الضيق ، و ذلك لأن الجسم سيجهد للوصول إلى درجة حرارة تساوي 37 °C .

2- الرطوبة

الرطوبة هي العنصر الثاني للراحة بعد الحرارة في تصميم التكييف حيث انخفاض أو ارتفاع الرطوبة عن المعدل الطبيعى له تأثير على الإنسان و المكان . فيشكو الإنسان عند انخفاض الرطوبة من جفاف الجلد و الحنجرة . كما أن كبار السن سيجدون مشكلة بالتنفس ، هذا غير التأثيرات المتلفة للديكور و الأثاث المنزلي. وعند درجة حرارة 20 °C مثلا بدون رطوبة يحس الإنسان بالبرودة ، و لكن بوجود نسبة رطوبة تكون الحرارة عادية و مريحة . ومعدل الرطوبة يجب أن يكون بين 20% إلى 50% حسب المكان و استغلاله.

3- سرعة و كمية الهواء

سرعة الهواء هو العنصر الثالث للراحة في تصميم التكييف ، فزيادة أو نقص سرعة الهواء يعتبر شئ غير مرغوب فيه . وسرعة حركة الهواء المطلوبة يجب أن تكون بين 3-15 م / دقيقة حسب المكان و استغلاله.

3-9-2 مكونات منظومة التبريد

تحتوى منظومة التبريد على الأجهزة الرئيسية التالية:

1- **المبخر Evaporator**

هو مبادل حراري تتم فيه عملية تحويل سائل التبريد إلى غاز بواسطة امتصاصه للحرارة من المكان المراد تبريده (عملية تبخير سائل التبريد) .

2- المكثف Condenser

هو مبادل حراري يفقد فيه وسيط التبريد (غاز الفريون مثلا) كمية من الحرارة بمساعدة وسط مبرد (ماء أو هواء) لكي يتحول وسيط التبريد المضغوط إلى سائل (عملية تكثيف غاز التبريد) .

3- الضاغط Compressor

وظيفته زيادة ضغط وسيط التبريد و هو في الحالة الغازية و دفعه إلى باقي أجزاء دورة التبريد.

4- **صمام التمدد Expansion Value**

وظيفته إجراء خفض مفاجئ في ضغط وسيط التبريد من أجل تسهيل عملية تحويله من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية في المبخر.

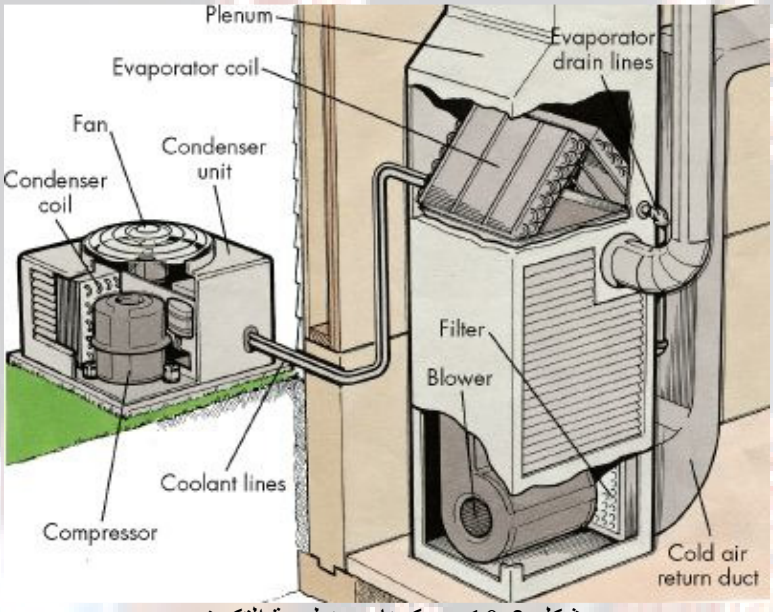
5- وسيط التبريد Coolant

هو الوسيط الذي يقوم بامتصاص كمية معينة من الحرارة من داخل المكان المراد تبريده (أثناء مروره في المبخر) ثم يفقدها خارج المكان المراد تبريده (أثناء مروره في المكثف) . وهناك أنواع من سوائل التبريد مثل فريون 502 ، 512 ، 1222 . و في الفترة الأخيرة اعتمدت أنواع من السوائل التي لا تؤثر في طبقة الأوزون و منها فريون 123 – 1340.

3-9-3 طريقة عمل المكيف

أساس عملية التبريد هي استغلال الفرق في كميات الحرارة الناتجة عن عمليتي التبخير و التكثيف للسوائل , فكل سائل عندما يتبخر يحتاج إلى اكتساب كمية من الحرارة تساعد على عملية تبخره . و في هذه الحالة نستطيع أن نحصل على تلك الكمية من المكان المراد تبريده ، بينما في عملية التكثيف يكون غاز التبريد في حاجة إلى أن يفقد كمية الحرارة التي اكتسبها ، و نستطيع أن نفقد كمية الحرارة هذه بواسطة أي وسط مبرد سواء هواء أو الماء أو أية وسيلة أخرى.

و تبدأ دورة التبريد (شكل 3-10) من الضاغط Compressor حيث يقوم بعملية زيادة ضغط الغاز و دفعه داخل الجهاز ثم ينتقل غاز التبريد إلى المكثف الذي عادة يكون خارج المبنى حيث يتكثف الغاز و يتحول إلى سائل بسبب فقده كمية الحرارة التي ينقلها إلى الوسط المبرد سواء كان الهواء الجوي أو الماء أو أي وسط آخر ، بعدها ينتقل سائل التبريد إلى صمام التمدد حيث يتعرض إلى تمدد فجائي يؤدي إلى انخفاض في ضغطه ، ثم ينتقل السائل بعد ذلك إلى المبخر ، و عادة يكون داخل المبنى ، حيث يتبخر بسبب اكتسابه كمية من الحرارة من المكان الموجود فيه ، و يؤدي ذلك إلى تقليل درجة حرارة المكان المراد تبريده ، ثم يرجع الغاز إلى الضاغط مرة أخرى لكي تتكرر الدورة .

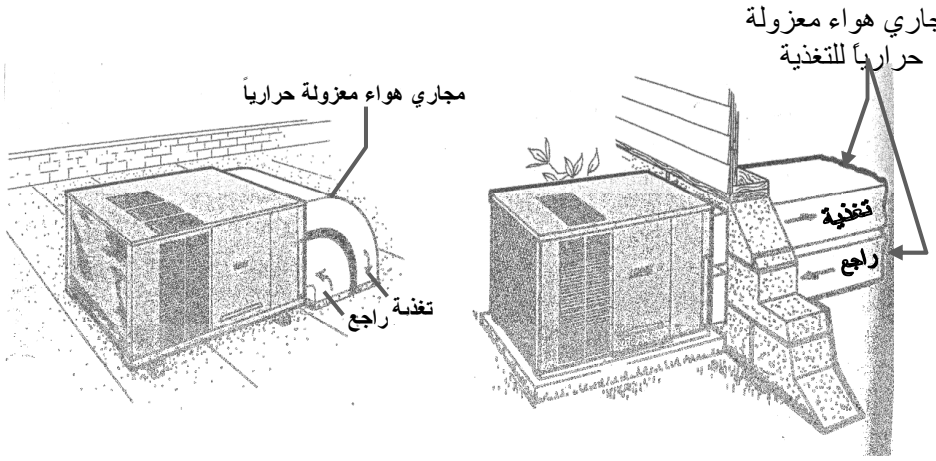


شكل 3-10 : مكونات منظومة التكييف

أما سبب رفع ضغط غاز التبريد في المكثف فيرجع إلى الرغبة في رفع درجة غليان سائل التبريد و التي تعادل درجة تكثيفه ، حيث أنه كلما زاد الضغط كلما زادت درجة الغليان و كلما قل الضغط كلما قلت درجة الغليان ، ونحن نقوم برفع درجة الغليان لكي تكون أعلى من درجة حرارة الجو ، و بالتالي نستطيع أن نستخدم الهواء الجوي كمبرد تنتقل إليه كمية من حرارة غاز التبريد التي اكتسبها في المبخر ، ثم نقوم بتقليل الضغط في المبخر بواسطة صمام التمدد لكي تقل درجة غليان سائل التبريد إلى درجة حرارة تكون أقل من درجة حرارة المكان المراد تبريده ، و بالتالي تنتقل كمية من الحرارة لسائل التبريد من المكان المراد تبريده فيبرد و التي سوف يفقدها سائل التبريد بعد ذلك في المكثف.

3-9-4 أنظمة التكييف القائمة بذاتها (Package)

فى المنظومة السابقة كانت وحدة الـ AHU موجودة داخل الشقة ، أما فى هذا النوع فتكون وحدة تحريك الهواء AHU ، مع الضاغط Compressor كلاهما داخل Package واحدة توضع فوق السطح أو خارج الشقة ، ويتميز بالهدوء التام مقارنة بالنظام السابق . يتم عادة نقل الهواء المكيف منها باستخدام شبكة مجارى هواء معزولة لهواء التغذية وهواء الراجع وكما هو واضح فى الشكل 3-11 .



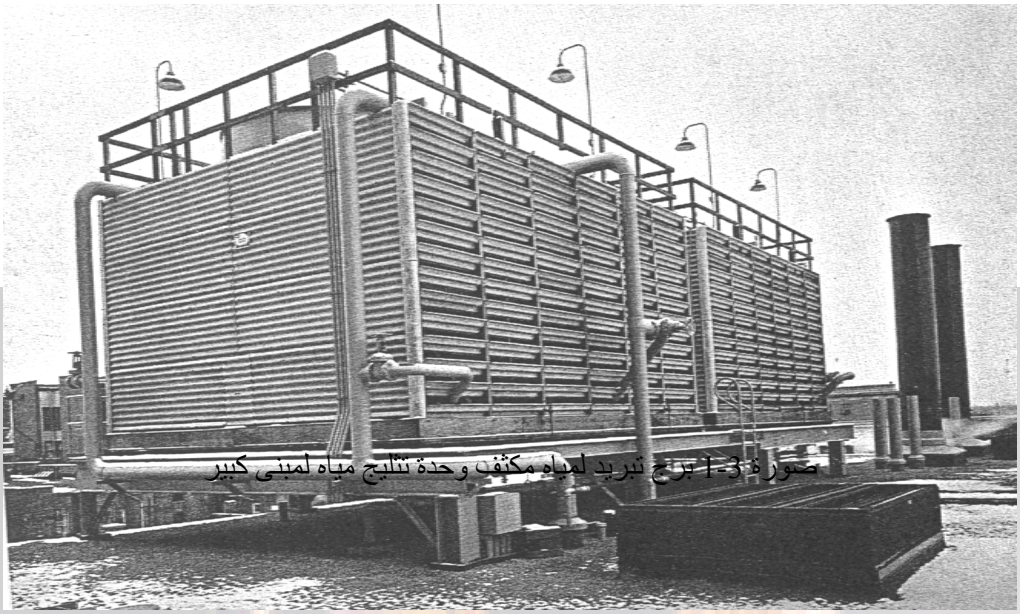
(ب) الوحدة تدفع الهواء أفقيا إلى المكان المراد تكييفه **(ت) تركيبات مكشوفة فوق السطح**

و يمكن بسهولة فى هذا النظام تعديل طبيعة الهواء بإضافة جزء من الـ Fresh Air لتحسين جودة الهواء. فمن المعلوم أن النظام السابق يحدث فيه تدوير لنفس هواء الغرفة دون تعديل ، مما يتسبب أحيانا فى ارتفاع نسبة ثانى أكسيد الكربون بهواء الغرفة ، ويترتب عليه شعور الأشخاص فى هذا الحيز بالنعاس . كما أن رائحة الهواء ربما تتغير . ويعتمد النظام السابق على كمية الهواء الـ Fresh التى تدخل عند فتح وغلق الأبواب أو الشبابيك أو شفاطات الحمام والمطبخ ، لأن إضافة الـ Fresh Air ضمن منظومته تعتبر عملية غير مفضلة عند الكثيرين لصعوبتها .

3-9-5 التكييف المركزي (Central Air Conditionin g)

يؤدى هذا النوع من التصميم إلى التوفير فى استخدام المعدات والاقتصاد فى الطاقة إلى أقصى درجة، ويتم استخدامه فى المبانى الكبيرة ذات الإشغال العالى مثل الفنادق و المستشفيات والمسارح الكبيرة. ويتم فى هذا النظام استخدام مولدات الماء المثلج (Water chillers) التى تكون إما ذات كباسات ترددية (Reciprocating) أو حلزونية (Screw) أو طاردة مركزية (Centrifugal) مع وحدات مناولة الهواء (Air Handling Units) والتى تحتوى على قطاعات لمراوح تغذية الهواء وراجع الهواء (Supply and Return Air Fans) وقطاع ملف التبريد (الذى يتم تغذيته بالماء المثلج) وقطاع ملف التسخين (قد يكون التسخين باستخدام ملف يغذى من ماء ساخن من غلاية أو يكون التسخين كهربائياً باستخدام مقاومات) وقطاع ترشيح الهواء Filtering ، وقطاع ضبط درجة الرطوبة النسبية بالهواء المكيف.

وعادة يبرد المكثف فى هذه النوعية بالهواء حتى 350 طن تبريد ، أما للأحجام الأكبر من ذلك فيبرد بالماء باستخدام أبراج تبريد كما فى الصورة 3-1.

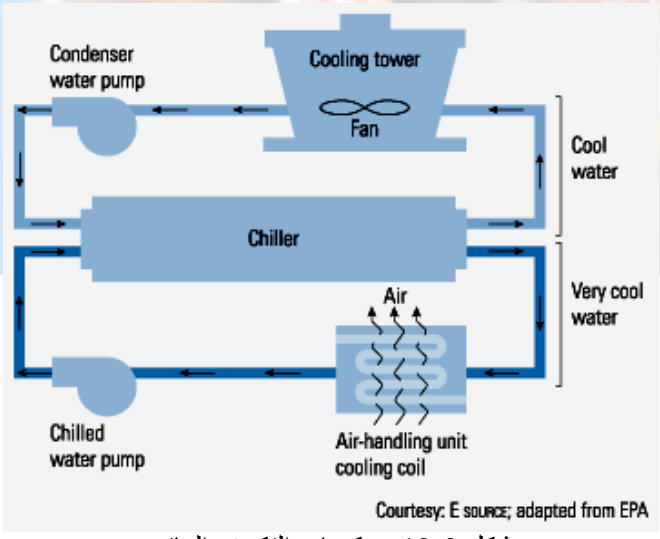


صورة 3-1 برج تبريد لمياه مكثف وحدة تثليج مياه لمبنى كبير

3-9-6 فكرة عمل التكيف المائى

فكرة العمل المبسطة لهذا النوع من أجهزة التكييف المركزى يمكن تلخيصها فى الشكل 3-12 الذى تبدأ خطواته كالتالى :

تضخ الطلمبات المياه إلى المبردات (Chillers) فيخرج منها الماء باردا متجها إلى وحدة التبادل الحرارى (Fan Coil Unit (FCU ، وهى الوحدة التى يحدث بداخلها التبادل الحرارى ، حيث يدخل إليها الهواء الساخن القادم من المكان المراد تكييفه ساخنا ، ليخرج منها باردا ، وتقوم وحدة الـــ AHU أو Air Handling Unit بعملية التدوير هذه ، ويدخل أيضا إلى الـــ FCU الماء البارد القادم من الـــ Chiller مدفوعا بمضخات المياه ليخرج منها أقل برودة راجعا إلى الـــ Chillers الذى يدفعه إلى أبراج التبريد Cooling Tower لزيادة الكفاءة ، وتتكرر العملية.



شكل 3-12 : مكونات التكييف المائى

3-9-7 أجهزة التكييف فى الشقق الصغيرة

1-مكيف الشباك Window

هذا النوع صغير الحجم ، سهل الصيانة ، لا يحتاج إلى أي توصيلات خارجية ، ولكن يحتاج لعمل فتحة في الحائط الخارجي بمقياس 60 x 80 سم تقريبا لتركيب الجهاز فيها.

2 - التكييف المنفصل Split

في المكيفات المنفصلة يوضع الضاغط Compressor فوق السطح أو خارج الشقة ، ويتصل بالوحدة المحركة للهواء Fans والتى توجد داخل الشقة بأنابيب نحاسية تحمل غاز الفريون المضغوط الذي يسحب حرارة المكان المراد تبريده .

ولأن الضاغط موجود خارج الغرفة فإننا لا نسمع الضجيج الذي ينتجه ، كما أنه لا يشوه مظهر الجدار لأنه لم يعد يحتل ثقبا كبيرا في الجدار كما في السابق .

وتعتمد تكنولوجيا المكيفات حاليا على إمكانيات الـ Microprocessors العالية فى استقبال ومعالجة الـ Data المختلفة ، فيمكن لهذه الأجهزة مثلا اختيار درجة حرارة معينة ليقوم الجهاز بالمحافظة عليها في الغرفة ويطفئ نفسه عند الوصول إليها ويشغل نفسه عند تخطيها . ويمكن أيضا برمجة الجهاز بحيث يبدأ في العمل في ساعة معينة (قبل وصول أصحاب البيت بساعة أو ساعتين مثلا). و أن يطفئ نفسه في ساعة معينة ، وهكذا .

3-9-8 الوحدات الحرارية :

ا- كالوري: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة جرام واحد من الماء درجة سيليزية واحدة.

ب. الوحدة الحرارية البريطانية BTU : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع باوند واحد من الماء درجة فهرنايتية واحدة (1 BTU = 252 كالوري) .

ج- طن التبريد : هي الوحدة التي يدلل بها على القدرة على التبريد ، (ويمثل طن التبريد معدل التبريد الناتج عن ذوبان طن من الجليد خلال 24 ساعة) ، و طن التبريد الواحد = 12000 BTU .

وسعات التبريد القياسية بالسوق الكويتى تقدر بالطن- تبريد كما يلى:

12000 BTU/Hr	= 1 طن تبريد
18000 BTU/Hr	= 1,50 طن تبريد
24000 BTU/Hr	= 2 طن تبريد
27000 BTU/Hr	= 2,25 طن تبريد
36000 BTU/Hr	= 3 طن تبريد
45000 BTU/Hr	= 3,75 طن تبريد.

الفصل الرابع
تصميم الدوائر الفرعية

4

الفصل الرابع

تصميم الدوائر الفرعية

طبقا لتعريف الـ NEC فإن الدوائر الفرعية Branch Circuits هى الدوائر النهائية فى شبكة التوزيع ، والتى تنتهى بحمل (Load). وغالبا يتم تصميم هذه الدوائر فى المرحلة الأولى من التصميمات الكهربية (اختيار الـ CB والكابل المناسبين لكل Load) ، ثم يتم تجميع هذه الدوائر فى لوحات التوزيع الفرعية Distribution Boards ، ثم يتم تصميم اللوحات العمومية Main Panels التى تغذى اللوحات الفرعية ، وأخيرا يتم ربط اللوحات العمومية بشبكة التغذية الخاصة بالمدينة التي يقع بها المشروع.

وبالتالى فنحن أمام نوعين من الدوائر :
الأول : دوائر التغذية الفرعية Branch Circuits ، و هي الدوائر التي تبدأ من لوحة توزيع فرعية و تنتهي على حمل معين (لمبة – بريزة – مكيف – سخان ..... إلخ).
الثاني: دوائر التغذية العمومية Main Feeders ، و هي الدوائر التي تبدأ من لوحة توزيع عمومية و تنتهي على لوحة توزيع فرعية.

و الفرق الأساسي فى قواعد التصميم المتبعة فى كلا النوعين يكمن في طريقة تقدير قيمة الـ Load ، ففي النوع الأول يكون الـ Load محدد القيمة بالضبط لأنه يخص حمل معين (موتور ، سخان ، لمبات إضاءة ، جهاز تكييف إلخ) . أما في النوع الثاني (الذى سيدرس تفصيلا فى الفصل الخامس) فقيمة الـ Load تحتاج إلى دراسة خاصة لأن اللوحة الواحدة تشتمل على مجموعة أحمال قد تكون تعمل معا في وقت واحد ، أو تكون الأحمال منفصلة عن بعضها ، وبالتالي فحملها غير محدد بالضبط .

وهذا الفصل مقسم إلى جزأين :
فى الجزء الأول يتم شرح قواعد التصميم الأولية الدوائر الفرعية (وهى الدوائر المنتهية بحمل محدد) .

أما الجزء الثانى من هذا الفصل فمخصص لاختبارات التأكد من صحة التصميم الأولي للدوائر الهامة (يمكن أن تكون دائرة فرعية إذا كان الحمل عاليا أو تكون دائرة رئيسية) . و تشتمل على ثلاثة اختبارات : الأول هو اختبار تحمل الحمل الحرارى للكابلات ، والثانى هو اختبار الهبوط فى الجهد فى نهاية الكابل ، والثالث هو اختبار تحمل الكابلات / الـ CBs لتيارات القصر ، وهى الاختبارات التى تجعل التصميم نهائيا إذا اجتازها بنجاح.

الجزء الأول : التصميم الأولي للدوائر الفرعية

المقصود بتصميم الدوائر عموما هو تحديد:

1- السعة المناسبة للـ CB (I_{CB}).

2- مساحة المقطع المناسب للكابل بـ mm^2 بناء على قيمة I_{Cable} .

و ستتوقف القواعد المستخدمة في حسابات مقطع الكابل ، أو اختيار الـ CB أساسا على طبيعة الأحمال (الـ Loads) ، حيث تنقسم الأحمال الكهربية عموما إلى نوعين :

1. أحمال Static لا تشتمل على محركات (مثل دوائر الإنارة).
2. أحمال Dynamic تشتمل على محركات.

وهذه الأحمال الديناميكية تنقسم بدورها إلى نوعين:

i. أحمال تشتمل على محركات صغيرة (مثل وحدات التكييف).
ii. أحمال تشتمل على محركات كبيرة (كما فى المصانع).

وفى هذا الجزء سنعرض للقواعد المناسبة لكل نوع.

1-4 مبادئ عامة لتصميم الدوائر الفرعية

وقبل البدء فى تصميم الدوائر الفرعية يجب الإشارة إلى وجود بعض المبادئ العامة التى يجب مراعاتها عند التصميم. وسنعرض هنا بعضا من هذه المبادئ طبقا لواحدة من أشهر المواصفات العالمية وهى المواصفات القياسية الأمريكية (NEC) . فمن هذه المبادئ :

1. يتم تغذية الأحمال المتشابهة فقط فى الدائرة الواحدة (يمنع مثلا تغذية أحمال إنارة وبرايز معا فى دائرة واحدة).
2. أحمال القوى يتم تغذيتها فى دوائر منفصلة (على سبيل المثال : كل تكييف أو سخان يجب أن تكون له دائرة منفصلة ولا يغذي معه أية أحمال أخرى) .
3. حمل دائرة الإنارة فى الشقق السكنية يكون فى الغالب فى حدود 4 : 6 أمبير والـ CB الخاص به يكون 10 أمبير ، لكن هذا هو الحد الأدنى ، و بالطبع يمكن أن يكون لدينا دوائر إنارة لها أحمال أعلى من ذلك ، لاسيما فى دوائر إنارة السلم مثلا ، أو دوائر الإنارة فى المجمعات التجارية الكبيرة ، وهذا بالطبع يستلزم تغيير قيمة الـ CB والكابل . وفى دوائر الإنارة فى المصانع يضاف Contactor ليستخدم كمفتاح ON/OFF ليمكنه تحمل التيار العالي .
4. دائرة البرايز Sockets (المخارج العامة) يكون حملها فى معظم دوائر الشقق السكنية فى حدود 8A ، ولا يقل الـ (CB) الخاص بها عن 16A . لكن بالطبع هناك بعض الأحمال التى قد تحتاج لتيار أكبر من ذلك ، فعندها يمكن أن يوضع Junction Box فى المكان المطلوب مع تزويد الدائرة بـ Double Pole SW للتحكم فى فصل وتشغيل هذه الأحمال .
5. يتم تجميع الكشافات المتقاربة مع بعضها لتتغذى من دائرة واحدة ما لم تكن من نوعيات مختلفة (كشافات الإنارة العادية مثلا لا تغذى من نفس الدائرة المغذية لكشافات إنارة الطوارئ) .
6. الحمل الكلى على كل دائرة فرعية لا يجب أن يزيد عن 80% من قدرة الـ CB الخاصة بالدائرة خاصة إذا كان الـ Load يعمل بصورة متصلة .
7. يصنف الحمل على أنه "حمل متصل" إذا عمل لمدة أكثر من 3 ساعات دون انقطاع .
8. قدرة السلك Wire Rating عموما يجب أن تكون أكبر من الـ CB Rating الذى يحميه.

1-1-4 ملاحظات إضافية من الكود المصرى

9. يجب أن تصمم دوائر الإنارة العمومية بحيث تكون قادرة على حمل التيار الإجمالي شاملة تيار المصباح وأجهزة تشغيله وأية توافقيات (Harmonics) قد تكون موجودة بالدائرة وذلك في حالة الدوائر العمومية (النهائية) للإنارة والتي تغذي مصابيح التفريغ الكهربائي. ويتم تحديد الحمل وفى حالة عدم توافر معلومات كافية يحسب كالآتي:

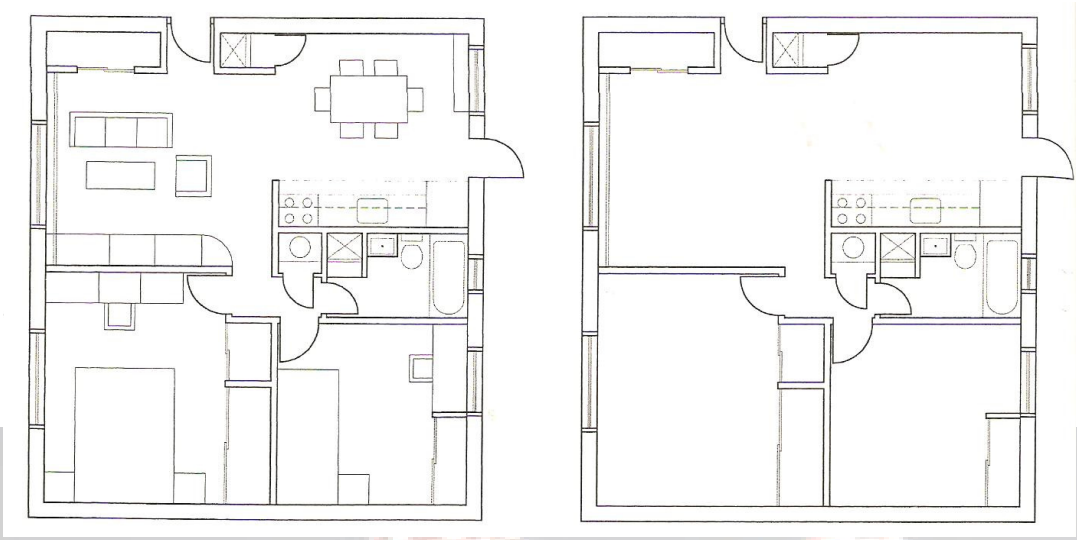
الحمل (فولت. أمبير) = قدرة المصباح بالوات × 1.8 (على الأقل)

ويلاحظ أن رقم 1.8 مبني على أساس أن تكون الدائرة ذات معامل قدرة يساوي أو يزيد عن 0.85، مع مراعاة الفقد الناتج عن أجهزة التشغيل ووجود تيارات التوافقيات.

10. إذا ما كانت الـ Sockets معرضة للتلف الميكانيكى، فإنه يجب وضعها داخل أغلفة معدنية متينة مؤرضة.
11. عند استخدام جهود مختلفة أو أنواع مختلفة من التيار، يراعى أن تكون Sockets كل جهد أو نوع مختلفة تماماً فى الشكل عن الأخريات حتى لا يحدث خطأ فى الاستخدام .
12. يراعى عند استعمال عدد من الـ Sockets بحجرة مساحتها 50 متراً مربعاً أو أقل موزعة على أكثر من دائرة فرعية نهائية ، أن تكون جميعها على نفس الـ Phase وذلك لمنع احتمال وجود تيار بجهد 380 فولت بين أى سلكين موصلين إلى مأخذين بنفس الحجرة.
13. وفى حالة الحجرات ذات المساحة أكبر من ذلك ، وكان هناك ضرورة لتوزيع الـ Sockets على دوائر فرعية نهائية تغذى من Phases مختلفة ، فيجب أن يراعى تركيب المآخذ بحيث يخدم كل Phase مساحة مستقلة بالحجرة وذلك لتفادى أن يلمس شخص جهازين يغذى كل منهما من Socket على Phase يخالف الـ Phase المغذى للجهاز الآخر، وفى هذه الحالة يجب تمييز غطاء كل Socket بعلامة طور التغذية.
14. يراعى فى حالة استخدام Sockets قوى ذات سعة 16أمبير فأكثر أن توصل كل منها مباشرة بدائرة نهائية خاصة بها إلى لوحات التوزيع ، وإذا ما كانت هناك ضرورة لتوصيل أكثر من مخرج من هذا النوع على دائرة واحدة فى مكان واحد يستخدم فيه جهاز واحد متنقل فلا يجب أن يزيد عدد المخارج عن أربعة.
15. يراعى عند استخدام Sockets على جانبى حائط أن تترك مسافة أفقية فيما بينهما مقدارها 150مم على الأقل لتجنب انتقال الصوت من خلالها.
16. يجب أن تكون الـ Sockets فى الحمامات أو المطابخ أو ما يماثلها فى أماكن بحيث لا تكون فى متناول الذراع لشخص مبلل بالمياه.
17. يجب مراعاة اختيار درجة الحماية (IP) المناسبة للـ Sockets فى الأماكن المعرضة للمياه أو الأتربة.
18. لا يسمح بوجود الـ Sockets فى حيز المغاطس وكبائن الاستحمام.
19. يكون منسوب تركيب المقابس من 0.3 إلى 0.4 م من الأرضية النهائية فى الأماكن السكنية والمكاتب باستثناء المطابخ والحمامات فتكون على منسوب من 1.2 إلى 1.35 م.
20. يجب ألا تزيد المسافة الأفقية بين مخرج الـ Sockets والحائط العمودى عن 1.80م وبين مخرج المقبس والمخرج الذى يليه عن 3.65م.
21. يحظر تركيب الـ Sockets أفقياً على أسطح ترابيزات المعامل أو ما يشابهها لمنع تراكم الأتربة والرطوبة داخل أجزائها المكهربة.
22. يراعى ألا يزيد عدد مخارج الإنارة أو المآخذ الكهربية التى تستعمل لوحدات الإنارة والتى تحمل على دائرة فرعية نهائية واحدة عن عشرة مخارج.
23. يجب مراعاة البنود الخاصة بمقطع موصلات الدوائر الفرعية النهائية لمخارج وحدات الإضاءة و الـ Sockets بالمجلد الثانى للكود المصرى للتركيبات الكهربائية.

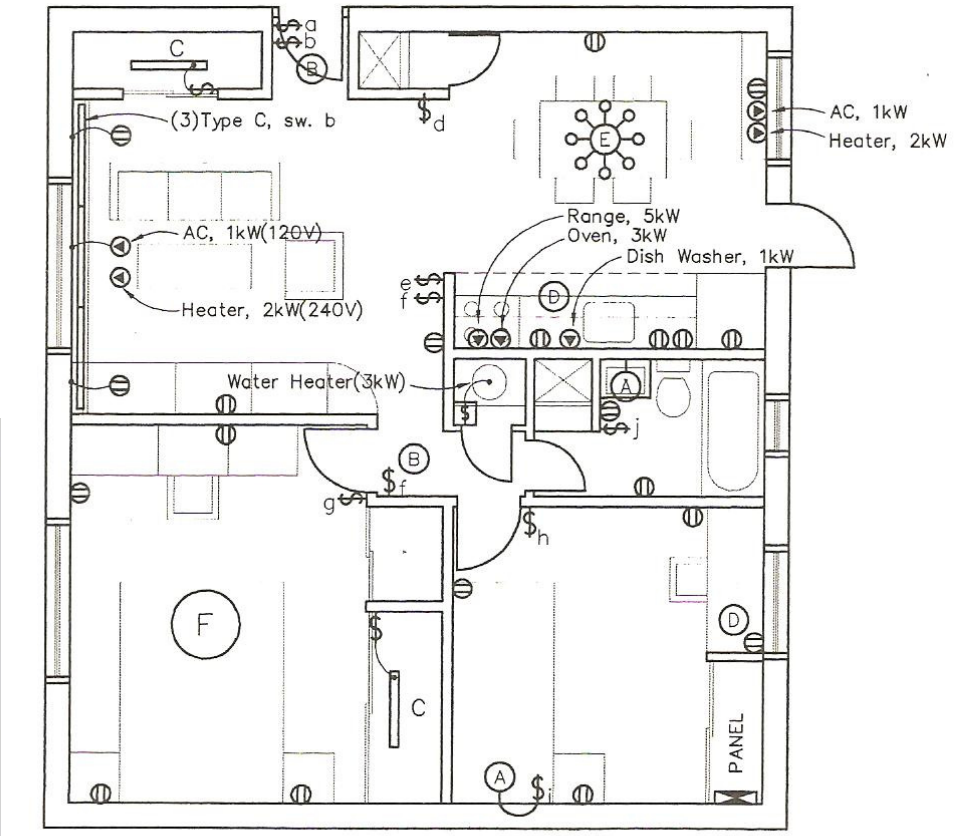
4-1-1 توزيع الأحمال على الرسم

كما ذكرنا فى الفصل الأول فإن مهندس الكهرباء يجب أن تتاح له عدة أنواع من الرسومات الهندسية ليوزع عليها الأحمال الكهربية تمهيدا لتحديد مسارات دوائر التغذية الخاصة بها ثم أماكن لوحات التوزيع إلخ. والشكل 4-1 (يمين) يظهر المسقط الأفقى لشقة مكونة من حجرتي نوم ، وصالة ، ومطبخ (مفتوح على الصالة) ، وحمام . وفى نفس الشكل (يسار) يوجد توزيع مبدئى للأثاث الذى سيوضع بالشقة طبقا لرؤية المعمارى بالاتفاق مع المالك .



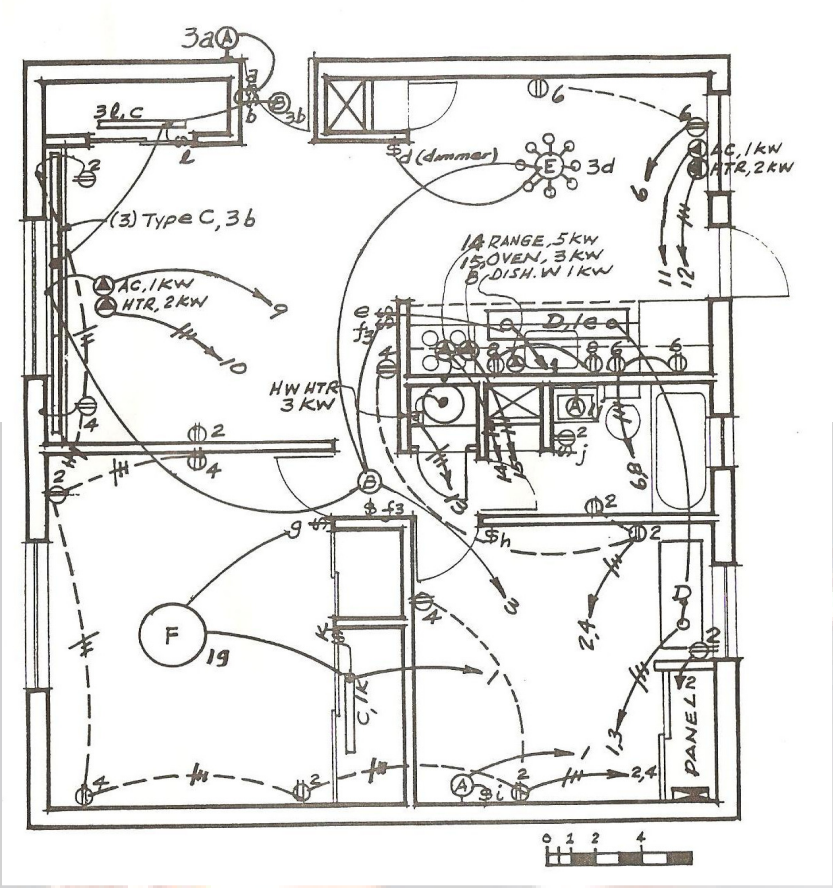
شكل 4-1 : المسقط الأفقى للشقة والتوزيع المقترح للفرش

وعلى أساس هذا التوزيع للفرش يبدأ مهندس الكهرباء فى توزيع الأحمال الكهربية كما فى الشكل 4-2 ، حيث تظهر أماكن اللمبات بأنواعها (سقف ، حائط ، نجفة) ، ومفاتيح التحكم فيها ، والمخارج العامة (Sockets) بأنواعها المختلفة (مخرج أحادى ، ثنائى ، ...) ، بالإضافة لمخارج التليفون والتلفزيون ، بقية أحمال التيار الخفيف . ويظهر على الرسم أيضا أماكن أحمال القوى الكبيرة (الفرن الكهربى Range والغسالة والمجفف Dryer وسخانات المياه إلخ. ويمكن مطابقة معظم الرموز المستخدمة فى الشكل 4-2 مع الرموز المستخدمة فى المواصفات الأمريكية NEC والتى تظهر فى الملحق -1. أما أنواع اللمبات فتعرف بجدول ملحق بالرسم . ففى هذا الشكل على سبيل المثال يوجد ستة أنواع من اللمبات (من A إلى F) كل منها يمثل نموذجا مختلفا ، فاللمبة Type-A مثلا هى لمبة حائطية قدرة 100 W بينما اللمبة Type-E هى نجفة بها تسع لمبات بإجمالى قدرة 150 W ، والنوع C يمثل لمبة فلورسنت تعلق بالسقف ، وهكذا . وليس الغرض هنا استقصاء الأنواع وإنما فقط شرح للرسم .



شكل 4-2 : توزيع الأحمال الكهربية على الرسم

والشكل السابق يمثل نموذج للرسومات التصميمية الأولية ، وهى تحتاج لإبراز مزيد من التفاصيل على الرسم حتى يمكن أن تصبح مناسبة لأعمال التنفيذ . وهذا ما يظهر فى الشكل 4-3 الذى يبين نموذجا للرسم التنفيذى للوحة السابقة ، حيث ظهرت على الرسم أرقام الدوائر الفرعية التى تغذى كل الأحمال ، وظهر رقم لكل حمل ولكل مفتاح وكل مخرج عمومى إلخ. على سبيل المثال فالدائرة رقم 6 تغذى عدد من الـ Sockets (من النوع Double Pole حسب الملحق -1) والمخارج كتب عليه الرقم (6) ، أما الدائرة رقم 8 فتغذى عدد آخر من نفس هذه النوعية من المخارج وكتب أيضا عليهم الرقم 8 ، مع ملاحظة أن هاتين الدائرتين يسيران فى Conduit واحد ، ولذا ظهر الرقمين 6 و8 على الرسم مكتوبين على نفس السهم . وقس على ذلك بقية الرموز.



شكل 4-3 : الرسم التنفيذى للوحة السابقة

4-2 تصميم دوائر الـ (Static Loads)

في حالة الأحمال التي لا تحتوي على محركات (مثل دوائر الإنارة أو السخانات) وهى التى تعرف بـ Static Loads يتم اختيار المقطع المناسب للكابل وكذلك الـ Rated Value المناسبة للـ CB طبقا للخطوات التالية:

جدول 4-1 : خطوات التصميم للأحمال الاستاتيكية

1. احسب تيار الحمل I_L (Load Current).
2. اختر الـ CB بحيث لا يقل التيار المقنن له (الـ Rated Current) عن مرة وربع من قيمة تيار الـ Load ، أى أن :

$$I_{CB} > 1.25\ I_L$$

3. استخدم معاملات تصحيح تحميل الكابلات De-rating factors لحساب الـ Thermal Rating للكابل ، إن احتاج الأمر إلى ذلك.
4. اختر الكابل بحيث يكون الـ Rated Current للكابل أكبر Thermal Rating المحسوب فى الخطوة السابقة ، وبالطبع سيكون هذا التيار أكبر من تيار الـ CB . أى أنه يجب دائما أن يكون :

$$I_{CABLE} \rangle I_{CB}$$

ملاحظات هامة حول القواعد السابقة :

1. لاحظ أن الـ Rated Current للكابل يكون دائما أكبر من الـ Rated Current للـ CB و هذا أمر منطقي حتى يمكن للـ CB أن يحمى الكابل .
2. لاحظ أيضا أن تيار الـ CB أكبر من تيار الـ Load بنسبة 25% حتى نضمن ألا يسخن الـ CB مع التحميل المستمر.

3. نختار دائما **أقرب** قيمة قياسية (Standard Value) لتيار الـ CB أو الكابل بحيث تكون **أعلى** من القيمة المحسوبة من القواعد السابقة. ويمكن التجاوز إلى قيمة أعلى بخطوة من القيمة القريبة مباشرة فى حالة تقارب القيمة المحسوبة مع أقرب قيمة قياسية. على سبيل المثال إذا كانت القيمة المحسوبة للـ CB تساوى 23A فأقرب قيمة قياسية هى 25A لكننا يمكن أن نتجاوزها بخطوة ونختار 32A.
4. هذا التجاوز السابق لا يصلح عند اختيار قيمة الـ Short Circuit Capacity للـ CB مثلا ، بل يجب دائما أن نختار الأقرب مباشرة دون زيادات حتى لا يتأخر الـ CB فى فصل العطل.
5. يجب تصحيح قيم التحميل للكابلات فى حالة وجود الكابل بجوار كابل آخر أو أكثر ، أو فى حالة وجود الكابل فى درجة حرارة أعلى من القيمة القياسية إلى غير ذلك من العوامل التى نتعرض لها بالتفصيل فى الجزء الثانى من هذا الفصل ، وذلك باستخدام جداول التصحيح التى تعدها الشركة المصنعة للكابل.

مثال 4 -1 :
اختر الكابل و الـ CB المناسبين لتغذية 3-Phase Load موصل على شكل دلتا قدرته 21kW ، وله معامل قدرة (Power Factor) يساوى 0.8 علما بأن درجة حرارة الجو تصل إلى 50 درجة مئوية ، وأننا نستخدم Single Core Cable ، معزول بمادة PVC ، مع الأخذ فى الاعتبار أنه سيتم تمديد الكابل فى ماسورة بجوار كابل آخر ، وأن جهد التشغيل 415 فولت.

الحل:
1- نحسب قيمة تيار الـ Load:

$$I_{Load} = \frac{21000}{\sqrt{3} \times 418 \times 0.8} = 36.5A$$

2- نختار أقرب CB بحيث تكون الـ Rated Value له أعلى من مرة وربع تيار الـ Load:

$I_{CB} = 1.25 \times 36.5 = 45A$

وأقرب قيمة قياسية للـ CB فى هذه الحالة هى 50A .

3- للوصول إلى الحمل الحرارى Thermal Rating الذى يتم اختيار الكابل على أساسه ، يجب أن نأخذ فى الاعتبار قيم معاملات التصحيح De-rating factors ، (ستشرح بالتفصيل لاحقا فى الجزء الثانى من هذا الفصل) وهى هنا :
   a. معامل التصحيح حسب درجة حرارة الجو = 0.85 (جدول 2-5 بالملحق-2).
   b. ومعامل التصحيح حسب عدد الكابلات المتجاورة = 0.69 (جدول 2-2 بالملحق-2) ، لاحظ أن لدينا 6 كابلات مفردة داخل الماسورة.

وبالتالى فقيمة تيار الـ Load المعدل حسب الجداول السابقة هو :

$$I_L(corrected) = \frac{36.5}{0.69 \times 0.85} = 62.2A$$

4. الآن يجب أن تحدد بدقة أمرا هاما وهو : "طريقة تمديد الكابل" وذلك باختيار إحدى طرق التمديد من الجدول رقم 2-1 بالملحق- 2 ، فعلى ضوء هذا التحديد ستختار الجدول المناسب الذى سترجع إليه لاختيار مقطع الكابل. وفى هذا المثال كان الكابل ممددا داخل ماسورة (طريقة رقم -2 بالجدول 2-1 بالملحق-2) ، و الجدول الخاص بهذه الطريقة هو الجدول 2-6 بنفس الملحق ، ومنه نجد أن أنسب كابل هو $25mm^2$ ، حيث يتحمل هذا الكابل 77A ، وبالتالى فهو يحقق القاعدة ($I_{Cable} > I_{CB}$) .
5. ويكتب اسم الكابل على الصورة: 4(1 x 25 mm^2) Cu ، وهذه الصيغة تعنى أن لدينا أربعة كابلات مفردة من النحاس مقطع كل واحد منها يساوي 25 mm^2 .

لاحظ أنه لو تم تمديد الكابل بمفرده داخل ماسورة أى بدون كابلات مجاورة له فإننا سنكتفى فقط فى الخطوة الثالثة بتصحيح الحمل حسب درجة الحرارة ، وعندها سنختار الكابل المناسب لتحمل تيار قدره

$$I_L(corrected) = \frac{36.5}{0.85} = 43A$$

وعندئذ يصبح من الممكن استخدام كابل $16mm^2$ (يتحمل 59A) بدلا من $25mm^2$.

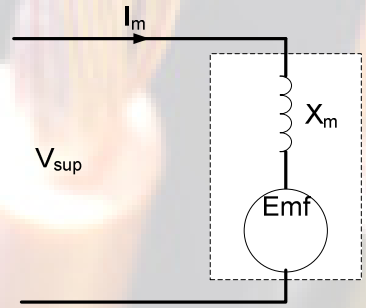
3-4 تصميم دوائر المحركات (Dynamic Loads)

الشئ الوحيد الذى سيحدث فرقا كبيرا بين القواعد الحاكمة لتصميم دوائر الـ Static Loads وبين قواعد تصميم دوائر المحركات هو ما يعرف بتيار البدء المرتفع فى المحركات (High Starting Current).

والـ Rated Current للمحرك يحسب بالطريقة العادية بمعرفة قدرة الموتور كما فى المعادلة التالية

$$I_m = \frac{P}{V \cos\phi} \qquad (4-1)$$

لكن عند البدء فى تشغيل المحرك يظهر تيار أكبر بكثير من هذه القيمة يسمى تيار البدء I_{ST} ، Starting Current ، وهذا التيار يستمر لثوانى معدودة ثم تعود قيمة التيار إلى القيمة الطبيعية المحسوبة من المعادلة (4-1) . و السبب فى ظهور هذا التيار المرتفع عند البدء يمكن أن يفهم من الدائرة المكافئة للموتور والتى تظهر فى الشكل 4-4.



شكل 4-4 : الدائرة المكافئة للمحرك

ومنها نستنتج أن قيمة تيار الموتور

$$I_m = \frac{V_{sup} - Emf}{X_m} \qquad .....4-2$$

$$Emf = k\,\omega\,\phi \qquad .....4-3$$

حيث ω سرعة الموتور

Φ قيمة الفيض

وبما أن الموتور يبدأ حركته من السرعة صفر ، وبالتالى فإن قيمة I_m عند البدء تساوى

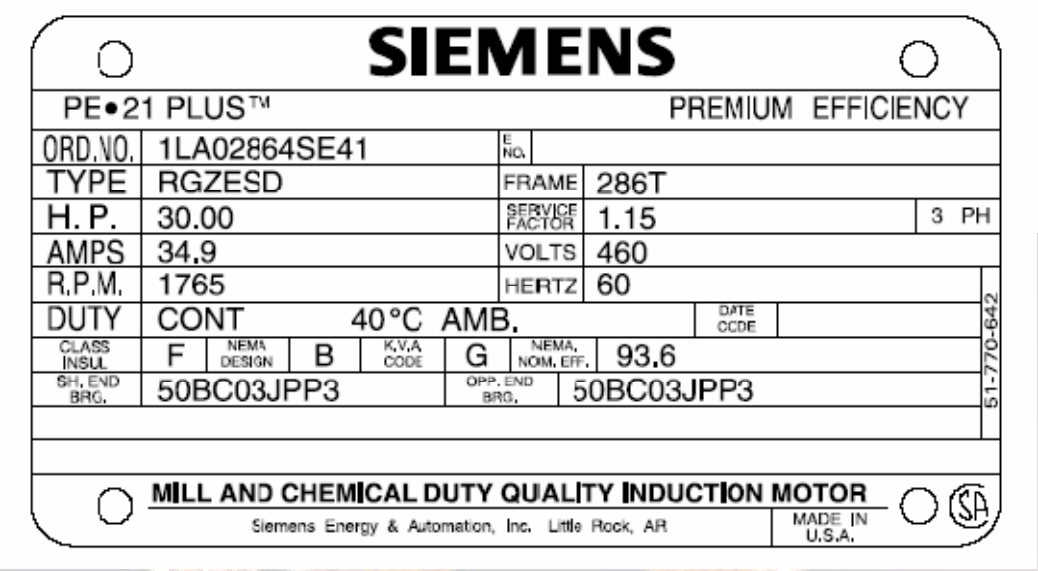
$$I_m = \frac{V_{sup}}{X_m} \qquad .....4-4$$

وهى قيمة عالية جدا نظرا لانخفاض قيمة X_m ، لكن مع تزايد سرعة الموتور(ω) فإن قيمة التيار I_m تبدأ فى الانخفاض تدريجيا بسبب انخفاض قيمة (V_m - E_m)فى المعادلة رقم 4-2 حتى تستقر عند القيمة الطبيعية المحسوبة من معادلة 4-1 .

وبناء على المقدمة السابقة فإن الـ Rated Current للـ CB لابد أن تراعى القيمة المرتفعة لتيار البدء ، ومن ثم فلابد أن تكون ($I_{CB} > I_{ST}$) وذلك حتى لا تفصل دائرة المحرك عند بدء التشغيل.

4-3-1 تحديد قيمة تيار البدء من الـ Name Plate

ويمكن حساب قيمة تيار البدء فى المحركات من معرفة ما يسمى kVA Code الذى يكون مطبوعا على لوحة بيانات المحرك المعروفة بـ Name Plate (شكل 4-5).



SIEMENS						
PE•21 PLUS™					PREMIUM EFFICIENCY	
ORD.NO.	1LA02864SE41		E NO.			
TYPE	RGZESD		FRAME	286T		
H. P.	30.00		SERVICE FACTOR	1.15	3 PH	
AMPS	34.9		VOLTS	460		
R.P.M.	1765		HERTZ	60		
DUTY	CONT 40°C AMB.		DATE CODE			51-770-642
CLASS INSUL	F	NEMA DESIGN B	K.V.A CODE G	NEMA, NOM. EFF.	93.6	
SH. END BRG.	50BC03JPP3		OPP. END BRG.	50BC03JPP3		
MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR						
Siemens Energy & Automation, Inc. Little Rock, AR				MADE IN U.S.A.		

شكل 4-5 : لوحة بيانات موتور

وبعد معرفة هذا الـ kVA Code ، ثم بمساعدة الجدول 4-2 يمكن حساب قيمة I_{ST} كما في المثال التالي.

جدول 4-2 : القدرة عند البدء

kVA Code	(kVA/HP) at starting
A	0-3.14
B	3.15-3.43
C	3.44-3.99
D	4 – 4.49
E	4.5 - 4.99
F	5 - (5.59)
G	5.6 – 6.29
H	6.3 - 7.09
J	7.1 - 7.99
K	8 - (8.99)

مثال 4-2:
احسب تيار البدء للموتور المبينة لوحته فى الشكل 4-5.

الحل:
من لوحة البيانات فى الشكل 4-5 نجد أن قدرة المحرك تساوى 30HP وجهد التشغيل 460V وأن الـ kVA Code الخاص به هو الحرف (G) ، ومن الجدول 4-2 نجد أن KVA/HP المقابل لهذا الرمز هو 5.6 – 6.29 ، (سنختار قيمة متوسطة بينهما) ومن ثم يمكن حساب تيار البدء كما يلى:

$$kVA/HP\ ]_{ST} = \frac{5.6+6.29}{2} = 5.9 \quad kVA/HP$$
$$kVA\ ]_{ST} = 5.9 \times 30 = 177kVA$$
$$I_{ST} = \frac{177 \times 1000}{\sqrt{3}\ 460} = 222A$$

حيث 460 هو V_L

لاحظ أن تيار البدء (222 أمبير) يساوى فى هذا المحرك حوالى ستة أمثال التيار الطبيعى الذى يساوى 34.9 A كما هو واضح على لوحة البيانات.

4-3-2 لوحة بيانات المحرك

لاحظ فى لوحة البيانات السابقة وجود بعض المعلومات الأخرى المفيدة مثل:

عامل الخدمة Service Factor :

وهو يعطى مؤشر على أقصى التحميل يمكن الوصول إليه ، فمثلا لو كان هذا العامل يساوى 1.15 كما فى الشكل 4-5 فمعناه أننا يمكن تحميل هذا الموتور 15% فوق التحميل الطبيعى له . لكن بالطبع سيكون هذا على حساب العمر الافتراضي له الذى سيقل إذا كثر تحميل الموتور بهذه النسبة.

نوعية العزل Insulation Class:

وهى معلومة هامة جدا لأنه تعطى مؤشر إلى المدى الأقصى فى درجات الحرارة التى يتحملها هذا الموتور ، وهناك ستة Classes عالمية كما وردت فى الجدول 2-5 (الفصل الثانى) ، وكل منها يتحمل درجة الحرارة المبينة بجوار الرمز. لاحظ فى الشكل 4-5 أن العزل من الطبقة F الذى يتحمل 155 درجة.

درجة الحماية الخارجية NEMA Design

وهى مجموعة من الـ Classes يشير كل حرف منها إلى مستوى حماية معين للـ Enclosure المحيط بالمحرك للحماية ضد الماء والأتربة والزيوت إلخ. وهو مصطلح أمريكى صادر عن National Electrical Machine Association (NEMA) ويشبه تماما مصطلح IP المستخدم مع لوحات التوزيع فى المواصفات العالمية.

4-3-3 خطوات التصميم للمحركات الصغيرة

فى الواقع أنه ليس هناك حدودا فاصلة محددة بين ما يسمى محركات صغيرة ومحركات كبيرة ، لكن يمكن من الواقع العملى أن نقول أن المحركات الـ 3-Phase الأقل من 15HP تصنف عادة على أنها محركات صغيرة. وتكون خطوات التصميم لدوائرها كما فى الجدول 4-3 :

جدول 4-3 : خطوات التصميم للمحركات الصغيرة

1. احسب تيار (الموتور) I_L
2. احسب الـ Starting Current للمحرك I_{ST}
3. اختر الـ CB بحيث يكون $I_{ST} \rangle I_{CB}$.
4. طبق تصحيح قيم تيار الكابل إذا احتاج الأمر.
5. اختر الكابل بحيث يكون ($I_{CB} \rangle I_{CABLE}$) ، ويحقق أيضا ($I_{Cable} > I_{Thermal-Load}$) ، أيهما أكبر.

وتطبيق هذه القواعد يتفق مع نفس القواعد السابقة المستخدمة مع الأحمال الاستاتيكية (جدول 4-1) باستثناء أن تيار الـ CB أعلى من الـ Starting Current .

مثال 4-3:
اختر الكابل المناسب لمحرك أحادى قدرته 5HP وتيار البدء له يعادل 2.5 التيار الطبيعى علما بأن الـ PF=.85 ، و جهد التشغيل V=220 V ، وكفاءة التشغيل تساوى 90%. (HP = 746 W).

الحل :

$$I_L = \frac{5 \times 746}{220 \times 0.85 \times 0.9} = 22A$$

$$I_{ST} = 2.5 \times 22 = 55A$$

و أقرب CB يحقق العلاقة ($I_{CB} \rangle I_{ST}$) مناسب هو 63A.

ومن العلاقة ($I_{CABLE} \rangle I_{CB}$) ثم من الجدول 2-6 بالملحق -2 نجد أن أقرب مقطع كابل مناسب يحقق هذه العلاقة هو الكابل (2 x 16 mm^2) الذى يتحمل 66A (بفرض أن الكابل داخل ماسورة) .

تذكر أنه يجب تطبيق عمليات التصحيح لقيمة تيار الكابل إذا استدعى الأمر حسب العوامل المختلفة مثل درجة الحرارة وعدد الكابلات المتجاورة إلخ ، للوصول إلى الحمل المصحح للكابل .

4-3-4 خطوات التصميم للمحركات الكبيرة

تكون خطوات التصميم كما فى الجدول 4-4 :

جدول 4-4 : خطوات التصميم للمحركات الكبيرة

1. احسب تيار (الموتور) I_L
2. احسب الـ Starting Current للمحرك I_{ST}
3. اختر الـ CB بحيث يكون $I_{CB} \rangle I_{ST}$
4. طبق تصحيح قيم تيار الكابل إذا احتاج الأمر.
5. اختر الكابل بحيث يكون $I_{CABLE} \rangle 1.25I_L$. ويجب أن يكون كذلك أكبر من الـ Thermal rating المحسوب فى الخطوة الرابعة.
5. اضبط جهاز الـ Overload على تقريبا 1.05 من قيمة تيار الموتور.

لاحظ هنا فى حال المحركات الكبيرة - حيث التيار الطبيعى يكون عالى القيمة - أن تطبيق القاعدة التى تقول أن ($I_{Cable} > I_{CB}$) يصبح غير اقتصادى لأن هذا يعنى بالضرورة أن I_{Cable} سيكون أعلى من $I_{Starting}$ وهذا غير مقبول اقتصاديا ، كما فى المثال التالى .

مثال 4-4 :
اختر الكابل والـ CB المناسبين لمحرك 3-Phase بقدرة 50kW ، وجهد التشغيل 380 V ، ومعامل القدرة له (PF = 0.9) ، وله تيار بدء (I_{ST}=2.5 I_r) ، وكفاءة التشغيل = 95%.

الحل:

$$I_L = \frac{50{,}000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.9 \times .95} = 93.7A$$

$$I_{ST} = 2.5 \times 93.7 = 234A$$

وأقرب CB قياسى أعلى من القيمة المحسوبة هو 250A.

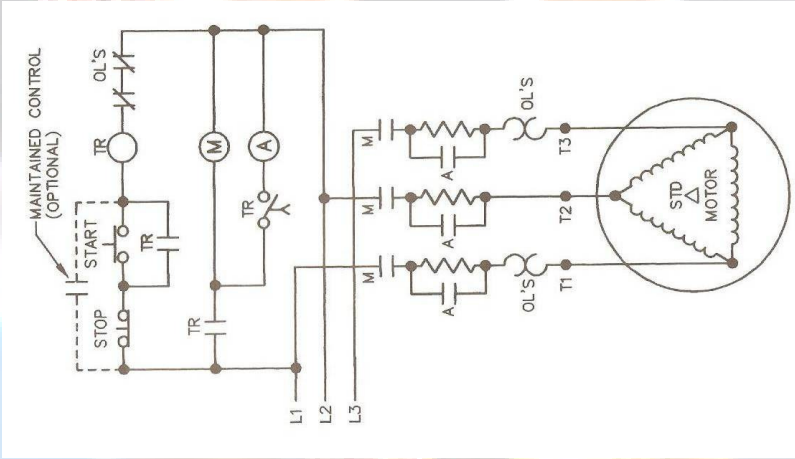
استخدام الـ Overload

لاحظ أننا لو طبقنا القاعدة ($I_{Cable}>I_{ST}$) ، فسنحتاج لكابل ذى مقطع كبير جدا مقارنة بالتيار الطبيعى للمحرك ، بمعنى أننا سنحتاج لكابل يحتمل أكثر من 250A ، رغم أن التيار الطبيعى لا يتعدى 93A ، وهذا غير منطقى. والحل أن نطبق مع المحركات الكبيرة قاعدة أخرى ، وهى $I_{cable} > 1.25\ I_{rated}$ ، وبها نضمن أن مقطع الكابل سيكون مناسبا للتيار الطبيعى.

$$I_{cable} \rangle = 1.25 \times 93.7 = 117.1A$$

وأقرب مقطع قياسى لكابل تياره أعلى من 117 أمبير هو 4 x 50 mm^2 والذى يتحمل 131A بفرض أنه ممدد بالطريقة الرابعة (فوق حوامل) وذلك حسب الجدول 2-7 بالملحق -2.

لكن هذا يستلزم وجود Overload Device ، وهو جهاز حماية إضافى مكون من جزئين ، يركب الجزء الأول منه - وهو الجزء الحساس للحرارة - على التوالى مع ملفات المحرك ومع الـ Main Poles الخاصة بالـ Contactors ، بينما يركب الجزء الثانى منه – وهو عبارة عن الـ Auxiliary Contacts الخاصة به - فى دائرة الـ Start /Stop المتحكمة فى تشغيل المحرك كما فى الشكل 4-6.
و يتم ضبطه على حوالى I_L 1.05 ، أى يضبط تقريبا فى هذا المثال على قيمة 100 أمبير ، وذلك من أجل حماية الكابل ، حيث أن الـ Rated Current للـ CB (250 A) غير مناسب لحماية هذا الكابل (131A) ضد كافة أنواع الأعطال.



شكل 4-6 : دائرة فصل وتشغيل المحرك مع وجود الـ Overload .

4-3-5 تساؤلات هامة

يوجد فى الخطوات المذكورة فى الجدول 4-4 والخاصة بالتصميم للمحركات الكبيرة بعض العلاقات التى ظاهرها غير منطقى. على سبيل المثال أصبحت قيمة الـ Starting Current أعلى من الـ Rated Current للكابل المستخدم ، ومن ثم ظهرت التساؤلات التالية تباعا:

1- هل سيحترق الكابل عند مرور الـ Starting Current؟

بالطبع لا . فرغم أن الـ Starting Current بالفعل أكبر بكثير من تحمل هذا الكابل إلا أنه يستمر لمدة وجيزة وبالتالى لن يصل الكابل خلال هذه الثوانى إلى درجة السخونة الكافية لكى يحترق.

2- وماذا عن مرور تيار بالموتور أعلى من التيار الطبيعى لكنه فى نفس الوقت أقل من تيار الـ CB؟

ففى المثال السابق مثلا كان التيار المقنن للمحرك 93A بينما تيار الـ CB كان يساوى 250A فلو مر تيار بالمحرك قدره 200A - نتيجة عطل ما - فلن يقوم الـ CB بفصله لأن التيار المار لايزال أقل من I_{CB} ، ومن ثم فهناك خطورة على الكابل وعلى المحرك ، فما الحل؟.

لعلاج هذه المشكلة فإن المحركات الكبيرة تزود كما ذكرنا بجهاز حماية إضافى Over Load (OL) ، وهو جهاز حرارى حساس لأى زيادة فى التيار أعلى من قيمة الضبط له . وغالبا يتم ضبطه على حوالى 1.05 من قيمة التيار الطبيعى للدائرة ، وبالتالى ففى حالة زيادة التيار إلى 200A مثلا فإن الـ Over Load سيمكنه بسهولة اكتشاف هذا العطل الذى لا يمكن أن يكتشفه الـ CB.

3- فهل سيتسبب الـ Starting Current فى فصل Over Load؟

والإجابة لا .....لنفس التبرير السابق وهو أن الـ Starting Current يتناقص بعد ثوانى معدودة فى حين إن جهاز الـ Over Load يحتاج لوقت حتى يتأثر بأى ارتفاع فى التيار ومن ثم فلن يتأثر بتيار البدء المرتفع.

4- فهل من الممكن الاستغناء عن الـ CB والاكتفاء بالـ Over Load ؟

بالطبع لا ...لأن الـ CB أساسى فى الوقاية من الأعطال ذات التيار المرتفع Short Circuits . ورغم أن الـ O.L سيشعر بكافة الأعطال بما فيها الأعطال ذات التيار المرتفع لكنه سيفصلها متأخرا لأنه يحتاج لوقت كما ذكرنا سابقا ، أما الـ CB فلأنه يعمل طبقا لنظرية التأثير المغناطيسى للتيار ، فإن أى ارتفاع فى قيمة التيار ستتسبب فورا فى إحداث هذا التأثير المغناطيسى ، ومن ثم سيفصل الـ CB فورا.

تجدر الإشارة إلى أن بعض الـ CBs تكون مزودة بخاصية اكتشاف الأعطال ذات التيار المنخفض وبالتالى فلا تحتاج لإضافة OL إلى دائرة الوقاية الخاصة بالمحرك .

4-4 حساب الحمل التصميمى لمجموعة أحمال ديناميكية

والمقصود بالأحمال الديناميكية هنا أن اللوحة تغذى مجموعة من المحركات وليس محرك واحد كما فى الأجزاء السابقة. و سنحتاج فى هذه النوعية من الحسابات إلى معلومتين مهمتين عن كل محرك فى اللوحة ، وهما :

1- تحديد تيار البدء لكل محرك (I_{St}) ، مع تحديد أعلى تيار بدء فى المجموعة $I_{ST\text{-}max}$.

2- تحديد التيار المقنن لكل محرك (I_{rated}) ، مع تحديد أعلى تيار مقنن فى المجموعة $I_{rated\text{-}max}$

وبعد تحديد هذه المعلومات عن كل محرك ، تكون خطوات التصميم كما فى الجدول 4-5 :

جدول 4-5 : قواعد اختيار الكابل والـ CB العموميين للوحة تغذى محركات فقط

1- حساب قيمة تيار البدء الكلى لمجموعة المحركات I_{St} (Group) ، (الذى سنختار على أساسه الـ CB العمومى للوحة) من المعادلة التالية:

$$I_{St}(Group) = I_{St-\max} + DF\left[\sum I_{rated} - I_{rated-\max}\right]$$

2- احسب قيمة الـ Rated Current لمجموعة المحركات (الذى سنختار على أساسه الكابل الرئيسى) وذلك من المعادلة التالية:

$$I_{rated}(Group) = 1.25 \times I_{rated-\max} + DF\left[\sum I_{rated} - I_{rated-\max}\right]$$

3- طبق إجراءات تصحيح قيم التحميل De-rating Factors ، و تأكد أن تيار الكابل الذى تم اختياره أعلى من الـ Thermal Rating ، تأكد أيضا أن تيار الـ CB المحسوب فى الخطوة -1 أقل من تيار الكابل المختار فى الخطوة -2 ، وإلا اختر كابلا له مقطع أكبر .

حيث
DF هو معامل الطلب لهذه المجموعة من المحركات ، وتتوقف قيمته على عدد المحركات فى المجموعة ، حسب الجدول 4-6 :

جدول 4-6 : معامل الطلب لمجموعة محركات (Individual Drives_)

عدد المحركات	معامل الطلب
1-5	1
6-10	0.75
11-15	0.7
16-20	0.65
21-30	0.6
31-50	0.55

مثال 4-5 :
صمم لوحة توزيع لمجموعة محركات 3-phase مكونة مما يلى:
3 محرك قدرة 5HP
2 محرك قدرة 10 HP
3 محرك قدرة 15HP
اعتبر تيار البدء = 2.5 من قيمة التيار المقنن لكل محرك ، واعتبر الـ (P.F = 0.85).
الحل:
احسب التيار المقنن I_{rated} لكل موتور مع تحديد $I_{rated-max}$ فى المجموعة

I_{rated} (5HP) = 7.6 A
I_{rated} (10HP) = 14 A
I_{rated} (15HP) = 21 A -------- > ($I_{rated-max}$)

نحسب تيار البدء لكل نوع ، مع تحديد قيمة أعلى تيار بدء فيهم:

I_{ST} (5HP) = 19 A
I_{ST} (10HP) = 35 A
I_{ST} (15HP) = 52 A ·····>(I_{St-max})

وحيث أن لدينا ثمانية محركات ، وبالتالى يكون معامل الطلب يساوى DF = 0.75 (حسب الجدول4-6). فنبدأ بتطبيق القاعدة الأولى فى الجدول 4-5:

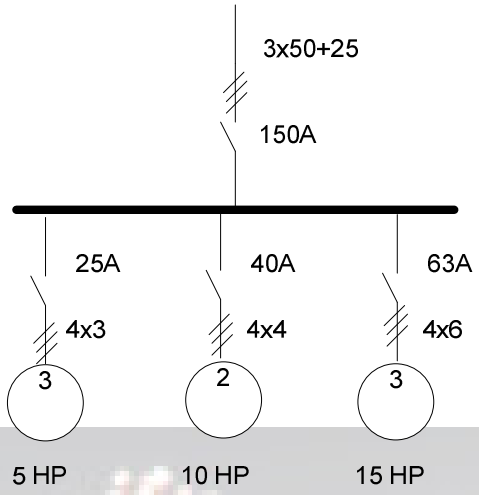
$$I_{Start}(Group) = 52 + 0.75\left[3\times 7.6 + 2\times 14 + 3\times 21 - 21\right] = 122A$$

وهذا يعنى أن أقرب CB مناسب هو 125A ، ويفضل استخدام 150A لتقارب القيم 122 و 125 .
ثم بتطبيق القاعدة الثانية فى الجدول 4-5 نجد أن

$$I_{rated}(Group) = 1.25\times 21 + 0.75\left[3\times 7.6 + 2\times 14 + 3\times 21 - 21\right] = 95A$$

وبناء على هذه القيمة ، فأقرب كابل مناسب حسب الجدول 2-6 بالفصل الثانى (بفرض أنه ممدد بالهواء) هو 3 x $50 + 25\ mm^2$ (يتحمل 179A).

ومن ثم يصبح الشكل النهائى للوحة التوزيع العمومية كما فى الشكل 4-7.



شكل 4-7 : اللوحة العمومية للمثال 4-5

ملحوظات :

1. كان من الممكن اختيار الكابل الأقل بشرط أن يزود بـ Over Load .
2. عمليات تصحيح تحمل الكابلات إن احتجنا إليها (مثل تأثير درجة الحرارة أو عدد الكابلات المتجاورة إلخ) يمكن أن تتسبب فى رفع مقطع الكابل ربما لأكثر من ذلك.
3. الحسابات الخاصة بتصميم الدوائر الفرعية الخاصة بكل موتور يمكن الرجوع إلى قواعدها فى المثال السابق .

الجزء الثانى : اختبارات التأكد من صحة التصميم

تصميم الدوائر كما فى الخطوات السابقة (اختيار CB معين ثم كابل مناسب) يعتبر تصميما أوليا ، ولا يعتبر التصميم نهائيا إلا إذا تم التأكد من صحة هذه الاختيارات بواسطة ثلاثة اختبارات مهمة:

1- اختبار التحمل الحرارى للكابل (لدراسة تأثير درجة حرارة الجو ، وظروف التمديد إلخ على تحمل الكابل).
2- اختبار مدى الهبوط فى الجهد Voltage Drop (للتأكد من أن V.D عند نهاية الكابل لا يتعد الحدود المسموح بها).
3- اختبار تحمل الكابل وكذلك تحمل الـ CB لأقصى تيار قصر Short Circuit متوقع مروره بالكابل والـ CB .

وغالبا يتم تطبيق هذه الاختبارات على الكابلات الرئيسية فقط فليس هناك معنى لتطبيقها مثلا على دوائر الإنارة الفرعية أو الأحمال الصغيرة ، لكن فى حالات خاصة يمكن تطبيقها على الدوائر الفرعية إذا كانت المسافة مثلا بين اللوحة والحمل كبيرة جدا.

4-5 الاختبار الأول : اختبار التحمل الحرارى

من المعروف أن قيم الـ Rated Current المذكورة فى مثل الجدول 2-6 بالفصل الثانى والتى نحصل عليها من الشركات المصنعة لهذه الكابلات تفترض دائما أن الكابل موضوع فى ظروف معينة : منها أن تكون درجة الحرارة فى الوسط المحيط بالكابل لا تزيد عن 40 درجة مئوية (أحيانا تحسب على 25 درجة) ، و أن يكون الكابل غير مجاور لأى كابل آخر ، بالإضافة لمجموعة شروط أخرى قياسية تضعها الشركة المصنعة للكابل.
والسؤال الآن : ماذا لو اختلفت شروط تمديد الكابل عن هذه الشروط والظروف؟

فى هذه الحالة يجب مراجعة تحميل الكابل ، وتخفيض مستوى التحميل بنسب مختلفة تسمى معاملات تصحيح قيمة التحميل (De-rating Factors) .

4-5-1 معاملات تصحيح تحميل الكابلات

وعملية المراجعة هذه تتضمن عدة عمليات تصحيحية للوصول إلى التحمل الحرارى Thermal rating المناسب للكابل حتى لا ترتفع درجة حرارة الكابل أثناء التشغيل.

ومن هذه المراجعات:

تأثير درجة الحرارة

يتم تصحيح تحمل الكابل طبقا لدرجة حرارة الجو إذا كان ممددا فى الهواء طبقا للقيم المذكورة بالجدول رقم 4-7.

جدول 4-7 : تصحيح التحميل حسب درجة حرارة الجو

درجة حرارة الهواء	25	30	35	40	45	50	55
PVC	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65
XLPE	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

أما إذا كان الكابل مدفونا فى الأرض فإن التصحيح يتم حسب درجة حرارة التربة باستخدام الجدول 4-8 .

جدول 4-8 : تصحيح التحميل حسب درجة حرارة التربة

درجة حرارة التربة	25	30	35	40	45	50	55
PVC	1.22	1.15	1.08	1.00	0.95	0.82	0.71
XLPE	1.14	1.10	0.90	1.00	0.90	0.89	0.84

بالمثل هناك معاملات تصحيح لمتغيرات أخرى غير درجة الحرارة منها:

تأثير عمق الدفن :

جدول 4-9 : معامل تصحيح عمق الدفن

عمق الدفن	مقطع الكابل		
سم	Up to 70 mm^2	Up to 240 mm^2	Above 300 mm^2
50	1.00	1.00	1.00
60	0.99	0.98	0.97
80	0.97	0.96	0.94
100	0.95	0.93	0.92
125	0.94	0.92	0.89
150	0.93	0.90	0.87
175	0.92	0.89	0.86
200	0.91	0.88	0.85

تأثير الحرارة النوعية للتربة :

جدول 4-10 : معامل تصحيح المقاومة النوعية للتربة

الحرارة النوعية للتربة °C.cm/watt	80	90	100	120	150	200	250
معامل التصحيح	1.17	1.12	1.07	1.0	0.91	0.80	0.73

تأثير تجاور الكابلات فوق حوامل الكابلات :

جدول 4-11 : معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة أفقيا ورأسيا فى الهواء

	عدد الكابلات على الحامل				
	2	3	5-4	8-6	أكثر من 9
معامل التصحيح للمجموعات أفقية	0.85	0.78	0.75	0.72	0.7
معامل التصحيح للمجموعات الرأسية	0.8	0.73	0.7	0.86	0.66

تأثير تجاور الكابلات تحت الأرض :

جدول 4-12 : معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة تحت الأرض

عدد الدوائر	المسافة بين الكابلات					
	Touching		Spacing 15 cm		Spacing 30 cm	
	Flat	Trefoil	Flat	Trefoil	Flat	Trefoil
2	0.81	0.81	0.87	0.87	0.91	0.91
3	0.70	0.69	0.76	0.78	0.84	0.82
4	0.63	0.62	0.72	0.74	0.81	0.77
5	0.60	0.58	0.66	0.70	0.78	0.73
6	0.56	0.54	0.63	0.67	0.76	0.70

لاحظ فى الجدول السابق أن معامل التصحيح يتوقف على المسافة بين الكابلات المتجاورة : فهى إما متلامسة (Touching) ، أو متباعدة بمسافة 15 سم ، أو 30 سم ، ويتوقف أيضا على طريقة وضع الكابلات.

ملاحظات هامة:

1. الجداول السابقة تخص شركة معينة ، وستختلف القيم من شركة لأخرى ، ومن دولة لأخرى ، وبالتالى فللحسابات الدقيقة يجب إما أن ترجع إلى مواصفات الشركة التى تتعامل معها أو إلى مواصفات الدولة التى تقيم فيها.

2. لاحظ أنه إذا احتجنا إلى تطبيق أكثر من معامل تصحيح فى نفس الوقت فإن هذه المعاملات المستخدمة تضرب جميعا فى التحميل الطبيعى للكابل من أجل الوصول إلى التصحيح المناسب.
3. يجب على كل مصمم أن يرجع إلى المواصفات القياسية المعتمدة ببلده ، فقد يكون هناك فروقا بين الجداول المذكورة هنا بالكتاب وبين الجداول المعتمدة ببلده ، لكن يظل أسلوب التصميم غير مختلف وإن اختلفت قيمة هنا أو قيمة هناك فى جدول ما.
4. بعض المواصفات تفرق بين الـ Current Rating المحسوب لكابل داخل ماسورة فى الهواء أو داخل ماسورة بالحائط (السقف) أو داخل خندق بالأرض أو معلق على الحائط إلى آخر هذه الطرق ، وتجعل لكل طريقة من هذه الطرق جدولا خاصا يحسب منه Cable rating ، وتصل هذه الطرق إلى أكثر من 8 طرق مختلفة لتمديد الكابلات ، وهذا يعنى أن المهندس يجب أن يكون لديه الجدول المناسب لكل طريقة من هذه الطرق ، وهذا بالطبع يستلزم منه مراجعة المواصفات القياسية المعتمدة ببلده. (راجع الملحق رقم 2 للإطلاع على النماذج المتبعة بالمواصفات الكويتية على سبيل المثال).

مثال 4-6 :

ما هو أقصى تيار يتحمله كابل PVC مقطعه $95mm^2$ إذا كانت حرارة الجو 50 درجة مئوية؟

الحل:

من الجدول 2-6 بالفصل الثاني نجد أن التحميل الطبيعى (عند 25 درجة مئوية) لكابل $95mm^2$ موضوع فى الهواء هو 268 أمبير ، ومن الجدول 4 -7 نجد أن معامل التصحيح المقابل لدرجة 50 مئوية هو 0.76 ، وبالتالى فالـ Thermal Rating الصحيح لهذا الكابل عند 50 درجة يساوى :

$$268 \times 0.76 = 203A$$

و ليس 268A كما فى الجدول الأساسي .

مثال 4- 7

احسب التحمل الأقصى لكابل PVC مقطعه $240\ mm^2$ مدفون بالأرض فى تربة حرارتها 50°C على عمق 80 سم بجوار كابلين آخرين.

الحل:

من الجدول 4-8 : معامل تصحيح حرارة التربة يساوى 0.89

من الجدول 4- 9: معامل تصحيح عمق الدفن يساوى 0.96

من الجدول 4- 12 : معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (بفرض أنهم متلامسين) يساوى 0.7

ومن الجدول 2-6 بالفصل الثاني نجد أن التحمل الطبيعى للكابل هو 435 أمبير. إذن التحمل الحرارى لهذا الكابل طبقا للظروف المذكورة هو

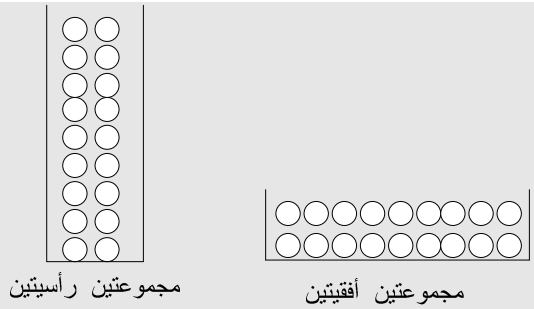
$$435 \times 0.7 \times 0.96 \times 0.89 = 260A$$

وهذا يعنى أن الـ Thermal rating الصحيح لهذا الكابل ليس أكثر من 60% من الـ Rating المذكور بالجداول القياسية.

لاحظ أنك لو أهملت هذه التصحيحات واستخدمت الكابل طبقا للتيار المذكور فى الجدول 2-6 بالفصل الثاني دون تصحيح فسيحدث تراكم حرارى داخل الكابل (بمعنى أن الحرارة المتولدة داخل الكابل ستكون أعلى من الحرارة المتبددة من الكابل) وهذا سيؤدى بالطبع إلى احتراق الكابل. ومن هنا تظهر أهمية إجراء تصحيح قيم التحميل الحرارى للكابلات.

مثال 4-8:

مطلوب تمديد 18 كابل على شكل طبقتين كما فى الشكل 4- 8. قارن بين الطريقتين واحسب معامل تصحيح الكابلات لكلتا الطريقتين.



شكل 4-8 تمديد 18 كابل بطريقتين مختلفتين

الحل:

فى حالة وضع الكابلات فى مجموعتين أفقيتين يكون معامل التصحيح من الجدول 4-11 كما يلى

معامل التصحيح لتسع كابلات أفقية = 0.7
معامل التصحيح لكابلين رأسيين = 0.8
معامل التصحيح للطريقة الأولى (يمين) = 0.8 x 0.7 =0.56

بالمثل فى الطريقة الثانية:
معامل التصحيح لتسع كابلات رأسية = 0.66
معامل التصحيح لكابلين أفقيين = 0.85
معامل التصحيح للطريقة الثانية (يسار) = 0.85 x 0.66 = 0.56

إذن لا فرق بين الطريقتين. وفى كلا الحالتين يجب خفض تحميل الكابل إلى 56% من التحميل الطبيعى للكابل.

مثال 4-9:

المطلوب اختيار كابل PVC مناسب لتحمل تيار قدره 300 A علما بأن لكابل مدفون بالأرض فى تربة حرارتها 50 °C على عمق 80 سم بجوار كابلين آخرين.

الحل:

من الجدول 4-8 : معامل تصحيح حرارة التربة يساوى 0.82
من الجدول 4-9 : معامل تصحيح عمق الدفن يساوى 0.96
من الجدول 4-12 : معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (بفرض أنهم متلامسين) يساوى 0.7

وبالتالى يمكن مباشرة حساب الـ Rated Current للكابل المناسب كما يلى :

$$I_{cable} = \frac{300}{0.7 \times 0.96 \times 0.82} = 501A$$

وحيث أنه لا يوجد كابل يتحمل هذا التيار فلذلك سنحتاج إلى كابلين على التوازى ، وعندها سيصبح عدد الكابلات المتجاورة أربعة بدلا من ثلاثة ، وهذا يستلزم تغيير معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (من الجدول 4-12) ليصبح 0.63 بدلا 0.7 ، ومن ثم يصبح التيار المطلوب يساوى:

$$I_{cable} = \frac{300}{0.63 \times 0.96 \times 0.82} = 557A$$

وهذا يعنى أننا نحتاج لكابلين يحمل كل واحد منهما (279A = 557 /2) ، ومن الجدول 2 - 6 بالفصل الثانى نجد أننا نحتاج إلى كابلين موصلين على التوازى مقطع كل يساوى 120 mm^2 لتحمل هذا التيار ، ويكتب الحل على الصورة : 2(3 x 120 + 70) mm^2 .

6-4 الاختبار الثانى : نسبة الهبوط فى الجهد

بعد التأكد من اجتياز الكابل لاختبار التحمل الحرارى طبقا للظروف التى سيمدد فيها الكابل (وذلك بتطبيق معاملات الـ De-rating) ، فإنه يجب التأكد بعد ذلك من أن الهبوط فى الجهد Voltage Drop عند نهاية الكابل نتيجة مرور التيار لن يتعدى القيم القياسية المسموح بها هو 4% فى الظروف الطبيعية ، أو 8% فى ظروف الطوارئ (في بعض المواصفات تتراوح 3-6%).

وبالطبع فنحن حريصين على التأكد من عدم هبوط الجهد لعدة أسباب :

- أن الهبوط فى الجهد بنسبة 1% فقط يؤدى إلى انخفاض شدة الإضاءة من اللمبات التنجستن بنسبة 3%.
- بعض الأجهزة المنزلية التى لها محركات ثابتة القدرة تتأثر بشدة بانخفاض الجهد ، فمن المعلوم أن ($P = V \times I \cos\varphi$) ، ومن ثم فإى انخفاض بأى نسبة فى الجهد سيؤدى بالضرورة إلى ارتفاع فى التيار بنفس النسبة. والمشكلة أن هذا الارتفاع غالبا لا يكون كبيرا ، فلو فرضنا أن هذا الارتفاع فى التيار كان بنسبة 10% فقط ، فهذا يعنى أن الـ CB لن يشعر بهذه الزيادة فى التيار وبالتالى لن يفصل الدائرة ، فى حين سيظل الجهاز يعانى من هذه الزيادة و من ثم ترتفع درجة حرارته تدريجيا مع الزمن حتى يصل لمرحلة الاحتراق. ومن هنا جاءت أهمية التأكد من عدم هبوط الجهد عن القيم القياسية المسموح بها.

ويمكن حساب الهبوط فى الجهد بأى طريقة من الطرق الأربع التالية :

الطريقة الأولى وهى الأكثر دقة بتطبيق المعادلة:

$$\Delta V_0 = I_{ph}\left(R\cos\phi + jX\sin\phi\right) \quad .....4-5$$

لاحظ من المعادلة السابقة أن الـ Voltage Drop قد تأثر بقيمة ثلاثة عوامل:

1. مقاومة الكابل R
2. الـ Reactance الخاصة بالكابل X .
3. معامل القدرة Power Factor , cos φ .

وبالطبع تأثر بقيمة الـ Phase current المار بالدائرة I_{ph} .

الطريقة الثانية وفيها تبسيط لمعادلة السابقة لتصبح على الصورة

$$\Delta V_0 = I_{ph} \times Z(\Omega) \quad .....4-6$$

ويمكن تبسيطها بدرجة أكبر لتصبح :

$$\Delta V_0 = I_{ph} \times R(\Omega) \quad or \quad \Delta V_0 = I_{ph} \times X(\Omega) \quad .....4-7$$

بمعنى أننا قد أهملنا قيمة الـ X أو قيمة الـ R ، أيهما أصغر ، وهذا منطقى خاصة فى حالة الكابلات ذات المقطع الصغير .

الطريقة الثالثة باستخدام جداول الشركات التقديرية ، فيمكن حساب الـ Voltage Drop مقاسا بـ mV باستخدام القيم المعطاة فى الجدول 4-13 ، و ذلك بمعلومية التيار المار بالكابل بالأمبير وطول الكابل بالكيلومتر. فى الجدول السابق استخدم القيم تحت العمود الخاص بـ 2 Core Cable فى دوائر الـ 1-phase ، واستخدم القيم تحت العمود الخاص بـ 3 and 4 Core Cable لدوائر الـ 3-Phase ، مع ملاحظة أن هناك نوعين من هذه الكابلات الأولى تكون فيها الكابلات من النوع Single core ، والثانى من النوع الـ Multi-core .
كما ي أن يجب مراعاة أن كل نوع من الكابلات له جداوله الخاصة به حسب نوع الموصل ونوع العزل وجهد التشغيل ، وما هو وارد فى الجدول السابق يخص فقط الكابلات (النحاس – الألومنيوم) المعزولة بـ PVC وجهد منخفض حتى 600 فولت.

جدول 4-13 : الهبوط فى الجهد (mV/km/A) فى الدوائر الأحادية والثلاثية

Nominal Area of Conductor Sqmm	3 or 4 Single Core Cables				2 Core or 2 Single Core Cables - Touching		3 and 4 Core Cables	
	Copper Trefoil	Copper Flat spaced*	Aluminium Trefoil	Aluminium Flat spaced*	Copper	Aluminium	Copper	Aluminium
1.5	26.3	26.3	–	–	30.4	–	26.3	–
2.5	16.1	16.1	–	–	18.6	–	16.1	–
4	10.0	10.0	–	–	11.6	–	10.0	–
6	6.7	6.7	–	–	7.7	–	6.7	–
10	4.0	4.0	–	–	4.6	–	4.0	–
16	2.5	2.5	4.8	4.8	2.9	4.8	2.5	4.8
25	1.55	1.60	3.1	3.1	1.8	3.1	1.6	3.1
35	1.13	1.16	2.2	2.2	1.3	2.2	1.2	2.2
50	0.84	0.87	1.4	1.5	0.98	1.7	0.85	1.7
70	0.60	0.65	0.96	0.98	0.69	1.2	0.60	1.2
95	0.45	0.52	0.70	0.76	0.51	0.89	0.44	0.89
120	0.37	0.45	0.57	0.64	0.41	0.74	0.36	0.74
150	0.31	0.41	0.47	0.55	0.35	0.64	0.30	0.64
185	0.26	0.38	0.38	0.48	0.29	0.56	0.25	0.56
240	0.23	0.35	0.31	0.42	0.24	0.48	0.21	0.48
300	0.20	0.33	0.26	0.38	0.21	0.44	0.18	0.44
400	0.19	0.32	0.25	0.37	0.19	0.41	0.16	0.41
500	0.18	0.31	0.25	0.36	0.17	0.39	0.15	0.39
630	0.16	0.31	0.24	0.36	0.16	0.37	–	–
800	0.16	0.30	0.24	0.35	0.15	0.36	–	–
1000	0.15	0.29	0.23	0.35	0.15	0.35	–	–

* Adjacent Cables spaced by one Cable diameter.
Maximum conductor operating temperature for Type 5 PVC insulated Cables ..... 85°C

الطريقة الرابعة : ويمكن تطبيقها إذا كانت الـ Impedance الخاصة بالكابل (Z) معطاة بالـ p.u فإن الهبوط فى الجهد عندئذ يمكن أن يحسب مباشرة من المعادلة:

$$\Delta V_o = Z_{p.u} \times V_{line} \qquad 4\text{-}8$$

ملحوظات هامة:

1. في حالة الدوائر الـ Single-Phase يكون الـ V.D الكلي يساوى

$$\Delta V = 2\,\Delta V_0 \ldots\ldots\ldots\ldots 4-9$$

على أساس أن الـ V.D موجود في كلا الموصلين (الموصل الداخل والموصل الخارج من الـ Load).

2. أما في حالة الدوائر الثلاثية فيكون الـ V.D. الكلى يساوى

$$\Delta V = \sqrt{3}\,\Delta V_0 \ldots\ldots\ldots\ldots 4-10$$

3. يحسب الـ VD في دوائر 3- phase كنسبة من الـ V_{line} .

4. لاحظ أن X_{cable} تهمل فى الموصلات الصغيرة ، ويكتفى عندئذ فقط بقيمة المقاومة R .
5. **معظم جداول الشركات تعطى القيمة للـ VD مضروبة مباشرة فى 2 بالنسبة لدوائر الـ Single Phase ، ومضروبة مباشرة فى $\sqrt{3}$ بالنسبة لدوائر الـ 3-Phase .**

مثال 4-10:
إذا كان لدينا محول بقدرة 100 kVA ويعمل على جهد 460 V ، وله Impedance قيمتها 5% . احسب أقصى هبوط فى الجهد على طرفى المحول إذا سحب من المحول تيار الـ Full load .

الحل:

$$\because I_{ph} = \frac{100000}{\sqrt{3} \times 460} = 125A$$

$$\because Z_{\Omega} = Z_{p.u} \times \frac{V_{line}^2}{VA_{base}} = \left[0.05 \frac{460^2}{100000} \right] = 0.1058\Omega.$$

يمكن حل هذا المثال بطريقتين : فيمكن تطبيق الطريقة الثانية المذكورة سابقا باستخدام المعادلة 4-6 ومنها نجد أن

$$\Delta V_0 = (I_{ph} \times Z(\Omega)) = 125 \times 0.1058 = 13.2V$$

ثم نطبق القاعدة المذكورة فى المعادلة 4-10

$$V.D = \Delta V_0 \times \sqrt{3} = \quad \times \sqrt{3} = 23V$$

كما يمكن - كحل آخر - أن نطبق الطريقة الرابعة بتطبيق المعادلة 4-8 :

$$\Delta V = \frac{5}{100} \times 460 = 23V$$

مثال 4-11:
احسب الهبوط فى الجهد عند أطراف كابل نحاسى Multi-core مقطعه يساوى $150\ mm^2$ ، وطوله 800 متر ، ويحمل تيار قدره 100A ، وجهد التشغيل 415 فولت.

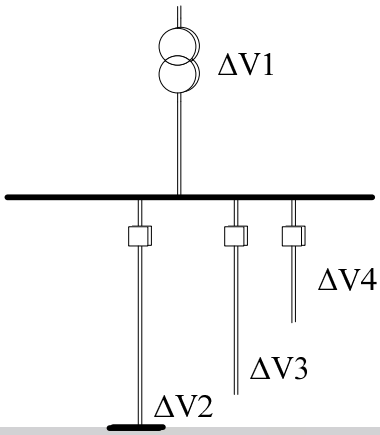
الحل:
من الجدول 4-13 نجد أن الهبوط فى الجهد على كابل ثلاثى مقطعه 150 ملم يساوى 0.3 mV/km/A .
وبالتالى ، فإجمالى الهبوط فى الجهد على أطراف هذا الكابل يساوى:

$$0.3 \text{ x } 0.800 \text{ x } 100 = 24 \text{ V}$$

وهو ما يعادل 5.7 % من قيمة الجهد المقنن (415 / 24) .

لاحظ أننا قسمنا على 415 وليس على 240 لأن القيم المعطاة فى الجدول 4-13 محسوبة بالنسبة للـ Line voltage مباشرة. كما أننا لم نضرب فى $\sqrt{3}$ لأن قيم الجداول مضروبة أصلا فى $\sqrt{3}$ بالنسبة لدوائر الـ 3-Phase .
لاحظ أيضا أنه لو وجد عدد من الكابلات موصلة فى دوائر على التوالى كما فى الشكل 4- 9 ، فإن أقصى هبوط فى الجهد يحسب بجمع قيم الـ (ΔV) المتوالية على الكابلات كما فى المعادلة:

$$\Delta V_{\max} \quad (total) = \Delta V1 + \max \quad of \quad (\Delta V2 \ , \Delta V3 \ , \Delta V4).$$



شكل 4-9 : الهبوط المتتالى فى الجهد

أى أننا نأخذ أقصى قيمة للـ ΔV على الكابلات من الثانى إلى الرابع فى الشكل 4-9 لوجودهم على التوازى ثم تجمع مع ΔV1 الخاصة بالمحول لوجودها على التوالى معها .

4-7 الاختبار الثالث: تحمل أقصى تيار قصر متوقع

فى هذا الاختبار نختبر قدرة الكابل على تحمل التيارات العالية جدا التى تمر لمدة وجيزة أثناء الأعطال ، وهذه المدة الوجيزة تمثل فى الواقع المدة التى سيستغرقها الـ CB لفصل تيار العطل فى الدائرة الحقيقية. ومن ثم يجب التأكد من أن الكابلات ستتحمل مرور هذا التيار طوال هذه المدة الوجيزة .

والمعلومات التى نحتاجها لإجراء هذا الاختبار هى :

1- قيمة أقصى تيار قصر متوقع. وهذه القيمة تحسب من دراسة خاصة تعرف بـ Short Circuit Study ، وسنشير إليها لاحقا.

2- القيمة القصوى التى يمكن أن يتحملها الكابل أثناء القصر. وبالطبع يجب أن تكون هذه القيمة أعلى من القيمة الواردة فى البند السابق (أقصى قصر متوقع)

2- زمن الفصل Trip Time للـ CB المستخدم. ونحصل على هذه القيمة من كتالوج الـ CB المستخدم. ويجب بأى حال أن لا يزيد عن ثانية واحدة لخطورة ذلك على بقية مكونات الشبكة.

و يمكن أن نحصل على القيمة القصوى التى يتحملها الكابل أثناء القصر بإحدى طريقتين:

- إما من خلال الجداول الخاصة التي تقدمها شركات الكابلات.
- أو المنحنيات الخاصة بشركات الكابلات.
- أو من خلال الحسابات التقريبية (تختلف من شركة لأخرى).

4-7-1 استخدام جداول تيارات القصر

يمكن أن نستخدم مباشرة الجدول 4-14 لاختبار قدرة الكابل على تحمل تيارات القصر ، كما فى الأمثلة التالية.

مثال 4-12:

اختبر قدرة تحمل كابل PVC 70 mm^2 على تحمل تيار قصر متوقع قدره 15 kA ، علما بأن الـ CB بالدائرة له زمن فصل قدره نصف ثانية.

الحل:

من الجدول 4-14 نجد أن الكابل 70 mm^2 يمكنه أن يتحمل تيار قصر قدره 14.2 kA لمدة نصف ثانية ، وحيث أن تيار القصر المتوقع هو 15kA ومن ثم فهذا الكابل غير مناسب ونحتاج إلى كابل بديل مقطعه على الأقل 95mm^2 .

جدول 4-14 : العلاقة بين تيار القصر ومقطع الكابل وزمن الفصل

Cross Sectional Area mm2	TIME sec.									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5
16	7.2	5.1	4.2	3.6	3.2	2.3	1.6	1.3	1.1	1.02
25	11.3	8.0	6.5	5.7	5.2	3.6	2.5	2.1	1.8	1.60
35	15.8	11.2	9.1	7.9	7.1	5.0	3.5	2.9	2.5	2.24
50	22.6	16.0	13.1	11.0	10.1	7.0	5.1	4.1	3.6	3.20
70	31.7	22.4	18.3	15.8	14.2	10.0	7.1	5.8	5.0	4.48
95	43.0	30.4	24.8	21.5	19.2	13.6	9.6	7.8	6.8	6.08
120	54.3	38.4	31.3	27.0	21.3	17.2	12.1	9.9	8.6	7.67
150	67.8	48.0	39.2	33.9	30.3	21.5	15.2	12.4	10.7	9.59
185	83.7	59.2	48.3	41.8	37.4	26.5	18.7	15.3	13.2	11.83
240	108.5	76.7	62.7	54.3	48.5	34.3	24.3	19.8	17.2	15.35
300	135.7	95.9	78.3	67.8	60.7	42.9	30.3	24.8	21.5	19.19
400	180.5	127.9	104.4	90.4	80.9	57.2	40.5	33.0	28.6	25.58
500	226.1	159.9	130.5	113.1	101.1	71.5	50.6	41.3	35.8	31.98
630	284.9	201.5	164.5	142.4	127.4	90.1	63.7	52.0	45.1	40.29

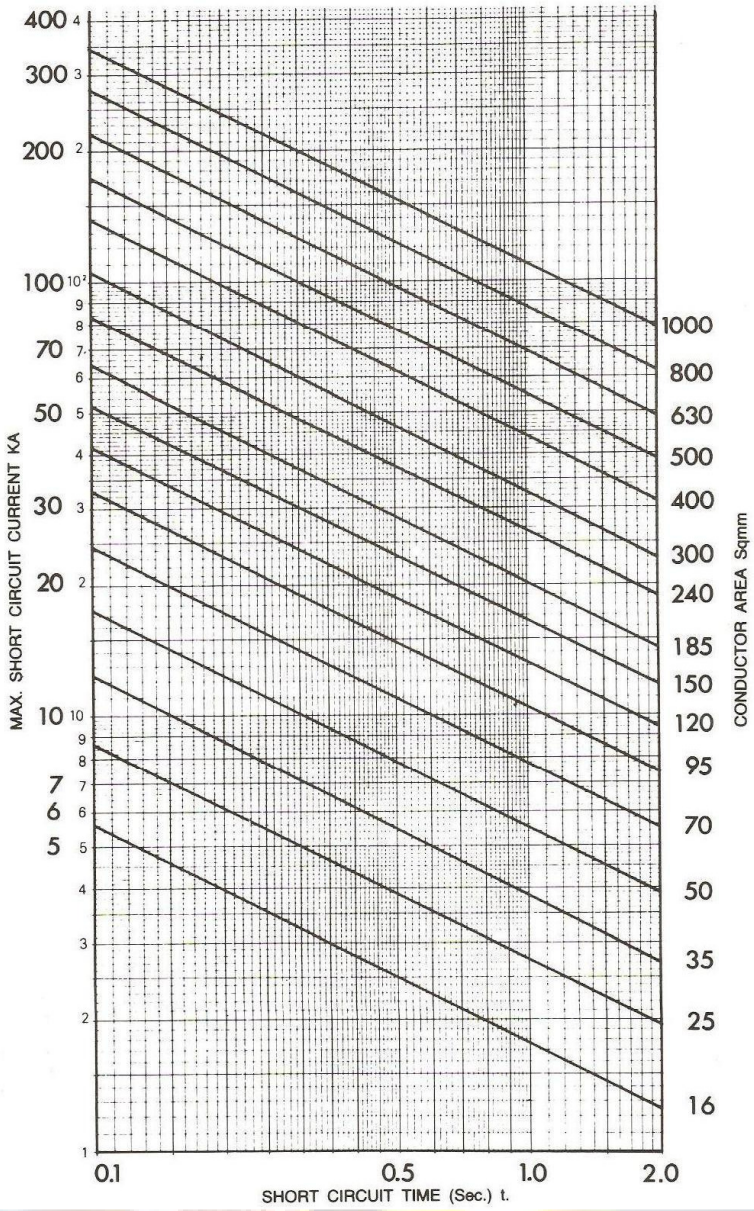
مثال 4-13
اختر الكابل المناسب القادر على تحمل تيار قصر قدره 20kA يمر فى دائرة محمية بالـ CB زمن فصله هو 0.5 ثانية.

الحل:
من الجدول 4-14 وبالنظر رأسيا فى العمود الخاص بالزمن 0.5 نجد أن أقرب كابل له تيار قصر أعلى من 20 kA هى 21.3 kA ، و هي القيمة المقابلة لكابل مقطعه $120\ mm^2$ ، وهذا يعنى أنه أقل مقطع مناسب .

4-7-2 استخدام منحنيات شركات الكابلات

يمكن أيضا حساب أقصى تيار قصر يتحمله الموصل من المنحنيات التى تقدمها الشركة المنتجة للكابلات مثل المنحنى الخاص بكابلات النحاس الواردة فى الشكل 4-10 . لاحظ أننا إذا أردنا حل المثال السابق بطريقة المنحنيات فسنجد أن أقرب كابل لتقاطع 0.5 sec مع 20 kA هو الكابل الأعلى من $120\ mm^2$ ، وهو بالطبع الكابل $150\ mm^2$ (يتحمل حوالى 23 kA طبقا للمنحنى).

A - Conductor Area in Sqmm
t - Short Circuit Time in Sec.



شكل 4-10 : منحنيات القصر لكابلات النحاس

4-7-3 استخدام الحسابات التقريبية

فى الطريقة الثانية يمكن الوصول لأقصى تيار قصر يتحمله كابل معين بدلالة مساحة مقطع الكابل (a) كما فى المعادلات التالية:

1- بالنسبة للموصلات النحاسية التى تتحمل درجة حرارة حتى 90 درجة:

$$a(mm^2) = 9\sqrt{t}\ I_{SC} \quad .....4-11$$

2- بالنسبة للموصلات الألومنيوم التى تتحمل درجة حرارة حتى 90 درجة:

$$a(mm^2) = 14.2\sqrt{t}\ I_{SC} \quad .....4-12$$

مع ملاحظة أن التيار فى المعادلتين محسوب بوحدات الـ kA وليس بالأمبير ، وأن t هى زمن فصل الـ CB بالثانية.

مثال 4-14
استخدم المعادلات السابقة لاختيار مقطع مناسب لكابل يمر به تيار قصر قدره 20kA ، فى دائرة محمية بـ CB زمن فصله هو 0.5 ثانية.

الحل:
من المعادلة 4-11 نجد أن

$$a(\,mm^2\,) = 9\sqrt{0.5}\ \times 20 = 127mm^2$$

وأقرب مقطع قياسي لهذه القيمة هو 150 mm^2 .

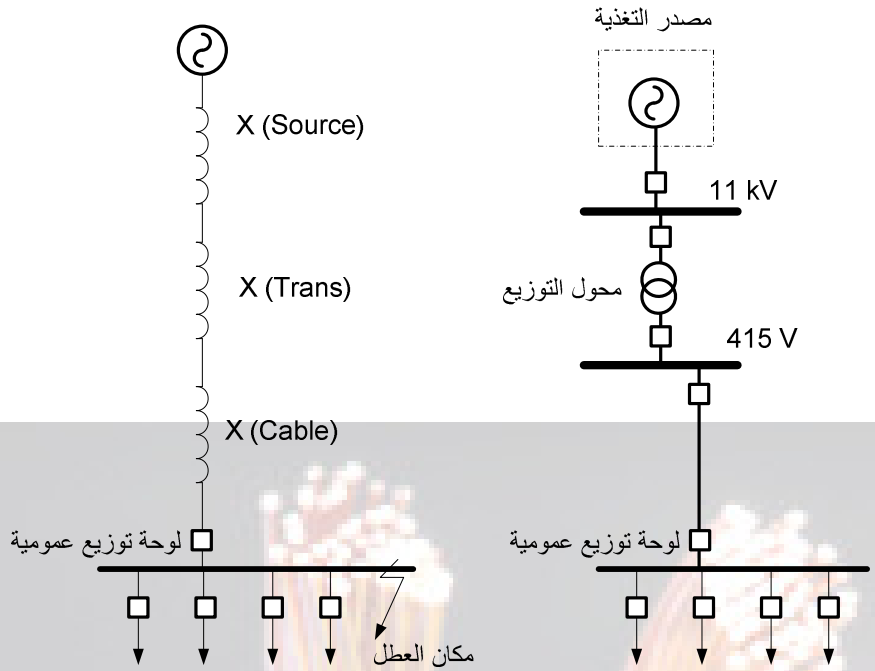
لاحظ وجود اختلاف بسيط بين الطرق الثلاثة ، والأفضل أن نأخذ المقطع الأعلى منهم.

4- 8 حسابات القصر

من المعلوم أن القانون الأساسي المستخدم لحساب تيار القصر المتوقع هو قانون أوم ($I_{S.C} = V/ Z_{S.C}$) ، وبالطبع فقيمة الجهد (V) معلومة ، ونحن نحتاج فقط إلى معرفة قيمة الـ Impedance ، $Z_{s.c}$ من أجل حساب قيمة تيار القصر $I_{s.c}$. وبما أن الهدف هو حساب قيمة تيار القصر عند نقطة محددة فى لوحة توزيع المبنى فإننا يجب أن نحسب أولا قيمة الـ Impedances الكلية التى مر خلالها هذا التيار (Z_{SC}) والتى تحسب من نقطة خروج التيار من محطة التوليد مرورا بمحطة المحولات والكابلات حتى يصل لنقطة العطل المفترضة ، وبعدها نطبق قانون أوم لحساب التيار.

الشكل 4-11 يمثل إحدى الشبكات التقليدية البسيطة لمنظومة توزيع القوى ، لكنها فى نفس الوقت تعتبر الأكثر انتشارا فى التمديدات الكهربية ، حيث تتكون المنظومة من مصدر تغذية Generating Station يليها محطة محول التوزيع Distribution Transformer ثم مجموعة من الكابلات التى ينتهى كل كال منهم بـ Load يمثله هنا لوحات التوزيع العمومية للمبنى.

وهى منظومة بسيطة لعدم وجود أكثر من مصدر تغذية أو لعدم ارتباطها بشبكات حلقية ، فالأمر هنا لا يعدو أكثر من مجموعة من الـ Impedances متصلة على التوالى . ويمثل الجزء الأيسر فى الشكل 4-11 الدائرة المكافئة لهذه الشبكة ، حيث تم استبدال كل عنصر فى الشبكة بقيمة الـ Impedance المكافئة الخاصة به . وللتبسيط ، فقد أهملنا قيمة الـ R فى كل الـ Impedances.



شكل 4-11 : منظومة التغذية

و سنبدأ بمراجعة كيفية حساب المعاوقة الخاصة بكل عنصر فى الشبكة على حدة وذلك تمهيدا لحساب قيمة تيار القصر .

1- حساب قيمة X_S للمصدر

من المعلوم أنه عند حدوث عطل فإنه يتغذى من كافة المولدات القريبة منه ، والتى تتصل بمحولات التوزيع من خلال محولات الرفع ثم خطوط النقل. وفى حالة حسابات الـ Short Circuits فإننا نتخيل أن كل هذه العناصر قد أدغمت فى عنصر واحد هو مصدر التغذية كما هو واضح فى الشكل 4-11 ، بمعنى أن معاوقة مصدر التغذية فى الشكل X_{source} (يرمز لها بـ X_S) ليست خاصة بمولد بعينه ، وإنما هى المعاوقة المكافئة Equivalent Reactance لمجموعة مصادر ، وسنفترض أن قدرة هذا المصدر المكافئ تساوى MVA_{SC} . و هذه القيمة الأخيرة (الـ MVA_{SC}) يمكن الحصول عليها من مؤسسة الكهرباء التى يقع المبنى فى حدودها ، و تختلف قيمتها من منطقة لأخرى حسب قرب المبنى أو بعده من مصادر التغذية الحقيقية ، وغالبا فى الكويت تقدر تقريبا بحوالى 300MVA ، وفى مصر حوالى 500 MVA. ثم يتم حساب قيمة X_S المكافئة بدلالة قيمة MVA_{SC} الخاصة بهذه لمنطقة وذلك من المعادلة:

$$X_S = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \quad \text{.....4-12}$$

حيث kV هو قيمة الـ Line Voltage الذى وقع العطل فى منطقته.
وهناك صيغة أخرى للمعادلة السابقة حيث تكتب على الصورة التالية :

$$X_S = \frac{3kV_{Ph-max}^2}{MVA_{SC}}$$

وهذا يعنى أن الجهد المستخدم هو الـ Phase Voltage مضروبا فى 1.05 تقريبا ، وهى صيغى أكثر أمانا.
لاحظ أنه إذا كان مصدر التغذية قريب جدا من المبنى فيمكن اعتبار أن المصدر المكافئ هو Infinite Bus بمعنى أن قدرته لا نهائية ومن ثم فقيمة X_S حينئذ تساوى صفر وتمثل بخط فقط (Short).
وتستخدم القيم التالية مع سعات القصر الأكثر تداولا فى الكود المصرى:

X_s	R_s	S.C. MVA
0.633	0.095	250
0.4515	0.0675	350
0.316	0.047	500

2- حساب قيمة معاوقة المحول

فى حالة المحولات فإننا نهمل دائما مقاومة المحول ، وتبقى فقط المركبة الحثية (X_T) . وتتوقف قيمة الـ X_T لمحول التوزيع على قدرة هذا المحول ، وغالبا تكون هذه القيمة مكتوبة على لوحة المعلومات المثبتة على جسم المحول Name Plate ، أو يمكن استخدام قيم تقريبية كالآتى:

المحولات حتى 1MVA يمكن اعتبار X_T تساوى 4% .
المحولات حتى 10MVA يمكن اعتبار X_T تساوى 5 % .

وأحيانا تعطى القيمة العددية لمعاوقة المحول ضمن بطاقة بيانات المحول فى صورة نسبة هبوط الجهد على المعاوقة عند الحمل الكامل إلى الجهد المقنن ناحية الجهد المنخفض $U_{s.c}$ وتتراوح قيمتها عادة بين 0.04 ، 0.07 طبقا للحمل المقنن للمحول.

هذا ويعطى الكود المصرى فى الجدول رقم (9/6) بالصفحة 296 من المجلد الثانى قيما إسترشادية لمركبتى المقاومة والممانعة المكافئتين للمحول بالملى أوم محولتين إلى ناحية الجهد المنخفض ، ويمكن استعمال هذه القيم إذا خلت لوحة بيانات المحول من قيمة الـ X_T المكافئة. وفيما يلى جزء من هذا الجدول لبعض المحولات التى يكثر إستعمالها.

جدول 4-5 : معاملات بعض المحولات التي يكثر استعمالها

قدرة المحول (kVA)	هبوط الجهد (Us.c)	المقاومة المكافئة (Rs.c) (ملى أوم)	الممانعة المكافئة (Xs.c) (ملى أوم)	المعاوقة المكافئة (Zs.c) (ملى أوم)
50	**0.04**	**70.3**	**107**	**128**
100	**0.04**	**28**	**57.5**	**64**
250	**0.04**	**8.3**	**24.2**	**25.6**
500	**0.04**	**3.52**	**12.3**	**12.8**
800	**0.045**	**2.55**	**8.63**	**9**
1000	**0.05**	**1.94**	**7.76**	**8**

وفى حالة وجود عدد من المحولات (N) مركبة على التوازى تكون القيمة الإجمالية المكافئة لهم تساوى (X_T/N) .

3- حساب قيمة معاوقة الكابلات

يمكن الحصول مباشرة على قيم الـ (R وX) الخاصة بالكابل من جداول الكابلات ، أو باستخدام أى معادلات تقريبية . و تتميز كابلات الجهد المنخفض بأن مقاومتها أكبر من ممانعتها بحيث تهمل عادة الممانعة مقارنة بالمقاومة فى حالات كابلات الجهد المنخفض ذات الموصلات بمقطع أقل من 25 مم2 ، فى حين تؤخذ قيمة الممانعة فى حدود 0.07 ملى أوم بين موصل الطور وخط التعادل لكل متر طولى من الكابل ثلاثى الأطوار ، وفى حدود 0.15 ملى أوم بين موصلى الكابل أحادى الطور لكل متر طولى من الكابل. وتحسب قيمة مقاومة الموصلات بالملى أوم لكل متر طولى من المعادلة

$$R_{eq} = \rho / A$$

حيث:

A هى مساحة مقطع الكابل الإسمية (mm^2)

ρ هى المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها الموصل ، وتؤخذ قيمتها عندما تكون درجة حرارة الموصل 70 درجة مئوية كما يلى :

للنحاس تساوى 21 مللى أوم . مم^2 للمتر الطولى من الموصل .

وللألومنيوم تساوى 33 مللى أوم . مم^2 للمتر الطولى من الموصل.

أما مجارى قضبان التوزيع الجاهزة Bus Duct والتى تستعمل أحياناً للتوصيل بدلا من الكابلات (وعلى الأخص فى دائرة التغذية الرئيسية العليا عند الخروج من محول تغذية الجهد المنخفض) ، كما تستعمل أيضا فى صواعد الأدوار العليا فى المبنى فيمكن عادة إهمال مقاومة القضبان فيما عدا ذوات المقطع الصغير. وتؤخذ الـ Phase reactance لهذه القضبان مساوية للقيمة 0.15 مللى أوم لكل متر طولى.

مثال 4-15

يبين الشكل 4-12 جزءاً من شبكة توزيع الجهد المنخفض داخل أحد المصانع من لوحة التوزيع الرئيسية (لوحة –أ) للجهد المنخفض إلى أحد مبانى المصنع (لوحة – ب) ، ثم إلى قسم من أقسام هذا المبنى حيث تغذى بعض الأحمال المبينة فى الرسم (لوحة ج و د) ، كما يبين الرسم تغذية إستراحة سكنية من ثلاثة أدوار فى المصنع. والمطلوب حساب قيم تيارات القصر عند لوحات التوزيع المختلفة فى المصنع ، علما بأن الدائرة المكافئة لتغذية المصنع من مصدر الجهد المتوسط إلى محول تغذية الجهد المنخفض ثم التوصيلة إلى لوحة التوزيع الرئيسية للجهد المنخفض يمكن تمثيلها بممانعة مكافئة X_{eq} قيمتها 10 مللى أوم ، ومقاومة مكافئة يمكن إهمالها.

الحل :

(1) بداية يمكن حساب تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة الرئيسية للجهد المنخفض كما يلى :

المعاوقة المكافئة Zeq = الممانعة المكافئة X_{eq} نظرا لإهمال المقاومة المكافئة.

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر= $X_{eq} \div (1.05 \times Vph)$ =

$(1.05 \times 220) \div 10 = 23.1$ ك أمبير

وتكون أقرب سعة قصر قياسية للقواطع على قضبان توزيع هذه اللوحة الرئيسية 32 ك أمبير .

(2) معاملات الكابل الألومنيوم من اللوحة الرئيسية "أ " إلى اللوحة "ب" بطول 45 متر وموصلات مقطعها $3 \times 150 + 70$ مم^2.

ويلاحظ أن موصل التعادل يؤثر فقط فى تيارات القصر إلى الأرض ولا يدخل فى حسابات تيار القصر ثلاثى الأطوار .

مقاومة الكابل = $(33 \times 45) \div 150$ = 9.9 مللى أوم

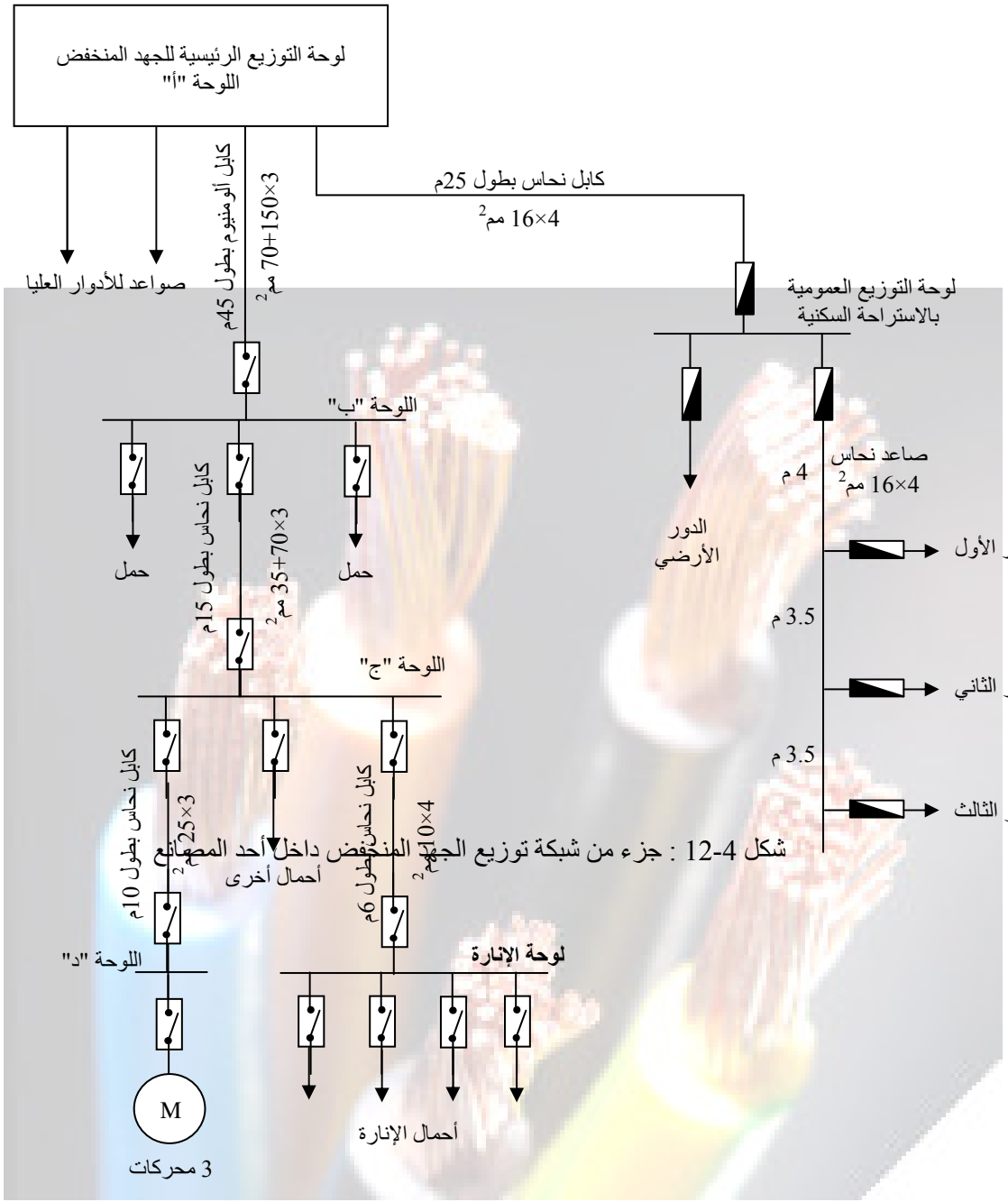
ممانعة الكابل = 45×0.15 = 6.75 مللى أوم

وبإضافة ممانعة قاطع الدخول إلى اللوحة مقدرة بـ 0.15 مللى أوم تكون المقاومة والممانعة والمعاوقة المكافئة الكلية حتى قضبان توزيع اللوحة "ب" هى 9.9 ، 16.9 ، 19.586 مللى أوم على التوالي .

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة "ب" =

$(220 \times 1.05) \div 19.586 = 11.794$ ك أمبير

وبذلك نختار سعة القطع القياسية لكل القواطع فى اللوحة "ب" = 16 ك أمبير .



شكل 4-12 : جزء من شبكة توزيع الجهد المنخفض داخل أحد المصانع

(3) معـاملات الكابـل النحاسـى مـن اللوحـة "ب" إلـى اللوحـة "ج" بطـول 15 متـر ومقطـع موصلات 3 × 70 + 35 مم^2

مقاومة الكابل النحاسي = (15 × 21) ÷ 70 = 4.5 ملى أوم

ممانعة الكابل النحاسي = 15 × 0.15 = 2.25 ملى أوم

وبإضافة ممانعة الـ CB الرئيسي للوحة "ج" = 0.15 ملى أوم

تكون المقاومة والممانعة والمعاوقة المكافئة الكلية حتى قضبان توزيع اللوحة "ج" هى 14.4 ، 19.3 ، 24.080 ملى أوم على التوالي .

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة "ج" =

(1.05 × 220) ÷ 24.080 = 9.593 ك أمبير
وبذلك نختار سعة القطع المقننة لكل القواطع فى اللوحة "ج" = 16 ك أمبير

(4) معاملات الكابل النحاسى من اللوحة "ج" إلى اللوحة "د" بطول 10 متر ومقطع موصلات 3 × 25 مم^2
مقاومة الكابل = (10 × 21) ÷ 25 = 8.4 مللى أوم
ممانعة الكابل = 10 × 0.15 = 1.5 مللى أوم
وبإضافة ممانعة قاطع تشغيل المحرك 0.15 مللى أوم
تكون المقاومة والممانعة والمعاوقة المكافئة الكلية حتى اللوحة "د" هى 22.8، 20.95 ، 30.964 مللى أوم على التوالي .
وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان اللوحة "د" =
(1.05 × 220) ÷ 30.964 = 7.460 ك أمبير

وعادة تكون مقننات قاطع تشغيل المحرك محددة من قبل صانع المحرك ولكن يجب ألا تقل سعة القطع المقننة لهذا القاطع عن 10 ك أمبير نظراً لأنه عند حدوث قصر في دائرة تغذية أحد المحركات فإن بقية المحركات التي تعمل تساهم في زيادة تيار هذا القصر.

(5) معاملات الكابل المغذى للوحة الإنارة من اللوحة "ج" بطول 6 متر ومقطع موصلات 10 مم^2 من النحاس
- مقاومة الكابل = (6 × 21) ÷ 10 = 12.6 مللى أوم
- ممانعة الكابل = 6 × 0.15 = 0.9 مللى أوم
- وبإضافة ممانعة قاطع الدخول = 0.15 مللى أوم
- تكون المقاومة والممانعة والمعاوقة المكافئة الكلية حتى قضبان توزيع لوحة الإنارة هى 27.00 ، 20.35 ، 33.810 مللى أوم على التوالي .
- وبذلك تكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع لوحة الإنارة =
1.05 × 220 ÷ 33.810 = 6.832 ك أمبير

وعلى ذلك نختار سعة القطع المقننة لقواطع لوحة الإنارة = 10 ك أمبير وهي أقرب قيمة قياسية لسعة القطع.

(6) معاملات الكابل النحاسى المغذى للإستراحة السكنية من لوحة التوزيع الرئيسية للجهد المنخفض بطول 25 متر ومقطع موصلات 4 × 16 مم^2 .
- مقاومة الكابل = (25 × 21) ÷ 16 = 32.813 مللى أوم
- ممانعة الكابل = (25 × 0.15) = 3.75 مللى أوم
- وبإضافة ممانعة قاطع دخول اللوحة العمومية فى الاستراحة 0.15 مللى أوم
- تكون المقاومة والممانعة والمعاوقة المكافئة الكلية حتى قضبان توزيع اللوحة العمومية للإستراحة هى 32.813 ، 13.9 ، 35.636 مللى أوم على الترتيب.
- وتكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة العمومية فى الاستراحة = 6.482 ك أمبير
- ولذلك نختار السعة المقننة للقطع لكل قواطع اللوحة العمومية للاستراحة = 10 ك أمبير وهي أقرب قيمة قياسية لسعة القطع.
- ويمكن استعمال نفس سعة القطع المقننة لبقية القواطع فى الاستراحة بأكملها حيث يقل تيار القصر فى أنحاء الإستراحة عن 6.482 ك أمبير .

4-8-1 طريقة MVA Method

لاحظ فى المثال السابق أن تيار الـ S.C. المتوقع مروره قد حسب بقانون أوم أى بدلالة الجهد والمعاوقة ، **والواقع** أن هناك عدة طرق أخرى لعمل هذه الحسابات سنعرض هنا لطريقة مبسطة وسريعة تسمى MVA-Method ، و هذه الطريقة وإن كانت غير مشهورة لكنها سهلة وسريعة ، و سنعرضها هنا خطواتها بالترتيب .

الخطوة الأولى

الخطوة الأولى فى هذه الطريقة هو حساب قيمة M لكل عنصر من عناصر الشبكة كما يلى:

بالنسبة للمولدات – المحولات – المحركات:

نظرا لأن هذه العناصر تكون قدرتها المقننة (Rated power) تكون دائما معروفة ، كما أنه يمكن من لوحة بيانات هذه العناصر معرفة X_{pu} ، وبالتالى فإن المعادلة التالية تكون مناسبة لحساب M الخاصة بهذه العناصر

$$M(gen, motor, transf) = \frac{MVA_{raterd}}{X_{p.u}}$$

بالنسبة للكابلات:

فى الغالب تكون المعلومات المعروفة للكابلات هى قيم المقاومة بالأوم ، ولذلك فمن المناسب استخدام المعادلة التالية لحساب قيمة M الخاصة بالكابلات:

$$M_{cable} = \frac{(KV_L)^2}{|Z_C|\ (\Omega)}$$

الخطوة الثانية

وفى الخطوة التالية يتم حساب القيمة المكافئة لقيم M على النحو التالى:

1. القيمة المكافئة لمجموعة من الـ M موصلة على التوازى تحسب وكأنهم متصلين على التوالى (بمعنى أن M المحصلة لهم تكون المجموع الجبرى لهم) .
2. قيم M الموصلة على التوالى تعامل كما لو كانوا موصلين على التوازى .

الخطوة الثالثة

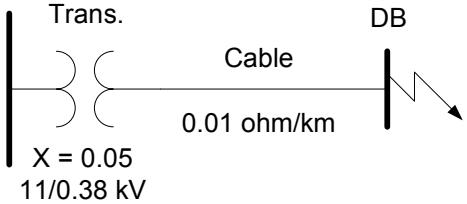
تطبق القاعدة السابقة بدءا من مصادر تغذية الأعطال Generators and Motors باتجاه نقطة العطل ، حتى نصل فى النهاية إلى نقطة العطل ، وعندها ستكون المفاجأة السعيدة وهى أن قيمة M المكافئة التى دخلت إلى نقطة العطل هى نفسها $MVA_{s.c}$ التى نبحث عنها ، ويكون تيار العطل الذى نحث عنه $I_{s.c}$ يساوى

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3}(kV)^2}$$

حيث أن kV هو جهد المنطقة التى بها العطل.

مثال 4-16

فى الشكل 4-13 ، احسب بطريقة الـ MVA_method قيمة تيار القصر المتوقع عند لوحة التوزيع DB التى تبعد 200 متر عن محول بقدرة 5 MVA .



شكل 4-13 : بيانات المثال 4-16

الحل :
فى البداية يجب أن نفرض قيمة مستوى القصر للشبكة (MVA_Source) وقد فرضناها هنا تساوى 300 MVA ، وبالطبع يمكن أن تكون أى قيمة أخرى حسب مستوى القصر المعتمد من قبل مؤسسة الكهرباء التى تقع هذه الشبكة فى نطاقها.

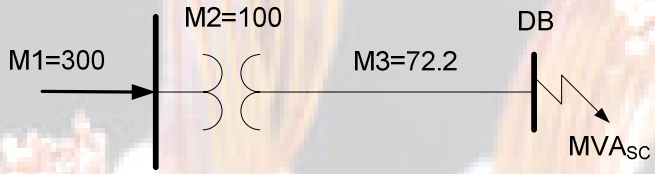
ثم نبدأ بوضع قيم الـ M المناسبة لكل عنصر كما يلى:

M1 = M_source= 300 MVA.

M2 = M_transformer = 5/0.05 = 100 MVA.

$$M3 = M\_cable = \frac{(KV)^2}{X_c(\Omega)} = \frac{0.38^2}{0.01 \times 0.200} = 72.2MVA$$

وبالتالى يمكن رسم الدائرة ممثلة بالـ M فقط كما فى الشكل 4-14 :



شكل 4-14 : الدائرة المكافئة فى المثال 4-16

طبقا للقاعدة الموضحة فى الخطوة الثانية ، وحيث أن جميع قيم M هنا موصلة على التوالى فإن قيمة الـ M المكافئة تحسب كما لو كانوا موصلين جميعا على التوازى .

$$\frac{1}{M_{eq}} = \frac{1}{M1} + \frac{1}{M2} + \frac{1}{M3} \Rightarrow M_{eq} = 36.5\ \text{MVA} = \text{MVA}_{SC}$$

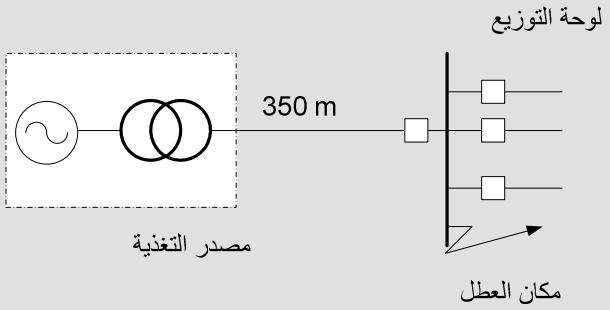
$$I_{SC} = \frac{36.5}{\sqrt{3} \times 0.38} = 55kA$$

4- 9 مثال شامل

احسب المقطع المناسب لكابل يغذى لوحة توزيع مجموع أحمالها تساوى 1MVA ، وتبعد عن محول التوزيع مسافة 350 متر كما فى الشكل 4-15. علما بأن:

MVA_{base} = 1MVA
MVA_{Source} = 300 MVA & X_T = 0.05 p.u
Z_{Cable}= 0.014 Ω

اعتبر أن جهد التشغيل 380 فولت ، وأن الكابلات الـ PVC المتاحة هى كابلات نحاسية مقطعها $240\ mm^2$ ، وأنه سيتم تمديدها فوق حوامل للكابلات فى درجة حرارة تصل إلى 50 درجة مئوية.



شكل 4-15 : المثال الشامل

الحل:

تيار الـ Load =

$$I_L = \frac{1000{,}000}{\sqrt{3} \times 380} = 1500A$$

ومن جدول 2-6 بالفصل الثاني نجد أن تحمل الكابل ($240mm^2$) فى المواسير يساوى 360 أمبير ، وهذا يعنى أننا بحاجة إلى عدد من الكابلات على التوازى ، وعددهم يساوى

$$No.\,Cables = \frac{1500}{360} \approx 5 \quad cables$$

وبالتالى ، فالتيار المار فى كل كابل من هذه الكابلات الخمسة سيكون 300 أمبير فقط حيث التيار الكلي يساوى (1500 A).

كل الحسابات السابقة هى حسابات أولية ، وللأسف يكتفى بها بعض المقاولين فى تنفيذ أعمالهم ، وهى بالتأكيد لا تصلح أن يكتفى بها أى مصمم محترف ، بل يجب عليه إجراء الاختبارات الثلاثة التى أشرنا إليها سابقا ، وهى:

1-اختبار التحمل الحرارى

بما أن لدينا خمسة كابلات متجاورة على حامل للكابلات أفقيا فيجب استخدام معامل لتصحيح قيمة التحميل من الجدول 4-8 ، وهو فى هذه الحالة يساوى 0.75 ، كما أن معامل تصحيح درجة الحرارة من الجدول 4-3 يساوى 0.76 ، ومن ثم **فالحمل الحرارى لكل كابل يجب ألا يزيد عن**

360 x 0.76 x 0.75 = 205 A

وحيث أن كل كابل طبقا للتصميم الأولى سيمر به 300 أمبير، إذن فالاختيار خاطئ ويجب زيادة عدد الكابلات إلى 8 كابلات – مثلا - بدلا من 5 كابلات.

وفى هذه الحالة فالتحمل الحرارى Thermal Rating الجديد لكل كابل يساوى طبقا للمعامل الجديد لعدد الكابلات المتجاورة (0.72 بدلا من 0.76) سيساوى :

360 x 0.76 x 0.72 = 197A

وفى حالة وجود 8 كابلات فكل كابل من الكابلات الثمانية سيمر به جزء من التيار الكلى يساوى فى هذه الحالة (1500 / 8) أى حوالى 187 أمبير ، وهو أقل من الـ Thermal Rating الجديد (197A) ، ومن ثم يمكن أن نقول أن الكابل اجتاز الاختبار الأول ، وهو اختبار التحمل الحرارى .

2- اختبار الهبوط فى الجهد

يجب فى المرحلة التالية اختبار أقصى هبوط فى الجهد على طرف الكابل ، والتى يجب ألا تزيد عن 4% . ومن الجدول 4-13 نجد أن الهبوط فى الجهد فى الكابلات مقطع $240mm^2$ يساوى 0.27 مللى فولت لكل كم لكل

أمبير. وهذا يعنى أن إجمالى الهبوط فى الجهد فى نهاية الـ 350 متر نتيجة مرور تيار قدره 187 أمبير فى كل كابل من الثمانية المتوازية سيساوى:

$$0.27 \times 10^{-3} \times 187 \times 350 = 17.7 \text{ Volt}$$

وبالتالى فنسبة الهبوط فى الجهد تساوى

$$15.1/380 = 4.6\ \%$$

وهى أعلى من الـ 4% المسموح بها ، وهذا يعنى أن الكابلات الثمانية المركبة على التوازى لم تجتز الاختبار الثانى.

ولتحديد العدد المناسب الجديد نطبق القاعدة :
العدد الجديد المناسب = العدد القديم x (نسبة الهبوط المرفوضة ÷ النسبة المطلوبة)
وبتطبيق هذه القاعدة

$$No.\ of\ \ Cables = 8\frac{4.6}{4} = 10\ cable$$

3- اختبار تحمل تيار القصر

بقى اختبار أخير حتى يمكن أن نجزم بأن اختيارنا لمقطع الكابل ، وعدد الكابلات المتوازية كان اختيارا صحيحا ، وهو اختبار تحمل تيار القصر. ومنه أيضا سنحدد مستوى الـ SCC للقواطع المستخدمة بلوحة التوزيع . وهو يتم من خلال عدة خطوات:

1- حساب مستوى القصر عند لوحة التوزيع

الخطوة الأولى : إذا أردنا أن نحسب قيمة الـ SCC لقواطع اللوحة ففى هذه الحالة يجب أن نفترض أن العطل وقع على الـ Bus Bar الرئيسى للوحة العمومية لأن تيار العطل حينئذ سيكون أكبر ما يمكن ، فإذا وقع العطل فى الواقع العملى عند أى نقطة أخرى أبعد من الـ BB ، فبالتأكيد سيكون تيار القصر أقل مما قد تم حسابه ، وهذا يعنى أننا نصمم على أسوأ الفروض.

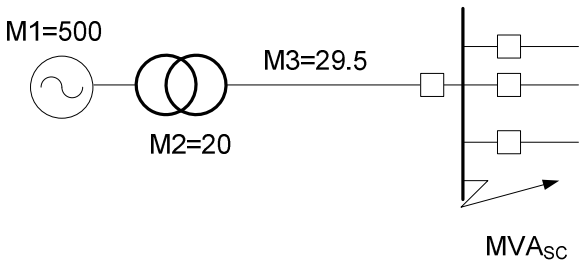
الخطوة الثانية : نحسب قيمة الـ M لكل عنصر بالدائرة :

M1 = M_source= 300 MVA.

M2 = M_transformer = 1/0.05 = 20 MVA.

$$M3 = M\_cable = \frac{(KV)^2}{X_c(\Omega)} = \frac{0.38^2}{0.014 \times 0.350} = 29.5 MVA$$

ثم نرسم الدائرة المكافئة للشبكة بدءا من مصدر التغذية وحتى موضع العطل ، كما فى الشكل 4-16.



شكل 4-16 الدائرة المكافئة للشبكة

الخطوة الثالثة : نحسب قيمة الــ M المكافئة (جميعهم على التوالى فيحسب المكافئ لهم كما لو كانوا على التوازى) .

$$M_{eq} = 11.46$$

تذكر أن M_{eq} هى نفسها M_{SC} التى نبحث عنها.

الخطوة الرابعة: حساب قيمة تيار القصر عند الــ CB (نهاية الكابل)

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3}\ \ kV_L} = \frac{11.46}{\sqrt{3}\ 0.38} = 17.4\ kA$$

ومن ثم فأقل قيمة للــ SCC لقواطع اللوحة هى 20 kA .

لاحظ أن حدوث قصر على الــ BB لن يكون خطيرا على الكابلات ، لأن هذه القيمة ستمر خلال 10 كابلات على التوازى ، وبالتالى فكل كابل منهم سيمر به تقريبا 1.7 kA ، وهى قيمة صغيرة جدا بالنسبة لتحمل الكابل الذى تم اختياره (240 mm^2) للتيارات القصر.

1- حساب مستوى القصر للكابلات

إذا أردت أن تختبر تحمل الكابلات لتيار القصر فيجب أن تفرض القصر فى موضع قريب من بداية الكابل (وليس عند نهايته) ومن ثم فأسوء الاحتمالات أن يكون القصر فى الأمتار الأولى بعد المحول (اهمل عندئذ معاوقة الكابل تماما) ويصبح تيار القصر خلال الكابل يساوى

$$M_{SC} = \frac{300 \times 20}{320} = 18.75 MVA$$

لاحظ هنا أن هذه القيمة لن تمر خلال العشر كابلات بل ستمر خلال الكابل الذى به الــ Short فقط , و يمكن أن نختبر مدى تحمل الكابل الذى تم اختياره (240 mm^2) لتحمل هذا التيار إما من خلال جدول 4-14 ، أو من خلال المعادلة 4-11 .

فمن الجدول 4-14 نجد أن الكابل 240 mm^2 يمكن أن يتحمل حتى 48 kA لمدة نصف ثانية ، وحيث أن أقصى قصر متوقع هو 18 kA ، ومن ثم فقد اجتاز الكابل هذا الاختبار.

لاحظ أننا لو طبقنا المعادلة 4-10 فسنجد أن أقل مقطع لتحمل تيار القصر المتوقع هو

$$a(mm^2) = 9\sqrt{t}\ I_{SC} = 9 \times \sqrt{0.5} \times 18.75 = 120\ mm^2$$

وهو بالتأكيد أقل من مقطع الكابل الذى تم اختياره (240 mm^2) ، وبالتالى فهذا يؤكد أن الكابلات تجاوزت هذا الاختبار بنجاح .

الفصل الخامس
تصميم لوحات وشبكات التوزيع الكهربية

5

الفصل الخامس

تصميم لوحات وشبكات التوزيع الكهربية

في الفصل السابق تعرفنا على القواعد اللازمة لتصميم دائرة فرعية Branch Circuit ، وهى الدوائر المخصصة لتغذية حمل محدد سواء كان هذا الحمل من الأحمال الاستاتيكية أو الأحمال الديناميكية . وبالطبع فكل مجموعة من هذه الأحمال سيتم تغذيتها من لوحة توزيع فرعية Distribution Board ، ثم يتم تغذية مجموعة اللوحات الفرعية من لوحة توزيع عمومية Switch Board ، ولوحات التوزيع العمومية ستغذى في النهاية من محول التوزيع الرئيسي المتصل بشبكة الجهد المتوسط.

والمقصود بتصميم اللوحات – سواء اللوحات الفرعية أو اللوحات العمومية – هو اختيار الـ CB العمومي للوحة ، و اختيار مقطع الكابل العمومي للوحة ، بالإضافة إلى توزيع الأحمال داخل اللوحة بطريقة صحيحة . كما يدخل فى عملية التصميم أيضا دراسة أنسب الطرق لتغذية مجموعة اللوحات سواء العمومية أو الفرعية. وهذا ما سيتم التعرف عليه فى هذا الفصل .

وهذا الفصل مقسم إلى ثلاثة أجزاء:

فى الجزء الأول نتعرض لتفاصيل تصميم لوحات التوزيع الفرعية.

وفى الجزء الثانى يتم شرح طريقة حساب حمل اللوحة العمومية ، بالإضافة إلى تقديم أمثلة عملية متنوعة من قبيل تصميم لوحة شقة سكنية ، أو تصميم اللوحة العمومية لعمارة عادية ، ثم مثال لتصميم اللوحة العمومية لبرج إدارى . وبالطبع فلن نستطيع أن نضع كافة التفاصيل الخاصة بهذه المشاريع ، لكننا سنركز فى كل مشروع على حدة على جزئية هامة يتميز بها هذا المشروع عن غيره ، فنقوم بشرحها تحديدا دون ذكر باقى التفصيلات لأن ذلك سيحتاج لمئات الصفحات وليس لكتاب واحد.

أما الجزء الثالث والأخير فمخصص لتصميم شبكات التوزيع العمومية بالمشروع ، وهناك مثال لتصميم اللوحات العمومية لمجموعة أبراج ضخمة ثم مثال آخر لتصميم شبكة التغذية لمجموعة مصانع.

الجزء الأول : تصميم اللوحات الفرعية

1-5 قواعد عامة فى تصميم اللوحات الفرعية

هناك قواعد عامة يجب إتباعها عند تجميع الدوائر الفرعية في لوحات التوزيع الفرعية ، ومن هذه القواعد:

1. توزع أحمال الإنارة بالتساوى بين الـ 3-Phases.
2. فى لوحات الشقق السكنية الصغيرة تغذى أحمال التكييف مع أحمال الإنارة وأحمال المخارج العامة من لوحة واحدة ، وذلك بتقسيم اللوحة إلى قسمين : Light Section ، وقسم الـ Power Section.
3. تغذى اللوحة من كابل 3-Phase ما لم يكن الحمل الإجمالي أقل من 10 kVA .
4. فى حالة البيوت الكبيرة (خاصة فى منطقة الخليج حيث حمل المنزل يصل أحيانا إلى 100 kVA) أو فى المبانى الإدارية فإنه يتم تجميع أحمال التكييف فى لوحة منفصلة عن بقية أحمال المنزل.
5. فى المشروعات الكبيرة والمتوسطة يتم فصل أحمال الإنارة Lighting عن أحمال المخارج العامة والسخانات والتى تسمى عادة بأحمال القوى Power ، ويفصلا أيضا عن أحمال التكييف ، وبالتالى يصبح لدينا ثلاثة أنواع من اللوحات : إنارة ، وقوى ، وتكييف (وهو تقسيم مفضل لكنه ليس إلزاميا).
6. يفضل دائماً فى المبانى الكبيرة الممتدة أفقياً والتى تتكون من أجزاء يفصل بينها فواصل تمدد، أن تختص كل لوحة أو عدد من لوحات التوزيع الفرعية بجزء من أجزاء المبنى وذلك لتقليل عبور التوصيلات والكابلات لفواصل التمدد إلى الحد الأدنى.
7. الدوائر الهامة فى كل نوع من أنواع اللوحات الثلاثة السابقة (وهى الدوائر التى تغذى أحمالا مهمة) يتم تجميعها فى لوحات منفصلة تسمى **لوحات الطوارئ** ، والتى سيتم تغذيتها بطريقة تختلف عن تغذية اللوحات العادية كما سيتبين لاحقا.
8. يجب أن ألا تقل قدرة المغذى العمومى للوحة شقة مثلا عن الحمل المحسوب طبقا لقواعد $Watt/m^2$ لهذه الشقة ، وهى القواعد التى سبق الحديث عنها فى الفصل الثالث.
9. لا يزيد عدد الدوائر الفرعية فى اللوحة الواحدة عن 36 دائرة.
10. يجب تركيب عدد إضافى من الـ CBs للتركيبات المستقبلية المغذاة من اللوحة Spare.
11. يحسن أيضا ترك مساحة فى اللوحة خالية (بدون أى CBs) لاستخدامها حين الحاجة لتركيب قيم أخرى مستقبليا Space Only.
12. يجب تأريض أجسام جميع لوحات التوزيع.
13. يجب ألا يقل البعد بين موصلات الـ Phases بقضبان التوزيع فى اللوحات عن 2.54 سم كما يجب ألا تقل المسافة بينها وبين أى جزء مؤرض فى اللوحة عن 2.54 سم.
14. يجب أن يتم توزيع الأحمال على الأوجه الثلاثة (الـ 3- Phases) بحيث يكون بينهم - قدر الإمكان – أكبر قدر من التماثل Symmetric Distribution. وربما تكون المحاولة الأولى لتوزيع الأحمال على الـ 3- Phases فاشلة ، بمعنى أن حمل أحد الـ Phases يزيد كثيرا عن الآخرين ، فعندها يعاد التوزيع بين الـ Phases بأن تنقل دائرة من الـ Phase الأعلى حملا إلى الـ Phase الأقل حملا ، وهكذا حتى نصل إلى اتزان الأحمال أو ما يعرف بـ Phase Balance.
15. الأحمال التى يستحيل أن تعمل معا فى وقت واحد تركب على نفس الـ Phase . على سبيل المثال التكييف والمدفأة ، ويؤخذ الأكبر منهما فقط فى حساب مجموع الأحمال عند حساب الحمل التصميمى للوحة.
16. الـ CBs الكبيرة (الأعلى من 100A) تكون غالبا متاحة فى السوق بميزة إضافية وهى إمكانية الضبط على قيمة أقل من القيمة العظمى . على سبيل المثال الـ CB المقنن على 100A يمكن ضبطه ليفصل Trip عند 63A أو 80A.
17. تسمى القيمة الاسمية للـ CB بـ Frame Value بينما تسمى قيمة الضبط لنفس الـ CB بـ Trip Value ، فإذا اختلفت قيمة الضبط المستخدمة عن القيمة الاسمية فإننا نكتب هذه المعلومات على صورة (80A) 100A ، لينتبه المستخدم إلى أننا نحتاج لـ CB له قيمة اسمية تساوى 100A لكنه سيستخدم داخل هذه الدائرة مضبوطا على قيمة 80A فقط.
18. بعد توزيع الأحمال بالتساوى – قدر الإمكان – بين الـ 3-Phases يتم اختيار الكابل الرئيسى المغذى للوحة ، وكذلك اختيار الـ CB الرئيسى لها طبقا لقيمة أعلى Phase Current فى الأوجه الثلاثة مالم تكن الـ 3-Phases متساوية .
19. فى حالة اللوحات الكبيرة حيث التيار الكلي يكون عاليا ، وقد لا تجد كابلا منفردا يمكن أن يتحمل التيار العمومى للوحة ، ففى هذه الحالة سيتم اختيار مقطع الكابل العمومى للوحة بحيث يعطى أقل عدد من

الكابلات المتوازية ، مع تقريب الكسر الذى ينتج من المعادلة (عدد الكابلات = التيار الكلى ÷ تيار الكابل) إلى **أقرب أعلى** رقم صحيح.

20. فى حالة استخدام كابلات موصلة على التوازى يجب أن تكون جميعا من نفس النوع ونفس المقطع.
21. يتم استخدام كابلات الـ Multi-core فقط حتى مقطع 240 ملم^2 ، وبعد ذلك يجب استخدام كابلات Single-core لضمان سهولة التعامل معها عند التمديد.
22. اختر دائماً أقرب قيمة قياسية أعلى من المحسوب (سواء للكابل أو للـ CB) ، ويجوز تجاوز هذه القيمة إلى قيمة أعلى بدرجة أخرى إذا كانت القيمة القياسية قريبة من القيم المحسوبة ، على سبيل المثال اختر CB قيمته 20A إذا كانت القيمة المحسوبة تساوى 14A ، رغم أن 15A نظريا مناسبة ، لكننا نتجاوزها لقربها من القيمة المحسوبة.

2-5 حساب الحمل التصميمى للوحة

فى كل القواعد التصميمية السابق دراستها فى الفصل الرابع كانت الخطوة الأولى دائما هى حساب الـ Rated Current المار بالدائرة ، وكان ذلك أمرا ميسورا لأننا كنا نتعامل مع دائرة فرعية منتهية بحمل قدرته معروفة ومحددة . المشكلة الآن عند اختيار مقطع الكابل العمومى واختيار الـ CB العمومى لأى لوحة توزيع هى : **كيف يمكن تحديد الـ Rated Load لهذه اللوحة؟** .

فربما يتبادر إلى الذهن أن الـ Rated Load للوحة هى عبارة عن مجموع الأحمال المغذاة من هذه اللوحة Total Connected Load, TCL ، وهذا قد يكون صحيحا فى بعض الحالات ، لكن فى أحيان أخرى قد لا تعمل جميع الأحمال المغذاة من هذه اللوحة فى وقت واحد خاصة فى حالة الأحمال الصناعية ، ومن ثم فالبعض قد يري أنه من غير الاقتصادي أن يتم حساب الأحمال على أساس القدرة المركبة الكلية.

ومن هنا فالخطوة الأولى قبل اختيار الـ CB العمومى ، والكابل العمومى هى تحديد الحمل التصميمى وغالبا إما سيكون مجموع كل الأحمال Total Connected Load ، أو سيساوى نسبة معينة من مجموع الأحمال المركبة فى اللوحة. وتختلف هذه النسبة حسب نوع المواصفات المستخدمة فى التصميم وكذلك حسب نوع الأحمال المغذاة من اللوحة.

1-2-5 الحمل التصميمى طبقا للـ NEC

الـ NEC (الكود القياسى الأمريكى) تعتبر أن أحمال الإنارة والمخارج العامة (البرايز) والغسالة ثلاثتهم فقط هى التى يحسب لها معامل طلب Demand Factor, DF (يكون أقل من واحد) ، أما بقية الأحمال كالتكييف والسخان فتجمع مباشرة على مجمل أحمال الإنارة والمخارج والغسالة بعد أخذ معامل الطلب فى الاعتبار ، وذلك كما فى الجدول 5-1 :

جدول 5-1 : قواعد حساب أحمال اللوحة العمومية فى الـ NEC

1. نحسب مجموع أحمال الإنارة والمخارج العامة والغسالة .
2. نعتبر قيمة معامل الطلب (DF) لأول 3000VA من مجموع الأحمال السابقة تساوى واحد صحيح (DF=1) .
3. بعد طرح الـ 3000VA من مجموع الأحمال المحسوبة فى الخطوة رقم -1 نعتبر الـ DF للحمل المتبقى يساوى 0.35 .
4. الأفران الكهربية والتكييف والسخانات والمجفف Dryer وغيرها تضاف مباشرة إلى الناتج من الخطوة السابقة على اعتبار أن لها (DF = 1) ، وبالتالى نصل إلى ما يسمى بالحمل التصميمى.
5. يتم اختيار الكابل والـ CB العمومى بناء على الحمل التصميمى الناتج من الخطوة الرابعة حسب القواعد التالية:

1 - Find : I_{Load}
2 - Choose $I_{CB} > 1.25\ I_{Load}$
3 - Choose $I_{Cable} > I_{CB}$

واضح أن هذه القواعد تم اختيارها لتناسب البيئة الأمريكية ، فالأفران الكهربية على سبيل المثال غير شائعة فى بلادنا ، حيث الأفران الغازية لدينا أرخص وأوفر فى الاستهلاك .

و كون هذه القواعد مطبقة فى بلد ما لا تعنى أنها تصلح لكل البلاد ، بل يجب أن يعمل المهندس عقله فى طبيعة الأحمال المغذاة ، فربما – على سبيل المثال – قد يحتاج إلى افتراض معامل الطلب DF ، (Demand Factor

) مثلا لأحمال الإنارة يساوى واحد صحيح بدلا من القيمة الواردة فى هذه المواصفات. لكن القواعد السابقة يمكن أن تعتبر **"حد أدنى"** لا يجب أن يقل الحمل التصميمى عنه.

5-2-2 الحمل التصميمي طبقا للـ Total Connected Load

هذه الطريقة هى الأكثر سهولة ، فعمليا يتم التصميم فى حالة الشقق السكنية ذات الأحمال التقليدية – للسهولة وللأمان – بناء على حساب الحمل المركب الكلى Total Connected Load . وهذا يعنى أننا نحسب المجموع الحقيقى لكافة الأحمال التى سيتم تغذيتها من اللوحة ، ثم نختار الكابل والـ CB المناسبين بناء على قيمة هذا الحمل الكلى. ويستثنى من ذلك الشقق الغير تقليدية ذات المساحات الشاسعة فى الأبراج الفارهة ، ففى هذه الحالة سيصبح التصميم بناء على الـ Total Connected Load غير اقتصادى لتعدد الأجهزة الكهربية بالشقة الواحدة .

وفى كل الأحوال يجب أن نعمل العقل والمنطق عند هذه الطريقة أو غيرها ، فعلى سبيل المثال لا يمكن مثلا أن نجمع أحمال التكييف مع أحمال التدفئة ، فهما لا يمكن أن يعملا فى نفس الوقت ، ومن ثم يجب أن نختار أكبرهما.

5-3 تقدير حمل لوحة توزيع فرعية فى المرحلة الاولية

فى المرحلة الأولية لأى مشروع تكون المعلومة الوحيدة المتاحة لك هى مساحة الشقة . ومن هذه المعلومة الوحيدة يمكنك تصميم لوحة التوزيع بالاستعانة بقواعد حساب الأحمال التى سبق دراستها فى الفصل الثالث وملخصها:(طبقاً للأرقام الواردة فى الـ NEC):

- أحمال الإنارة تحتاج إلى $15W/m^2$ (ترتفع إلى $30\ W/m^2$ فى حالة عدم استخدام اللمبات الموفرة)
- أحمال المخارج العامة تقدر إجمالا بـ 3000VA .
- الغسالة حملها التقريبى 1500VA .
- الفرن الكهربى إن وجد 8000VA .
- مجفف الملابس Dryer إن وجد 5000VA
- التكييف يحتاج إلى 60-65 وات لكل متر مربع.

وبناء على هذه المعلومات يمكنك تحديد الحمل التقديرى للشقة كما فى المثال التالى.

مثال 5-1 :

احسب الحمل التقديرى لشقة سكنية مساحتها 200 متر مربع:

1. **بطريقة الـ NEC**
2. **بطريقة الـ TCL.**

الحل :

<u>أولا الحل بطريقة الـ NEC</u>

بناء على الأحمال التقديرية المشار إليها فإن مجموع الأحمال يحسب بطريقة الـ NEC على النحو التالى (اعتبر معامل القدرة =1 للتبسيط) :

-1	أحمال الإنارة	= 200 x 15 = 3000W
-2	أحمال المخارج العامة	= 3000VA
-3	الغسالة	= 1500VA
-4	التكييف	= 200 x 60 = 12000 W
-5	الفرن الكهربى	= 8000 VA
-6	مجفف	= 5000VA
-7	مدفأة	= 5000W

أولا : حساب حمل الإنارة والمخارج العامة والغسالة

(3000+3000 + 1500) =7500 VA

ثانيا: الحمل التقديري :

3000 x 1 + (7500 – 3000) x 0.35 + 12000 + 8000 +5000 = 29575 VA

وبالتالى فالحمل التصميمى التقديرى لهذه الشقة - الذى بناء عليه سنختار الكابل والـ CB العموميين للوحة التوزيع الفرعية الخاصة بها- يساوى 29575 VA.

لاحظ أن المدفأة والتكييف لا يعملا معا فى وقت واحد ، ومن ثم يدخل الأكبر منهما فقط (التكييف) فى الحسابات .

ثانيا الحمل التقديري بطريقة الحمل المركب الكلى (TCL):

فى هذه الحالة فإن حمل الشقة سيساوى مجموع كافة الأحمال الموجودة بالشقة

3000 + 3000 + 1500 + 12000 + 5000 + 8000 = 32500 VA

لاحظ أن الفرق ليس كبيرا بين الطريقتين.

4-5 تصميم لوحة توزيع فرعية فى المرحلة النهائية

فى هذا المثال سنفترض أن الأحمال صارت معلومة ، أى أننا فى مرحلة متقدمة من التصميم وليس فى مرحلة الأحمال التقديرية كما فى المثال السابق ، ومن ثم فإننا سنستكمل عناصر التصميم كاملة ، ولن نكتفى بمجرد حساب الحمل التقديري .

مثال 5 -2

صمم لوحة توزيع لشقة سكنية بها الأحمال التالية.

الإنارة	9000VA
المخارج العامة	3000VA
غسالة	3000VA
سخان-1	1500VA
سخان-2	3500VA
فرن (3-phase)	12000VA
3 تكييف (كل منها بقدرة)	2200 VA

الحل:

هذا المثال يختلف عن المثال السابق فى كون الأحمال صارت كلها معلومة. ومن ثم فالتصميم سيكون نهائيا وليس أوليا. وهذا يعنى أيضا أننا سندرس - بالإضافة إلى اختيار مقطع الكابل العمومى واختيار الـ CB العمومى – كيفية التوزيع المتزن للأحمال على الأوجه الثلاثة ، وكذلك سنحتاج لرسم مخطط للوحة Single Line Diagram, SLD. وهذا كله يتم بالطبع بعد تصميم الدوائر الفرعية الخاصة بكل حمل على حدة أولا.

الخطوة الأولى: تصميم الدوائر الفرعية:

نتائج حسابات الدوائر الفرعية مسجلة فى الجدول 5-2.

جدول 5-2 : الدوائر الفرعية فى المثال 5-2

الحمل	التيار الكلى	عدد الدوائر المقترحة	التيار لكل دائرة (I_L)	1.25 I_L	CB	Cable	
						المقطع	Cable Rating
الإنارة	9000/220 =41A	8 (L1 :L8)	5A	6.25A	10	2*2 mm^2	25
المخارج العامة	3000/220 =14A	2 (P1 : P2)	7	9	16	2*3 mm^2	32
غسالة	3000/220 =14A	1 (P3)	14	18	25	2*4 mm^2	40
فرن	12000/3*220 =18A	1 (P4)	18	22	32	4*6 mm^2	52

سخان-1	1500/220 =7A	1 (P5)	7	9	16	2*3 mm^2	32
سخان-2	3500/220 =16A	1 (P6)	16	20	25	2*6 mm^2	52
تكييف	2200/(220) =10A	3 (A1 :A3)	10	25 (2.5xI_L)	32	2*6 mm^2	52

لاحظ عند اختيار الـ CB الخاص بـ المخارج العامة أو الغسالة مثلا فإنه لم يتم اختيار الـ CB الذى له قيمة أعلى مباشرة من القيمة المطلوبة ، بل اختيرت القيمة الأعلى من القيمة المناسبة (على سبيل المثال فى المخارج العامة اختير 16A بدلا من 10A ، حيث كان المطلوب قيمة أعلى فقط من 9A) ، والسبب كما ذكرنا فى القواعد العامة أنه يجب اختيار أقرب قيمة قياسية أعلى من المحسوب (سواء للكابل أوللـ CB) ، ويجوز تجاوز هذه القيمة إلى قيمة أعلى إذا كانت القيمة القياسية قريبة من القيم المحسوبة ، لاسيما فى هذه النوعية من الأحمال التى يمكن أن تشتمل على محركات صغيرة (مكنسة كهربية مثلا) ، وهذا يعنى أن بعض الأحمال ربما يكون لها Starting Current ومن ثم يجب زيادة تيار الـ CB المقنن.
فى بعض شركات الكابلات ربما لا تجد المقطع 3 x 2 وستجد بدلا منه المقطع 2 x 2.5 mm^2 .

الخطوة الثانية: حساب الحمل الكلى للإنارة والمخارج والغسالة (الأحمال التى يحسب لها عامل طلب طبقا NEC:

- Total = 9000 + 3000 + 3000 =15000 VA

الخطوة الثالثة : حساب الحمل التصميمى بطريقة NEC

- Design load = 3000 x 1 + 35% (15000 - 3000) + 12000 + 1500 + 3500 + 2200 x 3 = 30800 VA

لاحظ أن الحمل التصميمى بطريقة الـ TCL سيساوى 38600 VA (وهو مجموع كل الأحمال الواردة فى رأس المسألة) و الفرق بين الطريقتين قد لا يعتبر كبيراً ضمن مبنى به عدد قليل من مثل هذه الشقة ، أما لو كان العدد كبير فسيكون هناك توفير كبير فى الحمل الكلى للمبنى إذا تم الحساب بطريقة الـ NEC .

الخطوة الرابعة :التوزيع المتزن للأحمال
يراعى توزيع الدوائر الفرعية على الـ Phases الثلاثة بحيث تكون قيم التيار متقاربة (ليس بالضرورة أن تكون عدد الدوائر متساوية بل المهم أن تكون التيارات الثلاثة أقرب إلى أن تكون متساوية) كما فى الجدول 5-3.

الخطوة الخامسة : اختيار الـ CB والكابل العموميين:
يتم اختيار مقطع الكابل العمومى وسعة الـ CB بناء على قيمة أعلى تيار فى الـ 3-Phases التى رتبت فى الجدول السابق ، وهى هنا تساوى 62A .

$$I_{CB} = 1.25 \times 62 = 77.5A \Rightarrow CB = 100A$$

وحسب الجدول 2-3 فى الفصل الثانى يكون الكابل المناسب هو

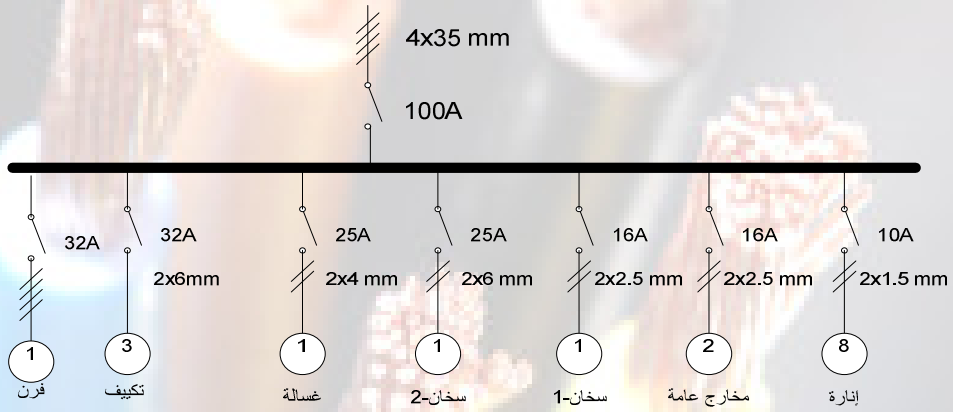
- I_{Cable}= 4 x 35 mm^2

جدول 5-3 : التوزيع المتزن لأحمال المثال 5-2

Load	Phase-A	Phase-B	Phase-C
الإنارة	L1-L3 15A	L4-L6 15A	L7-L8 10A
المخارج العامة	P1=8A		P2=8A
غسالة		P3=14A	
فرن	P4=18A	P4=18A	P4=18A
سخان-1	P5 =7A		
سخان-2			P6 =16A
تكييف	A1=10A	A2 =10A	A3 =10A
Total current per phase	58A	57A	62A

تذكر أنه فى حالة وجود عدم اتزان بين الأوجه الثلاثة يمكن نقل بعض الأحمال من phase إلى آخر حتى نصل إلى قيم متقاربة بين الـ 3-phases .

الخطوة السادسة : رسم مخطط اللوحة SLD كما فى الشكل 5-1.



شكل 5-1 : الـ SLD للدوائر فى المثال 5-2 .

مثال 5-3

المطلوب حساب الحمل التصميمى لشقة سكنية تشتمل على مجموعة أحمال كما فى الجدول 5-4 . اختر أيضا الكابل والـ CB العمومى للوحة التوزيع .

الحل:

الأحمال المذكورة حتى الصف-17 فى الجدول 5-4 تمثل الأحمال المعطاة مرتبة وموزعة بصورة متوازنة بين الـ phase الثلاثة ، أما الصفوف بعد الصف-17 فتمثل خطوات لحل المسألة بدءا بفرض قيمة الأحمال الاحتياطية ، إلى تجميع حمل كل الـ phase لتصميم الكابل والـ CB العموميين بناء على أكبر تيار فى الأوجه الثلاثة وتتم جميع هذه العمليات داخل الجدول نفسه كما فى الجدول 5-4.

جدول 5-4 : أحمال وحسابات المثال 5-3

اسم اللوحة				رقم الدائرة الفرعية
قيمة الحمل بالوات			جهد التشغيل: 415/240 V	
Ph-C	Ph-B	Ph-A	الحمل	
		1100	إنارة	1
	1100		إنارة	2
1100			إنارة	3
		1100	إنارة	4
	1100		إنارة	5
	1100		إنارة	6
	1100		إنارة	7
	1100		إنارة	8
1760			مخارج عامة	9
		1760	مخارج عامة	10
	1540		سخان-1	11
3520			سخان -2	12
		3080	غسالة	13
3960	3960	3960	فرن	14
	2200		تكييف	15
2200			تكييف	16
		2200	تكييف	17
		1200	احتياطى	18
	1200		احتياطى	19
1200			احتياطى	20
			فراغ فقط	21
			فراغ فقط	22
13740	14400	14400	Total Phase power	
(T.C.L)42540			Total connected load	
14400/220 = 65.5A			Max- Current per phase	
82 A			1.25 I_L	
CB = 100A Cable : 4 x 35 mm^2			الـCB والكابل العمومى	

مثال 5-4

فى الجدول 5-5 نعرض نموذجا مميزا للوحة توزيع فرعية لأحمال إنارة فى أحد المصانع فى صورة نهائية.

الحل :

جدول 5-5 : لوحة إنارة فرعية

PANELBOARD SCHEDULE - LL6C21

VOLTAGE : 380Y/220 VOLTS, 3 PHASE 4W

MAIN BREAKER: 300 AMP, 3 POLE TOP MOUNTED

MAIN BUS : 400 AMPS

NEUTRAL BUS : YES

GROUND BUS : YES

LOCATION : C229

MOUNTING : SURF

AIC RATING : 65000

NOTES:

50 HZ PANELBOARD

PROVIDE GFCITYPE BREAKER WHERE MARKED ** IN SCHEDULE

SUPPLIED FROM:

LOAD SUMMARY	KVA CONN. A	B	C
LIGHTING	15	14	12
RECEPTACLE			1
MECH.(HTG)	5	9	
MECH.(MTR)			
MISC	23	23	23
WATER HTR.			
SPARE	1	1	4
TOTALS	44	48	39
TOTAL CONN. KVA	131.0		

LOAD - VA A	B	C	CKT. NO.	BRANCH BKR. AMPS & POLES		LOAD DESCRIPTION
2200			1	20	1	LTG
	2600		3	20	1	LTG
		1100	5	20	1	LTG
1950			7	20	1	LTG
	1500		9	20	1	LTG
		2250	11	20	1	LTG
1800			13	20	1	LTG
	1800		15	20	1	LTG
		1650	17	20	1	LTG
1600			19	20	1	LTG
	1600		21	20	1	LTG
		1600	23	20	1	LTG
4500			25	30	1	HTR-3
	9000		27	60	1	HTR-1
		600	29	15	1	REC(ELEV)**
400			31	20	1	REC(ELEV MONITOR)**
	400		33	20	1	SPARE
		400	35	20	1	SPARE
23000			---	---	---	---
	23000		39	125	3	PBD LL6C22
		23000	---	---	---	---
2700			2	20	1	LTG
	1800		4	20	1	LTG
		2400	6	20	1	LTG
2150			8	20	1	LTG
	2400		10	20	1	LTG
		2400	12	20	1	LTG
2000			14	20	1	LTG
	1200		16	20	1	LTG
		1800	18	20	1	LTG
400			20	20	1	LTG
	600		22	20	1	LTG
		1050	24	20	1	LTG
400			26	15	1	SPARE
	400		28	15	1	SPARE
		400	30	15	1	SPARE
400			32	20	1	LTG(ELEV)
	800		34	20	1	LTG (ELEV. MACH)
		400	36		1	SPACE ONLY
400			38		1	SPACE ONLY
	400		40		1	SPACE ONLY
		400	42		1	SPACE ONLY

لاحظ فى الجدول 5-5 حجم المعلومات الوفيرة المدونة فى هذا الجدول والمفيدة فى مراجعة عمليات التصميم ، فهناك معلومات تفصيلية عن الدوائر الفرعية و القاطع الرئيسى ، والكابل الرئيسى وطريقة دخوله للوحة ، وكذلك طريقة تثبيت اللوحة ، ومكان تثبيتها ، والعديد من المعلومات الأخرى المفيدة.

5-5 مشاكل عدم التماثل فى لوحات التوزيع

من الواضح ان هناك تأكيد دائما على أهمية توزيع الأحمال بالتساوى قدر الإمكان على الأوجه الثلاثة. والسؤال : ماذا يحدث لو أهملنا هذا الجزء من التصميم ، بمعنى آخر **ماذا يحدث لو كان الحمل على أحد الأوجه الثلاثة أكبر بكثير من الوجهين الآخرين؟** إذا حدث هذا فسيترتب عليه عدة مشكلات من أهمها:

1- **حدوث عدم اتزان بين جهود الـ Phases الثلاثة** ، ويقدر عدم الاتزان حسب نسبة V_2 / V_1 حيث:

V_1 : Positive Sequence Voltage

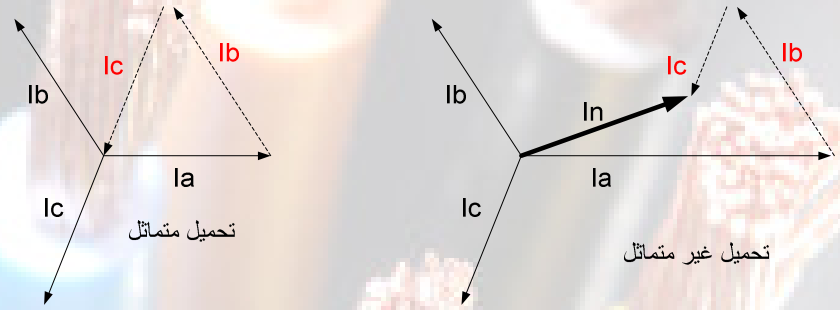
V_2 : Negative Sequence Voltage

$$V_1 = V_a + a\,V_b + a^2\,V_c \qquad \textbf{(5-1)}$$

$$V_2 = V_a + a^2\,V_b + a\,V_c \qquad \textbf{(5-2)}$$

ومعلوم أن كل قيمة من القيم السابقة تحسب بدلالة قيم جهود الـ Phases الثلاثة (V_a, V_b, V_c) كما فى المعادلتين 5-1 ، و5-2 ، ومن ثم فكلما تباعدت هذه القيم عن حدودها الطبيعية كلما زادت نسبة الـ Unbalance فى الشبكة . وارتفاع قيمة V_2 (**Negative Sequence Voltage**) هو أحد الأسباب الأساسية لسخونة المعدات بالشبكة فوق المستوى الطبيعى وهى لا تظهر مطلقا إلا فى حالة عدم اتزان توزيع الأحمال.

2- ارتفاع جهد نقطة التعادل فى المحول ، فمن المعلوم أن مجموع التيارات الثلاثة المارة بخط التعادل يساوى نظريا صفر إذا كانت التيارات متماثلة تماما لأن المجموع الاتجاهى (وليس المجموع الجبرى) لها يساوى صفر كما فى الشكل 5-2 (يسار). وهذا يعنى أنه لا يوجد أى Voltage Drop على خط الـ Neutral ومن ثم فجهد نقطة التعادل تساوى صفر . أما إذا اختلفت قيم التيار بشكل كبير بين الأوجه الثلاثة فهذا من شأنه أن يتسبب فى مرور تيار كبير I_n فى خط الـ Neutral (كما فى الشكل 5-2 يمين) مسببا Voltage drop على الخط ، وبالتالى يحدث ارتفاع فى جهد نقطة التعادل.



شكل 5-2 : تيار التعادل فى حالتى التوزيع المتماثل وغير المتماثل.

هذا الارتفاع يجعل فرق الجهد بين أى من الـ Phases الثلاثة وبين الـ Neutral أقل من القيمة المقننة ، وهذا الانخفاض فى الجهد يتسبب فى ارتفاع قيمة التيار (تذكر أن $P = V \times I$).

مع ملاحظة أن هذا الارتفاع لن يشعر به الـ CB الخاص بالدائرة لأنه ارتفاع بسيط (كأن يرتفع التيار مثلا من 3A إلى 4A) ومن ثم يمكن أن يؤدى استمرار هذه الحالة لمدة طويلة إلى تراكم حرارى داخل الأجهزة واحتراقها ، خاصة تلك المعروفة بأنها Constant Power Devices .

3- ومن المشاكل الأخرى أيضا **<u>ارتفاع قيمة الـ Power Loss</u>** ، فلو فرضنا أن تيار كل Phase يساوى 100 أمبير ، وبفرض أن مقاومة الكابل لكل Phase تساوى 0.1 أوم ، فهذا يعنى أن الفقد فى القدرة يساوى:

$$3\,I^2 \times R = 3 \times (100)^2 \times 0.1 = 3000\ W$$

الآن : لو فرضنا أن كل تيارات الأوجه الثلاثة (100A+100A+100A) صارت جميعا فى Phase-A فقط (تحميل غير متماثل) فعندئذ تصبح الفقد فى القدرة تساوى

$$2 \times I^2 \times R = 2 \times (300)^2 \times 0.1 = 18000\ W$$

(لاحظ أننا ضربنا الفقد فى 2 ، لأن التيار فى هذه الحالة يمر فى الموصل الخاص بـ Phase-A ، ويكمل الدائرة من خلال موصل خط التعادل الذى أصبح تياره لا يساوى صفرا كما فى حالة الأحمال المتوازنة ، بل أصبح

يساوى 300A (نفس تيار الـ Phase ، ومن ثم ضربنا فى 2). لاحظ أن الفقد فى القدرة فى حالة الأحمال الغير متوازنة تضاعف ستة مرات مقارنة بالفقد فى حالة التحميل المتماثل.
4- ومن المشاكل الأخرى المتوقعة أن **يحترق موصل الأرضى بعد فترة من الزمن** لأنه غير مصمم على تحمل التيارات العالية ، ومن ثم يحترق أسرع من الـ Phases الثلاثة .

مثال 5-5

المطلوب حساب القيمة القصوى لتيارات الدوائر الفرعية النهائية فى لوحة توزيع فرعية تقوم بتغذية أحمال القوى فى مطبخ أحد الفنادق ، وأخرى لأحمال الإنارة ، وكذا حساب القيمة القصوى لتيار الدائرة العمومية التى تغذى لوحتى المطبخ بأكمله إذا كان جهد طور التغذية هو 220 فولت علما بأن المطبخ يحتوى على الأحمال التالية :

- عدد 3 فرن كهربائى ثلاثى الأطوار بقدرة 12 ك وات لكل منها.
- عدد 3 ثلاجة ثلاثية الأطوار بقدرة 3 ك وات ومعامل قدرة 0.8 متأخر.
- عدد 2 سخان مياة ذى طور واحد بقدرة 2 ك وات.
- عدد 2 مفرمة لحوم ذات طور واحد بقدرة 2 ك وات ومعامل قدرة 0.7 متأخر.
- عدد 2 آلة عجين ثلاثية الأطوار بقدرة 3 ك وات ومعامل قدرة 0.8 متأخر.
- عدد 2 آلة تحضير الخضروات ذات طور واحد بقدرة 1 ك وات ومعامل قدرة 0.7 متأخر.
- أحمال الإنارة تمثل بعدد 200 مصباح فلورى قدرة 18 وات مزود ببادئ إنارة الكترونى 4 وات ومعامل قدرة محسن إلى 0.95 متأخر .

الحل:

يتم تغذية كل من الأجهزة السابقة من لوحة فرعية خاصة بأحمال القوى ، كما يتم تغذية لوحة الإنارة من لوحة أخرى ، وفيما يلى حساب التيار المقنن فى كل من هذه الأحمال ، كما تتضمن الحسابات التالية تحديد القيمة القصوى لتيار اللوحة العمومية التى تغذى المطبخ بأكمله:

- التيار المقنن للفرن الواحد= 12000 ÷ (1.732 × 380 × 1)=18.23أمبير
- التيار المقنن للثلاجة الواحدة = 3000 ÷ (1.732 × 380 × 0.8)= 5.7 أمبير
- التيار المقنن للسخان الواحد = 2000 ÷ (220 × 1) = 9.09 أمبير
- التيار المقنن لمفرمة اللحوم الواحدة = 2000÷ (220 × 0.7) = 13 أمبير
- التيار المقنن لآلة العجين الواحدة= 3000 ÷ (1.732× 380 × 0.8)= 5.7أمبير
- التيار المقنن لآلة تحضير الخضروات الواحدة=1000 ÷ (220× 0.7)=6.5أمبير
- التيار المقنن للوحة لإنارة بأكملها = (200×22) ÷ (1.732×380×0.95) =7.04 أمبير

مع ملاحظة أن الأحمال أحادية الطور من الـ Phases الثلاثة بطريقة تضمن التساوى (بقدر الإمكان) بين مجموع كل من القدرات الفعالة وغير الفعالة فى الـ Phases الثلاثة كما فى الجزء الأول من الجدول 5-6 ، فى حين أن الأحمال ثلاثية الأطوار (الأفران والثلاجات وآلتى العجين ولوحة الإنارة) تغذى من الـ Phases الثلاثة بالتساوى فى قيم تيارات الـ Phases كما فى الجزء الثانى من نفس الجدول ، وبالتالى التساوى بين قيم تيارات الـ 3-Phases التى تغذى المطبخ بأكمله كما هو واضح من الجزء الأخير فى الجدول:

جدول 5-6 : توزيع الأحمال الأحادية والثلاثية بالتساوى

Phase-3		Phase-2		Phase-1		الحمل
P	Q	P	Q	P	Q	
kW	kVAR	kW	kVAR	kW	kVAR	
--	--	2	--	2	--	**السخانان**
2	2.04	2	2.04	--	--	**مفرمتا اللحوم**
1	1.02	--	--	1	1.02	**آلتا تحضير الخضروات**
وتضاف بعد ذلك الأحمال الـ 3-Phase كما يلى:						
12	--	12	--	12	--	**الأفران**
3	2.25	3	2.25	3	2.25	**الثلاجات**
3	2.25	3	2.25	3	2.25	**آلتا العجين**
1.47	0.48	1.47	0.48	1.47	0.48	**الإنارة**
وبذلك يكون مجموع الأحمال على الـ Phases الثلاثة كما يلى:						
22.47	8.04	23.47	7.02	22.47	6.00	**المجموع على كل Phase**

ومن قيم الـ P ، Q السابقة يمكن حساب قيم المركبتان الـ Active و الـ Reactive لتيار كل Phase وقيمته العددية بالأمبير كما يلى:

الطور	I_{Real} (Active)	(I_{img}) Reactive	القيمة العددية (I)
Phase-1	**102.136**	**27.273**	**105.715**
Phase-2	**106.682**	**31.909**	**111.352**
Phase-3	**102.136**	**36.545**	**108.477**

ويمكن بدلالة قيم مركبات التيار فى الـ 3-Phases السابقة حساب قيم مركبتا تيار المار فى الـ Neutral وقيمته العددية بالأمبير باستخدام قوانين الـ Symmetrical Components كما يلى :

المركبة الحقيقية Real Part (I_{nr}) =
$= 102.136 - 0.5\ (102.136 + 106.682) + 0.866(36.545 - 31.909) = 1.742$ أمبير

المركبة التخيلية Imaginary Part (I_{ng}) =
$= 27.273 - 0.5(36.545 + 31.909) + 0.866(102.136 - 106.682) = -3.017$ أمبير

القيمة العددية (I_n) = 3.484 أمبير

ملاحظات:
تتحقق كل قيم القدرات والتيارات السابقة عند تغذية كل الأحمال بالمطبخ بكامل قدراتها فى نفس الوقت (كما فى حالة الإعداد لحفل مثلاً) ، ويجب أخذ هذه القيم كأساس لتصميم الدوائر كلها لتلافى زيادة الحمل فى الدوائر فى حالات الطوارئ ، لكنها بالطبع ستتغير مع تغير نسب التحميل .

القيم القصوى للقدرات والتيارات فى الأحوال العادية
عند حساب القيم السابقة افترضنا أن جميع الأحمال تعمل فى وقت واحد (حفل كبير مثلا ، ويسمى حمل الطوارئ) ، لكن عند تقدير حمل اللوحة التى تغذى المطبخ بأكمله ، فإذا أخذنا معاملات التباين الواردة فى الجدول 3 - 5 في الفصل الثال من هذا الكتاب فى الاعتبار فإن القيم القصوى للأحمال ستصبح كما يلى .

- الأفران 100 ٪ × 12 + 80 ٪ × 12 + 60 ٪ × 12 = 28.8 ك وات
- الثلاجات 100 ٪ × 3 + 80 ٪ × 3 + 60 ٪ × 3 = 7.2 ك وات
- السخانان 2 × 2 (باعتبارهما يعملان باستمرار وقت الذروة) = 4 ك وات
- مفرمتا اللحوم 100 ٪ × 2 + 80 ٪ × 2 = 3.6 ك وات
- آلتا العجين 100 ٪ × 3 + 80 ٪ × 3 = 4و5 ك وات
- آلتا تحضير الخضروات 100 ٪ × 1 + 80 ٪ × 1 = 1.8 ك وات
- الإنارة 100 ٪ × 4.4 = 4.4 ك وات

وبذلك تكـون القيمـة القصـوى لحمـل المطبـخ بأكمله = 55.2 ك وات بدلا من 68.41 ك وات فى حالات الطوارئ ، والصحيح أن يتم أخذ حالات الطوارئ كأساس للتصميم طالما أنها واردة الحدوث باحتمال عالى لاسيما أن الفرق ليس كبيرا .

الجزء الثانى : تصميم اللوحات العمومية

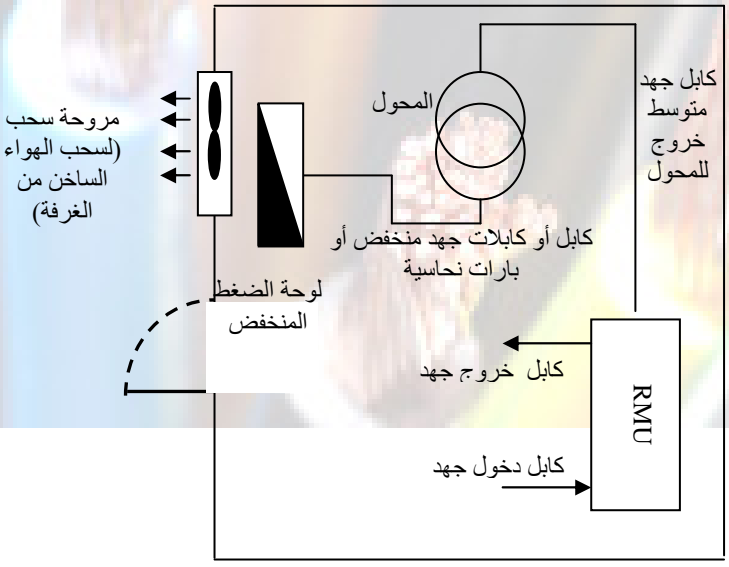
الخطوة التالية بعد الانتهاء من تصميم جميع اللوحات الفرعية بأنواعها المختلفة (لوحات الإنارة – القوى- التكييف – الطوارئ) هى تصميم لوحات التوزيع العمومية لكل نوع من هذه اللوحات كل على حدة .
وقد يكون المشروع صغيراً بحيث يكفى وجود لوحة عمومية واحدة لتغذية كافة اللوحات الفرعية من الأنواع الثلاثة ، أى ستتجمع على هذه اللوحة كافة المغذيات الخاصة باللوحات الفرعية ، وقد نحتاج إلى أكثر من لوحة عمومية كما سيتم شرحه تفصيلاً بعد قليل . وكل لوحة من اللوحات السابقة ستخرج منها الكابلات المغذية للوحات الفرعية من نفس النوع.

6-5 تغذية اللوحات العمومية

- قد يغذى المبنى الواحد من Feeder واحد ، ويسمى عندئذ بـ (One-in-take) ، فإذا كان الحمل أعلى من 200 kVA فيسمح له بـ Two Feeders للتغذية ، ويسمى (Two in-take) ، أما إذا زاد الحمل عن 400 kVA فإن مؤسسة الكهرباء تلزم المالك بتخصيص مساحة محددة بالمبنى ليوضع فيها محول خاص بالمبنى مرتبط بالشبكة العامة (ملاحظة : القيم السابقة مطبقة بالكويت وقد تختلف من دولة لأخرى لكن يظل المبدأ واحدا). فعلى سبيل المثال فإن الكود المصرى يصنف المبانى التى تحتاج لطاقة كهربائية على النحو التالى :

- مبنى يحتاج لقدرة تساوى أو أقل من 200 ك.ف.أ (مبنى محدود). وتتم تغذيته بكابل من شبكة ضغط منخفض على جهد ثلاثى الأطوار"380 / 220 فولت "– 50 هرتز. ويتم تركيب صندوق فى مدخل المبنى (أو كوفريه) أو صندوق توزيع لربط كابلات الدخول وكابلات الخروج للمبنى.
- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 200 ك.ف.أ. وأقل من 500 ك.ف.أ (مبنى متوسط).
- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 500 ك.ف.أ. وأقل من 1000 ك.ف.أ (مبنى عام).

وتتطلب هذه النوعية من المبانى غرفة خاصة للمحولات داخل المبنى ، وتحتوى هذه الغرفة حسب شكل 5-3 على وحدة توزيع حلقية RMU للجهد المتوسط (11 أو 22 كيلو فولت) و المحول .



شكل 5-3 غرفة المحول

- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 1000 ك.ف.أ. وأقل من 2000 ك.ف.أ (مبنى كبير).
- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 2000 ك.ف.أ (مبنى مركزى).

ويلزم مراجعة شركة توزيع الكهرباء فى المنطقة التى سينشأ فيها المبنى للتأكد من توفير الطاقة لتغذية المبنى ، وهل ستتم التغذية بغرفة محولات ، أو كشك معدنى ولوحة حلقية مع مكثفات تحسين معامل القدرة ، أو يلزم إنشاء موزع.

- يكون الحد الأدنى لسعة تيار القصر SC Capacity مرتبط بقدرة محول التغذية ، فعلى سبيل المثال فى حالة المحول قدرة 500 ك.ف.أ. تكون الأحمال المغذاة منه محمية بقواطع CBs تتحمل تيار قصر لا يقل عن 22 كيلو أمبير. أما المحول قدرة 1000 ك.ف.أ. فيجب حماية الأحمال المغذاة منه بـ CBs تتحمل تيار قصر لا يقل عن 45 كيلو أمبير ، وهكذا حسب قدرة وسعة المحول المغذى لهذه الأحمال.
- يلزم أن يراعى فى لوحات الضغط المنخفض ترتيب وحساب سعة تيار الـ CBs ، ومراعاة التتابع (Coordination) للقواطع العمومية ثم القواطع الفرعية من اللوحات الرئيسية إلى اللوحات الفرعية والتأكد من أن نظام الوقاية للفصل قد تم ترتيبه وضبطه لضمان فصل القاطع الأقرب لنقطة زيادة الحمل أو القصر أولاً، ثم الذى يليه، فالذى يليه فى التتابع حتى القاطع فى اللوحات الرئيسية.
- يفضل فى لوحات الجهد المنخفض والتى يكون I_{SC} بها أكبر من 1500 أمبير أن يتم استخدام (Bus-Ducts) من اللوحات العمومية إلى اللوحات الفرعية.
- يفضل دائما أن تكون لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية مستقلة لكل من تركيبات الإنارة وتركيبات القوى وتكون مغذيات كل منها منفصلة عن المغذيات الأخرى.

5-6-1 حساب أحمال اللوحات العمومية

بما أننا قد أخذنا معامل الطلب DF فى الاعتبار ونحن نصمم كل لوحة من اللوحات الفرعية ، ومن ثم فلا داع لعمل أى تخفيض آخر عند حساب الحمل التصميمى للوحة العمومية. وهذا يعنى أن الحمل التصميمى للوحة العمومية التى تغذى مجموعة لوحات فرعية سيساوى مجموع الأحمال المركبة فى اللوحات الفرعية.

لكن يجب أن نتذكر من الفصل الثالث أن مؤسسة الكهرباء تأخذ غالبا Diversity Factor بين العمارات المختلفة ، على سبيل المثال هب أنك تصمم خمس عمارات متشابهة وكل واحدة منها مكونة من 40 شقة ، حمل كل شقة (TCL) يساوى مثلا 10kVA فهذا يعنى أن الحمل الإجمالى لكل عمارة يساوى 400kVA ومن ثم ستحسب أنت كمصمم المغذى والـ CB الرئيسى لكل عمارة من العمارات الخمس بناء على حمل قدره 400 kVA ، أما الحمل الإجمالى للعمارات الخمس فيحسب على أنه 2000 kVA .

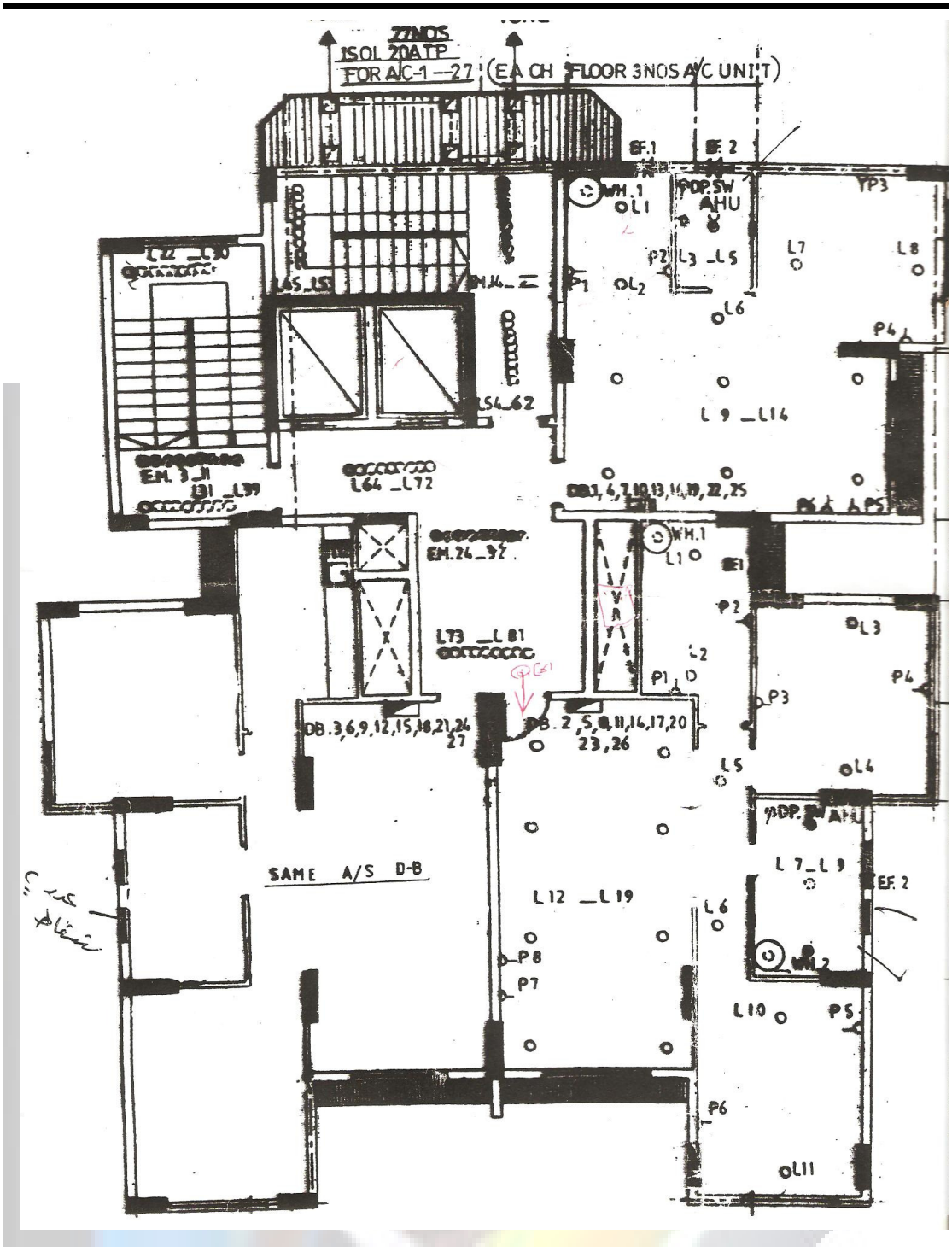
أما إذا كنت مهندسا فى مؤسسة الكهرباء فإنك ستعتبر أن حمل الشقة يساوى فقط 8kVA ، وبالتالى فحمل كل عمارة - من وجهة نظر مهندس مؤسسة الكهرباء - يساوى فقط 320kVA ، ومن ثم فحمل العمارات الخمسة الكلى يساوى فى هذه الحالة 1600kVA ، وهذا بالطبع سيؤثر على إجمالي الأحمال التى يمكن تغذيتها من المحولات الرئيسية بالمنطقة . راجع الفصل الثالث لمزيد من التفاصيل.

5-7 تصميم عمارة سكنية (إسكان متوسط)

سنستعرض هنا مثالا لعمارة من فئة الإسكان المتوسط مكونة من تسعة أدوار + بدروم + أرضى + محلات ، فى كل دور توجد ثلاث شقق ، بمعنى أن إجمالى الشقق فى العمارة هو 27 شقة. والشكل 5-4 يمثل المسقط الأفقى للدور المتكرر موزعة عليه أعمال الكهرباء طبقا للرموز القياسية التى أشرنا إليها فى الملحق الأول .

فى هذه العمارة توجد شقتان متماثلتان من بين الثلاث الشقق الموجودة فى كل دور مساحة كل منهما 85 متر مربع ، بإجمالى 18 شقة ، وكل شقة من هذه الشقق المتماثلة لها لوحة توزيع فرعية منفصلة ، وهذه اللوحات الفرعية تحمل الأرقام .

DB- 2, 3 ,5 ,6 ,8 ,9 ,11,12 ,14 ,15 ,17,18, 20, 21, 23, 24, 25, 27



شكل 5-4 : أعمال الكهرباء للدور المتكرر.

أما تفاصيل أحمال هذه النوعية من الشقق (مساحة 85 m^2) فهى موزعة باتزان كما فى الجدول 5-7. راجع تطابق الرموز وأسماء الأحمال الواردة فى الشكل 5-4 مع الأحمال المدونة فى الجدول 5-6 .

جدول 5-7 : اللوحات الخاصة بالشقق ذات المساحة 85 m^2

4 ways TPN with ELCB 40A/30mA 4P							
Cir No.	Ph	Cable (mm^2)	MCB (A)	Description	Load per phase in (W)		
					R	**Y**	**B**
1	R	1.5	10	L10 – L19 (10x100) W	1000		
	Y	2.5	15	P1= 200 & P2 = 800W (KIT)		1000	
	B	1.5	10	L1 –L9 + EX 1-2 (11 x 100) W			1100
2	R	2.5	15	P7 – P8 (2 x 200 W)	400		
	Y	2.5	15	W.H-2 with 15A DP SW		1200	
	B	2.5	15	P3 – P4 (2x100)			400
3	R	2.5	15	A.H.U with 20A DP SW	900		
	Y	2.5	15	P5 – P6		400	
	B	2.5	15	W.H-1 with 20A DP SW.			1200
4	R	4	20A TP	ISOL 20A TP for A/C (5.631 kW) = 40700 BTU	1877		
	Y	4				1877	
	B	4					1877
Total Connected Load kW = 13.231					4177	4477	4577

والرموز الواردة فى الجدول السابق تعنى:

4 ways تعنى أن اللوحة بها أربعة مجموعات من الدوائر (4 circuit group)

TPN تعنى Three Phase and Neutral

ELCB تعنى Earth Leakage Circuit Breaker

40A/30mA 4P تعنى أن أقصى تيار للـ ELCB هو 40A ، أن حساسية الجهاز 30mA وأنه 4-Poles .

W.H تعنى Water Heater أى سخان المياه

DP SW تعنى مفتاح من النوع الـ Double Pole Switch وهو المفتاح الذى يمكنه قطع الـ Phase وأيضا الـ Neutral ، بعكس المفاتيح العادية التى تفصل الـ Phase فقط.

A.H.U تعنى Air Handling Unit وهى الوحدة التى توضع داخل الشقة لتوزيع الهواء (وهى تختلف عن الـ Compressor Unit التى توضع غالبا فوق السطوح أو خارج الشقة سواء فى التكييف المركزى أو وحدات الـ Split).

أما الشقة الثالثة فى كل دور من الأدوار التسعة فهى أصغر حجما (60 متر مربع) ، وتغذى من لوحات التوزيع أخرى تحمل الأرقام : DB- 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 . وتفاصيل أحمال هذه الشقة الصغيرة ممثلة فى الجدول 5-8 .

جدول 5-8 : خاص بالشقق ذات المساحة $60m^2$

4 ways TPN with ELCB 40A/30mA 4P							
Cir No.	Ph	Cable (mm^2)	MCB A	Description	Load per phase in W		
					R	Y	B
1	R	1.5	10	L7 –14 (8 x100)	800		
	Y	1.5	10	P1 (1 x 100) +P2 (500W) KIT		600	
	B	1.5	10	L1-L6 + EX 1-2			800
2	R	2.5	15	P5–P6	200		
	Y	2.5	15	W.H-1 with 15A SW		1200	
	B	2.5	15	P3 –P4 (2 x 100)			200
3	R	2.5	15	Spare	-----		
	Y	2.5	15	Spare		----	
	B	2.5	15	AHU with 20A DP Sw			400
4	R	4	20A TP	ISOL 20A TP for A/C	1513		
	Y	4		(4.54 kW) = 33500 BTU/HR		1513	
	B	4					1513
Total Connected Load kW = 8.739					2513	3313	2913

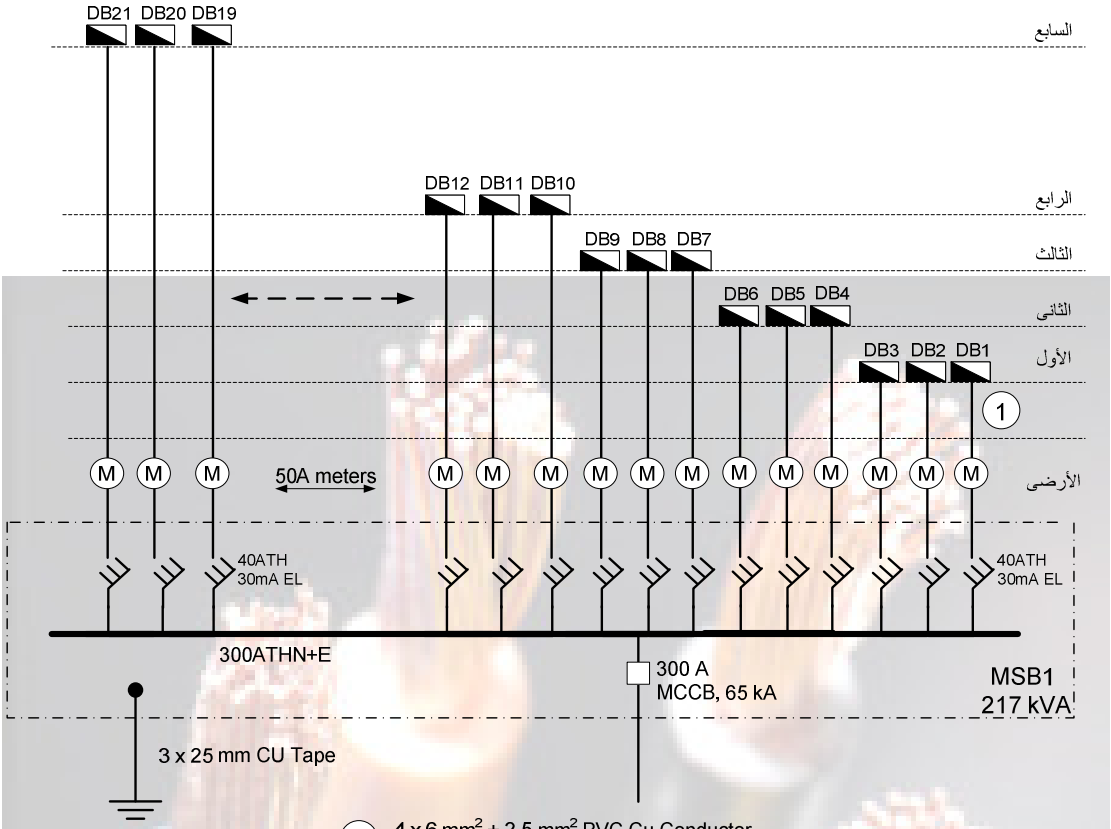
5-7-1 تصميم اللوحات العمومية بالعمارة

قبل تصميم اللوحات العمومية لهذه العمارة نشير إلى أنه عند تصميم اللوحات العمومية للمبانى الكبيرة فإننا غالبا لا نجعل تغذية اللوحات الفرعية كلها من لوحة عمومية واحدة ، بل نوزع اللوحات الفرعية على لوحتين رئيسيتين على الأقل . و ليس بالضرورة أن توزع الأحمال بينهما بالتساوى ، لكن من المهم أن توزع بصورة متزنة على الأوجه الثلاثة فى كل منهما .

وفى هذه العمارة كان لدينا لوحتان عموميتان رئيسيتان هما MSB-1 و MSB-2 :

اللوحة العمومية الأولى (MSB-1) :

هذه اللوحة العمومية تغذى اللوحات الفرعية من DB-1 إلى DB-21 كما فى الشكل 5- 5 .



شكل 5-5 : اللوحة العمومية الأولى بالعمارة

وتفاصيل أحمال هذه اللوحة العمومية موجودة بالجدول 5-9 .

جدول 5-9 : اللوحة العمومية الاولى MSB-1

Load	R	Y	B	TCL
DB-1	**2513**	**3313**	**2913**	**8739**
DB-2	4177	4477	4577	13231
DB-3	4477	4577	4377	13431
DB-4	**2913**	**2513**	**3313**	**8739**
DB-5	4577	4177	4477	13231
DB-6	4377	4477	4577	13431
DB-7	**3313**	**2913**	**2513**	**8739**
DB-8	4477	4577	4177	13231
DB-9	4577	4377	4477	13431
DB-10	**2513**	**3313**	**2913**	**8739**
DB-11	4177	4477	4577	13231
DB-12	4477	4577	4377	13431
DB-13	**2913**	**2513**	**3313**	**8739**
DB-14	4577	4177	4477	13231
DB-15	4377	4477	4577	13431
DB-16	**3313**	**2913**	**2513**	**8739**
DB-17	4477	4577	4177	13231
DB-18	4377	4377	4477	13431
DB-19	**2513**	**3313**	**2913**	**8739**
DB-20	4177	4477	4577	13231
DB-21	4477	4577	4377	13431
TCL	**78169**	**86569**	**83069**	**247807**

اللوحة العمومية الثانية (MSB-2) :

هذه اللوحة تغذى اللوحات الفرعية من DB-22 إلى DB-27 ، بالإضافة إلى تغذية جميع الأحمال العامة بالعمارة كما هو واضح من الجدول 5- 10 .

وهذه الأحمال العامة تضم :

- المحلات (لدينا محل واحد مغذى من لوحة اسمها DB-Shop) .
- مضخة حريق (لدينا مضخة FFP قدرتها 6 kW).
- لوحة الخدمات SMSB الرئيسية .

الجدول 5-10 : واللوحة العمومية الثانية MSB-2

Load	R	Y	B	TCL
DB-22	**2513**	**3313**	**2913**	**8739**
DB-23	4177	4477	4577	13231
DB-24	4477	4577	4377	13431
DB-25	**2913**	**2513**	**3313**	**8739**
DB-26	4577	4177	4477	13231
DB-27	4477	4577	4377	13431
DB-SHOP	2300	3500	3100	8900
FFP	2000	2000	2000	6000
SMSB	11200	10100	12220	33520
TCL	**37834**	**40334**	**41054**	**119222**

ولوحة الخدمات الرئيسية SMSB هى لوحة عمومية صغيرة لتغذية :

- المصاعد (لدينا هنا مصعدين Lift-1 و Lift-2 قدرة كل منهما 6 kW) .
- إنارة السلم والمداخل من خلال (لوحة DB-G) .

- انارة البدروم من خلال (لوحة DB-B) .

وتفاصيل أحمال لوحة الخدمات الرئيسية موجودة بالجدول 5-11 .

جدول 5-11 : لوحة الخدمات SMSB

Load	R	Y	B	TCL
DB-B	2100	1900	2200	**6200**
DB-G	5100	4200	6020	**15320**
Lift-1	2000	2000	2000	**6000**
Lift-2	2000	2000	2000	**6000**
TCL = 33520	**11200**	**10100**	**12220**	**33520**

ملاحظات:

- لاحظ أنه رغم أن اللوحات : DB- 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 ، وهى اللوحات المغذية للشقق مساحة 60 متر متشابهة تماما ، لكننا نغير من طريقة تغذية الـ Phases الثلاثة لها ، بحيث يغذى الـ Phase الأول فى اللوحة DB-1 مثلا (حمله يساوى 2513 W) من Phase-R فى اللوحة العمومية الأولى ، لكنه فى اللوحة DB-4 (والتى تتشابه تماما مع اللوحة DB-1) سنجده يغذى من Phase-Y ، ثم نجد نفس هذا الـ Phase فى اللوحة DB-7 يغذى من Phase-B ، وذلك حتى نضمن أعلى درجة من درجات التوزيع المتماثل ، وهذا مطبق على كافة اللوحات المتماثلة فى الجدولين السابقين .
- الشقة مساحة 85 م2 تحتاج حمل تكييف يقدر بحوالى 40700 BTU/HR وهو يساوى تقريبا 3.39 طن تبريد ، وقد استخدم فيها مكيف قدرة 5.63 kW وهو ما يعادل تقريبا 1.6 وات/طن تبريد كما هو واضح من الجدول 5-7 .
- فى حين أن الشقة ذات الـ 60 متر مربع تحتاج إلى 33500 BTU/Hr ونستخدم لها مكيف بقدرة 4.5 KW كما في الجدول 5-8.
- يمكن مراجعة تقديرات الـ W/m^2 الخاصة بالتكييف بجمع إجمالي القدرة المخصصة للتكييف فى الأدوار التسعة ثم نقسمها على إجمالى مساحات الشقق الثلاثة فى كل دور مضروبة فى 9 أدوار (تساوى 2070 متر مربع) مضافا إليها مساحات الـ Lobby فى الأدوار التسعة (9 X21) وستجد أن ناتج القسمة يساوى تقريبا $62W/m^2$ وهو قريب من الحمل التقديرى للتكييف فى الشقق السكنية المذكور فى الجزء 3-4 -1 .
- تقدير و مراجعة القيمة النهائية لأحمال التكييف هى مسئولية مهندس التكييف وليس مهندس الكهرباء.
- الحمل الكلى للعمارة وصل إلى (**247807**+ **119222**= 367029 kW) وهو أقل من الحمل الذى يستلزم معه تخصيص محول للعمارة (400 kVA بالكويت) ، ومن ثم فيمكن تغذية هذه العمارة من كابلين من أقرب محول عمومى.

5-7 -2 ملاحظات على تصميم اللوحات العمومية للعمارة

اتبع فى تصميم اللوحة العمومية لهذه العمارة طريقة أن تغذى اللوحة الفرعية الخاصة بكل شقة من خلال كابل منفصل يخرج مباشرة من اللوحة العمومية إلى الشقة كما فى الشكل 5-6 الذى يمثل مخطط اللوحة العمومية الأولى MSB-1 الخاصة بالعمارة .

لاحظ فى هذا الشكل مايلى:

- أن كل دور به ثلاث شقق - كما ذكرنا - وأن كل شقة قد خصص لها كابل نحاس ثلاثى منفصل مقطعه $4 \times 6\ mm^2$ معزول بـ PVC داخل ماسورة مقطعها 38 ملم.
- أن كل العدادات الخاصة بالشقق (عداد بقوة 50 أمبير لكل شقة) قد تم تجميعها فى الدور الأرضى بجوار اللوحة العمومية حتى لا يضطر قارئ العداد لدخول الشقة لتدوين قراءة العداد.
- أن الـ CB العمومى للكابل الخاص بكل شقة مزود بـ ELCB ذى حساسية قدرها 30mA.
- أن لوحة التوزيع العمومية لها أرضى منفصل وأنها تتصل بهذا الإلكترود من موصل أرضى عبارة عن شريط نحاسى Cu Tape مقطعه 4 x 25 mm .

8-5 أسلوب آخر فى تصميم العمارات السكنية

اتبع فى تصميم اللوحة العمومية فى المثال التالى أسلوب اقتصادى مختلف عن المثال السابق ، وهو الأسلوب الذى يظهر مخططه فى الشكل 5-6. هذا المخطط يمثل عمارة سكنية أخرى مكونة من 11 دور وبكل دور يوجد 6 شقق. وبالإضافة للشقق السكنية فإنه يوجد 6 لوحات لمحلات ويوجد أيضا 3 لوحات للخدمات كما هو واضح بالشكل. وجميع أحمال هذه العمارة تم تغذيتها من لوحة عمومية واحدة.

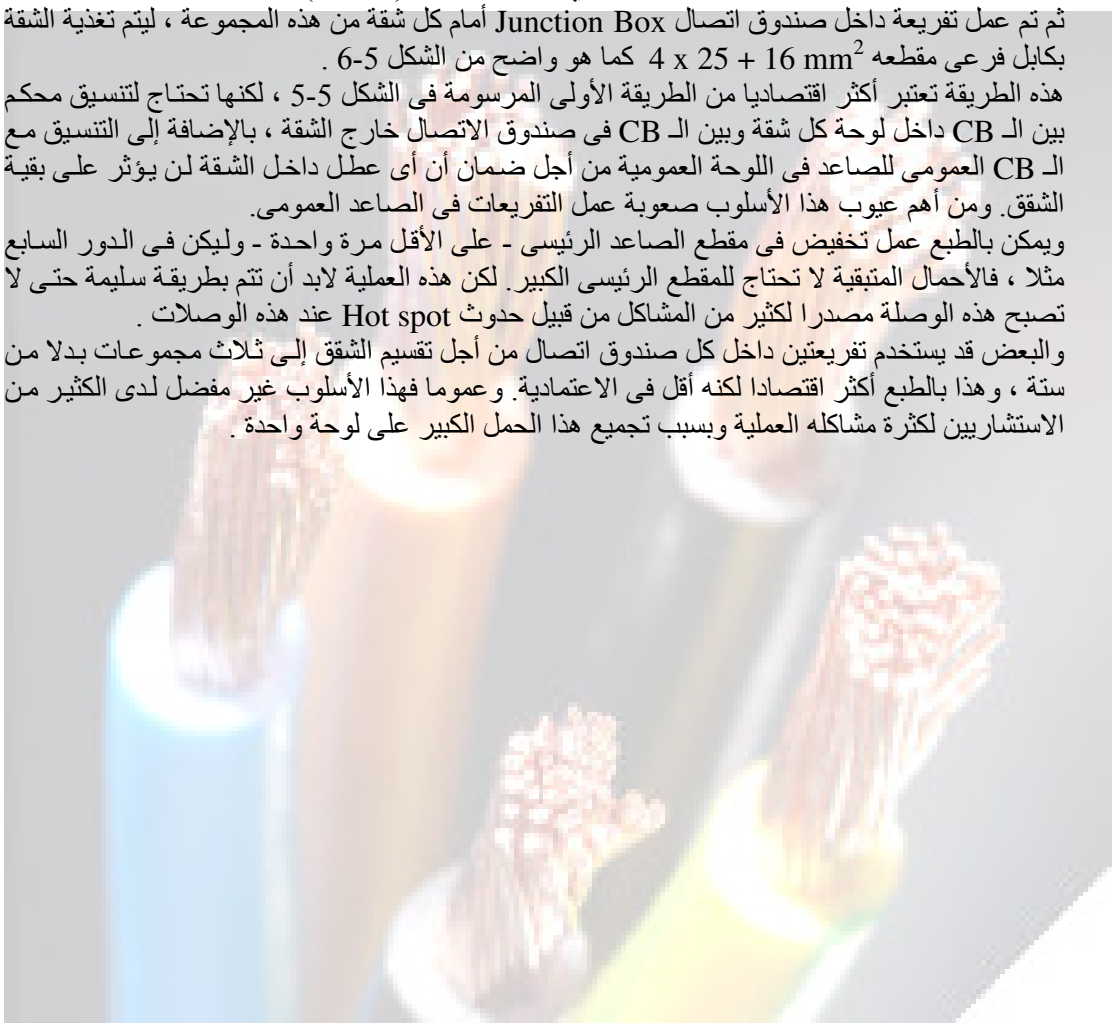
مجموع الأحمال فى هذه العمارة الجديدة استلزم وجود محول خاص بقدرة 1500 kVA ، وتمت تغذيته من خلال RMU كما فى الشكل (راجع الجزء الأول من الفصل الثانى لمزيد من التفاصيل الخاصة بلوحات الـ RMU) .

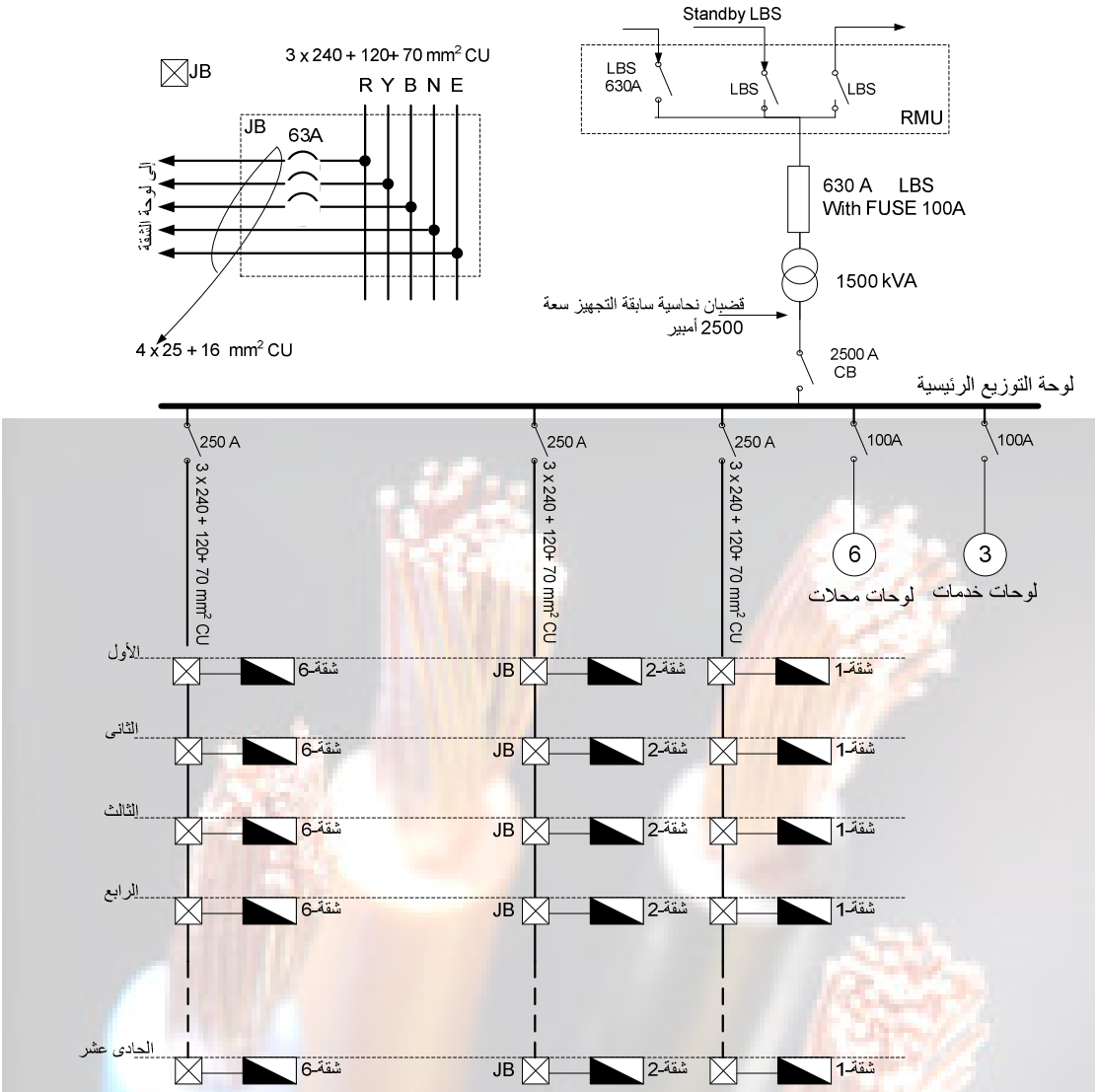
وفى هذه العمارة تم تغذية الشقق كما ذكرنا بطريقة مختلفة عن الطريقة الأولى ، حيث قسمت الشقق بالعمارة إلى 6 مجموعات ، واستخدم صاعد Feeder خاص لكل مجموعة من المجموعات الستة مقطعه فى هذا المثال هو $3 \times 240 + 120 + 70\ mm^2$ و يغذي كل صاعد عدد (11 شقة) بمعدل شقة واحدة بكل دور، ثم تم عمل تفريعة داخل صندوق اتصال Junction Box أمام كل شقة من هذه المجموعة ، ليتم تغذية الشقة بكابل فرعى مقطعه $4 \times 25 + 16\ mm^2$ كما هو واضح من الشكل 5-6 .

هذه الطريقة تعتبر أكثر اقتصاديا من الطريقة الأولى المرسومة فى الشكل 5-5 ، لكنها تحتاج لتنسيق محكم بين الـ CB داخل لوحة كل شقة وبين الـ CB فى صندوق الاتصال خارج الشقة ، بالإضافة إلى التنسيق مع الـ CB العمومى للصاعد فى اللوحة العمومية من أجل ضمان أن أى عطل داخل الشقة لن يؤثر على بقية الشقق. ومن أهم عيوب هذا الأسلوب صعوبة عمل التفريعات فى الصاعد العمومى.

ويمكن بالطبع عمل تخفيض فى مقطع الصاعد الرئيسى - على الأقل مرة واحدة - وليكن فى الدور السابع مثلا ، فالأحمال المتبقية لا تحتاج للمقطع الرئيسى الكبير. لكن هذه العملية لابد أن تتم بطريقة سليمة حتى لا تصبح هذه الوصلة مصدرا لكثير من المشاكل من قبيل حدوث Hot spot عند هذه الوصلات .

والبعض قد يستخدم تفريعتين داخل كل صندوق اتصال من أجل تقسيم الشقق إلى ثلاث مجموعات بدلا من ستة ، وهذا بالطبع أكثر اقتصادا لكنه أقل فى الاعتمادية. وعموما فهذا الأسلوب غير مفضل لدى الكثير من الاستشاريين لكثرة مشاكله العملية وبسبب تجميع هذا الحمل الكبير على لوحة واحدة .



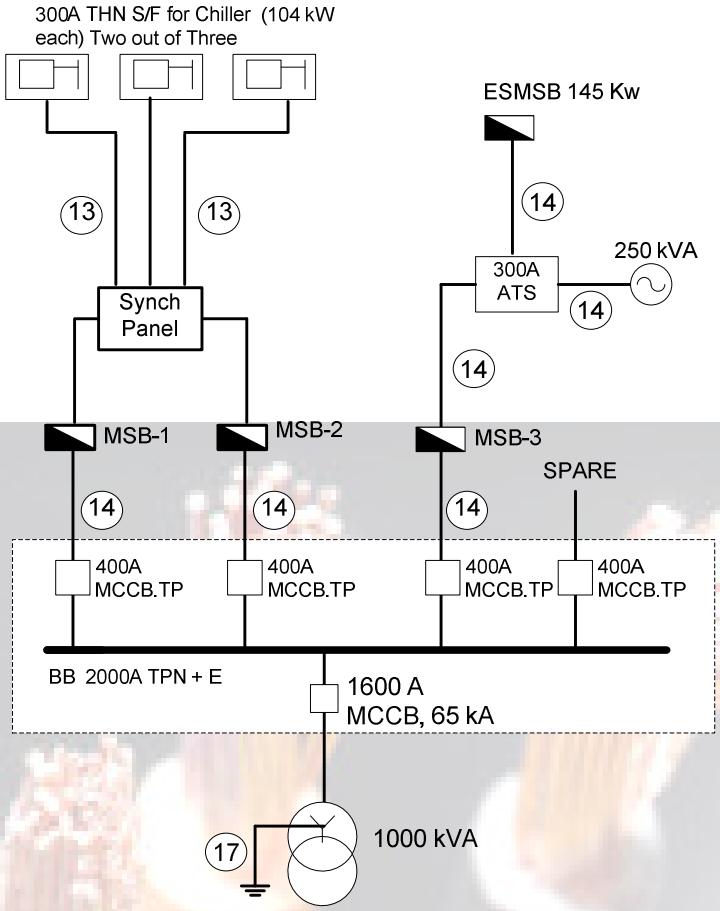


شكل 5-6 صاعد عمومى ومنه تفريعات للشقق من خلال JB

5-9 اللوحات العمومية لبرج إدارى

فى هذا الجزء من الكتاب سنعرض لتصميم لوحات التوزيع الخاصة ببرج إدارى مكون من 20 طابق . وهذا المثال سيتم عرضه بصورة أكثر تفصيلا من الأمثلة السابقة ، فمعظم تفاصيل اللوحات و جداول الأحمال الخاصة بهذا المشروع موجودة فى هذا الفصل أو بالملحق الرابع بالكتاب.

و قد تم تصميم منظومة الكهرباء بالبرج بحيث تتكون من لوحة عمومية رئيسية للجهد المنخفض (MLTP) كما فى الشكل 5-7 . وهذه اللوحة الرئيسية تغذي ثلاث لوحات عمومية أخرى هي :MSB-1 و MSB-2 و MSB-3 ، ثم تقوم كل لوحة من اللوحات الثلاثة بتغذية مجموعة من اللوحات الفرعية بالأدوار المختلفة كما سيتم شرحه تفصيلا . وهناك أيضا لوحة الطوارئ العمومية ESMSB التى تغذى من اللوحة العمومية الثالثة MSB-3 ، وتغذى فى نفس الوقت من مولد ديزل قدرة 250 kVA كما فى الشكل.



شكل 5-7 : اللوحة العمومية للجهد المنخفض MLTP

نشير هنا إلى أن الأرقام المكتوبة داخل دائرة على الخطوط الممثلة للكابلات فى اللوحة السابقة واللوحات التالية تعبر عن المعلومات الخاصة بمقطع الكابل ، بالإضافة إلى أسلوب تمديد الكابل ، وذلك طبقا للتعريف التالي :

4 — $4 \times 16 + 10\ mm^2$ PVC in 38 mm PVC Conduit.

8 — $4Cx\ 25\ mm^2$ Cu on cable tray

13 — $4C \times 185mm^2$ Cu in on cable tray

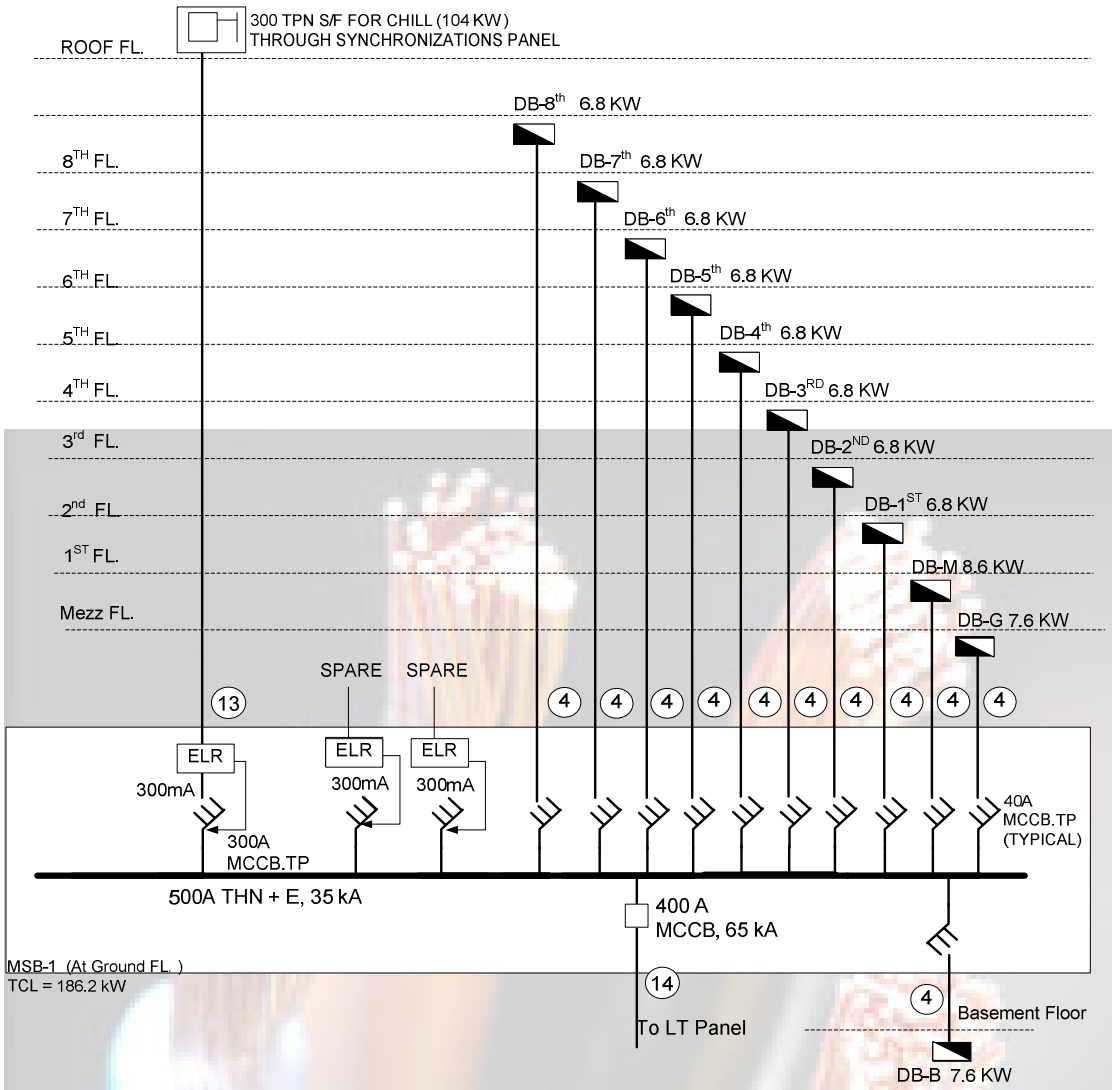
14 — $4C \times 240\ mm^2$ Cu on cable tray.

17 — 3 x 25 mm Cu Tape.

و كما ذكرنا فإن اللوحة العمومية الرئيسية MLTP تغذي كما هو واضح بالرسم ثلاث لوحات عمومية هم :

اللوحة العمومية الأولى (MSB-1) :

وهى لوحة عمومية تغذى اللوحات الفرعية بالأدوار من 1- 8 إضافة إلى اللوحات الفرعية بالدور الأرضى والميزانيين والبدروم ، وكذلك تغذى إحدى مكينتى التكييف الرئيسيتين كما فى الشكل 5-8 .



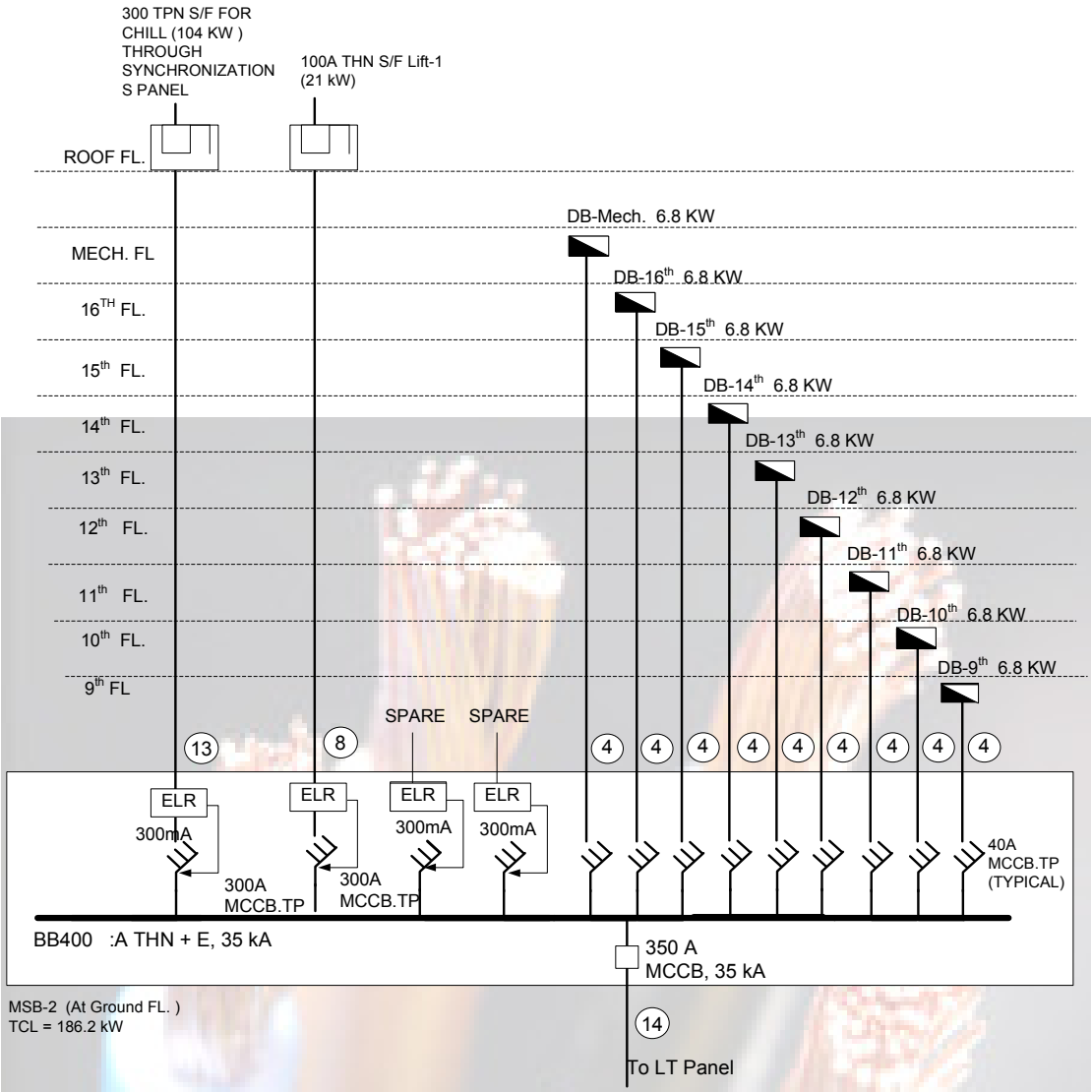
شكل 5-8 : اللوحة الرئيسية الأولى MSB-1

اللوحة العمومية الثانية (MSB-2) :

وهذه اللوحة تغذى اللوحات الفرعية بالأدوار من 9 إلى 16 ، وتغذي كذلك اللوحة الفرعية بالسطوح ، وإحدى ماكينتى التكييف ، وأحد المصاعد الثلاثة كما فى الشكل 5-9.

اللوحة العمومية الثالثة (MSB-3) :

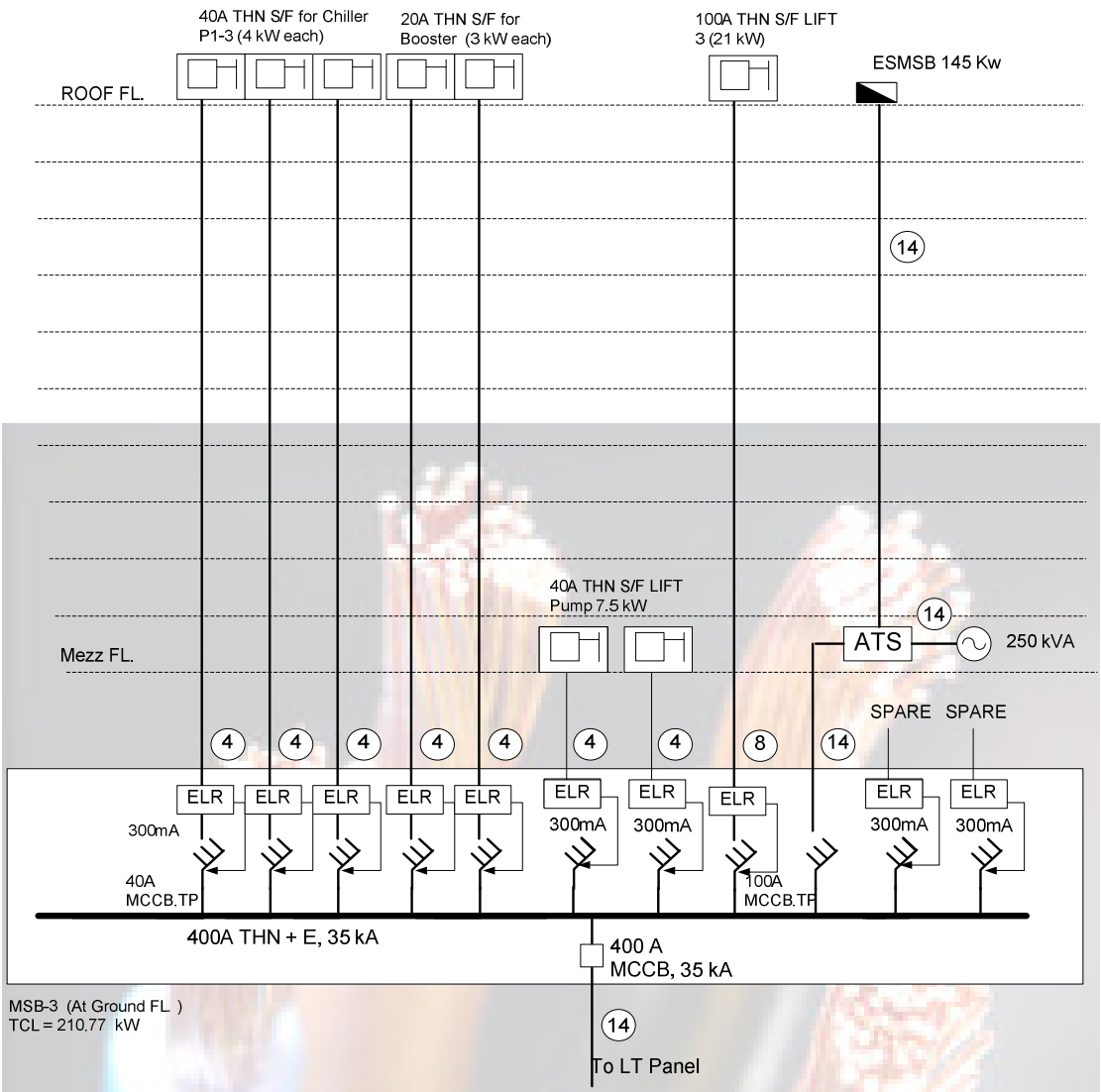
وهى اللوحة المرسومة بالشكل 5-10 ، وتغذى مضخات المياه الخاصة بالتكييف ، وبعض الأحمال الخاصة بالمصاعد ، بالإضافة إلى أنها تغذى لوحة الطوارئ الرئيسية العامة للمبنى ESMSB .



شكل 5-9 : اللوحة الرئيسية الثانية MSB-2

اللوحة الطوارئ الرئيسية (ESMSB) :

وهذه اللوحة (ESMSB) يتجمع فيها كافة أحمال الطوارئ بالبرج ، ومثبتة فى مكان فوق السطوح لأنه المكان الأقرب لتجمع أكبر عدد من أحمال الطوارئ ، ويتم تغذيتها من خلال ATS مرتبط بمولد التغذية الاحتياطية والمقدر قيمته بـ 250 kVA .



شكل 5-10 : اللوحة الرئيسية الثالثة MSB-3

ملحوظات :

1- توجد ثلاث مكينات للتكييف Chillers مربوطة على لوحة تزامن Synchronization Panelتغذى بكابلين من اللوحتين MSB-1 و MSB-2 ، بحيث تعمل ماكينتين منهم فقط وتترك الثالثة كاحتياطية .

2- فى حالة الأبراج العالية هذه فإن هناك عنصرين جديدين يكثر استخدامهما وهما :

الأول : هو نوع التكييف الذى يكون غالبا مكونا من Water Chillers ، وليس من وحدات خاصة بكل شقة ، وقد استخدم فى هذا المشروع وحدتين Water Chillers كبيرتين قدرة كل منها 104 kW لتغذية المبنى ، وهذا النوع من التكييف يكون أكثر كفاءة وأكثر اقتصاديا ، مع ملاحظة أن استهلاك الكهرباء الخاصة بهذه الوحدات سيكون محسوبا بعداد خاص للمبنى كله كوحدة واحدة ، وبالتالى لا يظهر حمل التكييف فى اللوحات الفرعية بالأدوار ، اللهم إلا وحدة A.H.U الخاصة بتحريك الهواء فى كل دور/مكتب فهى فقط التى ستظهر قدرتها ضمن أحمال اللوحات الفرعية . وسنحتاج بالمثل إلى عدادات عمومية للمصاعد والمضخات وذلك على خلاف المثال السابق الذى قدمنا فيه نموذجا لعمارة (الإسكان المتوسط) حيث وضع عداد خاص بكل شقة لقياس كافة الأحمال بما فيها التكييف . ويمكن الرجوع لنهاية الفصل الثالث لمزيد من المعلومات عن هذه النوعية من أجهزة التكييف .

الثانى : أن أحمال وحدات الـ Chillers وكذلك مكينات المصاعد موجودة فوق سطوح المبنى ، وهى أحمال ذات قدرة كهربية عالية ، و تحتاج لعدد كبير من الكابلات المتوازية التى تصعد من الدور الأرضى إلى السطوح ، مما يستلزم تخصيص مساحات لتركيب هذه الكابلات ، بالإضافة إلى عدم كفاءة هذا الأسلوب

، ومن ثم فالأفضل فى هذه الحالة استخدام الـ Bus Duct فقط لتغذية هذه المجموعة من الأحمال . وبما أنه عمليا لا يفضل استخدم نوعين من الموصلات (كابلات و Bus Duct) فى وقت واحد ومن ثم فإنه يفضل استخدام نظام الـ Bus Duct لكافة الأحمال بالمبنى بما في ذلك اللوحات الفرعية بكل دور ، وهذا يعنى أننا إذا حسمنا المقارنة بين خيار الكابلات و خيار الـ Bus Duct لصالح الـ Bus Duct وهذا يعنى أننا سنستخدم Bus Duct رئيسى يتفرع منه عند كل دور (بواسطة Tap-off) كابل فرعى لتغذية اللوحة الفرعية الخاصة بالدور .

3- يفضل دائما عند رسم المخططات (كما فى الأشكال السابقة) أن تظهر على هذه المخططات أكبر قدر من المعلومات من قبيل حمل اللوحة الفرعية ، و مكان تثبيتها ، و تفاصيل الكابلات ، و الـ CBs المستخدمة مع اللوحات .

وملحق-4 بهذا الكتاب يشتمل على الأحمال التفصيلية لكل لوحة من اللوحات الفرعية التى تتغذى من اللوحات العمومية السابقة ، فيحسن مراجعته.

5-9-1 أحمال الشتاء والصيف

فى بعض المبانى المميزة مثل البنوك والمكاتب الهامة يعمل التكييف صيفا على البارد و يعمل على الساخن شتاء ، وبالطبع فالحمل فى الحالتين غير متساوى ، وفى هذه الحالة يجب أن يحسب إجمالى أحمال اللوحات العمومية فى الصيف ، وإجمالى الأحمال فى الشتاء ، ويؤخذ الأكبر منهما عند حساب الحمل الكلى (وهو بالطبع حمل الصيف لأن قدرة Compressor التبريد تكون دائما أعلى من قدرة السخان المستخدم فى التسخين فى الشتاء). ولكن هذا لا يعنى أن أحمال الصيف دائما أكبر من أحمال الشتاء لأن هناك أحمالا أخرى تكون فى الشتاء أكبر منها فى الصيف مثل أحمال سخانات المياه ، فهى تضاف بنسبة 80% فى الشتاء ، بينما تضاف بنسبة 30% فقط فى الصيف . أيضا هناك الدفايات تضاف فقط فى الشتاء إذا لم يكن هناك تكييف ساخن . أما بقية الأحمال مثل الإنارة والمخارج العامة فهى ثابتة صيفا وشتاء دون تغيير ، ولذا يحسن أن يتم عمل جدول لتحليل الأحمال صيفا وشتاء للوصول للأكبر منهما.

5-9-2 تحميل الزائد للمحولات العمومية

الأصل أنه يجب دائما مراعاة ألا يتم تحميل المحول بأكثر من 80% من قدرته الاسمية. والأصل أيضا أن يتم تقدير سعة المحولات بناء على هذه القاعدة كما فى المثال التالى:

مثال 5-6:

مبنى إدارى مساحته 1500 متر مربع ومكون من 30 طابقاً. والمطلوب تحديد سعة محول التوزيع المناسب لهذا المبنى مع عدم السماح بالتحميل الزائد.

الحل:

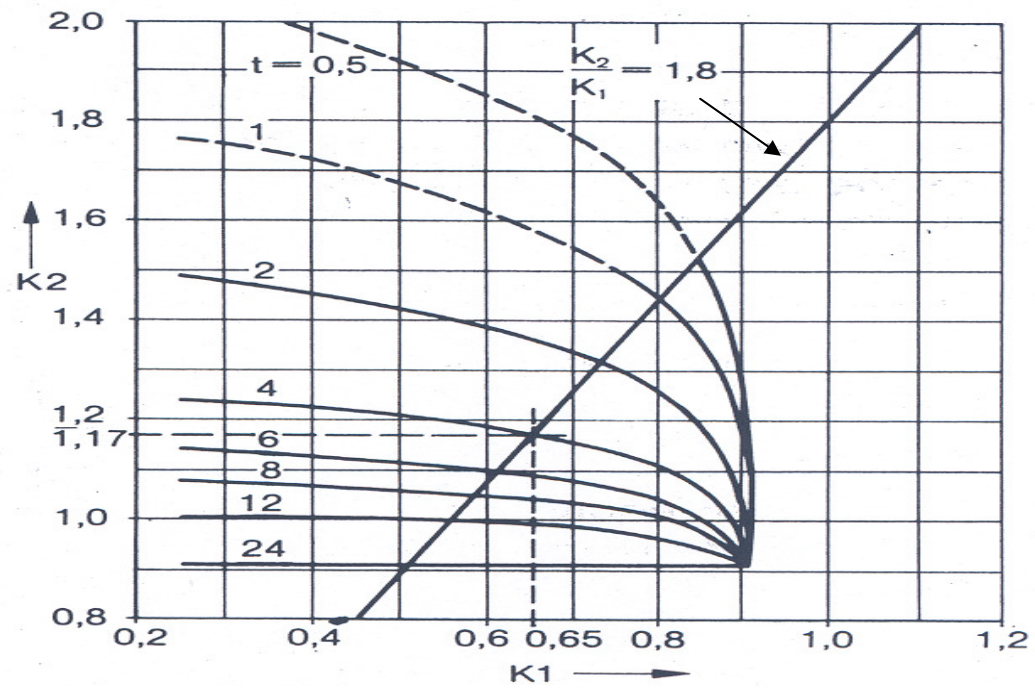
على اعتبار أن الحمل فى المبانى الإدارية يساوى 12 ك.ف.أ / 100م^2

$$\text{الحمل الأقصى للمبنى} = \frac{1500}{100} \times 12 \times 30 = 5.4 \text{ م.ف.أ}$$

$$\text{حمل المحولات} = \frac{5.4}{0.8} = 6.75 \text{ م.ف.أ وعلى أساس التحميل 80٪ من سعة المحولات}$$

أقرب عدد من المحولات المقننة هو 5 محولات قدرة كل منها 1.5 م.ف.أ = إجمالياً 7.5 م.ف.أ

إلا أنه فى الواقع العملى تجد هناك ظروفا تضطرك لتحميل المحول فوق هذه القدرة ، وقد وضعت شركات تصنيع المحولات شروطا لذلك حفاظا على المحول من التلف. ومن ثم يمكن تحميل المحولات بقدرة أكثر من السعة الاسمية للمحول وذلك بالاستعانة بالمنحنيات شكل 5-11 ، و التي تمثل العلاقة بين **التحميل المعتاد** للمحول كنسبة من السعة الاسمية (k1) ، و **التحميل الزائد** للمحول المسموح به كنسبة أيضا من السعة الاسمية (k2) و ذلك لعدد ساعات معينة ، في درجة حرارة 30° مئوية.



شكل 5-11 : منحنيات التحميل الزائد لمحولات التوزيع في درجة حرارة 30 درجة مئوية

حيث:

k_1 = الحمل المعتاد كنسبة من السعة الاسمية

k_2 = الحمل الزائد المسموح به كنسبة من السعة الاسمية

t = فترة التحميل الزائد (ساعة).

مثال 5-7 :

محول سعته الاسمية 1250 ك.ف.أ، و الحمل المعتاد لهذا المحول هو 750 ك.ف.أ، فما هـو أقصى تحميل زائد مسمـوح به لمدة أربعة ساعات، و ذلك في درجـة حـرارة 30° مئوية؟

من الشكل 5-11 :

$$k_1 = \frac{750}{1250} = 0.6 \; ; \; t = 4h$$

$$\therefore k_2 = 1.19$$

وبذلك يكون أقصي تحميل زائد مسموح به لمدة أربعة ساعات هو:

$$S_2 = k_2 * S_N = 1.19 * 1250 = 1487.5 \; kVA$$

مثال 5-8 :

المطلوب تحديد سعة محول توزيع بنظام تبريد ONAN علما بأنه سيتم تحميله بحمل قيمته 450 ك.ف.أ لمدة أربع ساعات ، وحمل طبيعى قيمته 250 ك.ف.أ لمدة العشرين ساعة الباقية.

$S_1 = 250 \; kVA \quad , \quad t_1 = 20h$

$S_2 = 450 \; kVA \quad , \quad t_2 = 4h$

$S_2 / S_1 = 450 / 250 = 1.8 = k_2 / k_1$

من الشكـل 5-11 يرسم الخط $k_2 / k_1 = 1.8$ ويمر بنقطة الأصل ; وتقاطعه مع المنحنى $t = 4h$ ، فإن النسب k_1 ، k_2 تكون على النحو التالى : $k_1 = 0.633$, $k_2 = 1.14$
ومن ثم يجب أن تحقق السعة الإسمية لهذا المحول S_N المعادلة التالية

$$S_N = \frac{S_1}{K_1} = \frac{S_2}{K_2}$$

$$S_N = \frac{450}{1.14} = \frac{250}{0.633} = 394.9\ KVA$$

ولذا فإن المحول المناسب هو محول سعته 400 ك.ف.أ.

5-9-3 الشكل النهائى للوحات التوزيع العمومية

نختم الجزء الثانى من هذا الكتاب بعرض نموذج مميز للوحة توزيع عمومية فى أحد المشروعات الكبرى كما فى الجدول 5-12 . و تظهر فى هذه الجدول العديد من المعلومات عن أسماء اللوحات التى تغذى من هذه اللوحة ، ومعلومات عن كابل التغذية لكل لوحة والقاطع المخصص لها ، و مواصفات BBs اللوحة ، والعديد من المعلومات الأخرى المفيدة.

جدول 5-12 : نموذج للمعلومات المدونة فى إحدى اللوحات العمومية

SWITCHBOARD SCHEDULE SL4B1

HORIZ. BUS : 4000 AMP/ VERT. BUS : 3000 AMP | INTERRUPTING : 100,000 AIC | BRACING : 100,000 AIC | VOLTAGE : 380/220 VOLTS, 3 PHASE, 4 WIRE

COMPT. NO.	EQUIP. DESIGNATION	FEEDER						DISCONNECT DEVICE				NOTES
		NO. OF SETS	NO.COND. PER SET	WIRE SIZE	GND. COND.	CONDUIT NO.	CONDUIT SIZE	NO. POLES	DEVICE TYPE	AF/AT	TRIP FUNCTION	
①	TIE BREAKER		-	-	-	-	-	3	CB	4000/4000	LSG	KIRK KEY INTERLOCK
②	MAIN BREAKER	-	-	-	-	12	4"	3	CB	4000/4000	LSG	KIRK KEY INTERLOCK ②E16
③	P/BD. LL4E1	1	4	500KCM	3	1	3 ½"	3	CB	400/350	LSI	
④	P/BD. PL4B1	1	4	350KCM	3	1	3"	3	CB	400/300	LSI	
⑤	P/BD. PL4B3	1	4	500KCM	3	1	3 ½"	3	CB	400/400	LSI	
⑥	MCC-CL4B3	2	4	500KCM	1/0	2	4"	3	CB	800/800	LSI	
⑦	P/BD. LL4B4	1	4	3/0	8	1	1¼"	3	CB	250/100	LSI	
⑧	MCC-CL4B2	2	4	500KCM	1/0	2	4"	3	CB	800/800	LSI	
⑨	P/BD. LL4B1	1	4	3	8	1	1¼"	3	CB	250/100	LSI	
⑩	P/BD. PL4B2	2	4	350KCM	1	2	3"	3	CB	600/600	LSI	
⑪	MAIN BREAKER	-	-	-	-	12	4"	3	CB	4000/4000	LSG	KIRK KEY INTERLOCK ②E16
⑫	MCC-CL4B1	4	4	350KCM	3/0	4	3"	3	CB	1200/1200	LSI	
⑬	P/BD. LL4B3	1	4	3	8	1	1¼"	3	CB	250/100	LSI	
⑭	SWBD. SL4B2	4	4	350KCM	3/0	4	3"	3	CB	1200/1200	LSI	
⑮	P/BD. LL4B2	1	4	1/0	6	1	2"	3	CB	250/150	LSI	
⑯	SPARE	-	-	-	-	-	-	-	-	250/250	LSI	
⑰	MCC-ML4B1	1	4	500KCM	3	1	3"	3	CB	400/350	LSGI	
⑱	MCC-ML4E1	1	4	250KCM	4	1	3"	3	CB	400/250	LSGI	
⑲	EXIST. EQUIP. "J", ROOM B129	1	4	500KCM	3	1	3 ½"	3	CB	400/350	LSI	
⑳	EXIST. EQUIP. "J", ROOM B129	1	4	500KCM	3	1	3 ½"	3	CB	400/350	LSI	
㉑	SPARE		-	-	-	-	-	-	-	250/250	LSI	
㉒	P/BD. PL4B4	1	4	350KCM	3	1	3"	3	CB	400/300	LSI	
㉓	P/BD. PL4B5	1	4	250KCM	3	1	3"	3	CB	400/250	LSI	

الجزء الثالث : تصميم شبكات التغذية العامة

10-5 أمثلة لربط المشاريع بالشبكة الكهربية العامة

بعد الانتهاء من تصميم اللوحات العمومية تكون قد بقيت خطوة أخيرة وهى تصميم شبكة التغذية التى تربط كافة اللوحات العمومية فى المشروع بشبكة المدينة التى يقع بها المشروع. وتختلف طريقة ربط المشروع بالشبكة العمومية للمدينة حسب القدرة الإجمالية للمشروع. وفى الأجزاء التالية سنتعرف على أشهر هذه الطرق.

5-10-1 مشروع مكون من محول واحد MVA1

فى هذه الحالة تتم تغذية المشروع من خلال Ring Main Unit (RMU) واحدة. (راجع الفصل الثانى لمزيد من المعلومات عن هذه اللوحة)

وحيث أن هذه اللوحة هى أقرب نقطة فى منظومة التوزيع إلى مصادر التغذية ومن ثم فيجب أن نتوقع أن يكون مستوى القصر Short Circuit Level لمكونات هذه اللوحة مرتفعا (قد يصل إلى 65 kA). والشكل 5-12 يوضح مخطط لتغذية أحمال من محول واحد بقدرة واحد ميجا.

لاحظ أن الـ CB فى الجانب الآخر من المحول Low Voltage Side قيمته المقننة (الـ Rated) تساوى

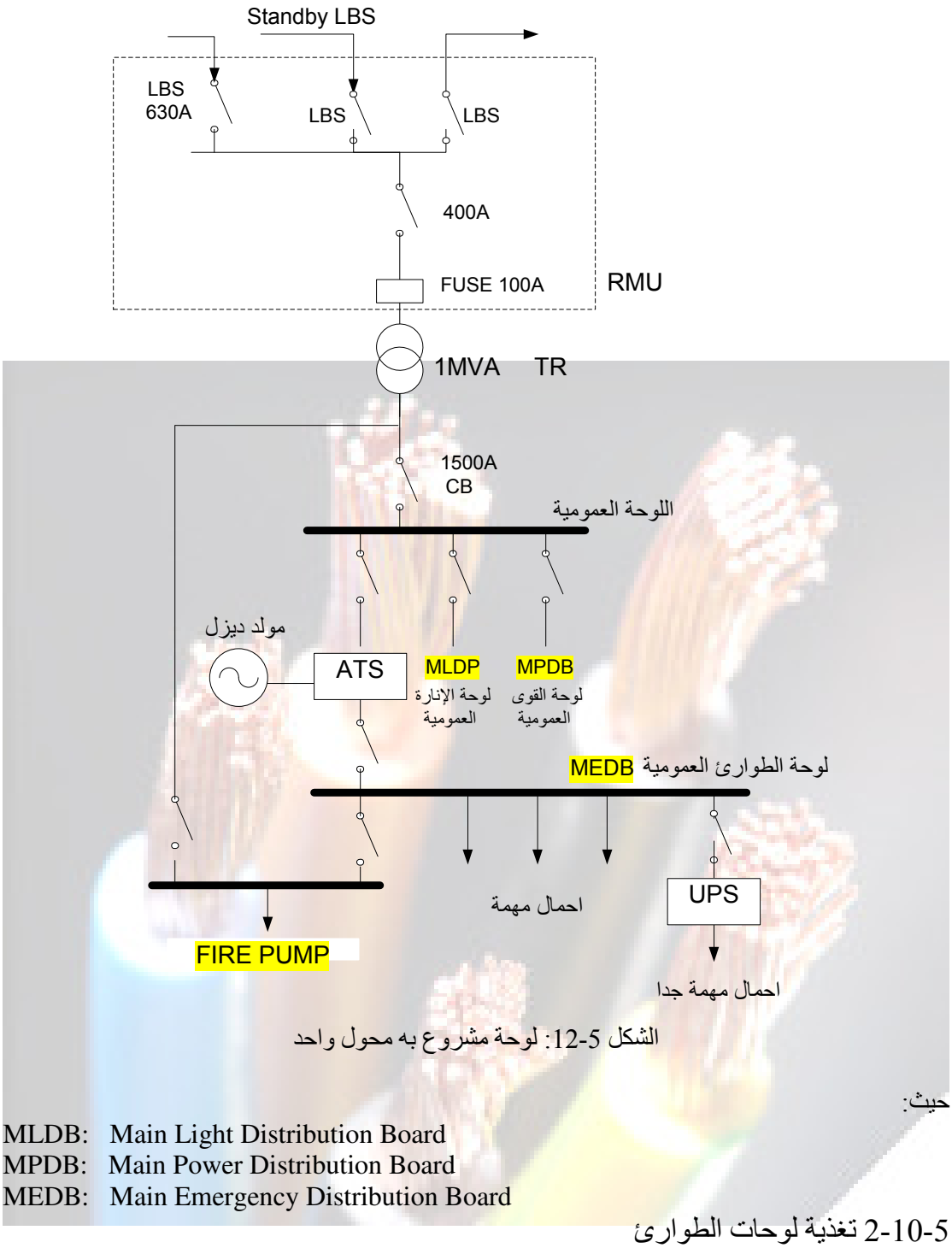
$$\left(\frac{1000000}{\sqrt{3}\times 380}\right) = 1500A$$

لاحظ أن:

لوحة القوى الرئيسية MPDB (تتجمع عليها كافة لوحات القوى بالمبنى) .
لوحة الإنارة الرئيسية MLDB (تتجمع عليها كافة لوحات الإنارة بالمبنى) .
لوحة الطوارئ الرئيسية MEDB (تتجمع عليها كافة لوحات الطوارئ بالمبنى) .
لوحة التكييف الرئيسية MACDB (تتجمع عليها كافة لوحات التكييف بالمبنى) .

ملاحظات:

1- نظرا لصغر المشروع فإن جميع اللوحات العمومية يمكن تغذيتها من BB واحد كما فى الشكل السابق.
2- لوحات الأحمال الهامة (أحمال الطوارئ) يتم تجميعها على لوحة طوارئ رئيسية MEDB ثم يتم تغذيتها من خلال ATS كما فى الشكل 5-12.
3- الأحمال الهامة جدا والحساسة لأدنى انقطاع فى الكهرباء Critical Loads يتم تغذيتها من خلال UPS الذى يتغذى بدوره من ATS .
4- لوحة التغذية الخاصة بمضخة إطفاء الحريق تتغذى من كابلين دخول :أحدهما من خلال ATS ، والثانى من المحول مباشرة (وقبل الـ CB الرئيسى من اللوحة العمومية) ، وذلك لضمان استمرارية التغذية بأعلى درجة ممكنة.



الشكل 5-12: لوحة مشروع به محول واحد

حيث:

MLDB: Main Light Distribution Board
MPDB: Main Power Distribution Board
MEDB: Main Emergency Distribution Board

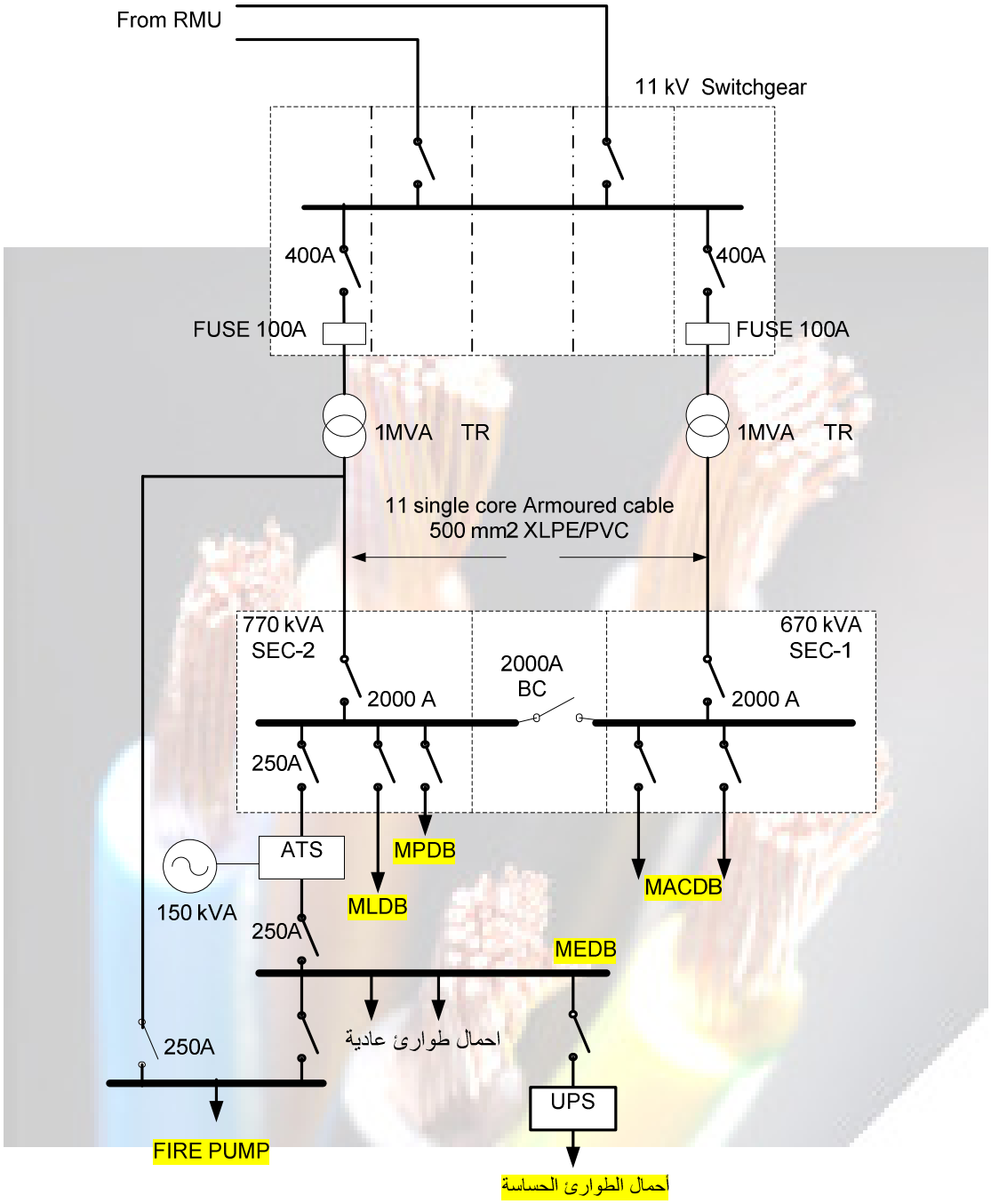
5-10-2 تغذية لوحات الطوارئ

لوحات الطوارئ هى لوحات تتبع نفس قواعد التصميم العادية لكنها فقط تتميز بأن جميع الدوائر الفرعية فى اللوحة تغذى أحمالا مهمة كما أن التغذية العمومية للوحة تتم بطريقة مميزة عن التغذية العمومية للوحات العادية. على سبيل المثال فالدوائر الخاصة بإنارة الممرات مثلا لا تغذى من اللوحات العادية بل تغذى من لوحة الطوارئ MEDB ، وهذه اللوحة تغذى من خلال ما يعرف بـ ATS (راجع تفاصيل هذه اللوحة بالفصل الثانى من هذا الكتاب) . ومن لوحة الـ (MEDB) يتم تغذية الأحمال الأكثر أهمية وحساسية عن طريق الـ UPS الذى يغذى من إحدى الدوائر فى لوحة الـ MEDB .

5-10-3 مشروع مكون من محولين

يتم هنا تقسيم الـ BB إلى جزأين ويتم الربط بينهما بواسطة Bus Coupler, BC كما فى الشكل 5-13. لاحظ أن من ميزات هذا الأسلوب ضمان استمرارية الخدمة حتى مع خروج أى من المحولين ، وذلك لوجود دائرة

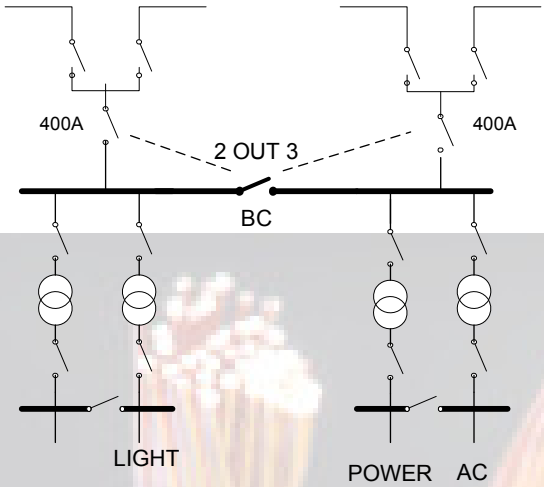
تسمى Two out of Three وظيفتها أن تضمن وجود اثنين من الـ CBs فقط فى الخدمة من بين الثلاثة قواطع (CB-1, CB-2 , BC) . لاحظ هنا أن الربط تم فى جهة الجهد المنخفض للمحول ليسهل تنفيذ دائرة التحكم (2 out of 3) السابق ذكرها.



شكل 5-13: مشروع تغذيته من محولين

5-10-4 مشروع مكون من أربعة محولات

لاحظ فى هذا الأسلوب الجديد المبين فى الشكل 5-14 أن الربط قد تم فى جهة الجهد المتوسط للمحول وليس فى جهة الجهد المنخفض ، وهذا يعطى ميزة جديدة وهى أن المجموعة اليمنى لا تعتبر على التوازى مع المجموعة اليسرى ، وهذا يعنى أن مستوى تيار القصر لن يرتفع.



شكل 5-14: مشروع به أربع محولات

5-11 ربط مجمع سكنى فاخر بالشبكة العامة

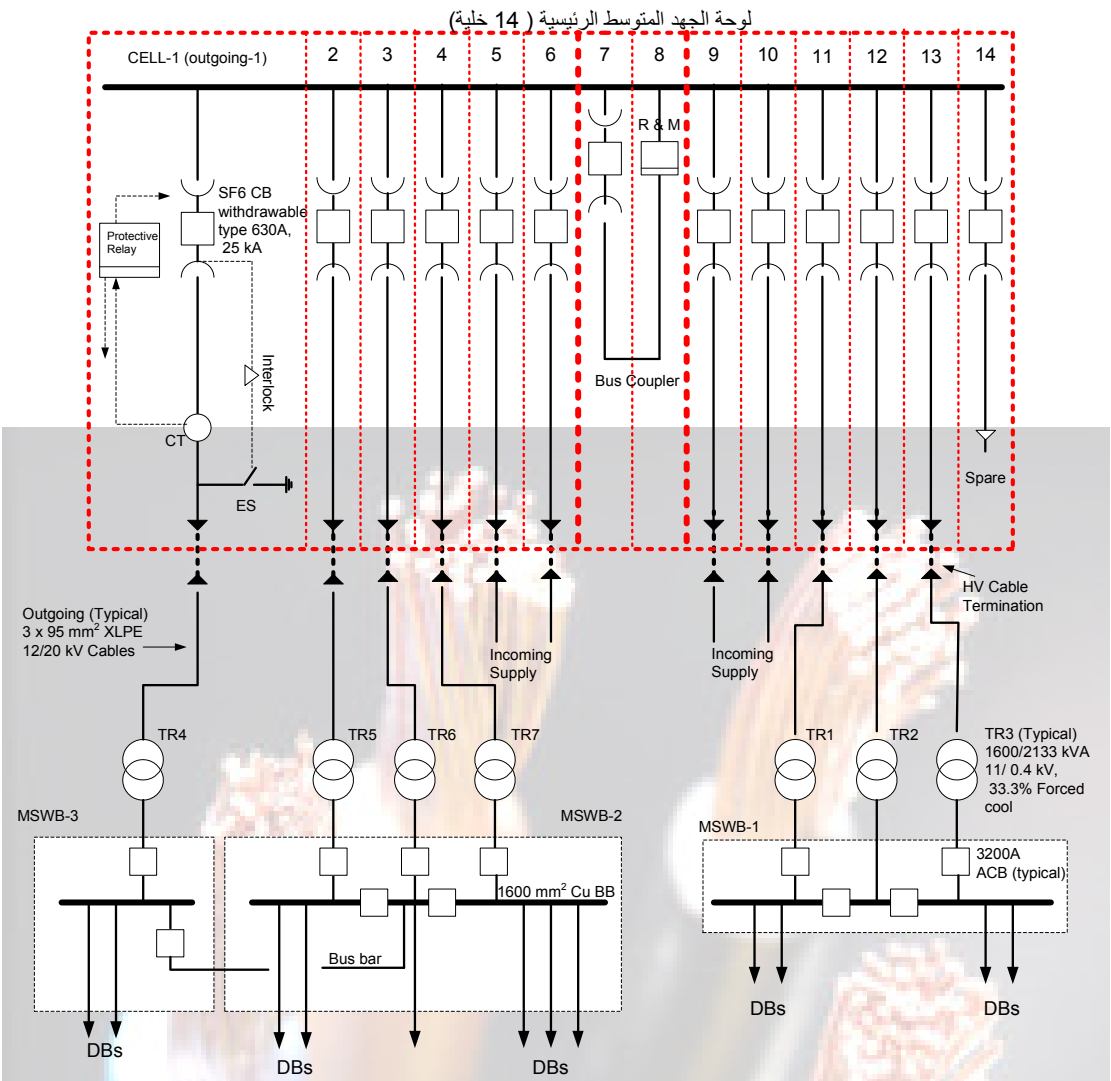
نعرض هنا مثالا لتغذية اللوحات العمومية الخاصة بأحد المجمعات السكنية الفاخرة . وبالطبع كما أشرنا فى مقدمة الفصل فإننا لن نستطيع شرح كافة التفاصيل الخاصة بالمشروع لكننا سنركز فقط على بعض النقاط الهامة والمميزة للمشروع خاصة تلك التى لم يتم التعرض لها فى الأمثلة السابقة . وفى هذا المثال سنركز فقط على ربط المشروع بالشبكة العامة من خلال لوحة الجهد المتوسط .

و قد قدر الحمل الكلى لهذا المجمع بسبع محولات (TR1 to TR7) ، قدرة كل منهم 1600 kVA ، وجميعهم من النوع الجاف Dry Type . واختير هذا النوع لأنه يمكن زيادة قدرة كل محول منهم بنسبة 33% وذلك بعمل تبريد قسرى للمحول Forced Cooling بواسطة مراوح ، ومن ثم يمكن أن نرفع القدرة المقننة لكل محول من 1600 kVA إلى 2133 kVA كما هو واضح على المخطط العمومى المرسوم فى الشكل 5-15.

لاحظ هنا أننا احتجنا إلى لوحة جهد متوسط ضخمة (فلم يعد ممكنا مجرد ربط المحول بواسطة RMU كما فى الأمثلة السابقة) بل استلزم الأمر هذه اللوحة المكونة من 14 خلية متشابهة (رسمت الخلية الأولى فقط بالتفصيل فى الشكل) . وقسمت اللوحة إلى جزأين بينهما Bus Coupler :

- فى الجزء الأول (الخلايا من رقم 1 إلى رقم 6) يوجد خليتين لدخول كابلات التغذية Incoming Supply (هما الخلية 5 والخلية 6) ، ويوجد أيضا أربعة خلايا (الخلايا من 1إلى 4) لخروج كابلات المحولات Outgoing Feeders .
- أما الجزء الثانى (الخلايا من 9 إلى 14) ففيه خليتين للدخول (9 و 10) ، وثلاثة خلايا للخروج (11و 12و13) ، بالإضافة إلى خلية احتياطية (الخلية 14) . ويوجد بين الجزأين خليتين (7 و 8) لوحدة الربط Bus Coupler بين الجزأين .

وتغذى لوحة الجهد المتوسط السابقة ثلاثة لوحات عمومية رئيسية هى : MSWB-1 ، و MSWB-2 ، و MSWB-3 .



شكل 5-15 : مخطط الشبكة الرئيسية لمجمع سكنى فاخر

لاحظ فى اللوحة العمومية الرئيسية الأولى (MSWB-1) وجود 4 قواطع من النوع Air-CB بتيار مقنن 3200A ، هذه الـ CBs الأربعة ترتبط بلوحة للتحكم فيها بحيث نضمن أن المحول الثانى TR2 يمكنه أن يحل محل أيا من المحولين TR1 أو TR3 . فالقاطعين CB-3 و CB-4 فى الأصل يكونا مفتوحين (Normally Open) فإذا خرج المحول TR1 لأى سبب من الأسباب فإن CB-3 يغلق أتوماتيكيا ومن ثم تنتقل تغذية أحمال المحول الأول TR1 إلى المحول الاحتياطى TR2 . وبالمثل إذا خرج المحول TR3 فإن CB-4 يغلق أتوماتيكيا و ينتقل حمله إلى TR-2 .

لاحظ أن المحول TR6 فى اللوحة الرئيسية الثانية (MSWB-2) يقوم بنفس المهمة التى يقوم بها TR2، فهو محول احتياطى للمحولين TR5 وTR7 ، و تضاف إليه هنا مهمة جديدة فهو يعتبر أيضا احتياطي للمحول TR4 الموجود فى اللوحة العمومية الثالثة ، من خلال ربط اللوحتين MSWB-3 و MSWB-2 بواسطة Bus Bar كما فى الشكل.

12-5 تغذية كبار المستهلكين

فى حالة كون مجموع الأحمال بالمشروع كبيرا (غالبا أكبر من 5 ميجا) فإن أسلوب استخدام الـ RMU يصبح غير ملائم ، وفى هذه الحالة يتم تغذية المشروع من لوحة جهد متوسط خاصة بالمشروع فقط ، حيث تكون متصلة مباشرة بمحطة التغذية الرئيسية بالمدينة (جهد 66/11 kV) كما سبق أن ذكرنا فى المثال الخاص بالمجمع السكنى الفاخر ، سيتضح بدرجة أكبر فى المثال التالى الخاص بمنطقة صناعية.

مثال 5-9

المطلوب تغذية مصنعين أحمالهما كما يلى:

المصنع الأول (مكون من مبنيين):

مبنى-1: 3.34 MVA

مبنى -2 : 1.66 MVA

المصنع الثانى(مكون من مبنيين):

مبنى -3 : 1.33 MVA

مبنى -4 : 2.66 MVA

علما بأن المصنع الأول يقع بالقرب من محطة التغذية الرئيسية بالمدينة ، ومن ثم ستتم استقبال التغذية الرئيسية عليه أولا ثم يتم تغذية المصنع الثانى من خلال المصنع الأول.

5-12-1 التغذية المقترحة للمصنع

الخطوة الأولى أن تتم دراسة وضع الأحمال فى محطات الـ 66/11 القريبة من موقع المشروع ، بحيث يتم تحديد عدد الخلايا الغير مستخدمة فى كل محطة ، و تحديد الأحمال التى تغذى من كل محطة وحجم القدرة الـ Spare المتاحة فى كل منها.

وقد اقترح فى هذا المشروع تغذية اللوحة الرئيسية للمصنعين والموجودة بالمصنع الأول من أقرب محطة المحولات جهد 66/11 (اسم المحطة هو S4 وهى محطة يبلغ الحمل الأقصى لها 4 x 25 MVA ويبلغ مجموع الأحمال الفعلية عليها حوالى 20 MVA فقط ، ومن ثم فهى مناسبة لتغذية المصنعين). وهذه اللوحة تظهر فى الجزء العلوى من الشكل 5-16 .

الخطوة الثانية بعد تحديد محطة معينة ، هى اختيار مقطع وعدد الكابلات التى تصل بين محطة التغذية الرئيسية والمصنع.

الخطوة الثالثة هى قياس المسافة بين محطة التغذية والمصنع تمهيدا لحسابات الـ Short Circuit وحسابات الـ Voltage Drop علما بأننا لن نتوقف كثيرا عند هذه الحسابات التى درست تفصيليا فى الفصل الرابع . وسنركز هنا فقط على **شكل التغذية** وليس على طرق الحسابات ، لكن معظم الحسابات خاصة بالنسبة لاختيار الكابلات يمكن التأكد منها بتطبيق نفس القواعد السابق دراستها.

5-12-2 المهمات اللازمة لتغذية المصنع

أهم المعدات اللازمة لتغذية المصنع هى (انظر الشكل 5-16) :

1- لوحة التوزيع الرئيسية (المصنع الأول) ، وتشتمل على 11 خلية:

- عدد 3 خلية دخول خاصة بالتغذية من محطة المحولات S4
- عدد 2 خلية خاصة برابط القضبان bus coupler.
- عدد 4 خلايا لتغذية المحولات (منهم واحد احتياطى).
- عدد 2 خلية خروج لتغذية المصنع الثانى .

بالإضافة إلى عدد 4 محولات سعة 2000 MVA جهد 11 / 0.4 kV (منهم واحد احتياطى) تغذى جميعا من اللوحة.

2- لوحة التوزيع الفرعية (بالمصنع الثانى) ، وتشتمل على 7 خلايا :

- عدد 2 خلية دخول .
- عدد 2 خلية خاصة برابط القضبان .
- عدد 3 خلية خروج لتغذية المحولات .

بالإضافة إلى عدد 3 محول سعة 200 kVA جهد 11/0.4 kV تغذى جميعا من اللوحة.

3- كابلات نحاس مفرد Single core مسلح ذو مقطع 400 مم (**XLPE**) جهد 20/12 kV من محطة محولات (S4) حتى لوحة التوزيع الرئيسية بالمصنع الأول. (لاحظ أن هذا المقطع لا يناسبه استخدام الكابلات الـ Multi-core لصعوبة تمديده وتصنيعه).

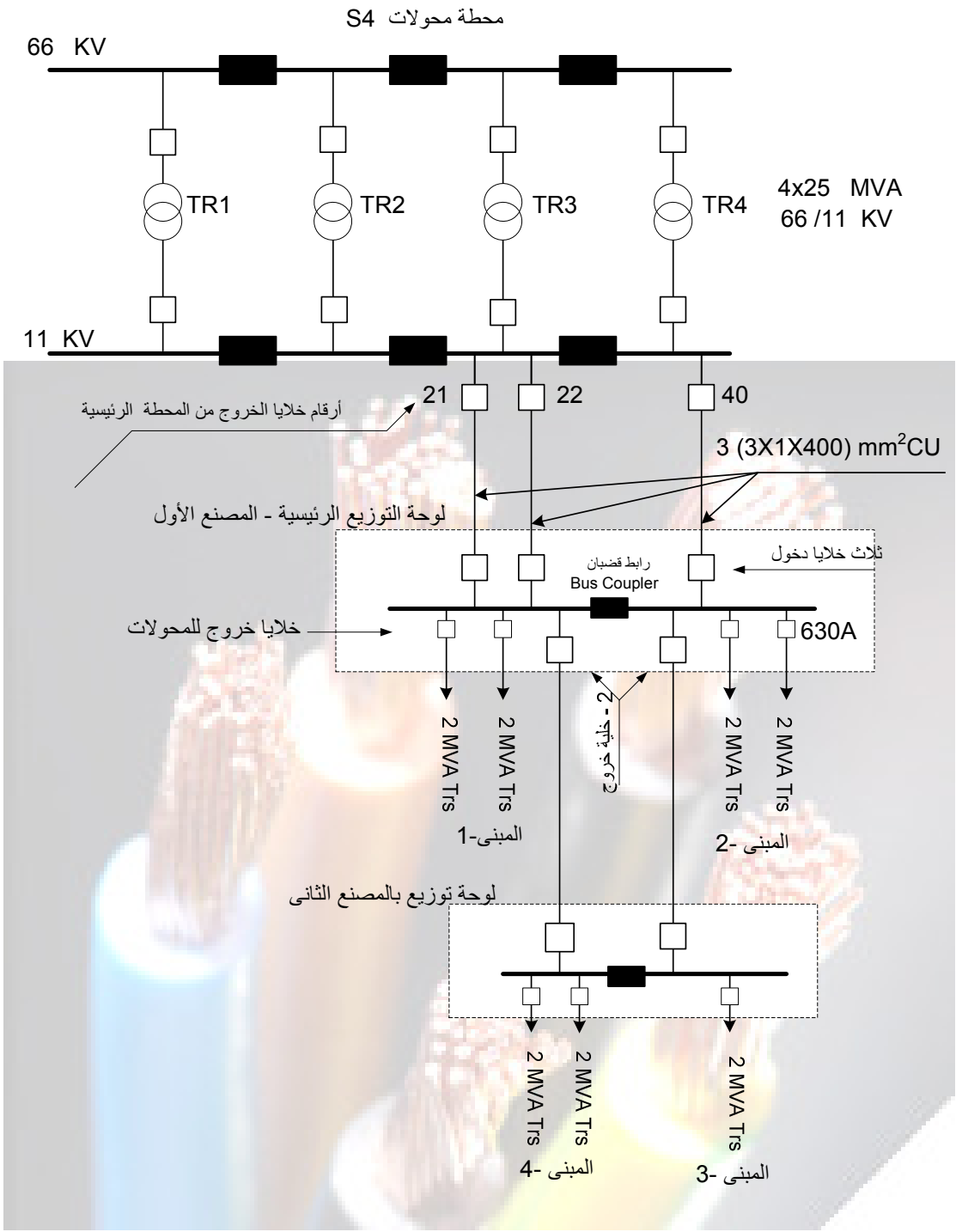
4- **كابلات نحاس مسلحة قطاع 3 x 240 مم2 (XLPE)** جهد 20/12 ك .ف وذلك لتغذية لوحة التوزيع بالمصنع الثانى من اللوحة الرئيسية بالمصنع الأول . (لاحظ أن قيمة الجهد للكابل لا تعنى جهد التشغيل بل فقط تعنى أقصى جهد يتحمله وهو يساوى هنا 20 kV) .
5- **كابلات نحاسية قطاع 3 x 95 مم2 (XLPE)** جهد 20/12 ك.ف. وذلك لتغذية المحولات الرئيسية من لوحات التوزيع بالمصنعين .

ملحوظة :

النتائج الخاصة بحسابات الهبوط فى الجهد وحسابات القصر كانت كما يلى:

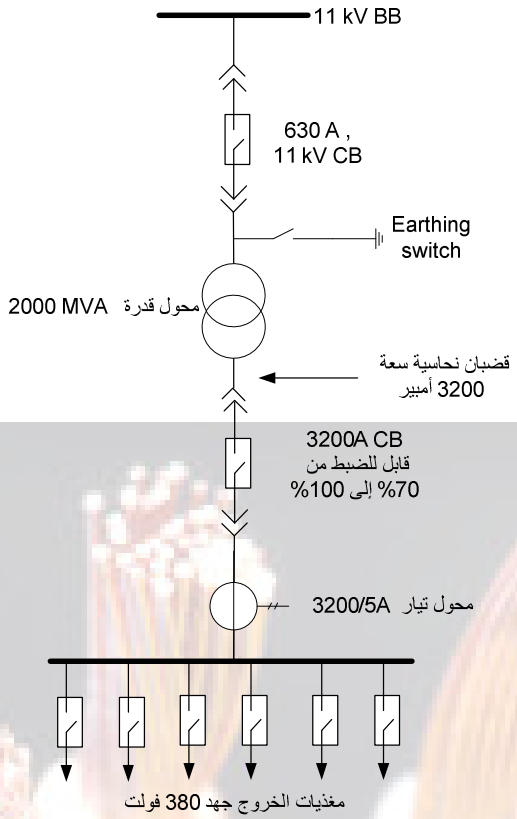
- أقصى هبوط فى الجهد فى التحميل العادى يساوى 0.5% وفى التشغيل الاضطرارى يساوى 1.43%.
- أقصى تيار قصر متوقع عند قضبان التوزيع 11kV المغذية للمصنع الأول تصل إلى (7.9 kA = 150 MVA) وهى أقل من سعة القطع SCC للـ CBs المركبة على الـ BBs المغذي منها المصنع الأول.

والشكل 5-16 يمثل مخطط تغذية المصنعين بالطاقة الكهربية.



شكل 5-16 : تغذية كبار المستهلكين

كما يمثل الشكل 5-17 نموذجا للوحة أحد المحولات قدرة 2MVA المستخدمة بالمصنعين.



شكل 5-17 تفاصيل لوحة أحد المحولات بالمشروع

الفصل السادس
نظم التأريض

6

الفصل السادس

نظم التأريض

تنص كافة الأنظمة الكهربائية وتعليمات السلامة على وجوب التأريض فى المبانى ، و ذلك لأهميته الهائلة في حماية الإنسان ووقايته من الصدمات الكهربائية المحتملة بسبب الأخطاء التصميمية أو التشغيلية أو العوامل الجوية أو انهيار العزل.

فمن المعلوم أن الموصلات الحية (Live Conductors) فى المنظومة الكهربائية تحمل عادة جهدا كهربائيا خلال التشغيل العادى ، أما الأجزاء المعدنية الأخرى كهياكل الأجهزة الكهربائية فهي لا تحمل جهدا ، لكنها يمكن أن تكون ذات جهد مرتفع إذا انهار العزل بينها وبين الدوائر الكهربية التي بداخلها ، مما يعرض المنشآت والعاملين إلى الخطر إن لم يتم اتخاذ إجراءات وقائية ، من بينها إيصال تلك الهياكل إلى الشبكة الأرضية ، وهذا النظام يعرف **بالتأريض**.

والتأريض هو اتصال الهياكل المعدنية للمعدات الكهربية (مثل هياكل و أجسام الآلات ، والمحركات ، و المحولات ، اللوحات الكهربية ، و حوامل الكابلات Cable Trays ، و أغلفة الكابلات المسلحة ، إلخ) بالإلكترود الأرضي ذى المقاومة المنخفضة قد التى تصل إلى أوم واحد من خلال سلك نحاسي معزول يعرف بموصل الأرضى Ground Wire.

وإحدى أهم غايات التأريض هو حماية الإنسان من الصدمات الكهربائية ، لأن التيار الكهربائي المتجمع على جسم الآلات يسلك الطريق الأسهل والأقل مقاومة ، وهذا الطريق الأسهل هو بالطبع خط الأرضى (المتصل بإلكترود التأريض) لأن مقاومته صغيرة جدا مقارنة بمقاومة الإنسان.

1-6 كيف تحدث الصدمة الكهربية؟

يمكن أن يصاب الشخص بصدمة كهربية مباشرة إذا لمس أى Phase ولمس فى نفس الوقت خط الـ Neutral فى منظومة 3-Phase system ، و يمكن أيضا أن يصاب بالصدمة المباشرة إذا لمس أى Two Phase من الـ 3-Phases .

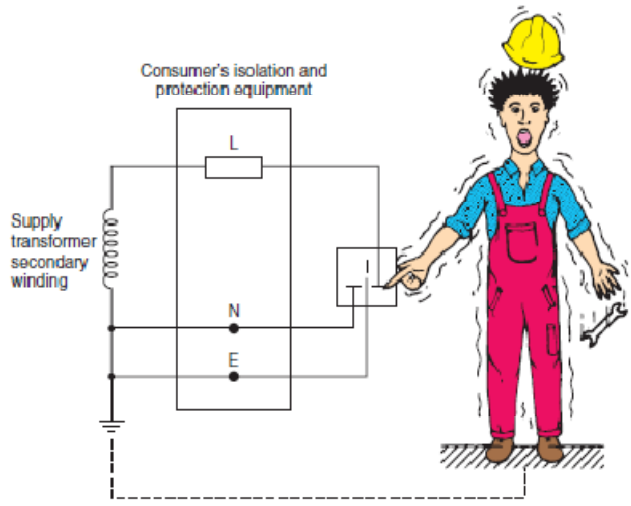
كما أنه يمكن أن يصاب بصدمة كهربية أى شخص يلمس فقط الطرف الحى (Live Conductors) فى أى دائرة كهربية جهدها V ، أو يلمس أى جسم معدني يحمل جهدا كهربيا قدره V ، بشرط أن يكون هذا الشخص متصلا بالأرض من خلال قدميه أو إحدى يديه أو أى جزء من جسده ، فعندئذ سيمر تيار كهربى فى جسد ذلك الإنسان كما فى الشكل 6-1 , وهى تعتبر فى هذه الحالة صدمة غير مباشرة لأنه لم يلمس السلكين (Phase + Neutral) مباشرة ، وبالطبع فالفرق بين الحالتين فقط فى التسمية أما التأثير فمتشابه.

وشدة التيار الذى يمر فى جسم هذا الشخص يحسب من قانون أوم :

$$I_{body} = \frac{V}{R_{body}}$$

حيث I_{body} هو شدة التيار خلال جسم الإنسان ، R_{body} هى مقاومة جسم هذا الإنسان.

لاحظ من الشكل 6-1 أن التيار قد أكمل دائرته ليس من خلال خط التعادل Neutral , N كما فى الظروف الطبيعية ، وإنما أكمل الدائرة من خلال جسم هذا الشخص ثم كتلة الأرض ومنها إلى المصدر مرة أخرى (Closed Loop) ، وبذلك تحقق الشرط الأساسى لمرور أى تيار فى جسم إنسان وهو : وجود فرق جهد على جسمه ، وكون جسمه ضمن المسار المغلق لمرور التيار .



شكل 6-1 : صدمة كهربية

لكن هل كل إنسان يلمس جسما مكهربا سيصاب حتما بصدمة كهربية ؟ وهل دائما هذه الصدمة مميتة ؟ وما هى العوامل التى تجعل الصدمة خطيرة ؟ . وباختصار ، **ما هو تأثير التيار الكهربى على جسم الإنسان ؟** .

6-2 تأثير التيار الكهربائي على جسم الإنسان

يسبب مرور التيار الكهربائي في جسم الإنسان آثارا حرارية وتحليلية وبيولوجية ، ويتمثل الأثر الحراري في الاحتراق الذي يصيب الأجزاء الخارجية للجسم بسبب سخونة الأوعية الدموية ، و يتمثل الأثر التحليلي في تحلل الدم و السوائل الحيوية الأخرى مما يؤدي إلى إتلاف تركيبها الفيزيائي والكيميائي ، و يتمثل الأثر البيولوجي في تهييج الأنسجة الحية الذي يمكن أن يترافق مع تقلصات تشنجية غير إرادية للعضلات بما فيها عضلات القلب و الرئتين ، مما يؤدي إلى تمزق الأنسجة و اختلال عمليتي التنفس ودورة الدم.
و تختلف شدة تلك الآثار ودرجة خطورتها تبعا لثلاثة عوامل رئيسية هي:

1. مسار التيار في جسم الإنسان.
2. شدة التيار المار في جسم المصاب.
3. الفترة التي يبقى المصاب خلالها تحت تأثير الصدمة الكهربية.

6-2-1 تأثير مسار التيار الكهربائي في الجسم

يتحدد مسار التيار الكهربائي في جسم الإنسان بمنطقتين (أو نقطتين) هما : مكان دخول التيار إلى جسم الإنسان ، ومكان خروج التيار من جسم الإنسان.
وقد يكون هذا المسار قصيرا (بين نقطتين على اليد أو القدم مثلا) ، أو قد يكون طويلا من يد إلى اليد الأخرى ، أو بين اليد و القدم . لكن المسار الأكثر خطورة هو من اليد إلى اليد الأخرى مرورا بالقلب حيث قد يسبب الوفاة الفورية . ولذا ينصح أحيانا بوضع اليد اليسرى فى جيب البنطلون وقت التعامل مع الأسلاك الكهربية الخطرة ، وهذا لن يمنع حدوث الصدمة إذا لامس الشخص سلكا مكشوفا لكن سيجعل مسار التيار لا يمر عبر القلب لوجود اليد اليسرى غير ملامسة لأى نقطة مؤرضة .

6-2-2 تأثير شدة التيار المار في الجسم

إن خطورة الكهرباء وآثارها على جسم الإنسان تزداد بازدياد شدة التيار المار فيه ، وتتحدد قيمة التيار الكهربائي المار في جسم الإنسان بعاملين :
الأول: جهد الموصل الذى لامسه الشخص ، حيث تتناسب خطورة الصدمة مع ارتفاع قيمة هذا الجهد .
الثانى : المقاومة الكهربائية لجسم الإنسان ، حيث تؤثر قيمتها مباشرة على شدة التيار ولكن بتناسب عكسي ، أي يكون تيار الإصابة كبيرا إذا كانت المقاومة الكهربائية لجسم الإنسان صغيرة ، والعكس بالعكس.
وتتأثر قيمة مقاومة جسم الإنسان بمدى رطوبة الجلد ، وسمك طبقة الجلد ، فتنخفض المقاومة بشدة إذا كان الجسم رطبا ، و ترتفع قيمتها إذا كان الجلد سميكا ، ولهذا فمقاومة الرجل دائما أعلى من مقاومة المرأة لأن جلده أسمك ، وبالتالى فالمرأة دائما أكثر عرضة للخطورة فى حالة الصدمات الكهربية من الرجل .
والقيم التقريبية التالية فى الجدول 6-1 تبين المدى الذى يسبب خطورة قيمة شدة التيار على الإنسان .

جدول 6-1 : خطورة الصدمة حسب قيمة التيار

شدة التيار (مللى أمبير)	التأثير على الإنسان
10-0	**لا يشعر به الإنسان .**
50-10	**يشعر الإنسان بالتيار ويصاب برعشة (تقلص فى العضلات) تأخذه فى الغالب بعيدا عن مصدر الصدمة الكهربية.**
100-50	**يتوقف مركز رد الفعل اللا إرادى بالمخ مما يترتب عليه عجز الشخص عن تخليص نفسه من الدائرة.**
150-100	**موت إكلنيكى (يمكن إنقاذ الشخص بإجراءات التنفس الصناعى CPR**
200-150	**موت محقق .**
أكثر من 200	**احتراق الجسم .**

6-2-3 تأثير زمن مرور التيار في الجسم

العامل الثالث المؤثر على خطورة الصدمة هو مدة سريان التيار فى الجسم ، فالتيار الصغير إذا استمر فى المرور بالجسم لمدة طويلة ربما يصبح أكثر خطورة من التيار المرتفع الذى يمر لبرهة قصيرة فقط .
والجدول 6-2 يبرز علاقة شدة التيار وخطورته بمدة مروره .

جدول 6-2: خطورة الصدمة حسب زمن مرور التيار

أقصى التيار (مللى أمبير)	مدة السريان	التأثير البيولوجى
0 – 0.5	مستمر	ليس له تأثير
0.5 - 5	مستمر	يشعر به الإنسان لكنه يمكنه التخلص من الدائرة
5- 30	دقائق	يصعب الانفصال عن مصدر الكهرباء
30 - 50	ثوانى	عدم انتظام ضربات القلب – إغماء
أكثر من عدة مئات	أكثر من 20 مللى ثانية	إغماء – موت

وهناك معادلة تقريبية لحساب أقصى تيار آمن (I) خلال فترة زمنية معينة (t) :

$$I = \frac{116\ mA}{\sqrt{t}}$$

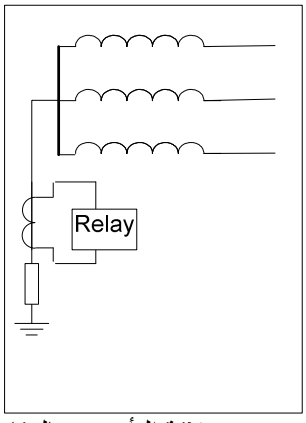
فعلى سبيل المثال يمكن من المعادلة السابقة أن نقول أن أقصى تيار **آمن** يمر فى جسم شخص لمدة 100 ثانية هو 11.6 مللى أمبير.
ولتلافي الآثار الناجمة عن مرور التيار الكهربائي في جسم الإنسان فإن هناك أمرين مهمين يجب مراعاتهما لمواجهة مخاطر **الصدمة** الكهربائية :

- الأول هو العزل الكهربائي ، بمعنى أن يقف الإنسان دائما على شيء عازل عند تعامله مع الدوائر الكهربية التى تحمل جهدا كبيرا ، أو يلبس فى يديه قفازا عازلا .
- والثاني هو التأريض ، وهو الموضوع الأساسى لهذا الفصل .

6-3 أهمية التأريض

قد يشعر الشخص العادي بعدم وجود أى تأثير للأرضي على المنظومات الكهربائية أو الأجهزة أثناء الظروف الطبيعية للتشغيل ، مما يعطي انطباعا خاطئا بأنه من الممكن فصل الأرضي بدون أي تأثيرات سلبية ، ونتيجة ذلك يبدو (ظاهريا فقط) بأن موضوع التأريض الجيد ليس ذا أهمية.

و الحقيقة أن تأثير الأرضى لا يظهر لغير المتخصص إلا عند حدوث مشاكل أو أعطال ، وربما لا تحدث هذه المشاكل لمدة طويلة مما يولد هذا الشعور الخاطئ بعدم أهمية الأرضى . ففى الشكل 6-2 لو أن نقطة التأريض أصابها الصدأ مثلا وصارت مفصولة فلن يشعر أحد بهذه المشكلة حتى يحدث عطل ونكتشف أن جهاز الوقاية لم يعمل.



شل 6-2 : علاقة التأريض بالوقاية .

ويجب أن يكون واضحا أن هناك أهداف أخرى تتحقق من التأريض السليم بخلاف حماية الأفراد المتعاملين مع المعدات الكهربية ، منها تقليل فرص حدوث الحرائق ، فالذى قد يغيب عن البعض أن كثيرا من الحرائق يرجع السبب الرئيسى فيها إلى عيوب فى نظام الأرضي ، أو عدم وجوده أصلا . وبعض الحرائق فى المنشآت الصناعية يرجع السبب الرئيسى فيها إلى تراكم شحنات استاتيكية ، والتى قد تنشا مثلا نتيجة دوران سير مطاط بين بكرتين معدنيتين ، ويؤدى تراكم هذه الشحنات فى النهاية إلى حدوث تفريغ كهربى Electric Discharge ذي حرارة عالية كافية لإشعال حريق ، ما لم يتم تأريض هذه البكرات . كما أن الصواعق البرقية يمكن أن تؤدى إلى حرائق ما لم يكن هناك نظام حماية سليم . وكل هذه المشاكل يمكن تجنبها باعتماد نظام تأريض مناسب .

أيضا ، فإن استخدام شبكة أرضية ذات مقاومة كهربية منخفضة قدر الإمكان سيؤدى إلى سريان تيارات الأعطال خلال هذه الشبكة بقيم محسوسة عند حدوث Short للدائرة الكهربائية مع الأرض ، وهو هدف نسعى إليه ، فكلما كان تيار العطل أكبر من التيار الطبيعي كلما كان من السهل على أجهزة الوقاية أن تكتشفه ، وبالتالي تقوم بقطع التيار بسرعة عن الجزء الذى به عطل ، أي عزله عن الأجزاء السليمة من الدائرة الكهربائية خلال وقت قصير جدا ، وبذلك تتوفر الحماية الكافية للأجهزة من الأعطال ، وأيضا حماية الأشخاص من خطر **الصدمة** الكهربائية و الحرائق.

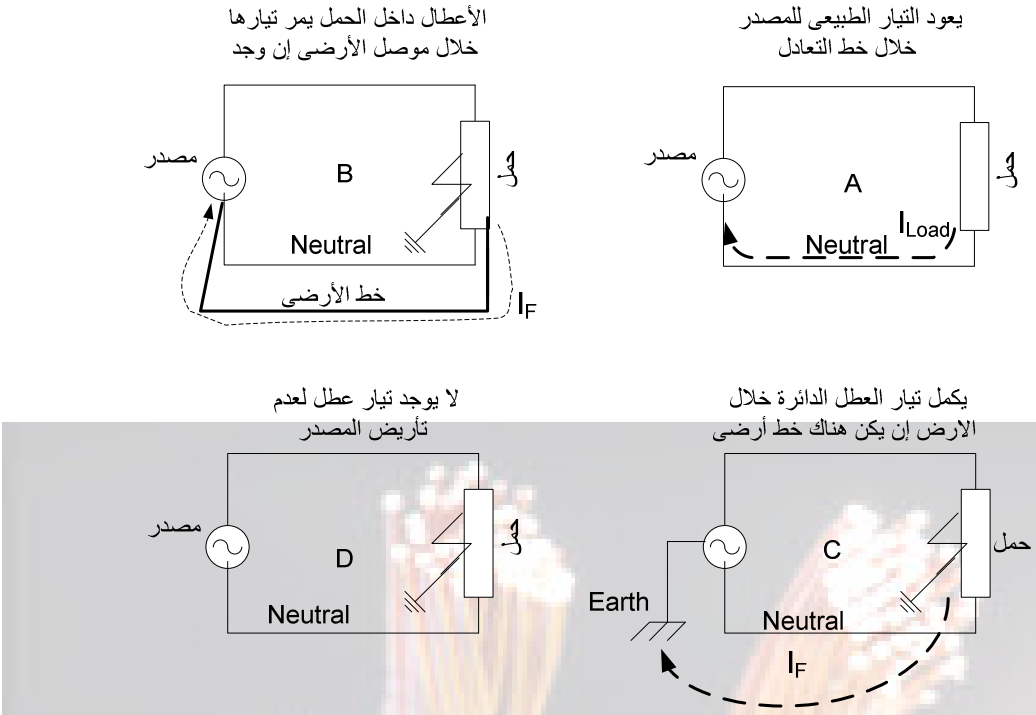
أخيرا ، فإن للتأريض علاقة بتحسين جودة الخدمة الكهربية Power Quality لاسيما بعد علاج مشاكل نقطة التعادل بالتأريض المناسب ، كما أنه يحمي المعدات من أضرار التغيرات المفاجئة والكبيرة في جهد التغذية (Voltage Surges) .

6-4 الفرق بين الـ Neutr وبين الـ Ground

لابد من أن يفرق القارئ بين خط الأرضى Ground ، وخط التعادل Neutral ، فخط الـ Neutral يعود خلاله التيار الطبيعي إلى المصدر كما في الشكل 6-2- A ، أما خط الأرضى – إن وجد - فإن تيار العطل و نقصد بالطبع الـ Ground Faults سيعود من خلاله للمصدر كما في الشكل 6-2- B .

فإن لم يكن هناك خط أرضى فإن تيار العطل سيسلك أقصر مسار من خلال تربة الأرض حتى يرجع إلى المصدر كما فى الشكل 6-2- C ، وعندها سيتوقف قيمة تيار العطل على مقاومة كتلة الأرض التى مر خلالها تيار العطل ، فهى يمكن أن تكون ذات مقاومة منخفضة جدا إذا كانت رطبة وتحتوى على أملاح ، فعندها ستصبح الأرض وكأنها موصل تماما.

لكن ماذا لو كانت كتلة الأرض فى هذه المنطقة ذات مقاومة عالية جدا ؟ وماذا لو كان مصدر التغذية نفسه غير مؤرض ؟ عندها سنعتبر المنظومة معزولة Isolated System ، وهنا لن يكون هناك تيار للعطل أصلا كما فى الشكل 6-2- D . وبالطبع فعدم مرور تيار للعطل لا يعنى أن هذا النظام الأخير أفضل من غيره ، بل العكس هو الصحيح ، حيث سيترتب على عدم وجود مسار لمرور تيار العطل حدوث ارتفاع فى جهد التشغيل إلى قيم خطيرة .



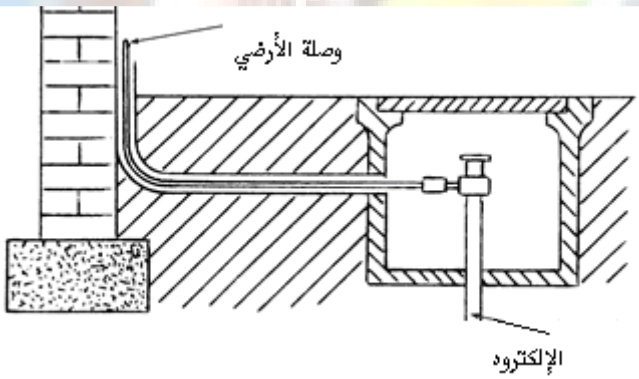
شكل 6-2 الفرق بين الـ Neutral ، والأرضى .

6-5 مكونات نظام التأريض

يمكن الحصول على أرضي مناسب للدور السكنية مثلا باستخدام إلكترود معدني Electrode واحد أو أكثر ، يدفن في التربة لغرض تحقيق التماس مع كتلة الأرض . وتتوفر هذه القضبان المعدنية على شكل مواسير مستديرة يمكن ربطها ببعضها البعض لغرض الحصول على Electrode بالطول المطلوب ، وتغرز في الأرض بواسطة الدق للوصول إلى طبقات الأرض ذات المقاومة النوعية المنخفضة ، وبالتالي الحصول على مقاومة أرضية منخفضة . وللحصول على مقاومة أقل يستخدم عدة قضبان توصل مع ببعضها على التوازي بواسطة موصلات أرضية لتكوين شبكة أرضية.

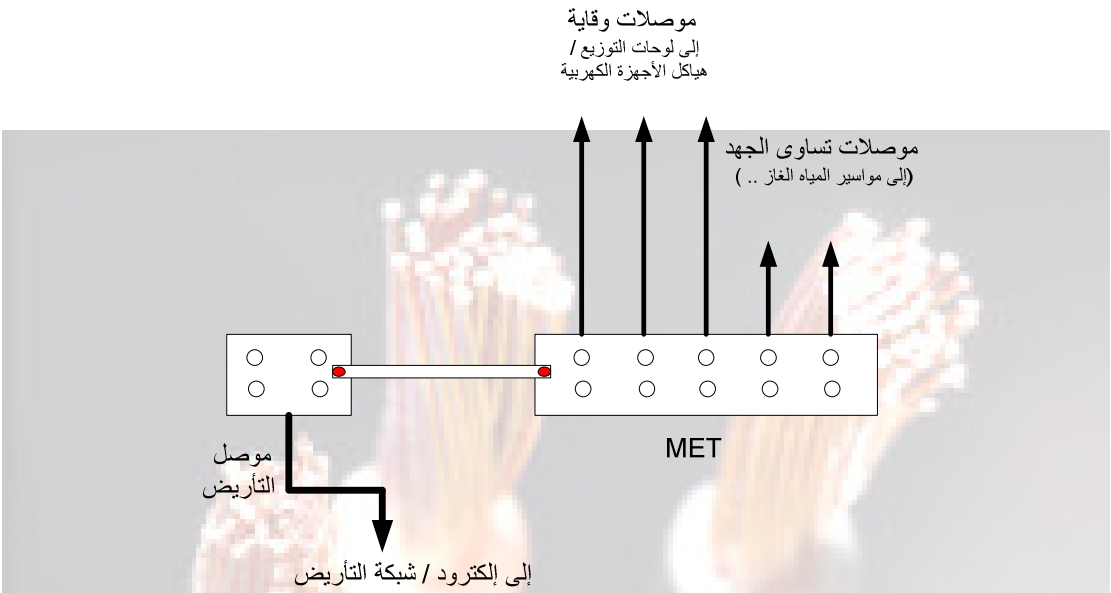
ومن هنا يمكن أن نقول أن منظومة الأرضي فى صورتها البسيطة تكون أساسا كما فى الشكل 6-3 من:

1- تربة لها مقاومة نوعية مناسبة .
2- الإلكترود المدفون لعمق مناسب .
3- وصلة الأرضي (موصلات التأريض) التى تصل بين الإلكترود وبين الأجسام المراد تأريضها.



شكل 6-3 : منظومة الأرضي المبسطة

ويعبر عن علاقة هذه المكونات ببقية المنظومة الكهربية كما فى الشكل 6-4 . حيث يظهر لدينا عنصر مهم هو Main Earthing Terminal (MET) وهو يعتبر موزع الأرضى الرئيسى ، فهو عبارة عن Bus Bar, BB تخرج منه موصلات الوقاية Protective Conductors إلى BB الأرضى فى كافة لوحات التوزيع . ويخرج منه كذلك موصلات الوقاية إلى كافة الأجسام المعدنية القريبة والتى لا تحمل تيارا أصلا (مواسير الغاز / المياه ، الشبابيك / الأبواب المعدنية إلخ) وهى التى تعرف بموصلات الجهد المتساوى Equi Potential Conductors .ويتصل الـ MET بالإلكترود التأريض بواسطة موصل التأريض Earthing Conductors ، ومن هنا وجب التمييز بين موصلات الوقاية وموصلات التأريض.



شكل 6-4 : الفرق بين موصل الوقاية وموصل التأريض

وتتأثر قيمة مقاومة الأرضي التى نحصل عليها بعدة عوامل من أهمها:

- مقاومة الأرض التى تدفن فيها الإلكترودات .
- نسبة الرطوبة فى التربة .
- عدد إلكترودات التأريض .
- عمق الدفن .

6-5-1 الأرض

يجب أن تكون الأرض مناسبة من حيث المقاومة النوعية للتربة (Soil Resistivity) ، و إمكانية وضع إلكترودات التأريض . والجدول 6-3 يعطى قيم تقريبية للمقاومة النوعية لأشهر أنواع التربة .

لاحظ أن قيمة المقاومة النوعية للتربة ليست قيمة محددة بل تتغير أحيانا فى مدى واسع ، حيث تتوقف مقاومة التربة على نوعية وكمية الأملاح بها ، ومسامية حبيباتها ، وكذلك نسبة الرطوبة ، وهو عامل شديد التأثير على قيمة المقاومة الأرضية. فإلكترودات التأريض معرضة لمرور تيارات القصر شديدة الارتفاع ، ومن ثم فيمكن أن تسخن لدرجة عالية تبخر رطوبة التربة ، بل ربما تظهر بعض الأبخرة إذا كانت مدة القصر طويلة نسبيا ، وهنا تظهر المشكلة الأكبر وهى ارتفاع قيمة مقاومة الأرضى لقيم خطيرة. ولمنع حدوث ذلك يجب ألا يزيد قيمة تيار القصر لكل متر من طول الإلكترود عن القيمة المحسوبة من المعادلة التالية :

$$I = \frac{34800 \times d \times L}{\sqrt{\rho t}}$$

حيث d هو قطر الإلكترود ، و L طول الإلكترود ، و t زمن مرور تيار القصر .

جدول 6-3 : المقاومة النوعية لبعض أنواع التربة

نوع التربة	المقاومة النوعية Ω.m
التربة الطينية	40-150
الصلصال	Above 200
التربة الرملية	250-500
الأرض الصخرية	Above 1000

فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة عالية ، و المساحة محدودة ، وإمكانية دق الإلكترودات إلى أعماق كبيرة غير ممكنة لوجود طبقات سفلية صخرية مثلا ففي هذه الحالة يمكن علاج التربة المحيطة بالإلكترودات كيميائيا لتقليل مقاومة التربة ، و يتم ذلك إما باستخدام ملح كبريتات المغنيسيوم ، أو كبريتات النحاس ، أو الفحم ، أو ملح كلوريد الصوديوم " الملح العادي " ، أو إضافة برادة الحديد .

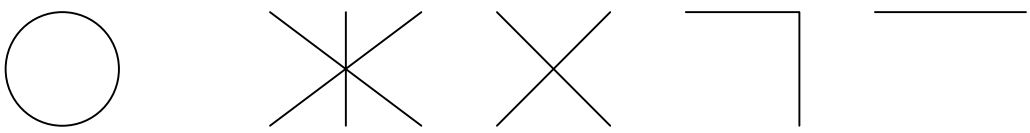
ويتم ذلك بعمل حفرة مجاورة لإلكترود التأريض وتبعد عنه مسافة لا تزيد عن 10 سم ، وتملأ بأحد الأملاح السابقة حتى منسوب 30 سم من سطح الأرض . كما يمكن كأسلوب آخر عمل خندق محيط بالإلكترود بحيث لا يقل قطره عن 45 سم ، وبعمق 30 سم ، ويملأ بالمادة الكيميائية ، على ألا يكون هناك اتصال مباشر بين المواد الكيميائية والإلكترود حتى لا يتسبب ذلك فى تكوين طبقة صدأ . ويفضل ألا تقل كمية الملح عن 20 كجم ، ويتم غمرها بالماء فى بادئ الأمر حتى تتسرب فى التربة المحيطة ثم تقوم مياه الأمطار بهذه المهمة فيما بعد . و رغم أن كبريتات المغنيسيوم أفضل من حيث التحات (التآكل) الكيميائي إلا أن كلوريد الصوديوم أرخص بكثير و يفي بالغرض ، خاصة إذا وضع في خندق يحيط بالإلكترود .

و من الواضح أن هذه الطريقة لتقليل مقاومة الأرض هي طريقة مؤقتة نظرا لاختفاء الملح تدريجيا بسبب سقوط الأمطار و الصرف الطبيعي ، و لذلك يجب تجديد شحنة الملح كل عامين على الأكثر – طبقا لكمية المطر و مسامية الأرض. و إذا كان عنصر المتابعة و الصيانة غير متوفر فيفضل عدم استخدام هذه الطريقة مهما كانت اقتصادية ، ويجب فى هذه الحالة اللجوء إلى الطرق الأخرى لخفض المقاومة مثل زيادة عدد الإلكترودات أو عمل شبكة تأريض (حصيرة) .

6-5-2 إلكترود التأريض

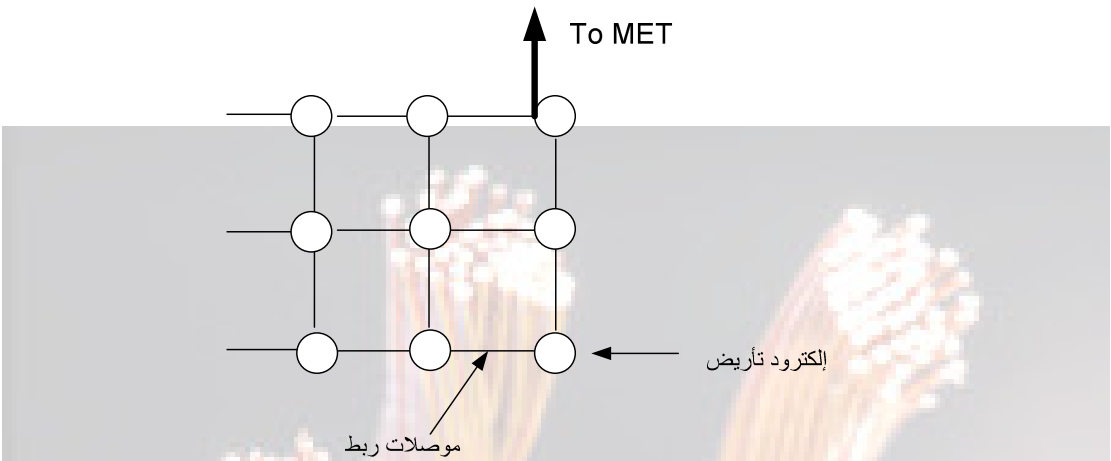
إلكترودات التأريض هى القضبان المعدنية التى تدفن فى الأرض ويتم لاحقا توصيل الأجهزة المراد تأريضها بها من خلال "وصلة الأرضي". وتعتبر القضبان الرأسية المدفونة بالأرض Driven Electrodes أنسب وأرخص أنواع الإلكترودات ، حيث يتم دفعها لمسافة لا تقل عن ثلاثة أمتار فى عمق الأرض ، ثم يتم توصيل وصلة الأرضى بطرفها. وغالبا يكون الإلكترود من النحاس أو الصلب ، و من الصعب أن يكون الإلكترود ذو الثلاثة أمتار مكونا من قطعة واحدة بل غالبا يكون من أجزاء ذات طول قياسى ، ثم يتم عمل ربط Coupling بينها للوصول للطول المطلوب . مع ملاحظة أن مقاومة الأرضى لا تتأثر كثيرا بقطر الإلكترود لكنها تتأثر أساسا بطوله.

لاحظ أنه إن وجدت صخور مثلا قريبة من سطح الأرض وتعذر دفع الإلكترود رأسيا فإنه يمكن استخدام شرائح معدنية قصيرة تسمى إلكترودات سطحية ، حيث تدفن أفقيا على عمق حوالى متر ، وتأخذ أحيانا شكل النجمة أو الزاوية أو حتى خطوط مستقيمة وتتصل ببعضها البعض كما فى الشكل 6-5 ، ومن ثم تتصل بوصلة الأرضى الخاص بالمبنى.



شكل 6-5 : الإلكترودات السطحية .

ويمكن أيضا أن يدفن شريط من الصلب متصل (مقطعه : 4 x 25 mm) داخل أساس المبنى ، على أن يبرز من هذا الشريط طرف توصل به لاحقا أسلاك الأرضى المتصلة باللوحة الرئيسية . ويفضل أن يدفن هذا الشريط "المتصل " ليس فقط فى الكمرات الخارجية لأساس المبنى بل فى كل الكمرات الداخلية والخارجية.
وهناك طريقة أخرى للحصول على قيمة صغيرة للمقاومة الأرضية هى استخدام شبكة تأريض (حصيرة) مكونة من مجموعة من الإكترودات نحاسية مدفونة ، وتترك مسافة تتراوح بين 3 و5 متر بين كل إلكترود والآخر ، ثم توصل جميع هذه الإلكترودات بشبكة من كابلات نحاسية جيدة اللحام فى جميع التقاطعات. ويكون الشكل النهائى كما فى الشكل 6-6.



شكل 6-6 : شبكة تأريض (حصيرة)

ويتوقف العدد اللازم من قضبان التأريض للحصول على المقاومة المطلوبة للأرضى على مقاومة التربة ، وعلى القيمة المطلوب الوصول إليها . و يجب أن تقاس مقاومة الأرضى ثم توضع قضبان إضافية إذ احتاج الأمر لذلك.
ويمكن بطبيعة الحال استخدام بعض الإلكترودات الموجودة بصورة طبيعية فى إنشاءات المبنى مثل حديد التسليح فى الأساسات الخرسانية من أجل زيادة كفاءة شبكة الأرضى ، وذلك أثناء عمل الهيكل الخرسانى لأساسات المبنى ، حيث يتم عمل توصيل جيد بين أحد قضبان التسليح وبين موصل الأرضى العمومى للمبنى ، فتصبح وكأننا وضعنا مجموعة إلكترودات أخرى على التوازى مع الإلكترود الأصلى .

<u>هل يمكن استخدام ماسورة مياه بدلا من إلكترود الأرضى ؟.</u>

هذا الأسلوب يمكن أن يكون مقبولا بشروط منها أن تكون الماسورة من مادة جيدة التوصيل للكهرباء ، وأن تكون الماسورة جيدة الاتصال بين أجزائها فلا يوجد عداد قياس مثلا من مادة غير جيدة التوصيل للكهرباء يقطع اتصال الماسورة . مع ملاحظة أن هذا الأسلوب لا يعتمد على وجود مياه داخل ماسورة المياه بل يعتمد فقط على جودة توصيل الماسورة نفسها للكهرباء . فإذا تحققت هذه الشروط فإن هذا الأسلوب يصبح مشابه تماما لاستخدام الإلكترود العادى .
أما إذا اختل أحد هذه الشروط فستعتبر الجهاز المتصل بهذه الماسورة غير مؤرض ، وبالتالى فإذا حدث Short داخل الجهاز فإن التيار المتسرب من الدائرة الكهربية سيفضل هذه المرة أن يمر من خلال جسم الإنسان لأنه أقل مقاومة من الماسورة ، أو على الأقل سيتوزع التيار بين المسارين بنسبة ما قد تكون كافية أن يتعرض هذا الشخص لصدمة كهربية وقد تسبب له مجرد رعشة ، وهذا ما يحدث بالفعل لبعض الناس حين يشعرون برعشة كهربية عند ملامستهم لصنبور المياه .

6-5-3 موصلات التأريض

في أغلب الأحيان تكون موصلات التأريض عبارة عن شريط نحاسي Cu Tape له ذو مقطع فى حدود 2.5 x 25 mm ، وذلك لربط الجهاز المراد تأريضه بإلكترود الأرضي. أما في حالة ربط الإلكترودات المدفونة رأسيا ببعضها البعض فغالبا نستخدم كابلات نحاسية مدفونة في الأرض . و يفضل أن تكون كابلات موصلات التأريض من النحاس نظرا لمقاومته الكبيرة للتحات أو التآكل الكيميائي . لاحظ أنه إذا كان الكابل غير معزول فإنه قد يتسبب في تآكل معادن أخرى مدفونة في الأرض بجواره إذا كانت هذه المعادن تسبقه فى الترتيب داخل الجدول الدورى (أنودية المعدن المجاور أعلى من النحاس) ، و لكن إذا كان الكابل قصيرا أو مدفونا بقرب سطح الأرض و في تربة جافة و لها مقاومة عالية فإنه يمكن إهمال التآكل .

أما إذا كان الكابل طويلا و بالأخص إذا كان مدفونا في أرض رطبة و لها مقاومة صغيرة فيستحسن في هذه الحالات استخدام كابل من النحاس عليه طبقة صامدة للماء. و لا يجوز في أي حال من الأحوال استخدام موصلات من الألومنيوم أو أي معدن آخر له أنودية مرتفعة ، لأن المعدن ذو الأنودية العالية سيتآكل كما سيتم شرحه تفصيلا فى نهاية الفصل .

هل يمكن استعمال الـ Cable Sheath كـ Ground wire من مكان لآخر؟

قد يستغنى أحيانا فى بعض أساليب التأريض عن عمل إلكترود الأرضى عند المستهلك (بالقرب من الجهاز المراد تأريضه) ، ويستعاض عن ذلك بعمل وصلة معدنية بين جسم الجهاز و بين الـ Cable Sheath ، ثم يتم عمل وصلة أخرى بين الطرف الثانى للـ Cable Sheath عند نهاية الكابل وبين تأريض المصدر ، وبالتالى يصبح لدينا إلكترد تأريض واحد فقط عند المصدر . وهو بالطبع أسلوب اقتصادى فى الأساس لكنه قد يصبح خطيرا إذا حدث قطع فى الـ Sheath فعندها يصبح الجهاز غير مؤرض .

6-5-4 اختيار مقطع موصل التأريض

يجب عند اختيار مقطع موصل التأريض أن نتأكد من تحمله لقيمة تيار القصر الذى سيمر من خلاله إلى الأرض ، كما فى المثال التالى .

مثال 6-1 :

أحسب مقطع موصل التأريض المناسب لتأريض محول قوى قدرته 1.5 MVA ، علما بأن معاوقة المحول X_{pu} تساوى 0.05 .

الحل:

الخطوة الأولى فى هذه النوعية من المسائل هى تحديد قيمة تيار القصر المتوقع مروره ، ومن ثم نستخدم المعادلات التقريبية لحساب المقطع المناسب.

ويمكن حساب قيمة تيار القصر بطريقة مبسطة كما فى المعادلة التالية :

$$MVA_{SC} = \frac{MVA_{Base}}{X_{pu}} = \frac{1.5}{0.05} = 30MVA$$

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3}V_L} = \frac{1.5}{\sqrt{3}\times 0.38} = 45kA$$

ومن المعادلة التقريبية 4-11 فى الفصل الرابع يمكن حساب المقطع المناسب كما يلى :

$$a(mm^2) = 9\sqrt{t}\, I_{SC} \quad = 9\times\sqrt{0.5}\times 45 = 286\ mm^2$$

وأقرب مقطع مناسب هو 300 ملم.

6-5-5 اتصال الإلكترود بموصل التأريض

وهناك ثلاث طرق لإتمام التوصيل بين إلكترودات التأريض و موصلات التأريض ، أو بين هذه الموصلات و التجهيزات الخاصة بتوصيلة الأرض:

1- توصيل ميكانيكي :

باستخدام صواميل مربوطة بمسامير ، و يجب في هذه الحالة أن تكون الصواميل و المسامير من نفس معدن الإليكترودات و الموصلات ، و يجب أن تكون الوصلات محمية ضد حدوث أي عطب عرضي ، و مصممة بحيث تكون قابلة للتفتيش.

1- توصيل عن طريق اللحام

ويعرف بلحام الثرميت ، وهو من أفضل الطرق لأن مقاومة نقطة الاتصال تكون أقل ما يمكن.

2- توصيل عن طريق الكبس

و ذلك باستخدام جلبة خاصة من النحاس أو النحاس السبائكي ، يتم كبسها على قضيب التأريض و موصل التأريض في نفس الوقت بواسطة مكبس هيدروليكي خاص ، و هذه الطريقة هي أحدث الطرق و أكثرها اقتصادا و لها كل مميزات لحام الثرميت.

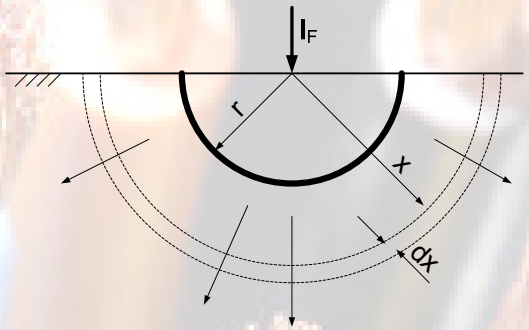
6-6 حساب قيمة المقاومة الأرضية

تعرف المقاومة الأرضية بأنها المقاومة المقاسة بالأوم بين الإلكترود الأرضى والكتلة العامة للأرض. ويعتبر الصفر هو القيمة المثالية للمقاومة الأرضية ، حيث إن الارتفاع فى الجهد على سطح الأرض Potential Rise نتيجة مرور تيار العطل إلى الأرض يعتمد كليا على قيمة هذه المقاومة الأرضية ، إلا أنه عمليا يصعب الوصول إلى قيم أصغر كثيرا من أوم واحد ، وهذه القيم المنخفضة ليست ضرورية في كثير من الحالات. وبصفة عامة فإن قيمة المقاومة اللازمة تتناسب عكسيا و حجم تيار القصر المتوقع ، فكلما هذا التيار المتوقع كبيرا وجب أن تكون المقاومة المطلوبة صغيرة .

وعموما فمن شروط الأرضي الجيد أن تكون مقاومته أقل ما يمكن و تتراوح عادة بين 1 – 5 أوم ، إلا أن الحصول على مثل هذه القيم في تربة ذات مقاومة نوعية عالية لا يمكن الوصول إليه إلا باستخدام عدد كبير من الأقطاب الأرضية ، وهذا يعني تكلفة عالية ، لذا قد يكون من الضروري حساب أعلى قيمة مقاومة تسمح بمرور تيار العطل وتكون قيمتها فى نفس الوقت كافية لاشتغال جهاز الحماية (Relay) لعزل الدائرة الكهربائية التى بها العطل و هناك عدة طرق لإجراء هذه الحسابات :

6-6-1 حساب مقاومة إلكترود نصف كروي

نظريا فإن أبسط أنواع إلكترودات التأريض هى الإلكترود النصف كروى الذى له نصف قطر يساوى (r) كما فى الشكل 6-7.



شكل 6-7 : إلكترود نصف كروي

فعند مرور تيار القصر I_F خلال هذا الإلكترود فإنه ينساب بصورة منتظمة فى كل الاتجاهات من خلال شرائح نصف كروية متزايدة فى نصف القطر ومتحدة المركز ، و يمكن أن نثبت رياضيا أنه حين يصل طول نصف قطر الدوائر المنسابة فى الأرض إلى ما لانهاية داخل كتلة الأرض فإن المقاومة الكلية R لهذا الإكترود فى هذه الحالة تساوى:

$$R_{\infty} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6-1$$

حيث (ρ) هى المقاومة النوعية للتربة .

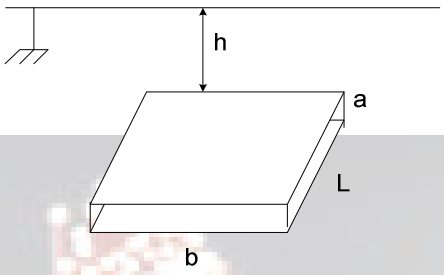
r هو نصف قطر الإلكترود .

أما إذا كان إلكترود التأريض على شكل ماسورة اسطوانية قطرها d وطولها L فإن مقاومة الأرضى حينئذ تحسب من المعادلة التالية:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\frac{8L}{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6-2$$

وأحيانا تستخدم شريحة أفقية لها سمك a وطوله L وعرضها b ، ومدفونة أفقيا على عمق h كما فى الشكل 6-8 ، وفى هذه الحالة تكون مقاومة الأرضى تساوى:

$$R = \frac{\rho}{4\,\pi\,L}\left[\ln\frac{8L^2}{ah} + \frac{a^2 - \pi\,a\,b}{2(a+b)^2} - 1 + \frac{h}{L} + \frac{h^2}{4L^2}\right] \quad \text{.....6-3}$$



الشكل 6-8 : استخدام شريحة نحاسية أفقية للتأريض .

ويمكن إهمال سمك الشريحة وحساب مقاومة الأرضي R لقطب عبارة عن لوح معدني مساحته A من العلاقة التقريبية التالية (المواصفات القياسية IEEE-80-1986)

$$R = \frac{\rho}{2\ A}\sqrt{\left(\frac{\pi}{2\ A}\right)}$$

6-6- 2 الحسابات التقريبية

من الممكن أن نبسط الصور السابقة لتصبح "تقريبا" تساوى :

1- فى حالة الإلكترود الواحد المدفون رأسيا :

$$R = \frac{\rho}{L} \qquad 6-3$$

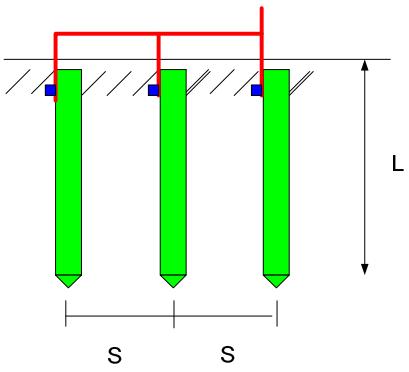
2- فى حالة الإلكترود الواحد المدفون أفقيا:

$$R_H = \frac{2\rho}{L} \qquad 6-4$$

3- فى حالة التأريض بواسطة عدد N من الإلكترودات الرأسية الموصلة على التوازى حيث مقاومة كل واحد منها – منفردا – تساوى R_V ، فإن المقاومة الكلية النظرية من المفترض أن تساوى R/N . لكن عمليا هذا لا يتحقق بسبب التأثير المتبادل Mutual Effect للإلكترودات على بعضها البعض ، وبالتالى فإن المقاومة الفعلية تحسب بقسمة المحصلة النظرية على معامل يسمى Screening Coefficient (قيمته أقل من 1) للحصول على القيمة الصحيحة ، والتى ستكون بالطبع أكبر من القيمة النظرية . والمعادلة المبسطة للمقاومة الكلية $R_{V\text{-}T}$ لمجموعة من الإلكترودات المدفونة رأسيا وعددها N هى:

$$R_{V-T} = \frac{R_V}{\eta N} \qquad 6-5$$

وتتوقف قيمة η على عاملين : الأول هو النسبة بين البعد الأفقى بين كل إلكترودين (S) إلى طول الإلكترود (L) أى أنها تتوقف على قيمة S/L كما فى الشكل 6- 9 ، مع ملاحظة أنه يجب ألا تقل المسافة S عن 3 أمتار .



شكل 6- 9 : الإلكترودات الرأسية .

والعامل الثانى المؤثر على قيمة معامل التصحيح هو عدد الإلكترودات N وذلك كما فى الجدول 6- 4.

جدول 6- 4 : قيم معامل التصحيح η للإلكترودات المدفونة رأسيا

η	N	S/L	η	N	S/N	η	N	S/L
0.95 – 0.97	2	3	0.93 – 0.95	2	2	0.8 – 0.87	2	1
0.91 – 0.95	3		0.9 – 0.92	3		0.76 – 0.8	3	
0.89 – 0.92	5		0.85 – 0.88	5		0.67 – 0.72	5	
0.82 – 0.88	10		0.79 – 0.83	10		0.56 – 0.62	10	
0.79 – 0.81	20		0.74 – 0.79	20		0.5 – 0.47	20	

وبالطبع يمكن الرجوع للمواصفات المتخصصة إذا كان العدد أكبر من ذلك.

4- فى حالة التأريض بواسطة شريط أفقى مدفون بأساس المبنى حيث L هى محيط المبنى الكلى وتصبح المقاومة الأرضية الأفقية الكلية R_{H-T} :

$$R_{H-T} = \frac{2\rho}{L\eta_H} \qquad 6 - 6$$

حيث η_H هى معامل تصحيح المقاومة الأفقية الكلية.

5- أخيرا ، يمكن استخدام المعادلة 6- 7 لحساب المقاومة الأرضية المكافئة لمنظومة تأريض صنعت بواسطة استخدام عدد N من الإلكترودات الرأسية (لها مقاومة مكافئة R_V) ، وتم ربط هذه المجموعة معا بواسطة إلكترود أفقى (شريط تأريض) له مقاومة مكافئة R_H ، ومن ثم تصبح المقاومة الأرضية المكافئة للمنظومة تساوى :

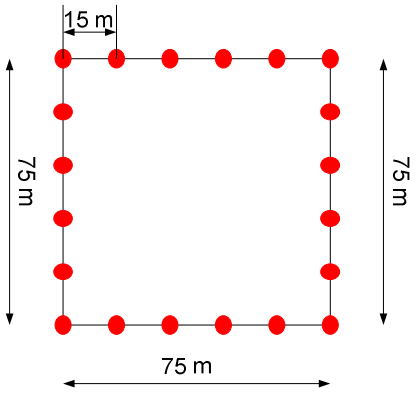
$$R_{eq} = \frac{R_H \times R_V}{R_H + R_V} \qquad 6 - 7$$

مثال 6-2:

مصنع مربع الشكل ، طول طلعه 75 متر ، مطلوب تصميم شبكة أرضي له مكونة من 20 إلكترود رأسى طول كل منهم 5 متر ، مدفونة فى تربة مقاومتها النوعية تساوى 500 Ω.m ، على أن يتم توصيل هذه الإلكترودات معا بشريط أفقى أبعاده 4 x40 mm .

الحل

طبقا لأبعاد المصنع والمعلومات المعطاة فإن المسافة بين كل إلكترودين تساوى 15 متر كما فى الشكل 6-10.



شكل 6-10 : مثال 6-2

مقاومة إلكترود رأسى واحد =

$$R_V = \frac{\rho}{L} = \frac{500}{5} = 100\Omega$$

المقاومة الكلية للإلكترودات الرأسية

$$R_{V-T} = \frac{R}{\eta N} = \frac{100}{0.8 \times 20} = 6.25\Omega$$

لاحظ أن النسبة S/L تساوى 15/5=3 ومن ثم فمعامل التصحيح الرأسي من الجدول 6- 4 يساوى تقريبا 0.8 .

المقاومة المكافئة للشريط الأفقى =

$$R_{H-T} = \frac{2\rho}{L\eta_H} = \frac{2 \times 500}{300 \times 0.7} = 4.7\,\Omega$$

على اعتبار أن معامل التصحيح الأفقى يساوى 0.7 (يرجع للقيم الدقيقة فى الكود المستخدم) .
وعلى هذا فالمقاومة المكافئة للمنظومة الكاملة =

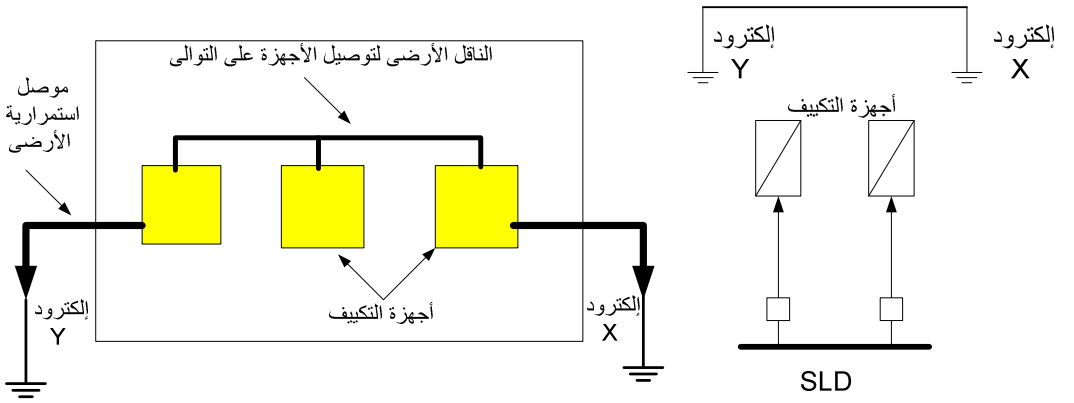
$$R_{eq} = \frac{R_H \times R_V}{R_H + R_V} = \frac{4.7 \times 6.25}{4.7 + 6.25} = 2.6\,\Omega$$

ملحوظة :

- نوع معدن الإلكترود لا يؤثر على مقاومة الأرضي ، وبالتالى فإن اختيار المعدن يعتمد كلية على مدى مقاومته للتآكل من قبل التربة التي سيوضع فيها ، و لقد أثبتت التجربة العملية الطويلة و التجارب المعملية أن النحاس هو أفضل المعادن التي يمكن استخدامها في التأريض.

6-7 التأريض فى المبانى السكنية

فى التركيبات الكهربية الخاصة بالمبانى السكنية يكون من المعتاد أن يخصص إلكترود أرضى منفصل (أو شبكة تأريض إذا لم يكن الإلكترود الواحد كافيا) لمحول التوزيع ، أو يخصص هذا الإلكترود لصندوق التغذية الرئيسى إذا لم يكن هناك محول خاص بالمبنى . وبالإضافة إلى ذلك فهناك إلكترود ثانى منفصل للوحة الجهد المنخفض الرئيسية (LT) ، وهذا الإكترود الثانى هو الذى يوصل بالـ (MET) وهو الـBB العمومى للتأريض ، ثم يتم توصيل الـ (MET) بكل الـ Earthing Bars الموجودة باللوحات الفرعية بالمبنى ، على أن يتم توصيل الـ Earth Pin الموجود بالـ Sockets بالـ Earth Bar الموجود بأقرب لوحة فرعية .
كما يوجد إلكترود ثالث (أو شبكة تأريض) منفصلة تخصص لمانعة الصواعق إن وجدت .
أما الأجهزة ذات الطابع الخاص مثل مكينات التكييف المركزى الموجودة فوق أسطح المبنى فيتم توصيلها معا على التوالى بموصلات نحاسية ، ثم يتم توصيلها بالأرض من خلال إلكترودين آخرين منفصلين كما فى الشكل 6-11 . ويعبر بالرسم عن هذا النظام فى الـ SLD كما بالمخطط فى يسار الشكل السابق .



شكل 6-11 : تأريض الأجهزة المتجاورة

والجدول 6-5 يحدد مقطع الموصلات المستخدمة فى الكود الكويتى لتأريض هذه الأجهزة.

جدول 6-5 : مساحة مقطع موصل الأرضى وناقل الأرضى

مساحة المقطع العرضي الاعتباري لأكبر موصل نحاسي ضمن دائرة (مم٢)	مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل النحاسي الخاص باستمرارية الارضي (مم٢)	مساحة المقطع العرضي الاعتباري للناقل الارضي النحاسي (مم٢)
١,٥	١,٠	٦,٠
٢,٥	١,٠	٦,٠
٤,٠	٢,٥	٦,٠
٦,٠	٢,٥	٦,٠
١٠,٠	٦,٠	٦,٠
١٦,٠	٦,٠	٦,٠
٢٥,٠	١٦,٠	١٦,٠
٣٥,٠	١٦,٠	١٦,٠
٥٠,٠	١٦,٠	١٦,٠
٧٠,٠	٥٠,٠	٥٠,٠
٩٥,٠	٥٠,٠	٥٠,٠
١٢٠,٠	٥٠,٠	٥٠,٠
١٥٠,٠	٥٠,٠	٥٠,٠
١٨٥,٠	٧٠,٠	٧٠,٠
٢٤٠,٠	٧٠,٠	٧٠,٠
٣٠٠,٠	٧٠,٠	٧٠,٠
٤٠٠,٠	٧٠,٠	٧٠,٠

ملاحظة : ان كلوريد البوليفينيل (بي . في . سي) العازل لموصل استمـرارية الارضي يجب ان يكون ملونا بالاخضر والاصفر .

ملحوظة-1 :

يمكن فى المبنى الواحد أن نجد ثلاثة أنواع من الأرضى : الأولى للـ Power Earthing وتكون مقاومة الأرض لها فى حدود 5 أوم ، والأخرى للـ Safety Earthing وتكون مقاومة الأرضى لها فى حدود 10 أوم ، أما الثالثة فهى للصواعق البرقية وتكون مقاومة الأرضى فى حدود أقل من 20 أوم. وربما نحتاج فى بعض المبانى

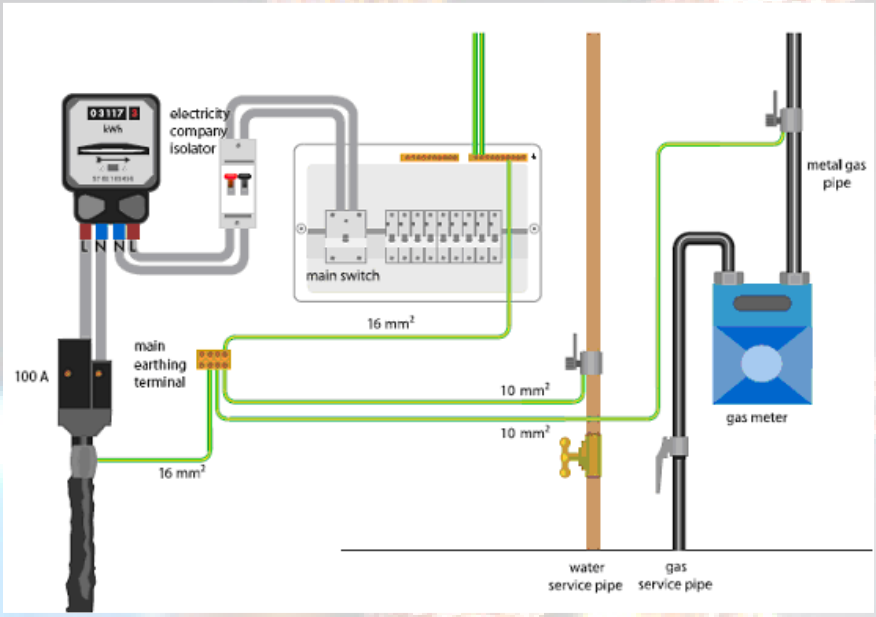
لأرضى من نوع خاص لاسيما عند وجود أجهزة حساسة للتشوشات مثل أجهزة الحواسب ونظم التحكم حيث تصل مقاومة الأرضى لها إلى نصف أوم وربما أقل حسب المواصفات المطلوبة.

ملحوظة -2 :

من النقاط الهامة التى يجب أن تراعى عند تأريض أجهزة الاتصالات أن يتم الفصل التام بين نقاط تأريض أجهزة القوى ونقاط تأريض أجهزة الاتصالات ، لأن تعدد نقاط التأريض Multiple Grounding بين نظم القوى ونظم الاتصالات قد يسبب بعض مشاكل خاصة لأجهزة الاتصالات ، وفى الغالب يكون ذلك بسبب الـ Noise الناشئة عن تصميم غير مناسب لنظام التأريض . فتقارب نقاط تأريض أجهزة القوى وأجهزة الاتصالات قد تسمح بمرور تيارات أخرى متسربة من أجهزة القوى المجاورة خلال الأرض ثم من خلال الغلاف المعدنى Cable Screen لكابل الاتصالات مما ينشأ عنه مشاكل فى تشغيل هذه الأجهزة الإلكترونية.

ملحوظة -3 :

وفى بعض الحالات حيث يمكن أن تجد فى غرفة واحدة عدة موصلات معدنية متجاورة مثل ماسورة معدنية للمياه ، وأخرى معدنية للغاز ، وكلاهما بجوار كابل التغذية المحاط بـ Cable Sheath معدنى ، هذا فضلا عن احتمال وجود لوحة توزيع كهربية لها جسم معدنى أيضا ، فعندئذ يلزم أيضا توصيل كل هذه الأجسام المعدنية معا وتوصيلهم جميعا بالـ (Main Earthing Terminal (MET كما فى الشكل 6-12.



شكل 6-12 : الربط متساوي الجهد

ويمكن أن نقول أن الهدف من هذا الأسلوب – الذى يعرف بـ Equi Potential Bonding - هو تقليل فرق الجهد بين الأجزاء المعدنية المتجاورة (والتى قد يرتفع جهدها نتيجة قصر بالدوائر كهربية الموجودة بداخلها) ، وكذلك تقليل فرق الجهد بين هذه الأجزاء المعدنية وبين الأرض من ناحية أخرى . ويتحقق ذلك بالربط متساوي الجهد (Equi Potential Bonding) بين الأجزاء المعدنية المتجاورة من ناحية ، وكذلك ربطها بشبكة أرضية ذات مقاومة كهربية منخفضة ، و بالتالي حماية الأشخاص من الصدمات المميتة.

6 - 8 الحماية من الصواعق البرقية

ذكرنا سابقا أن مانعة الصواعق يجب أن يكون لها إلكترود أرضى منفصل ، وفى هذا الجزء سنتعرض بشىء من التفصيل لموضوع الصواعق البرقية وكيفية الحماية منها ، حيث أنه من المهم لمن يتعامل مع أنظمة الأرضى أن يلم بمبادئ أساسية عن هذه الظاهرة وكيفية التعامل معها.

البرق يمثل تعبيرا مرئيا عن كمية هائلة من الطاقة الكهربية المحمولة على السحب. وأغلب النظريات تفسر تراكم هذه الشحنات ونشوؤها بحدوث احتكاك بين تيارات الهواء وبين الرطوبة الموجودة فى السحابة ، مما يترتب عليه ظهور كميات هائلة من الشحنات الاستاتيكية السالبة على الجزء السفلى من السحابة ، بينما تتراكم

شحنات موجبة فى أعلى السحابة. وفى المقابل تظهر شحنات موجبة أيضا على المبانى العالية المقابلة للسحابة ، وهذا يعنى أن الهواء بين السحابة والمبنى قد أصبح يمثل مكثف هوائي مشحون ، فإذا زاد فرق الجهد بين طرفى هذا "المكثف" الافتراضى عن جهد الانهيار للهواء (حوالى 30 kV/cm) فسيحدث تفريغ للشحنة على صورة شرارة بين السحابة والمبنى .

و هذه الشرارة عبارة عن طاقة كهربية هائلة ذات جهد يصل إلى عدة ملايين من الـ kV ، والتيار الذى يمر خلال البرق قد يصل إلى 200 kA بمتوسط قدره 40 kA . و في حال حصول عاصفة برقية بهذه القيم فإن الأحذية المطاطية أو البلاستيكية لا تفيد في شيء ، لكن لو كنت داخل السيارة فالأفضل أن تبقى داخلها ولا تغادرها ، حيث يعمل السطح المعدني الخارجي للسيارة على حمايتك من الخطر المحدق الخارجي ، إذ يعمل جسم السيارة المعدني على نقل هذه الكهرباء وتفريغها في الأرض .

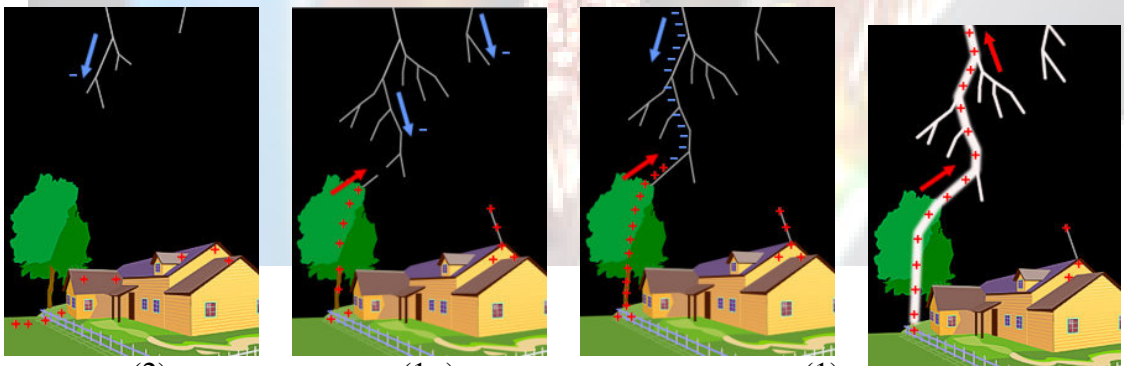
ورغم ارتفاع قيمة هذا التيار إلا أنه يستمر لمدة وجيزة جدا تقدر بأجزاء من الثانية (حوالى 25 مللى ثانية) ، وتتسبب الشرارة الناشئة عن البرق فى رفع درجة حرارة الهواء إلى أكثر من 30000 درجة مئوية حتى أن الهواء الساخن يضيء فيحول الليل إلى نهار ، ويتمدد الهواء نتيجة هذه الحرارة العالية بسرعة فيحدث صوت الرعد المعروف ، وبالطبع قد يحدث البرق أفقيا بين سحابة وأخرى – وهو الغالب – أو حتى بين طبقات السحابة الواحدة.

ورغم قصر مدة التفريغ إلا أنها تكون كافية لانهيار العزل لأى من الموصلات على الأرض إذا وصلت الصاعقة إليه. وللحماية من هذه الصواعق تركب موانع للصواعق Air Termination مدببة على أعلى نقاط بالمبنى تعرف بعصا فرانكلين نسبة للعالم الأمريكي بنجامين فرانكلين (1706 - 1790) ، فإذا اقتربت سحابة من المبنى وأدت إلى انهيار عزل الهواء بين السحابة والمبنى وحدث التفريغ فإن هذه الإلكترونات تجذب هذه الشحنات الهائلة وتسربها للأرض من خلال نظام الأرضى الذي يصمم بحيث يكون قادرا على تسريب هذه الشحنات إلى شبكة الأرضي بسرعة .

ملحوظة:

وفي الواقع ، فإن البرق – كتفريغ شحنات كهربائية – ينتقل على شكل قناة غير مرئية من الغيوم العالية إلى الأرض - وعندما يقترب من أي جسم على الأرض فإن فيض من الطاقة الكهربائية يعود في تلك القناة ويصبح البرق مرئيا! كما فى الشكل 6-13.

وقد ثبت علميا أن البرق يمر بطورين فى تكوينه : الطور الأول يسمى طور المرور ، وفيه تمر الشحنات السالبة من السحابة إلى الأرض على شكل سلم متدرج Stepped Leader ، أما الطور الثانى فيحدث عندما تقترب السحابة بشدة من الأرض ، وتصبح المسافة بينها وبين أقرب نقطة فى حدود 100 متر فعندها تبدأ الشحنات الموجبة فى الاتجاه من الأرض نحو السحابة ، وتسمى هذه الظاهرة بالصاعقة المرتدة Return Stroke (راجع الشكل السابق) . والعملية كلها تستغرق أقل من طرفة عين (حوالى 25 مللى ثانية) .



شكل 6-13 : أطوار البرق

وقد أشار **الرسول صلى الله عليه وسلم** فى حديث له إلى هذا المعنى ، حيث شبه صلى الله عليه وسلم مرور المؤمنين على الصراط يوم القيامة بمرور البرق ، فسأله الصحابة عن معنى مرور البرق ، فقال " ألم تر أنه يمر ويرجع فى طرفة عين" . فكان صلى الله عليه وسلم أول من أشار إلى أن البرق لا يحدث فى اتجاه واحد كما يبدو

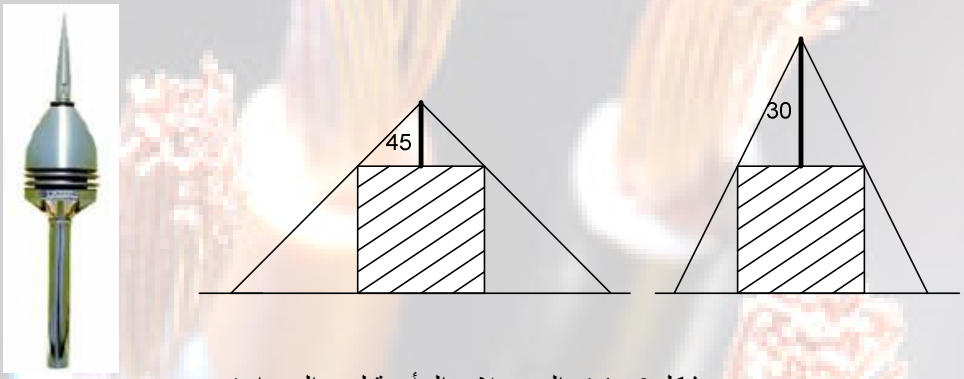
للعين المجردة ، بل يمر نازلا ثم يرجع صاعدا ، وذلك كله فى طرفة عين ، ويمكن الرجوع لموقع وكالة الفضاء الأمريكية ناسا لمزيد من المعلومات والصور عن **"مرور"** البرق و **" ورجوعه"** فى **"طرفة عين"**.

6-8 -1 متى نحتاج لمنظومة منع الصواعق؟

المنظومة تتكون أساسا من مستقبل واحد أو أكثر للصواعق Air Termination ، وموصل أرضى واحد أو أكثر يصل بينها وبين إلكترودات التأريض . وبالطبع فليس كل مبنى بحاجة لهذه المنظومة ، فهناك مباني لا نتردد فى تنفيذ هذه المنظومة فيها مثل المبانى المرتفعة جدا ، والمبانى الأثرية الهامة ، والمخازن التى تحتوى على مواد قابلة للاشتعال. لكن فى نفس الوقت هناك مبانى تحتاج إلى دراسة جدوى للنظر فى ضرورة هذه المنظومة بالنسبة لها . وتعتمد هذه الدراسة على تقييم عدة عناصر من أهمها معدلات الأيام الرعدية فى السنة ، وأهمية المبنى ، ونوع العزل فيه إلخ. وهناك جداول تفصيلية فى معظم المواصفات لهذه المعاملات يحسن أن يرجع إليها المتخصصون.

6-8 - 2 أنواع مستقبلات الصواعق

هناك أكثر من أسلوب فى تصميم مستقبلات الصواعق ، بالطبع أشهرها ذلك العمود الرأسى الذى ينتهى بسن مدبب كما فى الشكل 6-14 . وعند استخدام هذا النوع يراعى ألا تزيد زاوية المخروط الذى تكونه مانعة الصواعق فوق المبنى عن 45 درجة مع أى حرف للمبنى كما فى الشكل ، فإذا قلت الزاوية إلى 30 درجة مثلا كان ذلك أكثر أمانا. كما يجب أن يكون ارتفاع المانعة مساويا لقطر مخروط الحماية ، بمعنى آخر ، يجب أن يكون قطر سطح المبنى مساويا لارتفاع المانعة كما فى المثال التالى .



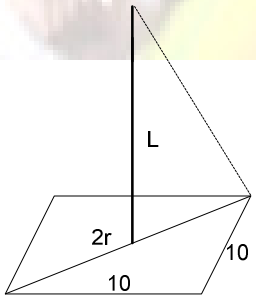
شكل 6 -14: الموصلات الرأسية لمنع الصواعق

مثال 6-3

بناية عالية مساحة سطحها 10 x 10 متر مربع ، والمطلوب حمايتها ضد الصواعق البرقية باستخدام موانع الصواعق الرأسية.

الحل :

إذا تم استخدام مانعة صواعق واحدة فيجب أن يكون ارتفاع المانعة (L) مساويا لقطر مخروط الحماية (2r) ، أى L = 2r كما فى الشكل 5-15 .



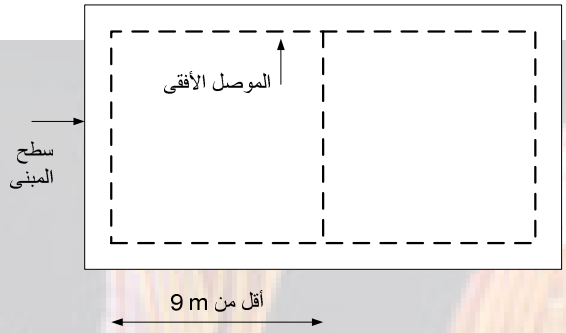
شكل 6 -15 : مثال 6-3

وبفرض أن زاوية رأس المخروط مع حرف المبنى تساوى 45 درجة فيمكن حساب L كما يلى:

$$(2r)^2 = 10^2 + 10^2 \Rightarrow 2r = 10\sqrt{2} \Rightarrow L = 14.4m$$

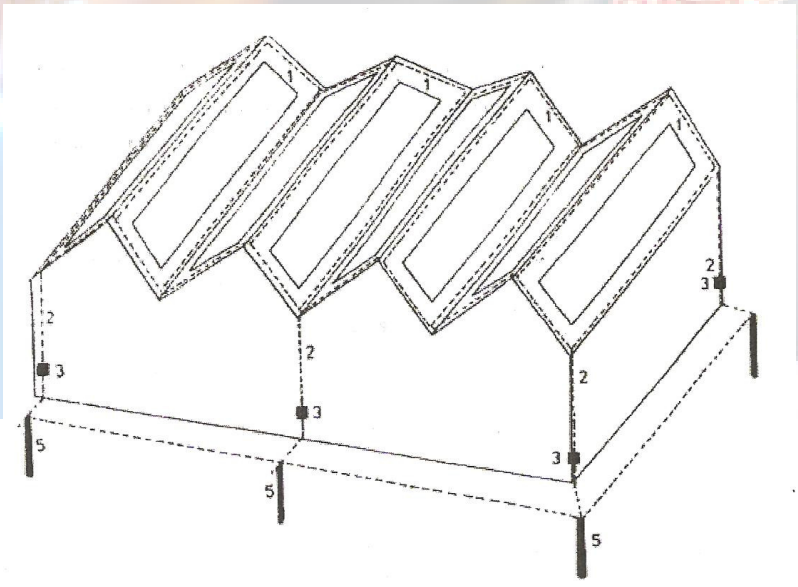
3-8-6 المستقبلات الأفقية

فى النظام السابق يستلزم أن يكون العمود فى الغالب عاليا جدا ، وبالتالى فلن يكون من السهل تثبيته ، وفى هذه الحالة سيكون أمامنا خياران : إما أن نستخدم أكثر من عمود رأسى للمبنى ، أو نستخدم أسلوب آخر وهو إحاطة المبنى بموصلات أفقية غير معزولة على محيط سطح المبنى بحيث لا تزيد المسافة بين أى نقطة على السطح وبين الموصلات الأفقية عن 9 متر كما فى الشكل 6- 16.



شكل 6-16 : حماية سطح المبنى بموصلات أفقية لمنع الصواعق

وغالبا تكون هذه الموصلات الأفقية مصنوعة إما من شريط من النحاس بمساحة مقطع 2.5 X 20 mm ، أو شريط من الألومنيوم بمساحة مقطع 4 x 20 mm. فإذا كان السطح متعرجا أو مكونا من عدة طبقات ففى هذه الحالة يجب استخدام مجموعة من الموصلات الأفقية على شكل مستطيلات (رقم 1 فى الشكل 6-17) . وترتبط هذه الموصلات بإلكترود التأريض (5) بواسطة موصلات التأريض الهابطة (2) ، وصناديق الربط (3) .

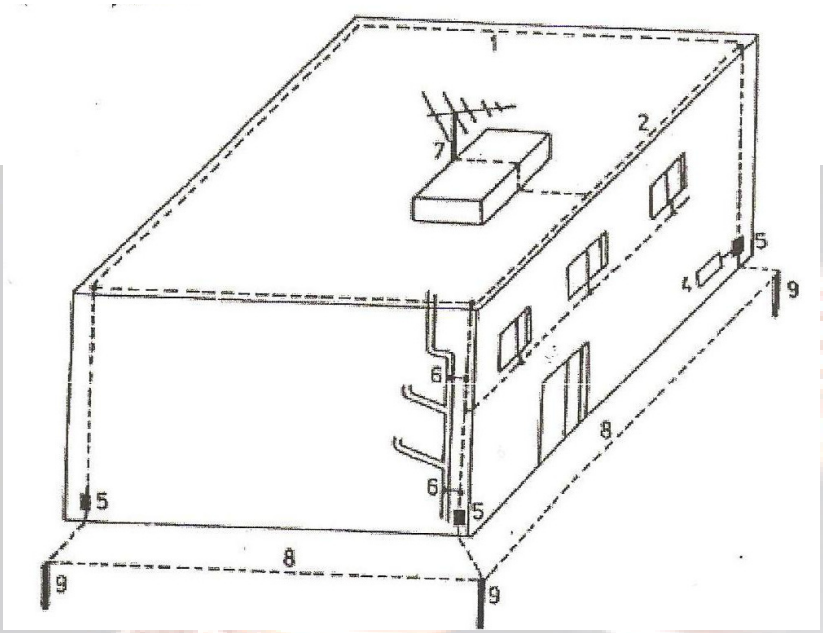


الشكل 6-17 الحماية الأفقية المتعددة من الصواعق

والشكل 6-18 يبين طريقة تنفيذ منظومة الحماية من الصواعق فى أحد المبانى . وهى تتكون من الموصلات الرئيسية الأفقية لمانعة الصواعق (رقم 1) والتى تتصل بالإلكترودات الأرضية (9) من خلال موصلات الأرضى الهابطة من أعلى على جوانب المبنى (5) .

لاحظ أن كافة المنشآت المعدنية بالمبنى قد تم توصيلها بالمنظومة بواسطة وصلات ، على سبيل المثال إريال التلفزيون (7) ، وشبابيك الألوميتال (3) ، ومواسير المياه / الغاز المعدنية (6) ، ولوحات التوزيع المعدنية (4) .

واضح أيضا أن المنظومة قد احتاجت إلى عدة إلكترودات أرضية ، وقد تم توصيلهم معا على التوازى بموصلات أرضية أفقية (8) للوصول إلى مقاومة أرضية منخفضة .



شكل : 6 – 18 : تصميم منظومة منع الصواعق فى أحد المباني .

6-8-4 حساب الجهد على موصلات النزول

الموصلات الهابطة من أعلى المبنى والمتجه إلى إلكترود التأريض ستتحمل بالطبع تيارات عالية جدا إذا اصطدمت الصاعقة بالمنظومة ، ولكن المشكلة ليست فى تحمل هذه الموصلات لهذا التيار العالى ، لأنه كما ذكرنا يمر لمدة وجيزة جدا فلا يخشى على هذه الموصلات منه ، أما المشكلة الحقيقية فهى الجهد الذى سيرتفع بشكل كبير على هذه الموصلات ، ويتكون من جزئين كما فى المعادلة التالية :

$$V = I_{LT} \times R_E + I_{LT} \times \frac{di}{dt}$$

حيث L هى الـ Inductance الخاصة بالموصل .

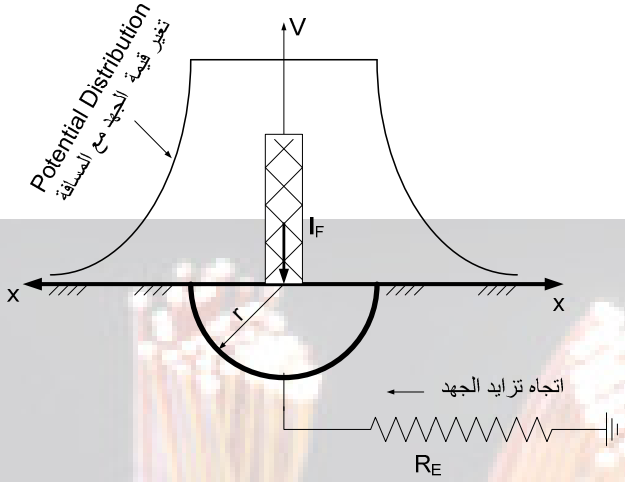
وكلا الجزئين فى المعادلة السابقة لهما قيمة عالية خاصة الجزء الثانى حيث يتغير قيمة التيار فى مدة زمنية تصل إلى نانو- ثانية مما يجعل معدل التغير عالى جدا ، و يؤدى فى النهاية لظهور جهد مرتفع جدا على هذا الموصل . وهذا الجهد المرتفع يمكن أن يتسبب فى حدوث شرارة بين الموصل الهابط وبين أى جسم معدنى قريب منه مثل مواسير المياه أو بوابات المنازل الحديدية ، وتسمى هذه الظاهرة بالـ Side Flash.

ولحل هذه المشكلة يجب التأكد من أن قيمة الجهد فى المعادلة السابقة لن تتجاوز جهد انهيار عزل الهواء الذى يساوى 30 kV/cm . ويمكن خفض هذا الجهد بزيادة عدد الموصلات الهابطة من أعلى (فتقل بالتالى قيمة الـ L) المكافئة .

6-9 توزيع الجهد

عندما نقول أن إلكترود الأرضى له مقاومة R_E فإن هذه المقاومة نظريا هى المقاومة الكلية التى تبدأ من الإلكترود حتى مركز الأرض حيث المقاومة الحقيقية هناك تساوى صفر ، وهذه المقاومة الكلية تحسب من

المعادلات كما فى الجزء السابق ، وبالتالى فعند مرور تيار العطل I_F خلال إلكترود فإنه سيتسبب فى ظهور جهد تراكمى متزايد على سطح الأرض Potential Rise بدءا من جهد يساوى صفر عند مركز الأرض ثم يتزايد تدريجيا حتى يصل للقيمة العظمى عند الإلكترود نفسه. والشكل 6-19 يعطى شكل توزيع الجهد Potential Distribution فى حالة إلكترود نصف كروى.

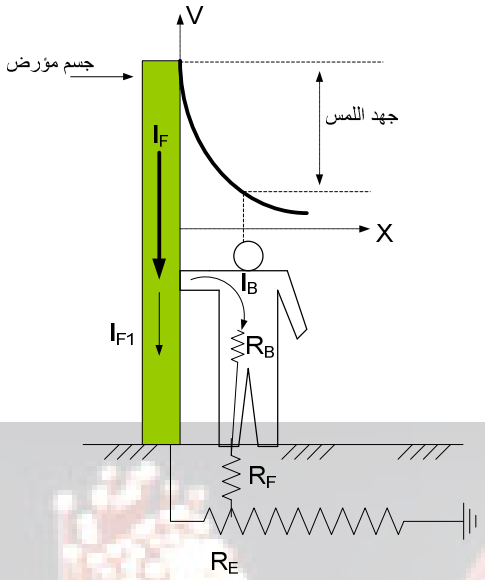


شكل 6-19 توزيع الجهد على سطح الأرض .

وبناء على هذه التعريفات يكون من الأهمية بمكان أن نتعرف على مبدأين هامين فى منظومات التأريض وهما جهد الخطوة Step Voltage ، وجهد اللمس Touch Voltage .
وهاتين النقطتين تعتبران على أعلى درجة من الأهمية داخل المحطات ذات الجهد العالى ، لكن من يتعامل مع التمديدات الكهربية لابد أيضا أن يكون ملما بفهمها خاصة أنه من الممكن أن يتعامل مع الجهود العالية نسبيا فى شبكة الجهد المتوسط بالمشروع .

6-9-1 جهد اللمس

إذا حدث قصر على محول مثلا بحيث تسرب تيار قدره (I_F) خلال جسم المحول إلى الأرض ، وكانت مقاومة الأرضى (المحسوبة كما فى المعادلات السابقة) تساوى R_E فإن فرق الجهد الذى سيظهر على جسم المحول V_{TR} يساوى ($V_{TR} = I_F R_E$) ، وإذا تصادف أن لمس أحد الأشخاص هذا المحول فإن فرق الجهد الذى سيظهر على هذا الشخص سيساوى جهد نقطة اللمس ($V_{TR} = I_F R_E$) مطروحا منه جهد النقطة التى يقف عليها بقدمه كما فى الشكل 6- 20 ، ويسمى هذا الفرق بجهد اللمس Touch Voltage، مع ملاحظة أن قيمة الجهد عند قدم هذا الشخص سيتوقف على منحنى توزيع الجهد Potential Distribution السابق شرحه فى الشكل 6-19 .



شكل 6-20 جهد اللمس

لاحظ فى الشكل السابق أن قيمة التيار المار فى الشخص I_B سيتوقف على عدة عوامل منها قيمة مقاومة جسم هذا الإنسان R_B ، وعلى المقاومة بين قدمه والأرض R_F ، ومن ثم كلما كبرت هاتين المقاومتين كلما كان الشخص فى أمان. فأما مقاومة الجسم فهى فى أقصى قيمة لها إذا كان الجسم جافا ، ولا توجد جروح فى الجلد . وأما المقاومة بين القدم والأرض فتزيد بالطبع إذا كان الشخص مرتديا حذاء أمان Safety Shoes ، وهذا هو السبب فى إلزام العاملين بالمحطات ارتداء هذه الأحذية . ومن ثم يتوقف قيمة التيار المتسرب خلال جسم الشخص على قيمة جهد اللمس (الذى يتوقف على قيمة تيار العطل) ، ويتوقف أيضا على قيمة المقاومة الأرضية.

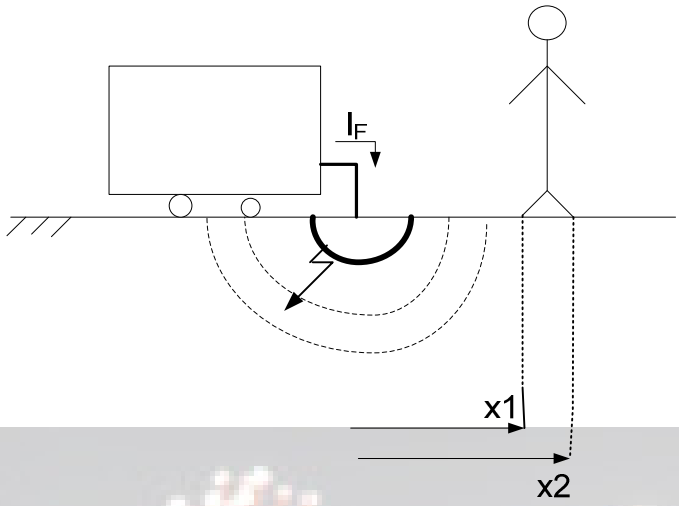
وجهد اللمس كما شرحناه يتحدد بعنصرين : الأول قيمة I_F ، والثانى بعد الشخص عن الجسم المؤرض . ومن الواضح أن تيار العطل I_F سينقسم إلى جزأين : الأول خلال المقاومة الأرضية للإلكترود R_E ، والثانى خلال جسم الإنسان ($R_B + R_F$) . ومن هنا تظهر أهمية أن تكون مقاومة إلكترود التأريض أقل ما يمكن حتى يكون حاصل ضرب الجزء الأول من التيار فى المقاومة الأرضية ($I_{F1} \times R_E$) أصغر ما يمكن ، ومن ثم يكون هذا الشخص فى أمان من جهد اللمس .

6-9-2 جهد الخطوة

أما إذا كان الشخص واقفا بجوار هذا المحول - ودون أن يلمسه – لكن هناك مسافة قدرها $(x_1 - x_2)$ بين قدميه كما فى الشكل 6-21 فإنه سيكون أيضا معرضا فى حالة تسرب تيار قدره I_F من المحول إلى الأرض لنوع آخر من الجهود يسمى جهد الخطوة Step Voltage ويحسب من المعادلة التالية (بفرض أن إلكترود التأريض من النوع النصف كروى) :

$$V_{step} = \frac{\rho I_f}{2\pi}\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}\right) \quad \text{.....6-8}$$

ومن واضح أنه كلما زادت المسافة بين قدميه ($X_2 >> X_1$) ، وكلما اقترب الشخص من المحول كلما صار جهد الخطوة أخطر.



شكل 6-21 : جهد الخطوة

وهذه الجهود الواقعة على الجسم يمكن أن تصل إلى قيمة خطيرة جدا على حياة الأشخاص والفنيين المتواجدين بجوار المنشآت الكهربية كما فى المثال التالى.

مثال 6-4:
شخص يقف بجوار المحول الرئيسى لمبنى كبير ، فإذا كان المحول مؤرض بواسطة إلكترود نصف كروى نصف قطره نصف متر فى تربة لها مقاومة 120 أوم.متر. ثم حدث قصر بالمحول ونتج عنه تيار قدره 1500 أمبير إلى الأرضي احسب:

1. **جهد اللمس ، بفرض أن الشخص قريب جدا من المحول.**
2. **جهد الخطوة عبر شخص تقف إحدى قدميه على بعد 4 متر والأخرى 4.8 متر من المحول.**

الحل:

$r = 0.5$ m $\rho = 120\ \Omega.m$ $I_F = 1500A$

$$V_T = \frac{\rho}{2\pi r} \times I = \frac{120 \times 1500}{2\pi \times 0.5} = 57.29 \quad kV$$

هذا الجهد لن يظهر كاملا على جسم الشخص الذى لامس المحول بل سيظهر الفرق بين هذه القيمة وبين قيمة الجهد عند قدميه ، حيث قيمة الجهد عند قدميه تتوقف على بعد المسافة بينه وبين الجسم المؤرض ، ويبلغ جهد اللمس أقصى قيمته إذا كان الشخص قريبا جدا من المحول بحيث يمكن أن نعتبر جهد جسم المحول هو تقريبا جهد اللمس.

أما جهد الخطوة فيحسب مباشرة من المعادلة 6 - 8 :

$$V_{Step} = \frac{\rho \times I}{2\pi}\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}\right) = \frac{120 \times 1500}{2\rho}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4.8}\right) = 1.193 \quad kV$$

واضح أن قيمة جهد اللمس ، وقيمة جهد الخطوة عاليتان ، ومن ثم فهناك خطورة على هذا الشخص.

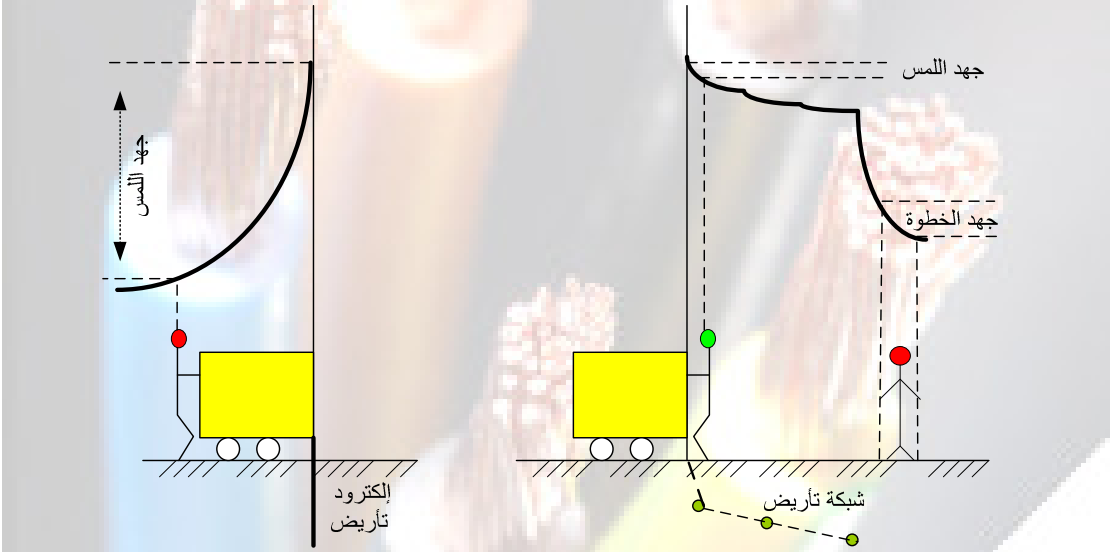
والحل لمثل هذه المشكلة :

- إما بتصغير قيمة مقاومة الأرضى والتى تساوى $\frac{\rho}{2\pi r}$ فى هذا النوع من الإلكترودات ، وذلك بزيادة قطر الإلكترود ، أو زيادة عدد نقاط التأريض بتغيير نوعية نظام الأرضى إلى مجموعة من الإلكترودات المتعددة مثلا ، وفى هذه الحالة ستكون قيمة التيار كما هي فى المعادلة السابقة مقسومة على N ، لكن النتيجة النهائية لن تكون مساوية لـ R/N بسبب Screening Coefficient الذى سبق الحديث عنه.
- أو تغيير نوعية التربة.

6-9-3 أشكال توزيع الجهد

تتفاوت ميزات وعيوب كل نوع من أنواع إلكترودات التأريض التى سبق الحديث عنها ، فمن ميزات الإلكترودات السطحية أن توزيع الجهد على سطح الأرض الناشئ نتيجة مرور تيار العطل خلال هذه الإلكترودات SPD , Surface Potential Distribution يكون أفضل من الإلكترودات المدفونة رأسيا. ففى حالة الإلكترودات الأفقية يكون قيمة الجهد الذى ينشأ على سطح الأرض بين نقطتين فى المنطقة القريبة من الجسم المؤرض نتيجة مرور تيار العطل صغيرا جدا . والشكل 6-22 يمثل مقارنة بين الجهد الذى يظهر على جسم شخص واقف على الأرض نتيجة لمسه لمحول مؤرض فى حالتين :

1- بواسطة إلكترود مدفون رأسيا فى الجزء الأيسر من الشكل 6- 22 .
2- شبكة تأريض Grid فى الجزء الأيمن من الشكل 6-22 .



شكل 6-22 توزيع الجهد فى حالة استخدام إلكترود التأريض و شبكة تأريض

6-9-4 توزيع الجهد عند استخدام شبكة تأريض

كما ذكرنا فإنه فى حالة استخدام أسلوب شبكة التأريض (الـ Grid) المكونة من مجموعة من الـ Meshed Electrodes يكون توزيع الجهد فى المساحة المغطاة بالـ Meshed Electrodes شبه متساوى Equi-potential وبالتالى ففرق الجهد بين نقطتين متقاربتين يكون صغيرا ، ثم يحدث تزايد تدريجى بدءا من نهاية حدود شبكة التأريض كما فى الشكل 6-22 (يمين) .

ويجب أن تكون حدود الـ Mesh الخارجية المستخدمة للتأريض أبعد بمقدار متر على الأقل بعيدا عن الجسم المعدنى المراد تأريضه ومن ثم يكاد ينعدم تأثير الـ Touch Voltage على الأشخاص الذين يلمسون هذا

الجسم مباشرة كما في لشكل (6-22 يمين) لأن فرق الجهد الذى سيظهر على أجسامهم سيكون صغيرا. لكنهم قد يكونون فى دائرة الخطر نتيجة الـ Step Voltage إذا وقفوا فى المنطقة الواقعة خارج حدود الـ Mesh ، ويتم التغلب على هذه المشكلة بجعل الـ Electrodes الخارجية للـ Mesh أكثر عمق من الـ Electrodes الداخلية لتقليل المقاومة الأرضية بدرجة أكبر .

لاحظ أن استخدام نظام الـ Grid أوالـ Meshed يصبح إلزاميا فى تأريض محطات الكهرباء Substations حيث قيمة تيارات العطل هناك عالية جدا ، ومن ثم فاستخدام إلكترود مدفون قرب محول مثلا لا يمكن أن يحقق المقاومة الأرضية الصغيرة جدا التى نحتاجها فى مثل هذه الحالات. وبالطبع فحسابات هذه الـ Grid تكون أكثر تعقيدا ويدخل فيها عدد كبير من المتغيرات لاسيما فى محطات الكهرباء ذات الجهد العالى ، وهذا خارج نطاق الكتاب الذى يعنى فقط بالتمديدات الكهربية.

6-10 أشهر نظم تأريض مصدر التغذية

التأريض لا يختص فقط بحماية البشر بل هناك – كما ذكرنا – أدوارا أخرى للتأريض منها تحسين Power Quality من خلال تأريض مصادر التغذية. و توجد العديد من طرق تأريض نقطة التعادل عند مصدر التغذية من أهمها:

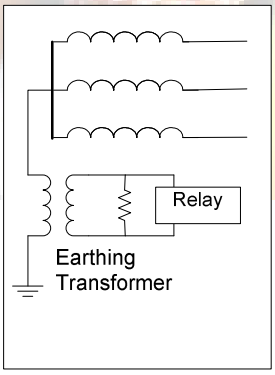
1- التأريض المباشر Solidly Earthing .
2- التأريض خلال مقاومة Resistance Grounding .
3- التأريض خلال معاوقة Reactance Grounding .
4- النظم المعزولة Isolated System .

6-10-1 التأريض المباشر Solidly Earthing

فى هذا النظام تتصل نقطة التعادل مباشرة بإلكترود التأريض ويتميز هذا النظام بأنه عند حدوث عطل أرضى فإن الجهد على الـ Faulty Phase لا يزيد عن الجهد العادى ، ومن ثم لا نحتاج لعوازل مكلفة. كما أن تمييز واكتشاف العطل يكون سهلا جدا فى هذا النظام بسبب ارتفاع قيمة تيار العطل مقارنة بالتيار العادى ، لكن على الجانب الأخر يستلزم أن يتحمل النظام (سواء الكابلات أو CBs) قيم تيارات القصر شديدة الارتفاع المتوقع حدوثها بمعنى أن Rupture Capacity لها سيكون مكلفا جدا ، ولذا ففى الغالب يستخدم هذا الأسلوب مع الجهود المنخفضة فقط.

6-10-2 التأريض خلال مقاومة Resistance Grounding

وهو النظام الأشهر خاصة مع المولدات الكهربية ، حيث توضع المقاومة متصلة مباشرة بنقطة التعادل كما فى الشكل 6-2 السابق ، أو توضع فى الجانب الثانوى لمحول تأريض Earthing Transformer ، كما فى الشكل 6-23 .



شكل 6- 23 : استخدام محول التأريض .

6-10-3 التأريض خلال معاوقة Reactance Grounding

وفيه تستخدم Reactor بين نقطة التأريض والـ Neutral ، وغالبا تختار قيمة الـ Reactance بحيث تحدث خفضا فى قيمة تيار العطل بنسبة حوالى 25- 60 % من قيمة أعلى تيار قصر فى حالة Solidly Earthed ، ويجب ألا يزيد الخفض عن أكثر من ذلك لتجنب حدوث ارتفاع شديد فى قيمة جهد نقطة التعادل.

6-10-4 النظم المعزولة Isolated System

لاشك أننا يمكن أن نضيف لهذه الأنظمة نظاما آخر وهو عدم تأريض نقطة التعادل مطلقا ، وقد أشرنا إلي هذا النظام فى بداية هذا الفصل وهذا النظام – وإن كان يبدو فى ظاهره أنه أكثر أمانا ، إذ أن تيار العطل معدوم لعدم وجود مسار يرجع من خلاله تيار العطل إلى المصدر ، أو هو فى الواقع تيار صغير جدا ، حيث سيتسرب فقط خلال المكثفات الشاردة Stray Capacitance للجهاز وكابلاته ، كما أن هذا النظام يعتبر الأكثر اقتصاديا لأن أجهزة الحماية الخاصة به أقل كلفة من تلك المستخدمة مع التيارات العالية - لكنه فى الواقع يحمل نواة لمشاكل عديدة . منها على سبيل المثال :

- ❖ أن حدوث عطل ثانى قبل اكتشاف وإصلاح العطل الأول سيتسبب فى تيار قصر عالى جدا .
- ❖ مرور تيار العطل خلال هذه المكثفات ستتسبب حدوث شرارات متتابعة Repeated Arcing.
- ❖ سيحدث ارتفاع كبير فى جهد الجهاز بالنسبة للأرض.
- ❖ أضف إلى ذلك صعوبة تحديد مكان العطل فى مثل هذه الأنظمة .

ومن ثم فهى أنظمة نادرة الاستخدام.

6-11 أشهر نظم التأريض عند المستهلك

فى الجزء السابق تحدثنا عن تأريض نقطة التعادل عند مصادر التغذية ، أما فى هذا الجزء فسنتحدث عن خمسة نظم شائعة فى العالم لتأريض الأجسام المعدنية الغير حاملة للتيار عند المستهلك ، وهى تختلف أساسا فيما بينها فى العلاقة بين أسلوب تأريض مصدر التغذية ، وأسلوب تأريض معدات المستهلك. والأسماء المختصرة لهذه الطرق الخمسة هى:

- **TN-S.**
- **TN-C.**
- **TN-C-S.**
- **IT.**
- **TT.**

وقد اختيرت الحروف اللاتينية بعناية للتعبير عن أهم ما يميز كل نظام عن الآخر ، كما يلى :

T وهى مشتقة من الكلمة الفرنسية Terre وتعنى الأرض Earth .
N وتعنى خط التعادل Neutral .
C وتعنى شيئا مشتركا Combined .
S وتعنى شيئا منفصلا Separate .
I وتعنى شيئا معزولا Isolated .

والحرف **الأول** من اسم أى نظام من النظم الخمسة السابقة يرمز إلى طريقة توصيل نقطة التعادل **Neutral Point عند مصدر التغذية** ، وهو أحد أسلوبين اثنين :

- إما موصلة بالأرض (فى الأنظمة التى تبدأ بحرف الـ T)
- وإما معزولة Isolated (فى الأنظمة التى تبدأ بحرف الـ I) ، وهو نظام وحيد IT .

أما الحروف الثانى والثالث والرابع فهى تحدد نظام التأريض **عند المستهلك** .
فالحرف الثانى :

- إما أن يكون T : أى أن **تأريض المستهلك** له أرضى منفصل ، وهذا يعنى أنه منفصل تماما عن أرضى المصدر ، ولهذا أصبح للمصدر T ، وللمستهلك T أخرى ، وهو ما يحدث فى نظام الـ TT .

- أو أن يكون N فتعنى أن التأريض عند المستهلك له علاقة بالـ Neutral . و هذه علاقة تتحدد حسب الحرف الثالث والرابع .

فالحرف الثالث قد يكون C ، كما فى النظام :

- TN-C وفيه يكون خط الـ Neutral ، وخط الأرضى Protective Earth, PE يمثلان خطا واحدا مشتركا طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك ، ومن ثم فإن خط تأريض المستهلك يعتبر متحد " Combined " مع الـ " Neutral " ، ومن هنا جاء الحرفين N-C.

كما قد يكون الحرف الثالث S ، كما فى النظام :

- TN-S وفيه يكون خط التعادل N وخط الأرضى PE منفصلين تماما طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك ، ومن ثم خط تأريض المستهلك يعتبر مفصولا " Separate " عن خط الـ " Neutral " ، ومن هنا جاء الحرفين N-S .

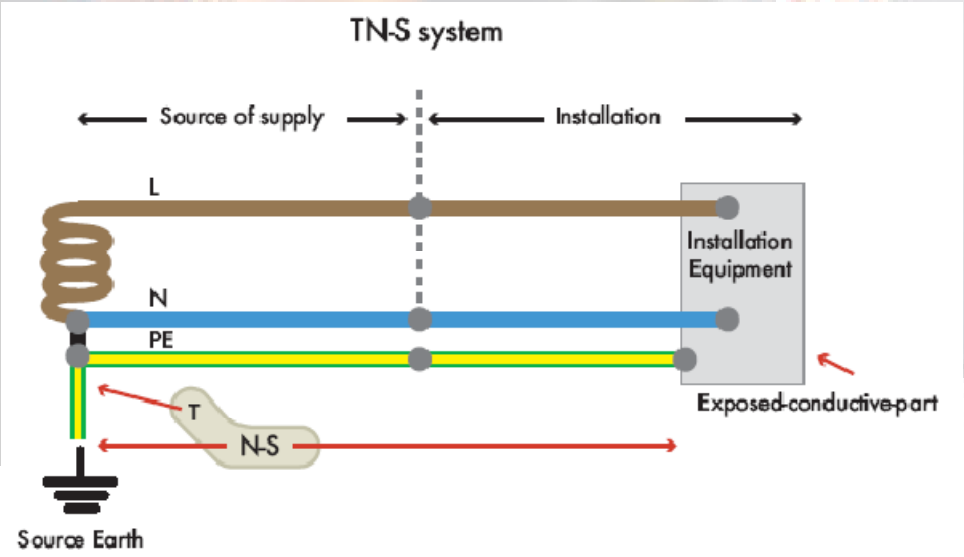
وقد يكون لدينا حرف ثالث ، و حرف رابع ، كما فى النظام :

- TN-C-S وفيه يكون خط الـ Neutral وخط الأرضى (PE) خطا واحدا طوال المسافة من المصدر وحتى مدخل بيت المستهلك أى أنهما متحدان Combined في هذا الجزء ، لكنهما ينفصلان داخل بيت المستهلك فيصبحان Separate ، أى أن خط تأريض المستهلك يكون " Combined " مع خط الـ " Neutral " فى جزء من الشبكة " لكنه أيضا Separate عن الـ " Neutral " فى جزء آخر ، ومن هنا جاء ت حروف هذا النظام.

وفيما يلى تفاصيل أكثر عن هذه الأنظمة.

6-11-1 النظام الأول : S-TN

فى هذا النظام توجد نقطة تأريض واحدة عند المصدر . وكما هو واضح من اسمه فلدينا تأريض خاص بالمصدر (الحرف الأول من اليسار T) ، ولدينا أيضا خط تأريض للمستهلك منفصل تماما Separate عن خط الـ Neutral طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك ، لكنهما يلتقيان عند المصدر فقط كما فى الشكل 6-24 .



شكل 6-24 : نظام TN-S

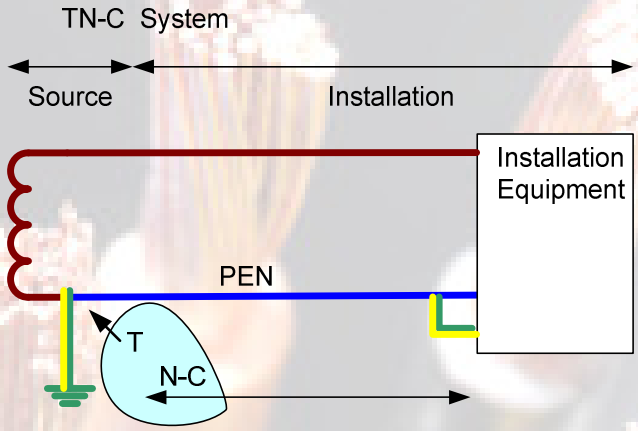
ويجب ألا يفهم من الرسم أن هناك دائما كابل خاص بخط الأرضى يمدد بجوار كابل الـ Power على طول المسافة من المصدر وحتى المستهلك فهذا غير عملى ، وإنما الواقع أن الحماية المعدنية للكابل Cable Sheath هى التى تستخدم لربط نقطة التأريض عند المستهلك بنقطة التأريض عند المصدر ، وهذه الحماية المعدنية للكابل ممتدة بطبيعة الحال بطول الكابل من المستهلك وحتى المصدر ، فليس هناك داع لكابل منفصل.

وهذا النظام كان شائعا فى المدن الأوروبية القديمة ، ويتميز بتأمين مسار من مكان المستهلك حتى مصدر التغذية لتيار العطل الأرضى الحادث عند المستهلك. لكن يعيبه وجود شبكة أرضية واحدة للجهد المنخفض والمتوسط .

وقد يبدو للبعض – بطريق الخطأ - أن هذه ميزة اقتصادية ، لكن الحقيقة أن تجميع عناصر شبكة الجهد المتوسط وعناصر شبكة الجهد المنخفض إضافة إلى نقاط تأريض المستهلك جميعهم على شبكة أرضى واحدة يعنى أن أى عطل فى شبكة الجهد المتوسط يمكن أن يتسبب فى رفع الجهد عند المستهلك لقيم خطيرة فالجميع أصبحوا كما يقول المثل فى "سفينة واحدة". كما أن حدوث أى قطع فى الحماية المعدنية للكابل فى أى نقطة على طول المسافة – التى قد تكون طويلة - من المصدر وحتى المستهلك يعنى أن أجهزة المستهلك صارت غير مؤرضة.

6-11-2 النظام الثانى : C-TN

فى هذا النظام يستخدم موصل التعادل Neutral كخط تأريض ، ومن ثم فهناك نقطة تأريض واحدة عند المصدر (الحرف الأول من اليسار T) ، وهناك اتحاد **C**ombined بين خط تأريض المستهلك PE وخط التعادل N ، فهما فى الواقع خطا واحدا على طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك كما هو واضح فى الشكل 6-25 . ولذا يسمى هذا النظام أيضا بـ **PEN**- system (Protective Earthing Neutral). وهذا النظام غير شائع فى بلادنا وإن كان موجودا بكثرة فى الولايات المتحدة . ويمكن استخدامه فى بلادنا فقط إذا كانت التغذية من مصادر توليد خاصة ، ولا يوجد أى اتصال بينها وبين الشبكة العمومية للدولة .

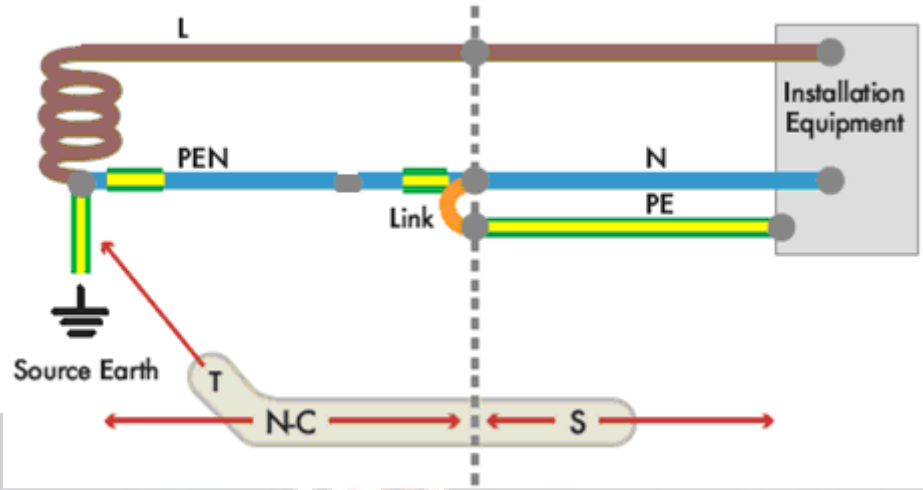


شكل 6-25 : نظام TN-C

ويتميز النظام بأنه اقتصادي جدا فهناك موصل واحد مشترك بين خط التعادل وخط الأرضى لكن يعيبه أن حدوث أى قطع فى هذا الخط المشترك فى أى نقطة على طول المسافة سيرفع جهد الأجسام المعدنية عند المستهلك إلى قيم خطيرة لاسيما إذا كانت الأحمال غير متزنة.

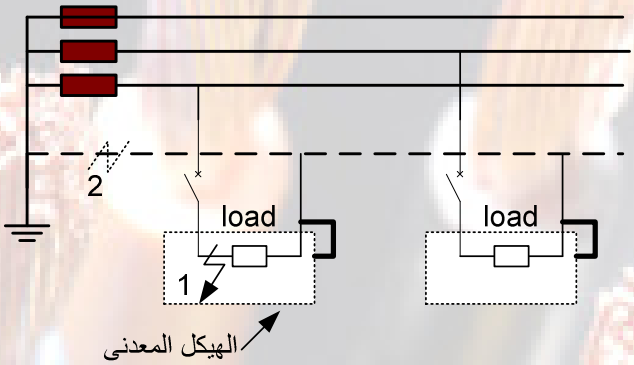
6-11-3 النظام الثالث: S-C-TN

وهو الأكثر شيوعا فى أوروبا ، وهو نظام عالج جزئيا المشكلة السابقة فى النظام الثانى بأن فصل بين الأرضي والتعادل داخل حدود المستهلك فقط ، لكن الـ Neutral والأرضى مشتركان فى بقية المسافة بين المستهلك والمصدر (شكل 6-26) ، ومن ثم فالحل غير كامل خاصة إذا حدث قطع فى موصل الـ Neutral الموحد ، فعندئذ يمكن أن تتأثر بتيارات الأعطال الخاصة بالمستهلكين المجاورين.



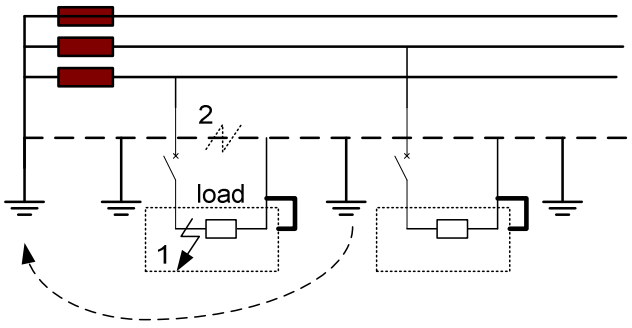
شكل 6-26 : نظام TN-C-S

ولتوضيح هذه النقطة فإننا نفترض وجود اثنين من المستهلكين على هذا النظام كما فى الشكل 6-27 :



شكل 6-27 مشاكل TN-C-S

فعند حدوث عطل عند النقطة -1 ، فإن النظام فى الظروف العادية يؤمن طريقا لتيار العطل إلى المصدر دون أية مشاكل ، لكن المشكلة تحدث إذا كان هناك قطع فى موصل التعادل عند النقطة-2 مثلا ، فعندئذ سيتكهرب موصل التعادل (على اليمين من النقطة-2) وبالتالى سيتأثر المستهلك الثانى (رغم انه لا توجد لديه أعطال) وسيشعر بالجهد العالى على الهيكل المعدنى لأجهزته.
ولعلاج المشاكل السابقة فقد أضيفت نقاط تأريض أخرى كما فى الشكل 6-28 وعندها يسمى هذا النظام بـــ Protective Multiple Earthing, PME . لاحظ فى هذه الحالة أن وجود القطع عند النقطة-2 لم يحدث أى مشاكل لأن تيار العطل وجد طريق آخر كما فى الرسم إلى المصدر قبل أن يمر بهياكل أجهزة المستهلك المجاور.



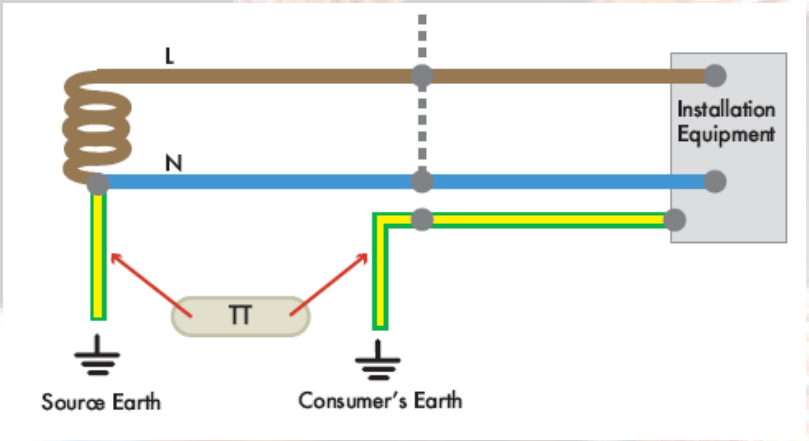
شكل 6-28 : نظام PME

6-11-4 النظام الرابع : IT

وهو النظام الوحيد الذى تكون فيه نقطة التعادل عند المصدر معزولة Isolated ، ويتميز بأن تيار العطل الأرضى فيه أصغر من كل أنظمة التأريض الأخرى وقد لا يشعر به أحد ، كما أنه أصلا لا يؤثر على استمرارية التغذية بالشبكة ، وهذه النقطة الأخيرة هى التى جعلته مفضلا فى بعض الأماكن الهامة مثل غرف العمليات فى المستشفيات ، وبعض العمليات الإنتاجية الحساسة لانقطاع التيار فى المصانع . مع ملاحظة أن هذه ميزة قد تصبح عيبا فى غير هذه التطبيقات !! ، فجهد نقطة التعادل سيرتفع بدرجة كبيرة مقارنة بالأنظمة الأخرى ، وقد ينخفض التيار إلى درجة أن أجهزة الوقاية تصبح غير قادرة على تمييزه عن التيار الطبيعى ، ومن ثم لا يصلح إلا للتطبيقات الحساسة لانقطاع التيار كما ذكرنا. وأخيرا نشير إلى أن هذا النظام يناسب فقط الشبكات المعزولة (شبكات التغذية الخاصة الغير مربوطة بالشبكة العامة).

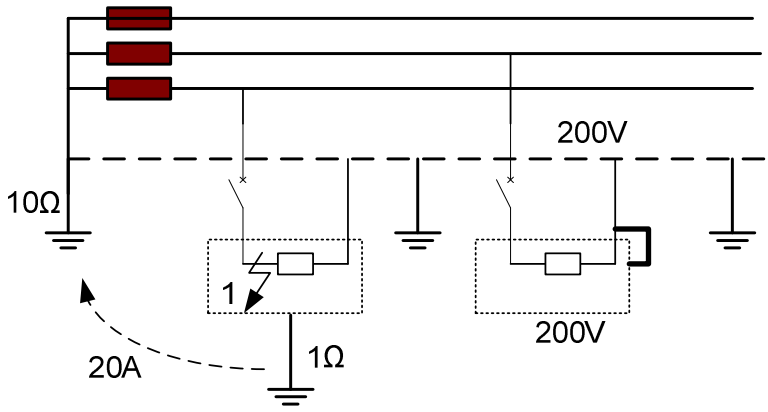
6-11-5 النظام الخامس : TT

وهو أكثر الأنظمة أمانا ، ويسمى نظام التأريض المباشر ، فهناك فصل تام بين نقطة التأريض عند المصدر وبين تأريض المستهلك كما فى الشكل 6-29 . وتقوم الأرض بدور الموصل الرابط بين نقطة العطل ومصدر التغذية حيث يعود تيار العطل خلالها ، وبالتالى فالمستهلك أصبح بعيدا عن مشاكل الشبكة العامة وكذلك مشاكل المستهلكين الآخرين . لكن بالطبع هذا يستلزم أن يقوم المستهلك بعمل شبكة الأرضى الخاصة به ، ومن ثم فهو أكثر تكلفة ، إضافة إلى تركيب جهاز للوقاية ضد التسريب الأرضى Earth Leakage Protection حيث صار معزولا عن أجهزة الوقاية بالشبكة الخاصة بالحماية ضد التسريب.



شكل 6-29 : نظام TT

ويجب أن نشير هنا إلى نقطة مهمة جدا ، وهى أنه يجب ألا يستخدم نظام TN-S-C مع نظام التأريض المباشر TT فى منظومة واحدة كما فى الشكل 6-30 . فعند حدوث عطل عند النقطة-1 سيمر تيار العطل خلال مقاومة الجهاز الأول (فرضا تساوى 1Ω) وأيضا خلال مقاومة تأريض مصدر التغذية (فرضا تساوى 10Ω) ، فإذا كان جهد التغذية يساوى 220 V فإن تيار العطل سيساوى (220V ÷ 11Ω= 20A) ، وهذا التيار سيتسبب فى ظهور جهد قيمته (20A x 10Ω = 200V) على خط التعادل ، مما يسبب مشاكل لبقية المستهلكين بالشبكة. لاحظ أنه لو كان المستهلك الثانى لديه تأريض مباشر أيضا لما حدثت هذه المشكلة ، ومن ثم فالسبب هو وجود نظامى تأريض مختلفين.



شكل 6-30 : عيوب استخدام نظامي التأريض TT & TN-C-S في شبكة واحدة

كما يجب فى حالة نظام الـ TT ما يلى:
1- تجنب ربط الأرضى بخط التعادل .
2- تجنب ربط الأرضى بمواسير المياه .
3- يمنع منعا باتا اعتبار خط التعادل على أنه خط للأرضى .
4- يمنع ربط أرضى الشبكة بأرضى المستهلك .

لاحظ أنه في منظومة التأريض من نوع TT تشكل مقاومة الإلكترودات الأرضية الجزء الأكبر من المقاومة الكلية لدائرة الـ Earth Fault ، لذا تلعب كفاءة شبكة الأرضى عند المستهلك دورا رئيسيا في فعالية شبكة الأرضي ككل ، وهذا يتطلب الاهتمام بمراقبتها وصيانتها دوريا.

12-6 التحات أو التآكل الكيميائي (Corrosion)

ومن الأمور الواجب الإشارة إليها أن نظم التأريض التى درست خلال هذا الفصل قد تتعرض لمشاكل إضافية لا علاقة لها بالأعطال الكهربية ، ومن هذه المشاكل التآكل الكيميائى. فمن المعروف أنه إذا تواجد معدنان مختلفان و منفصلان في وسط رطب ، أو تواجدت وصلة من هذين المعدنين في مكان رطب فإنه مع مرور الوقت يحدث تآكل لأحدهما ، و السبب في ذلك هو الفعل الإليكتروني الذي يؤدي إلى تحات المعدن الأكثر أنودية.

و يبين الجدول 6-6 الترتيب الجلفاني لعدد من المعادن ، و يعتبر المعدن أكثر أنودية من معدن أخر إذا كان يسبقه فى الترتيب ، فمثلا الصلب المجلفن أكثر أنودية من النحاس (فرق الجهد بينهما هو (0.8 فولت) ولكن النحاس أكثر أنودية من الذهب (فرق الجهد بينهما هو (0.4 فولت).

جدول 6-6 : أنودية بعض المعادن

المعدن	الجهد الجلفانى (فولت)
صلب/حديد مجلفن	-1.05
ألومنيوم	-0.75
الصلب الذى لا يصدأ	-0.6
الرصاص	-0.55
النحاس	-0.25
الفضة	0.0
الكربون	+0.1
الذهب/البلاتين	+0.15

على سبيل المثال ، إذا تواجدت ماسورة من الصلب المجلفن مدفونة بجوار إلكترود تأريض من النحاس فإن ذلك يؤدى إلى تآكل الماسورة الصلب ولا يصاب النحاس بأى ضرر ، و لكن قد يتكون حوله طبقة من الأملاح نتيجة

للفعل الإلكتروليتى. ويعتمد معدل التحات الكيميائى على الفرق فى الجهد الجلفانى بين المعدنين ، **كما أن معدل تآكل المعدن الأكثر أنودية يتناسب طرديا مع مساحة الكاثود وعكسيا مع مساحة الأنود.**

لاحظ أن الذهب هو سيد المعادن لأن أنوديته منخفضة جداً ، وبالتالى لا يمكن أن يتآكل إذا وضع بالقرب من أى معدن. لاحظ أن النحاس متأخر نسبيا فى الترتيب لذا فمقاومته للصدأ عالية ، ولهذا نجد أوانى قدماء المصريين النحاسية باقية فى قبورهم رغم مرور آلاف السنين ، وبالطبع فالقطع الذهبية باقية لنفس السبب.
أما إذا كان هناك ضرورة لوجود وصلة تأريض مكونة من معدنين مختلفين فيجب مراعاة النقاط التالية :

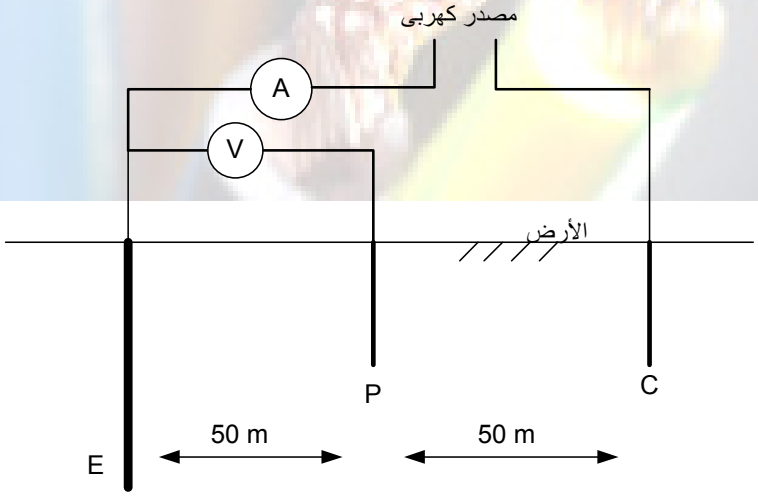
- يجب أيضا أن تكون الوصلة فوق سطح الأرض .
- وأن تكون محمية من الرطوبة.
- وأن يكون من السهل الوصول إليها لغرض التفتيش ، كما يجب أن يتم التفتيش على الوصلة مرة كل عام.

يجب ألا يكون المعدن الأكثر أنودية هو جسم المعدات أو المنشآت لأن مساحة الجسم كبيرة ومن ثم سيكون احتمال الصدأ أعلى (تذكر أن معدل تآكل المعدن الأكثر أنودية يتناسب طرديا مع مساحة الكاثود وعكسيا مع مساحة الأنود) ، فمثلا إذا أردنا توصيل برج من الصلب المجلفن أو محول كهربى إلى إلكترود التأريض النحاسي فيجب أن يتم ذلك بواسطة شريط صلب مجلفن وليس شريط من النحاس ، بحيث يسهل تغيير شريط الصلب فى حالة حدوث تحات بينه وبين الإلكترود الأرضي النحاسى. لاحظ أننا إذا اذا استخدمنا وصلة من النحاس فإن جسم البرج هو الذي سيتآكل لأنه أكثر أنودية من النحاس ، أما لو استخدمنا شريط من النحاس فإن البرج الصلب هو الذى سيتآكل لأنه الأسبق فى الأنودية.

13-6 قياس قيمة مقاومة الأرضي

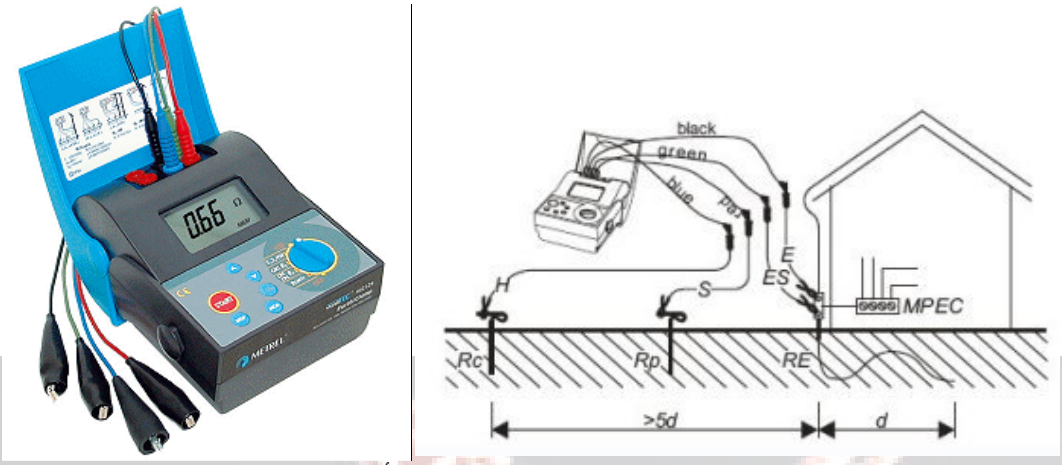
هناك عدة طرق لقياس مقاومة نظام الأرضي ، ومن أبسط وأسهل الطرق المستخدمة فى هذا المجال طريقة "انخفاض الجهد" . ففى هذه الطريقة نستخدم إلكترودان مساعدان (C & P) يوضعان على مسافة مناسبة من الإلكترود الرئيسى E المراد قياس مقاومته كما فى الشكل 6-31 . وغالبا يكون طول الإلكترود المساعد فى حدود المتر وتكون المسافة بين C و E لا تقل عن 100 m ، على أن يوضع الإلكترود P فى منتصف المسافة بين C وE ، ويوصل مصدر كهربى بين C و E ، ثم يقاس التيار المار فى الأميتر (A) والجهد الذى يظهر على الفولتميتر (V)، وتكون مقاومة الإليكترود الأصلى $R_e = V/I$.

ويمكن إعادة الاختبار بتحريك الإلكترود P إلى يمين موضعه الأصلى ، أو إلى يساره ، بمسافة لا تقل عن 5 أمتار للحصول على قراءات جديدة ثم نأخذ متوسط القراءات. لاحظ أن عيب هذه الطريقة هو الحاجة لمساحة واسعة لوضع الإكترودين المساعدين.
ملاحظة هامة: يجب فصل الإلكترود الأصلي عن أي دائرة قبل إجراء القياسات.



شكل 6-31 : طريقة انخفاض الجهد لقياس مقاومة الأرضي

والصورة 7-1 تظهر أحد الأجهزة الحديثة المستخدمة فى القياس .



صورة 7-1 : جهاز قياس مقاومة الأرضى.

14-6 الإسعافات الأولية للمصاب بالصدمة الكهربائية

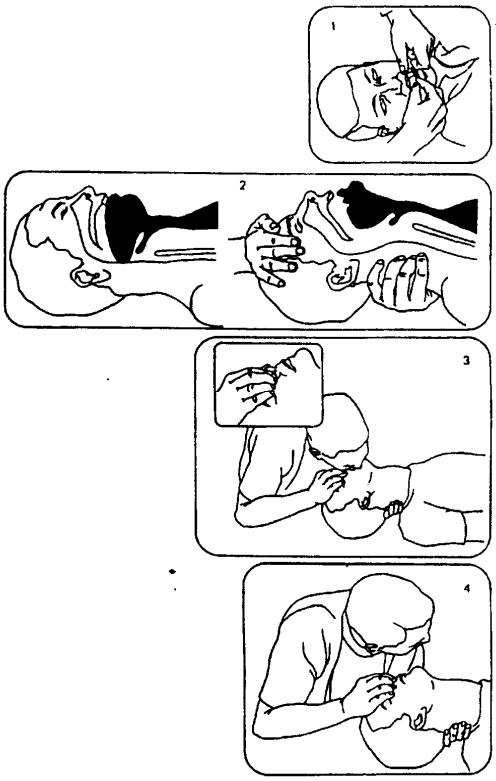
ونختم هذا الفصل بإشارة سريعة إلى الإسعافات الأولية للمصاب بصدمة كهربية . ونشير هنا إلى أنه عند ملاحظة أي شخص يتعرض لصدمة كهربائية فإنه يجب الاهتمام و العمل على إنقاذه مهما كانت حالته لأن الذى صعق بالكهرباء قد يبدو ميتا لكنه في الواقع يحتاج فقط للـ CPR أو تنفس صناعي لإنقاذه ، وعلى العكس من ذلك ، فقد يبدو الشخص الذي أصيب لتوه بالصدمة الكهربية و أغمى عليه ثم أفاق قد يبدو أنه صار طبيعيا ولم يتأثر بالحادث ، و لكن بعد ساعات قد يسقط ميتا. ولذا نشير هنا إلى أن أى الشخص نجا من صدمة كهربية وأغمى عليه وقتها فإنه - حتى لو سار على قدميه - يجب عليه مراجعة الطبيب لأن الصدمة قد تكون قد سببت جلطة قد تودي بحياته بعد ذلك .

و تعتمد الإسعافات الأولية على الحالة التي يكون عليها المصاب بعد تخليصه من التيار الكهربائي ، فمثلا :

إذا كأن المصاب قد عاد إلى وعيه بعد أن فقده نتيجة للصعقة فيجب وضعه في مكان مناسب ودافئ ثم يفرش تحته و يغطى بأي نوع من أنواع الألبسة و يترك بهدوء دون أن يزعجه أحد من المراقبة المستمرة لتنفسه و عمل قلبه حتى يحضر الطبيب ، و لا يسمح للمصاب بالتحرك أو متابعة العمل حتى و لو لم تبدو عليه أي علامات سيئة بعد الإصابة.

إذا فقد المصاب وعيه (حالة إغماء) مع استمرار عمل جهاز تنفسه و قلبه ، ففي هذه الحالة يجب تمديد المصاب على أرض مريحة و تفك عنه الأحزمة و الألبسة الضيقة و يبعد عنه الأشخاص المحيطين به لتأمين استنشاق الهواء النقي و يؤمن له الهدوء التام و يمكن تدليك جسد المصاب ورش وجهه بالماء أو تشميمه قطعة قطن مبللة بالنشادر ريثما يحضر الطبيب .

فإذا كان المصاب لا يتنفس و توقف قلبه عن العمل فمن الضروري في هذه الحالة العمل على إعادة الحياة له بطريقة إجراء عملية التنفس الصناعي (شكل 6-32) والقيام بتدليك خارجي للقلب ، ويجب التذكر بأن الفترة التي يمكن فيها إنقاذ حياة المصاب هي الفترة التي لا يزيد فيها توقف القلب عن 4-5 دقائق، لذا فإن تقديم الإسعافات الأولية يجب أن يكون بالسرعة القصوى و في مكان الإصابة ثم نقله بعد ذلك إلى أقرب مكان مناسب و إجراء الإسعافات الأولية له.



شكل 6-32 خطوات الـ CPR

الفصل السابع
نظم الإضاءة الكهربية

7

الفصل السابع

نظم الإضاءة الكهربية

7-1 أهمية علم الإضاءة

الإضاءة Lighting هي إسقاط ضوء على سطوح الأشياء بحيث نتمكن من رؤيتها بالعين المجردة . وتكمن أهمية الإضاءة في أن البشر يلتمسون المعرفة ويحصلون على القسم الأعظم من معلوماتهم عن العالم المحيط بهم بطريق الرؤية أو الإبصار، كما أن الإضاءة تسهم في تحقيق الاستقرار النفسي للإنسان في عمله وفي أوقات راحته إلى جانب إسهامها في المحافظة على صحة الإنسان وسلامته. فعندما تكون الإضاءة حسنة والرؤية جيدة يزداد مردود العمل ويتحسن نوعه وتتناقص إصابات العمل وأخطاؤه ، وتنخفض حوادث الطرق إلخ. على الجانب الآخر فإن المجهود الذى يبذل بسبب ضعف الإضاءة يسبب الكثير من التعب بالإضافة إلى كثير من الأخطاء . وقد يصاب الإنسان بالصداع نتيجة تفاوت شدة الضوء وسوء توزيعه حيث يتسبب تتابع اتساع حدقة العين وضيقها فى الكثير من الإجهاد للأعصاب.

والتصميم النموذجي للإضاءة ليس عملا هندسيا بحتا ، فالمصمم الناجح يحتاج إلى أن يأخذ فى الاعتبار المتطلبات الصحية المتعلقة بخصائص الرؤية عند الإنسان مثل حساسية العين للضوء وقدرتها على تمييز الألوان والتباين ، وحدة البصر، وسرعة الإدراك البصري ، وثبات الرؤية الواضحة.

وفى البداية هناك سؤال مهم ، وهو: على من تقع مسئولية أعمال الإضاءة ؟ هلى هى مسئولية مهندس الديكور ، أم المعمارى ، أم مهندس الكهرباء ؟ والواقع أنها مسئولية جماعية لكن المسئول الأساسى الذى يفترض أن يمتلك كافة أدوات التصميم هو مهندس الكهرباء. ومن هنا جاءت أهمية هذا الفصل فى هذا الكتاب.

7-2 لمحة تاريخية

برزت حاجة الإنسان منذ عصور ما قبل التاريخ إلى سد النقص فى الإضاءة الطبيعية بالإضاءة الصناعية ، فاستغل النيران والمشاعل والشموع والسرج والمصابيح وغيرها ، وكانت الغاية من استخدام الأضواء الصناعية منذ البداية توفير إمكانية الرؤية في الظلام ، ثم تطورت تقنيات الإضاءة مع تطور قدرة الإنسان على التحكم في النيران ، وتوصله إلى مصادر للضوء ذات فعالية وكفاءة عالية ، وإلى إيجاده الوسائل المناسبة للتحكم فيها ، فوضع الشمعة على شمعدان ليزيد في ضيائها ويضفي جمالاً على نورها ، وركب للسراج أو المصباح الزيتي عدداً من العاكسات تساعد على تركيز الضوء ، واستعمل فيه فتيلاً من القطن قابلاً للضبط ، وجعل للمصباح منافذ تسمح بمرور تيار من الهواء يوفر له أكبر كمية من الأكسجين اللازم للاحتراق كما في مصباح أرغاند Argand سنة 1784م ، وركب له زجاجة أسطوانية (بلّورة) مكوّرة الوسط تزيد من تركيز الإضاءة (تشبه لمبة الجاز بمصر) ، وهى اللمبة التى استمرت فى الخدمة بمصر لسنين مديدة وذاكر على ضوئها الكثيرون من رجال الفكر والعلم . وبعد اكتشاف النفط استبدل بالزيت الكيروسين (زيت الجاز) وزيت البارافلين لتحسين نوعية الاحتراق ، وأدى ذلك كله إلى الحصول على مصابيح سهلة الصنع قليلة التكلفة يمكن الاعتماد عليها، فبطل استخدام الشموع وإن ظلت للزينة.

وشهدت بداية القرن التاسع عشر تطوراً كبيراً في تقنيات الإضاءة الصناعية عندما استخدم الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وكندا ثم الغاز المستخرج من الفحم الذي استعمله وليم مردوك الاسكتلندي William Murdock واستخدم فى إضاءة أحد شوارع لندن سنة 1820.

غير أن اكتشاف الكهرباء في أواسط القرن التاسع عشر أحدث ثورة عالمية في تقنيات الإضاءة كان لها أطيب الأثر في تبدل معيشة الإنسان ، فقد استخدمت الكهرباء في الإضاءة بادئ ذي بدء بالقوس الكهربائية بين قطبين من الكربون، وطور هذا النوع ليستخدم في إنارة الشوارع في المدن الكبرى معطياً ضوءاً ساطعاً قريباً من الضوء الطبيعي.

إلا أن اختراع المصباح الكهربائي ذي السلك الفحمي المتوهج سنة 1878 كان الخطوة العلمية الأولى في الإضاءة بالكهرباء. وكان أول من استعمله تجاريا توماس إديسون Thomas Edison في الولايات المتحدة الأمريكية ، و كان عمله جزءاً من مشروع متكامل للإضاءة الكهربائية شمل توليد الطاقة ونقلها وتوزيعها.

وكان أول منزل فى العالم يضاء بالكهرباء فى لندن- منزل جوزيف سوان (1880) ، ثم اشتغل كبار الفيزيائيين والمنتجين في العمل على تحسين أنواع هذه المصابيح وإطالة أعمارها (استعمال سلك التنغستين، واختيار الضوء الأبيض المائل للصفرة ، وملء المصباح بغاز الأرغون ثم الهالوجين واليود وغير ذلك).

كانت الخطوة التالية في الإضاءة الصناعية بالكهرباء هى ابتكار أنابيب التفريغ الغازية (Vapour Tubes) ، وهي أنابيب الإضاءة التي تعمل بمبدأ القوس الكهربائية داخل أنبوب مفرغ من الهواء يحوي كمية قليلة من بخار عنصر ما مثل النيون مثلاً (الضوء الأحمر) أو بخار الزئبق (الضوء الأزرق والأبيض المائل للزرقة) ، وذلك فى الفترة من 1930 إلى 1940. وقد شاع استعمال هذه الأنابيب في الإضاءة المنزلية وفي المصانع ولتزيين الواجهات منذ الثلاثينات من القرن العشرين حتى غدت بعد تحسينها من أفضل الوسائل العملية في الإضاءة الداخلية ، وهي المعروفة اليوم باسم مصباح الفلورسنت Fluorescent.

ولقد طرأت تحسينات كثيرة في غضون النصف الثاني من القرن العشرين على أنابيب التفريغ الغازية ، فابتكر مصباح تفريغ بخار الزئبق العالي الضغط ، ومصباح تفريغ الصوديوم العالي الضغط أيضاً الذي استعمل في إضاءة الشوارع وواجهات المباني والآثار ، كما استعمل في الأجهزة التي تحتاج إلى إضاءة شديدة . وكان من آخر ما أنجز في هذا الصدد مصباح التفريغ الذى يستخدم غاز الزنون الخامل Xenon ذو الطاقة العالية ، والذى يشبه ضوءه ضوء الشمس تقريباً . ثم اخترعت اللمبات الموفرة (1978) ، ثم حدث التطور الهائل فى لمبات البيان الصغيرة المعروفة باسم Light Emitted Diode , LED وصارت الأصغر فى القدرة والأكبر فى كمية الإضاءة المكافئة ، و قد تصبح وسيلة الإضاءة الأساسية في المستقبل.

7-3 متطلبات لازمة لدراسة علم الإضاءة

قبل البدء فى دراسة أعمال تصميمات الإنارة نشير إلى أن مهندس الكهرباء يحتاج إلى بعض العلوم المساعدة ليمكنه عمل تصميم مميز. فهو يحتاج إلى:

- ❖ دراسة طبيعة الضوء (مكوناته ، أطيافه ، حساسية العين له ، خواصه (مثل الانعكاس Reflection ، الانتشار Diffusion ، إلخ) .
- ❖ دراسة الكميات الأساسية المستخدمة فى حسابات الإضاءة (الفيض Flux ، شدة الاستضاءة Illumination, E ، الزغللة Glare ، إلخ) .
- ❖ دراسة الخواص الهامة لوحدات الإضاءة (أمانة إظهار الألوان Color Rendering ، درجة حرارة اللون ، الكفاءة الضوئية ، درجة النصوع Brightness ، إلخ).
- ❖ دراسة حسابات الاستضاءة .
- ❖ دراسة أنواع المصابيح (التركيب ، الخواص ، الاستخدام ، ظروف التشغيل ، إلخ)
- ❖ إضافة إلى متطلبات خاصة تظهر عند دراسة بعض التطبيقات على سبيل المثال عند تصميم إضاءة الشوارع فإنك تحتاج إلى دراسة المتطلبات العامة المرورية للتقاطعات و المنحنيات إلخ.

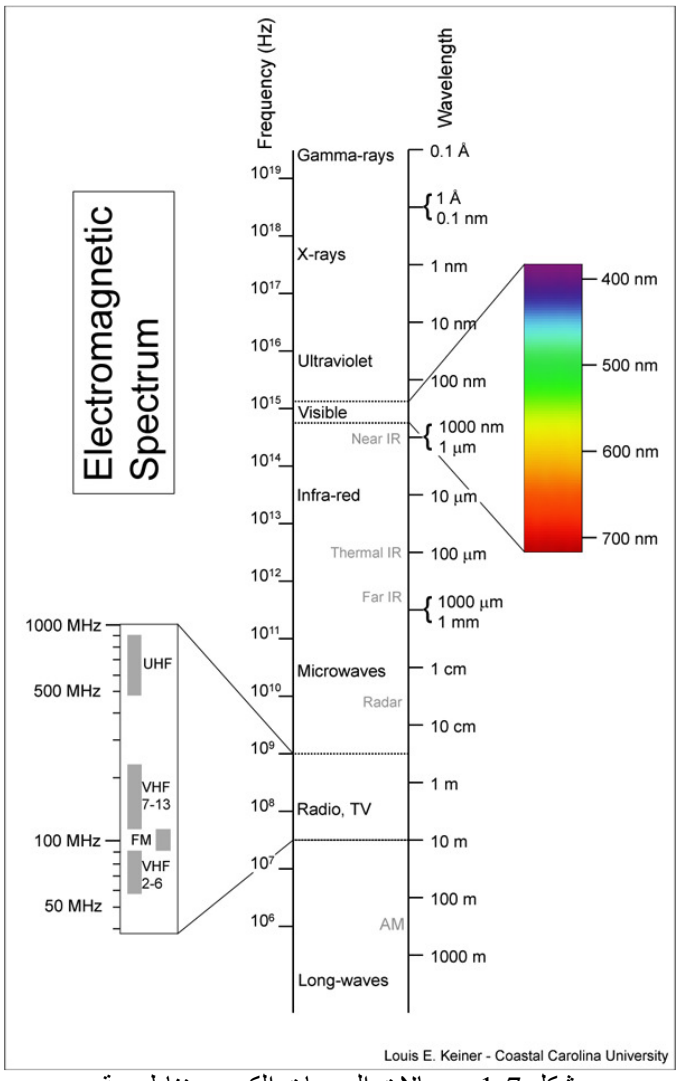
بعد التعرف على الحد الأدنى من هذه الدراسات فإن المهندس يصبح مؤهلا لدراسة خطوات التصميم التفصيلية (للإضاءة الداخلية أو للخارجية) وطرقه واعتباراته المختلفة. وبالطبع فلن نستطيع الخوض فى تفصيلات كل هذه الدراسات فى هذا الفصل لكننا سنكتفى بعرض أهم النقاط التى يحتاجها مهندس الكهرباء من كل دراسة من هذه الدراسات.

7-4 الإضاءة الطبيعية

من المعلوم أن الشمس هى مصدر كل الطاقات تقريبا على ظهر الأرض ، والضوء الطبيعى الواصل إلينا من الشمس عبارة عن طاقة إشعاعية على شكل موجات كهرومغناطيسية تنتقل إلينا من الشمس . والطيف الكهرومغناطيسي أو الأشعة الكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية (كلها أسماء مترادفة) تشتمل على مجموعة متنوعة من الأشعة (الموجات) مثل الضوء المرئي ، أو المايكروويف وأشعة اكس وأشعة جاما وموجات التلفزيون والراديو ، وكلها عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation تتفق فى بعض الخصائص وتختلف فى البعض الآخر ، فجميعها مثلا ينتشر بسرعة الضوء فى الفراغ (التردد x الطول الموجى = سرعة الضوء = 3×10^8 m/s) ، كما أنها جميعا تتميز عن غيرها من الموجات بأنها لا تحتاج لوسط مادى لتنتقل خلاله مثل موجات الصوت مثلا التى لا تنتقل فى الفراغ. ولكنها تختلف فيما بينها فى عدد من الخصائص ، فهى مثلا تختلف في الطول الموجي Wavelength أو التردد Frequency . ولبعض هذه الموجات أثر حرارى (تحت الحمراء) ، وللبعض الأخر أثر كيماوى (إكس) ، أو أثر كاوى (فوق البنفسجية) ، وهكذا .

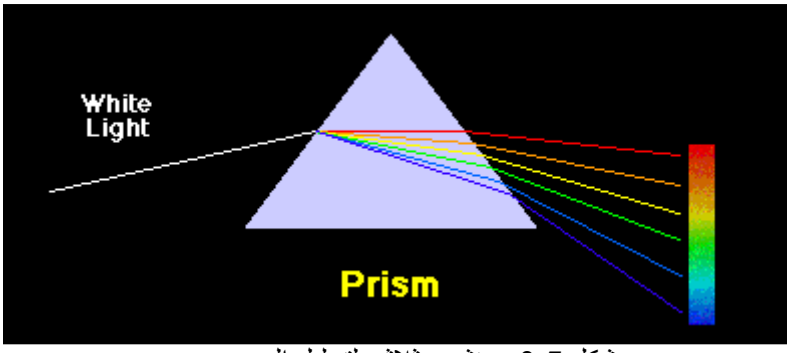
والضوء المرئي ينتشر في الفراغ كما ذكرنا بسرعة ثابتة قدرها 3×10^8 m/s ، وبتردد محدد بين 7.5×10^{14} و 4×10^{14} هرتز أي أن أطوال تلك الموجات تتراوح بين 750 نانو متر (الضوء الأحمر) و400 نانومتر (الضوء البنفسجي) في مجال الطيف المرئى الكهرمغنطيسي Electromagnetic Spectrum الذي يتألف من الألوان : البنفسجي فالأزرق فالنيلي فالأخضر فالأصفر فالبرتقالي فالأحمر كما هو واضح فى الشكل 7-1.

ونحن نرى هذا الطيف على شكل ألوان متميزة كالتي تظهر في السماء بعد سقوط المطر وتعرف بقوس قزح. ومنطقة الضوء المرئي تقع فى مجال الأشعة التى تستجيب لها شبكية العين و لذا نتمكن من رؤية الأشياء من حولنا ، بينما لا تستجيب العين لأى أشعة أخرى (ولذا تسمى باقى الموجات بالأشعة غير مرئية) مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء . وفى كل الأحوال فلا يمكن كشف هذه الإشعاعات إلا بوسائل خاصة مثل استخدام الأشعة تحت الحمراء فى أجهزة الرؤية الليلية والتى تعتمد فكرتها على استقبال الإشعاع الحراري المنطلق من الأجسام.



شكل 7-1 : مجالات الموجات الكهرومغناطيسية

ولكل لون من الألوان الموجودة فى مجال الطيف المرئي طول موجي خاص ، فاللون الأحمر له أطول طول موجي في الطيف المرئي بينما اللون البنفسجى أقصر الأطوال الموجية . واجتماع هذه الألوان مع بعضها البعض يعطي اللون الأبيض. ولتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف نستخدم منشور كما في الشكل 7-2 حيث ينحرف (ينكسر) كل لون بزاوية خاصة حسب طوله الموجي.



شكل 7-2 : منشور ثلاثي لتحليل الضوء

وعملية الإبصار تعتمد على انعكاس هذا الطيف الكهرومغناطيسي من الأجسام وسقوطها على العين ، فاللون الأحمر يعكس اللون الأحمر ويمتص باقي الألوان ولذلك نراه أحمرا ، وهكذا بالنسبة لبقية الألوان . وتتكون الصورة المرئية بتجميع هذه الانعكاسات على شبكية العين.

7-4-1 الإضاءة الصناعية

وحيث أن المجال الكهربى يمكن أن ينشئ نفس هذه الموجات الكهرومغناطيسية التى نتحدث عنها ، فبالتالى يمكننا أن ننشئ ضوءا صناعيا يشبه الضوء الطبيعى . فالمجال الكهربي الذي ينشأ من تذبذب الجسيمات المشحونة داخل ذرات بعض العناصر نتيجة مرور تيار كهربى فيها يؤدي إلى انبعاث طيف كهرومغناطيسي. ويعتمد الطول الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية المنبعثة على درجة إثارة الشحنة ، ونوعية المادة المار فيها التيار ، ومن ثم سيتغير لون المصباح الكهربى حسب نوع المادة المستخدمة فى تصنيعه كما سنرى لاحقا. و نشير هنا إلى مبدأ هام جدا وهو أنه **عند قياس كفاءة وجودة أى مصباح صناعى ستتم مقارنة الطيف الصادر منه بالطيف المرئى للشمس** .

7-5 تركيب العين

عندما ننظر إلى جسم ما فإن ضوءًا منعكسًا من الجسم نفسه يدخل أعيننا وتتكون له صورة على الشبكية. والشبكية طبقة رقيقة من الأنسجة تغطي مؤخرة وجوانب تجويف العين من الداخل ، وتحتوي على ملايين الخلايا الحساسة للضوء. وتمتص هذه الخلايا معظم الضوء الذي يسقط على الشبكية ، وتحوله إلى إشارات كهربائية ثم تنتقل هذه الإشارات (الضوئية) إلى الدماغ بوساطة أعصاب تنقلها إليه.

وفى العين نوعان من خلايا الإبصار: الأولى هى المخروطية وهى المسئولة عن رؤية التفاصيل والألوان ويمكنها أن تتوائم مع الضوء خلال دقيقتين. أما الثانية فهى الخلايا الاسطوانية وهى المسئولة عن رؤية الأشياء السريعة و الجانبية و المظلمة وتحتاج إلى دقائق عديدة لتتوائم مع الضوء.

والعين لها حساسية مختلفة لكل لون من الألوان ، فأقل حساسية هى الخاصة باللون الأزرق ، وأعلى حساسية تكون لثلاثة ألوان : هى الأخضر والأحمر والأصفر ، ولهذا فاستخدام هذه الألوان الثلاثة تحديدا فى إشارات المرور ليس عشوائيا. كما أن العين سريعة الإحساس باللون الأصفر ، ولذا فهو يستخدم دائما للتحذير فى إشارات المرور وغمازات السيارة ، فهو الأفضل والأسرع لتوصيل رسالة تحذير للسائقين. وأكثر الألوان راحة للعين هو اللون الأخضر ، وقد اختاره الله ليصف به ثياب أهل الجنة فى القرآن الكريم :

" وَإِذَا رَأَيْتَ ثَمَّ رَأَيْتَ نَعِيماً وَمُلْكاً كَبِيراً (20) عَالِيَهُمْ ثِيَابُ سُندُسٍ خُضْرٌ وَإِسْتَبْرَقٌ وَحُلُّوا أَسَاوِرَ مِنْ فِضَّةٍ وَسَقَاهُمْ رَبُّهُمْ شَرَاباً طَهُوراً (21) إِنَّ هَذَا كَانَ لَكُمْ جَزَاءً وَكَانَ سَعْيُكُمْ مَشْكُوراً (22) "

سورة الإنسان.

ومن الألوان المريحة كذلك اللون الأخضر المصفر. وعموما فالدراسة التفصيلية لخواص العين وتأثرها بالألوان لا غنى عنه لمصممى الإضاءة المحترفين .

7-6 كميات ووحدات الإضاءة الأساسية

وقبل الدخول فى حسابات تفصيلية لتصميمات الإضاءة يجب على القارئ أن يكون ملما ببعض الكميات المستخدمة كثيرا فى حسابات الإضاءة ، ومنها:

1-6-7 الفيض الضوئى Luminous Flux

ويرمز له بالرمز φ أو بالرمز (F) ، ويعبر عن حساسية العين للقدرة الضوئية الناتجة من الإشعاع ، ويعرف بأنه الكمية الكلية للضوء المنبعث فى الثانية من مصدر ضوئى ، ويقاس الفيض الضوئى بوحدة تسمى ليومن (Lumen) ويرمز لها بالرمز (Lm) .

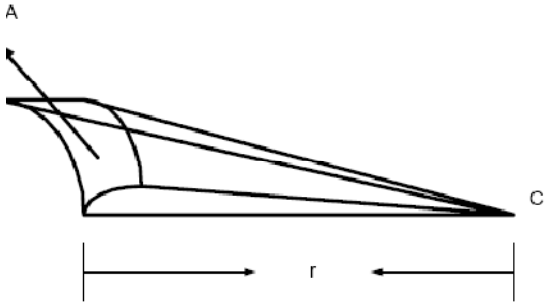
وتختلف كمية الفيض المنبعث من المصابيح حسب نوعها وقدرتها ، فالمصباح التنجستن بقدرة 100 وات ينتج حوالى 1200 ليومن فى حين أن اللمبة الفلورسنت بقدرة 40 وات تنتج حوالى 2400 ليومن ، أما مصباح الزئبق قدرة 100 وات فينتج حوالى 3600 ليومن .

2-6-7 شدة الإضاءة (Luminous Intensity)

ويرمز لها بالرمز (I) و يعبر عن قدرة المصدر الضوئى على انبعاث الفيض الضوئى Φ فى اتجاه محدد وتقاس بوحدة تسمى الشمعة أو Candela ، ويرمز لها بـ (cd) ، أو تقاس بوحدة الـ (candle power) ويرمز لها بالرمز (Cp). وتمثل بالمعادلة التالية:

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad Lm/Sr \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-1$$

حيث ω هى الزاوية المجسمة أو الزاوية الفراغية (Solid Angle) المقابلة لمساحة السطح المضاء A وتقاس بوحدة الـ Steradian, Sr ، وتظهر فى الشكل 7-3 ، وتعرف بأنها الزاوية عند المركز المقابلة لجزء من سطح كرة (هذا الجزء له مساحة تساوى مربع نصف القطر) ، أى أن ω =1 عندما تكون $A = r^2$.



شكل 7-3 : الزاوية الفراغية

3-6-7 شدة الاستضاءة (Illumination)

ويرمز لها بالرمز E ، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئى (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح ، وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\phi}{A} \quad lux \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-2$$

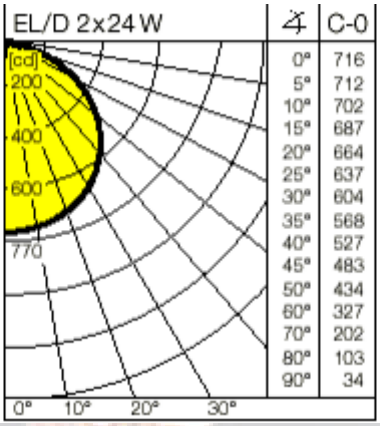
ملحوظة هامة:

تجاوزا ، يمكن أن يطلق على الـ I وكذلك على E مصطلح شدة الإضاءة ، لكن لابد من التفريق بينهما بالوحدات فإذا قيل مثلا أن مصباح له شدة إضاءة 20 cd فبالتأكيد نقصد الـ Luminous Intensity, I ، أما إذا قيل أن شدة الإضاءة مثلا تساوى 20 Lux فبالطبع نقصد الـ Illumination, E ، لذا وجب الانتباه لأن العديد من المراجع ربما تستخدم نفس الترجمة العربية للمتغيرين ، فكلاهما يعتمد على الفيض لكنه منسوبا للزاوية الفراغية فى حالة حساب الـ I ، ومنسوبا لمساحة السطح فى حالة حساب الـ E . وللتمييز فنحن نستخدم هنا مصطلح شدة الإستضاءة للـ E ، و شدة الإضاءة للـ I .

4-6-7 المنحنيات القطبية Polar Curves

وتسمى أيضا بمنحنيات توزيع شدة الإضاءة Luminous Intensity ، فمن المعلوم أن الضوء الصادر من مصدر ضوئي لا يتوزع – فى الغالب – بدرجة متساوية في جميع الاتجاهات ، وإنما تتغير شدته من زاوية لأخرى ، فقد يكون قويا تحت المصباح مباشرة ، وأقل قوة فى اتجاه آخر ، بمعنى أن شدة الإضاءة تختلف باختلاف الزاوية الفراغية. والمنحنى الذى يعطى شكل تغير شدة الإضاءة من زاوية لأخرى بالنسبة لمصباح معين يسمى Polar Curve ، والشكل 7-4 يمثل نموذجا لهذا المنحنى. ومن المنحنى فى هذا الشكل السابق نجد أن شدة إضاءة هذا المصباح مثلا عند الزاوية °20 مع الرأسى لأسفل تساوى 664 كنديلا ، بينما شدة الإضاءة

مباشرة تحت المصباح تبلغ 716 كنديلا. ويمكن التحكم فى شكل المنحنيات القطبية للمصابيح بإضافة عواكس Reflectors لها أشكال متنوعة .
وتحسب شدة الإضاءة لمصدر ما على أنها القيمة المتوسطة لقيم شدة الإضاءة (الكنديلا) فى جميع الاتجاهات ، وتعرف أيضا بأنها متوسط قدرة شمعة كروية (Mean Spherical Candle Power) ويرمز لها بالرمز MSCP.



شكل 7-4 : منحنى توزيع شدة الاستضاءة

7-6-5 النصوع (Brightness)

وهو نوعان :

- نصوع المصدر الضوئى ، ويرمز له بالرمز L ويقاس باللامبرت.
- نصوع الجسم اللامع الذى سقط عليه الضوء ، ويرمز له بالرمز B ويقاس باللكس Lux .

ويعرف نصوع المصدر الضوئى بأنه النسبة بين شدة الإضاءة والمساحة الظاهرية للمصدر الضوئى ، ويتم التعبير عن النصوع بالمعادلة التالية

$$L = \frac{I}{S} \quad Cp/cm^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-3$$

حيث S هى المساحة الظاهرية لمصدر الضوء ، ويقاس النصوع بوحدة تسمى Lambert. واللامبرت الواحد يعادل شمعة واحدة في السنتمتر المربع. والجدول 7-1 يبرز مقارنة بين نصوع بعض المصادر الضوئية .

أما نصوع الجسم اللامع (ويرمز إليه بالرمز B) فيقاس باللكس ويحسب من المعادلة :

نصوع الجسم = شدة الاستضاءة عليه x انعكاسية السطح اللامع

$$B = E\ (Lux)\ \times\ Reflectance$$

وعامل الانعكاس Reflectance فى المعادلة السابقة هو قابلية سطح ما لعكس الضوء الساقط عليه ليراه الناظر ، فالسطح الأبيض يعكس الضوء بنسبة 100%، في حين لا يزيد عامل الانعكاس للسطح الأسود على 2% ، ويبلغ عامل الانعكاس للسطح الرمادي نحو 40% من الضوء الساقط عليه. فإذا كانت الاستضاءة 10 لكس وكان عامل انعكاس السطح للضوء 50% فإن نصوع هذا السطح تعادل 5 لكس.

المصدر	النصوع (Lambert)
الشمس	10^{9}
مصباح بخر الزئبق	10^{8}
السماء	10^{5}
فلورسنت	10^{3}
اضاءة منزل	10^{1}

جدول 7-1 : نصوع بعض المصادر الهامة

7-6-6 الزغللة (البهر) Glare

تحدث الزغللة عند النظر إلى مصدر ضوئى بشرط أن تكون قيمة النصوع لهذا المصدر أعلى من 1.5 لمبرت ، واضح من قيم الجدول السابق أن نصوع الشمس له قيمة هائلة ولذا لا يستطيع أحد النظر طويلا إليها وإلا أصابه البهر أو الزغللة. وأحيانا يلجأ البعض للفت الانتباه إلى محلاتهم مثلا بوضع لمبات شديدة النصوع و بزوايا خاطئة تجعل من ينظر للمحل يحول بصره مباشرة بعيدا عنه لتفادى الزغللة التى تصدر من اللمبة ، وبالتالى فالتصميم الخاطئ لمنظومة الإضاءة يمكن أن تتسبب فى عكس المطلوب منها ، فبدلا من جذب نظر العميل فإنها تنفره وتجعله يحول نظره عن المكان.

7-7 الخواص الضوئية لوحدات الإنارة

الإضاءة الطبيعية هي التي تأتي من مصادر ضوء طبيعية ، وهي الإضاءة الأكثر ملائمة فيسيولوجياً للإنسان، غير أنها تتبدل وتختلف باختلاف الوقت وفصول السنة ، والموقع والبعد عن خط الاستواء ، وحالة الطقس ، وغير ذلك ، وتتراوح درجة الإضاءة الطبيعية الواقعة على السطوح الأفقية في الأماكن المكشوفة عادة بين «0.0005» لكس في الليلة المظلمة (غير القمرية)، و«0.3» لكس في الليلة القمراء التامة البدر، و«10000» لكس تقريباً تحت أشعة الشمس المباشرة. و عند تقييم أو تصنيف إحدى وحدات الإنارة الصناعية فإننا نقيمها مقارنة بالمصدر الطبيعي من خلال عدة سمات ، منها :

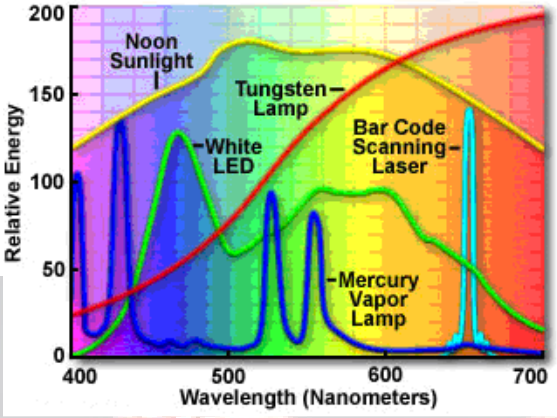
7-7-1 أمانة إظهار (نقل) اللون

من المعلوم أن ضوء أى مصباح هو فى الحقيقة مكونا من مجموعة من الألوان متراكبة معا كما ذكرنا لتكون لون نور المصباح ، فإذا كان الضوء الساقط من المصباح يحتوى على لون الجسم فعندها فقط يظهر الجسم بلونه الطبيعى ، وفيما عدا ذلك فإن إضاءة المصباح ستغير من لون الجسم الحقيقى ، ولذا فلون الجسم الحقيقى لن يظهر بدقة سوى فى ضوء النهار لأنه الوحيد الذى يحتوى على كافة الألوان بالنسب النموذجية ، أما الأضواء الصناعية فستتوقف كفاءة إظهارها للألوان الحقيقية على مدى قربها أو بعدها من مستوى ضوء النهار.

كما أن درجة امتصاص الأجسام للألوان يؤثر بدرجة كبيرة على ظهوره بلونه الطبيعى ، فعند سقوط ضوء ما علي جسم أبيض مثلا فإنه يعكس الألوان الأولية كلها بنفس نسبتها ، أما الأجسام ذات الألوان الأخرى فإنها ستمتص لونا معينا أو أكثر من مجموعة الألوان التى يتركب منها الضوء الساقط ، وبالتالى فسيتغير لون الجسم المضاء. ومن هنا ، فإننا يمكن أن نقول أن أى مصباح كهربى سيكون أقرب ما يمكن من ضوء النهار إذا انبعث منه طيف ضوئي يحتوى على الألوان الثلاثة الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) بنفس نسبة وجودها فى ضوء النهار ، وكلما اختلت هذه النسبة كلما بعد المصباح عن نقل اللون بأمانة.

وهذه العلاقات يعبر عنها بمصطلح هام هو : "أمانة نقل الألوان " CRI ، أو ما يسمى بالـ Color Index Rendering ، وهو عبارة عن رقم من صفر إلى 100، فكلما اقترب CRI للمبة معينة من الرقم 100 كلما دل ذلك على ارتفاع كفاءة المصباح فى إظهار اللون على حقيقته .

ومعظم الشركات المنتجة للمصابيح تصدر ضمن كتالوجاتها صورة للتحليل الطيفى لضوء مصابيحها ، كما فى الشكل 7-5 الذى يظهر التحليل الطيفى لأكثر من مصباح مقارنة بضوء الظهيرة Noon Sunlight. ومن هذه المقارنة تستطيع أن نحدد جودة إضاءة المصابيح المختلفة و أمانتها في إظهار الألوان .



شكل 7-5 : التحليل الطيفي لبعض المصابيح

7-7-2 مظهر اللون

ويصنف ضوء المصباح أيضا حسب مظهر لونه إلى ثلاث فئات:

- بارد (أزرق) .
- متوسط (أخضر) .
- دافئ (أحمر) .

وهذه التصنيفات يجب أن يراعيها المصمم خصوصا فى الإضاءات الديكورية ، حيث يجب عليه اختيار الضوء المناسب فى المكان المناسب ، على سبيل المثال فمظهر المصباح المناسب لغرف النوم هو اللون الدافئ مثلا ، بينما تناسب الألوان الباردة إضاءة المكاتب ، وهكذا.

7-7-3 درجة حرارة اللون

من المعلوم أن الجسم الأسود يتغير لونه بارتفاع درجة حرارته ، حيث يبدأ فى التوهج باللون الأحمر الداكن ثم مع ارتفاع درجة حرارته يتحول إلى الأحمر فالبرتقالى ثم الأصفر فالأبيض المزرق ، ويمكن بهذه الطريقة وصف أى لون صادر من مصباح بدرجة الحرارة التى سخن إليها ذلك الجسم الأسود. ولذا تقوم الشركات بتعريف لون المصباح بدرجة حرارة جسم أسود يسخن إلى درجة حرارة معينة فيشع نفس هذا اللون ، فالضوء الصادر من مصباح فلورسنت يشبه الضوء الناتج من تسخين جسم أسود إلى 3500 كلفن (درجة حرارة كلفن = الدرجة المئوية + 273) . لاحظ أن درجة حرارة لون Day Light Lamp تساوى 6500 كلفن وهى درجة حرارة سطح الشمس. وأبرز درجات حرارة الألوان تظهر فى الجدول 7-2 .

جدول 7-2 : درجة حرارة ألوان بعض مصادر الإضاءة

المصدر الضوئى	درجة الحرارة
لهب عود كبريت	1700 K
لهب شمعة	1850 K
لمبة تنجستن	2800–3300 K
لمبات الإضاءة الغامرة	3400 K
لهب لمبات اللحام	4100 K
لمبات ضوء النهار	5500–6000 K
شاشة CRT	9300 K

ولسنا بحاجة للتأكيد على أن هذه الأرقام لا تعنى مطلقا درجة حرارة المصباح عند لمسه باليد ، بل هى تعبير رمزى عن اللون فقط ، ولا وجود لهذه الدرجات فزيائيا على سطح المصباح.

7-7-4 الكفاءة الضوئية

ويستخدم هذا المصطلح للتعبير عن حجم الفيض الصادر من المصدر لكل وات من قدرة المصدر. ولذا فعند شرائك مصباحا من السوق يجب عليك **قبل** أن تنظر للسعر أن تنظر إلى الرقم المعبر عن هذا السؤال : **كم ليومن لكل وات؟** فربما يكون لمصباحين نفس القدرة لكنهما يختلفان فى كمية الفيض الصادر منهما ، وعندها ربما تختار الأعلى سعرا لأنه الأعلى فى الكفاءة الضوئية. (ملحوظة : أعلى كفاءة ضوئية نظرية لأى مصباح - بفرض انعدام المفقودات - هى 680 ليومن لكل وات). و من ثم فكلما اقتربت الكفاءة الضوئية من هذا الرقم كلما كان المصباح أقرب للمثالية.

7-8 حسابات شدة الاستضاءة (Illumination)

ونشير مرة أخرى إلى أن البعض قد يسميها حسابات "شدة الاستضاءة" أو حسابات " شدة الإضاءة " و إن كنا سنلتزم بمصطلح شدة الاستضاءة عند الحديث عن E لنميزها عن شدة الإضاءة التي نقصد بها الـ I . المهم أننا نقصد هنا الكمية التى يرمز لها بالرمز E ، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئى (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح ، وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\phi}{A} \quad lux \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-4$$

و وحدة قياس الاستضاءة هى Lux وتساوى Lm/m^2 في المقاييس المترية ، وهو وحدة قياس تكافئ الضوء المباشر الساقط على سطح يبعد متراً واحداً عن مصدر ضوئي نقطي يعادل شمعة واحدة ، وهو يساوي أيضاً ليومناً واحداً في المتر المربع. وتقاس شدة الاستضاءة E في الولايات المتحدة الأمريكية باللومن/قدم^2 ، أو شمعة/قدم^2 ، وهى تساوى كمية الضوء الصادرة عن شمعة واحدة وساقط على سطح مساحته قدم مربعة واحدة على مسافة قدم واحدة (30سم). أي إن اللومن/قدم^2 يعادل 10.76 لكس (للتقريب نعتبرها تساوى 10 لكس) . ويقدر ضياء ضوء النهار المباشر من سماء تغطيها غيوم بيضاء ناصعة بنحو 10.000 لكس أي 1000 لومن/قدم^2 تقريباً.

7-8-1 قانون التربيع العكسى

ويمكن كتابة معادلة شدة الاستضاءة E بصورة أخرى كالتالى:

$$\because E = \frac{\phi}{A} \quad and \quad A = \omega R^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-5$$

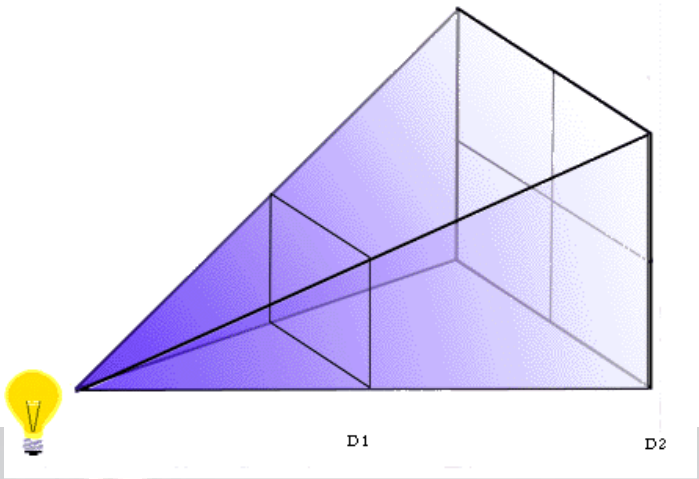
$$\because I = \frac{\phi}{\omega} \quad cd \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-6$$

$$\therefore E = \frac{\phi}{\omega R^2} = \frac{I}{R^2} \quad lux \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-7$$

ويسمى القانون الأخير بقانون التربيع العكسى ، حيث يتضح منه أن شدة الاستضاءة على سطع عمودى على اتجاه الضوء تتناسب عكسيا مع مربع المسافة (R^2) بين المنبع والسطح ، وبالطبع تتناسب طرديا مع شدة إضاءة المصدر (I) . والشكل 7-6 يبرز هذه الحقيقة كما هو ظاهر من مستوى شدة الإستضاءة على المستويات المختلفة. ومن الواضح من الشكل أنه كلما ابتعدنا عن المصدر ضعفت شدة الاستضاءة .

$$E_1 = \frac{I}{D_1^2}$$

$$E_2 = \frac{I}{D_2^2}$$



شكل 7-6 : توضيح لقانون التربيع العكسي

ويلاحظ أن قانون التربيع العكسى قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة ، ولكن من الناحية العملية نجد أن الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الأسطح المراد إضاءتها ، كما فى الشكل 7-7 وعندها تكون المعادلة العامة لحساب شدة الاستضاءة E عند نقطة B مثلا هى

$$E_B = \frac{I \cos\theta_1}{d_1^{\,2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-8$$

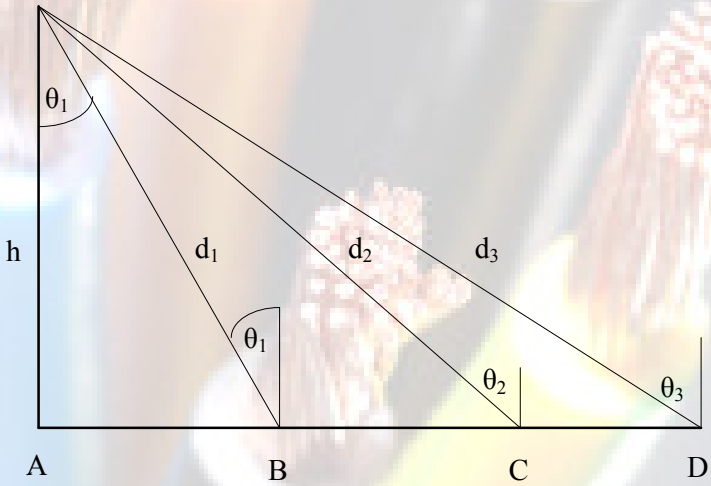
حيث

d_1 هى المسافة المباشرة من المصدر إلى النقطة B .

E شدة الاستضاءة عند نقطة B

h هو ارتفاع المصدر

لاحظ مرة أخرى أن شدة الاستضاءة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة.



شكل 7-7 : حساب شدة الاستضاءة عند نقاط متعددة

ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة لتصبح على صورة

$$E_B = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-9$$

وبالمثل يمكن حساب شدة الاستضاءة E عند النقطة C أو D كما يلى:

$$E_C = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_2$$

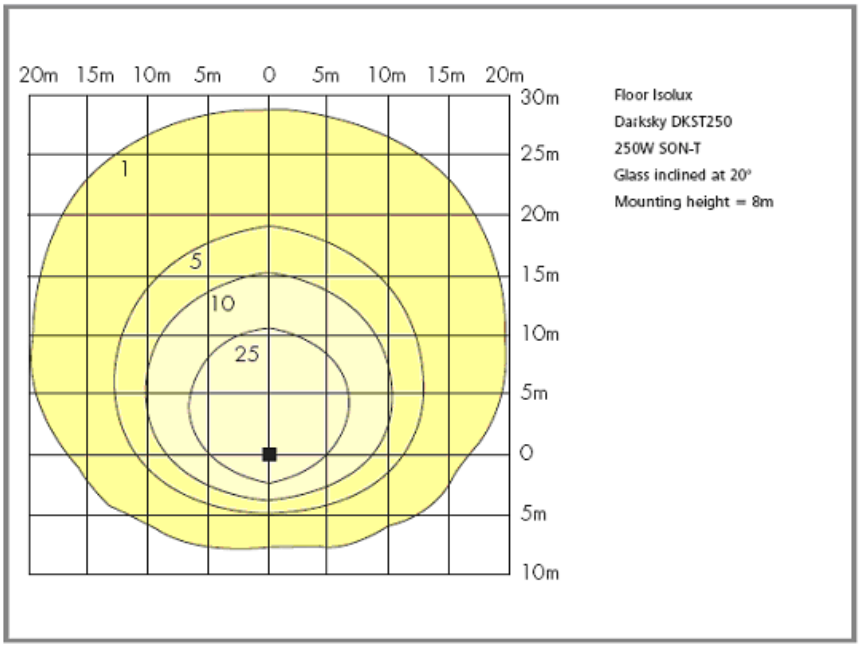
$$E_D = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_3$$

مع ملاحظة أن جميع هذه النقاط (A, B, C, D) تقع فى مستوى أفقى واحد. ويسمى هذا القانون بقانون Lambert Cosine Law .

وتسمى هذه الطريقة للحسابات بطريقة Point by Point ، أو الحساب نقطة بنقطة ، وغالبا توضع هذه القيم على منحنيات تسمى Iso-Lux Diagram كما تظهر فى الشكل 7-8 الذى يبين توزيع شدة الاستضاءة على أرضية غرفة نتيجة مصباح واحد قدرته 250 وات ، موضوع على ارتفاع قدره 8 متر.

وبالطبع يصعب حساب كافة النقاط يدويا ، ولاسيما إذا وجد أكثر من مصباح بالغرفة ، حيث ستتوقف قيمة شدة الاستضاءة عند نقطة ما على بعد النقطة عن مصادر الإضاءة ، وهذا يستلزم دراسة توزيع الضوء من كل منبع على حدة عن طريق المنحنيات القطبية ، وهذه عملية معقدة جدا ، ولذا يستخدم الحاسوب للقيام بهذه العملية بسهولة. ولكن يمكن استخدام هذه الطريقة إذا كان عدد المصابيح المؤثرة محدودا كما فى حسابات إضاءة الشوارع والتى سنتعرض لها لاحقا. لاحظ أن البرامج الخاصة بالحسابات تعطى نتائج صحيحة فقط بشرط استخدام اللمبات من إنتاج الشركة المصممة للبرنامج.

والواقع أن معظم المصممين يعتمدون على طريقة أسهل فى التصميم وهى طريقة الليومن التى سنعرضها لاحقا.



شكل 7-8 : نموذج لمنحيات Iso-Lux .

لاحظ أن شدة الاستضاءة الكلية عند أى نقطة E_P تعطي من مجموع الاستضاءات من كافة المصادر الضوئية N القريبة من هذه النقطة ، بمعنى أن

$$E_P = \sum_N \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8-13$$

لاحظ أننا فرضنا I ثابتة فى جميع الاتجاهات ، وهذا الفرض قد يتغير مع تغير نوعية اللمبة ومنحنى الـ Polar Curve الخاص بها .

7-8-2 تطبيقات على قانون التربيع العكسى

مثال 7-1

يراد إضاءة ممر بأربعة مصابيح كما فى الشكل 7-9 ، يبعد كل واحد عن الآخر 10 m ، وموضوعة على ارتفاع 5 m من سطح الأرض ، فإذا كانت شدة الإضاءة للمصباح 200 cd فى جميع الاتجاهات .أوجد الإستضاءة عند منتصف المسافة بين المصباحين الثانى والثالث.

الحل

لحل هذه المسألة نوجد الاستضاءة بتأثير المصباح الأول و الثانى أولا ، وحيث أنه يوجد ثماثل بينهما وبين الثالث والرابع فإن شدة الاستضاءة الكلية نحصل عليها بالضرب فى 2.

أولا شدة الاستضاءة نتيجة المصباح L1

$$E_{L1} = \frac{I \cos^3 \theta_1}{h^2}$$

ويمكن من المبادئ البسيطة لحساب المثلثات أن نحسب قيم الزاوية θ_1 كما يلى

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{15}{5} = 71.5°$$

ومنها نستنتج قيمة $\cos \theta_1 = 0.316$

وبالتعويض

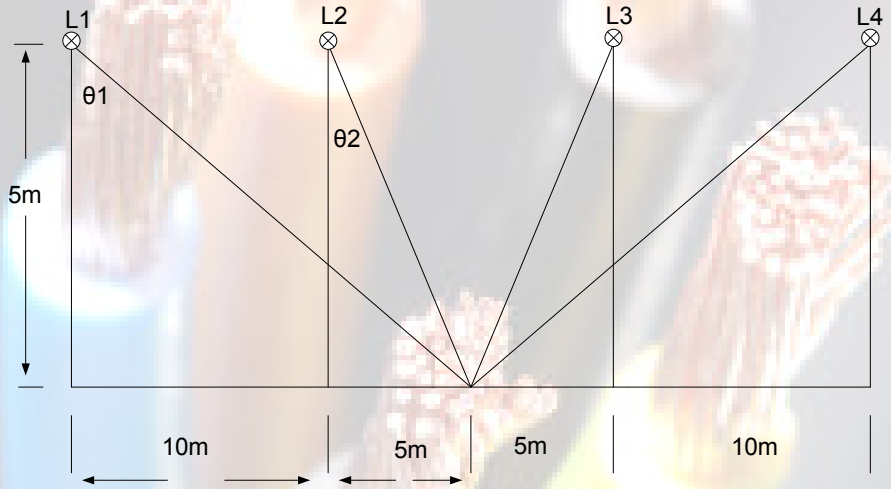
$$E_{L1} = \frac{200}{5^2} \cos^3 \theta_1 = 0.25 \quad lux$$

وبالمثل يمكن حساب قيمة الزاوية $\theta_2 = 45°$. ومنها نحسب شدة الاستضاءة نتيجة المصباح الثانى L2 :

$$E_{L2} = \frac{200}{5^2} \cos^3 \theta_2 = 2.83 \quad lux$$

ومن ثم تكون مجموع شدة الاستضاءة من المصباحين الأول والثانى تساوى 3.08 lux ، وهذا يعنى أن شدة الاستضاءة نتيجة المصابيح الأربعة تساوى :

$$2 * 3.08 = 6.16 \text{ ux}$$



شكل 7-9 : مثال 7-1

7-9 حسابات الإضاءة الداخلية بطريقة الليومن

تعتمد حسابات كمية ونوعية الإضاءة المطلوبة لإنارة مساحة معينة على الأغراض المستخدم لها المبنى ونوعية العمل. وطريقة الليومن هى طريقة سريعة وبسيطة ولا قيود فيها على نوعية أو مكان المصابيح ، فهي تعطيك العدد المناسب من المصابيح (أيا كان نوعها) للحصول على استضاءة معينة أو العكس ، أي تعطيك الاستضاءة الناتجة عن عدد معين من المصابيح ، وهى من أكثر الطرق شيوعا لحسابات الإضاءة الداخلية.

وطريقة الليومن لها صورتان ، أحداهما مبسطة جدا ، حيث يتم حساب شدة الاستضاءة فقط بقسمة الفيض الكلى على المساحة الكلية دون أخذ أى عوامل أخرى فى الاعتبار ، كما فى المثالين التاليين. وهناك أيضا الطريقة المعدلة ، والتى ندرسها تفصيلا فى الجزء التالى.

مثال 7-2

عند إضاءة غرفة معيشة مساحتها 5x8 متر . استخدم - طبقا لمتطلبات الديكور – عدد 4 لمبات متوهجة قدرة 150 وات مدفونة بالسقف ، وكان الفيض الصادر من هذه المصابيح يساوى 2830 Lm لكل مصباح ،

واستخدم أيضا عدد 5 لمبات فلورسنت فى الكرانيش (كل منها له 4160 Lm) وأخيرا استخدمت ثلاثة مصابيح هالوجين (4730 Lm لكل منها). فإذا كان مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة يساوى 800 lux ، فالمطلوب التأكد من أن هذا الأعداد من المصابيح المختلفة كافية لتحقيق مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة. (اعتبر أننا نستفيد فقط من 60% من فيض المصابيح المدفونة بالسقف)

الحل:

طبقا لمستوى شدة الاستضاءة المطلوبة ومساحة الغرفة فإن إجمالى الليومن المطلوب يساوى

$$E * A = 800 * 40 = 32000 \text{ ليومن}$$

فإذا حقق الفيض الصادر من مجموعة المصابيح الواردة فى المثال هذه القيمة فسيعتبر التصميم سليما ، وهو ما سنفتش عنه فى الخطوات التالية:

بما أن الفيض من المصابيح المتوهجة يساوى

$$4 * 2830 * 0.6 = 6792 \text{ ليومن}$$

(لاحظ أنها مدفونة إى أننا نستفيد فقط من 60% من الفيض الكلى)

وبما أن الفيض من اللمبات الفلورسنت يساوى

$$= 4160 * 5 * 0.6 = 12480 \text{ ليومن}$$

(تم الضرب فى 0.6 لأنها إضاءة غير مباشرة فهى مدفونة بالكرانيش)

أما الفيض من اللمبات الهالوجين فيساوى

$$3 * 4730 = 14190 \text{ ليومن}$$

إذن الفيض الكلى من كافة المصابيح = $6792 + 12480 + 14190 = 33462$ ليومن

وهو أعلى من مستوى الفيض المطلوب ، إذن فعدد المصابيح كاف. ورغم بساطة الطريقة إلا أنها بالتأكيد غير دقيقة ، وتعتبر تقريبية و مناسبة فقط للحسابات السريعة.

مثال 7-3

ملعب لكرة القدم مساحته 120m x 60m يراد إضاءته ليلا بمصابيح قدرة كل واحد منها 1000W وأن تكون الاستضاءة منتظمة حول الملعب باستخدام أبراج عددها 12 برج ، ويفرض أن 40 % فقط من الإضاءة تصل إلى الملعب. فإذا كانت شدة الاستضاءة المطلوبة 1000 Lm / m^2 وأن كفاءة المصابيح المستخدمة 30 Lm/W. احسب عدد المصابيح فى كل برج .

الحل

مساحة الملعب =

$$120 \text{ X } 60 = 7600 \quad m^2$$

الفيض المطلوب يساوى

$$E * A = 7600 \text{ x } 1000 = 7.6 \text{ x } 10^6 \text{ Lm}$$

وحيث إن 40 % من الفيض يصل إلى أرض الملعب فإن الفيض الكلى المطلوب من المصابيح

$$= 7.6 \text{ x } 10^6 / 0.4 = 19 \text{ x } 10^6 \text{ Lm}$$

الفيض المطلوب من كل برج

$$= 19 \text{ x } 10^6 / 12 = 1.58 \text{ X } 10^6 \text{ Lm}$$

الفيض الخارج من كل مصباح

$$= 30 \text{ Lm/W} \text{ x } 1000\text{W} = 3 \text{ X } 10^4 \text{ Lm}$$

عدد المصابيح فى كل برج

$$= 1.58 \text{ x } 10^6 / 3 \text{ x } 10^4 = 52.67 \rightarrow 53 \text{ Lamp}$$

7-9-1 طريقة الليومن المعدلة

فى هذه الطريقة سيؤخذ فى الاعتبار عدة عوامل مؤثرة على كفاءة الإضاءة ، منها أبعاد الغرفة ، ومعامل الاستفادة والمعادلة الآتية هى المعادلة المستخدمة فى طريقة الليومن

$$E = \frac{N \ \phi UF \ L_L}{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-10$$

حيث

E شدة الاستضاءة المطلوبة ووحداتها Lm/m^2 .

A مساحة مستوى التشغيل ووحدتها m^2 .
Φ الفيض الضوئى لكل مصباح ووحداتها باللليومن .
UF معامل الاستفادة Utilization Factor ، وهو رقم أقل من الواحد .
L_L معامل فقد الضوء ، وهو رقم أقل أيضا من الواحد .
N عدد المصابيح .

وعند استخدام المعادلة السابقة يجب إتباع الخطوات الآتية :

الخطوة الأولى : تحديد نوع الإضاءة المطلوبة

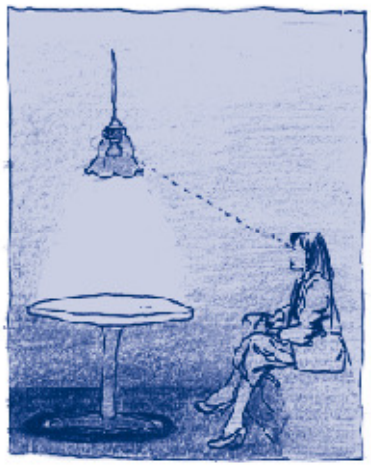
الإضاءة عموما تكون إما (مباشرة أو غير مباشرة) ، وتصنف الإضاءة بأنها مباشرة إذا كان أكثر من 90% من الفيض قد تم توجيهه لأسفل . وتتميز هذه النوعية من الإضاءة بقوة الاستضاءة الناتجة منها فتسليط الضوء كله على مكان العمل مثلاً يساعد على تركيز إضاءة جيدة على السطح المطلوب ، إلا أن السقف يبقى معتماً ويصبح إجهاد البصر كبير الاحتمال نتيجة تنقل البصر من نقاط مضيئة بشدة إلى نقاط ضعيفة الإضاءة ، كما يعيبها ظهور الظل والتأثر بالبهر.

فإذا أردنا أن نتخلص من الظل ومن البهر فعلينا أن نلجأ للإضاءة غير المباشرة حيث 90% من الفيض يتجه لأعلى. و يمكن أن نحصل على الإضاءة غير المباشرة بوضع المصابيح مدفونة فى الحائط أو فى كرانيش السقف Recessed Fixtures ، و هي طريقة تعطي منظراً بهيجاً ومريحاً ، ويكاد يشبه ضوء السماء ، غير أن مثل هذه الإضاءة تجلب النعاس وتتعب البصر عند القراءة وعند القيام بأعمال دقيقة ، و العيب الأساسى فيها هو ضعف كفاءة الاستفادة من فيض المصباح.

وحسابيا ، فإن تحديد نوعية الإضاءة سيؤثر فى النسبة المستفاد منها من الفيض الصادر من المصباح ، فكما هو متوقع سيستفاد بنسبة أكبر من الفيض فى حالة استخدام الإضاءة المباشرة ، فالإضاءة الغير مباشرة رغم أنها ستكون أكثر جمالا لكن ستتسبب فى فقد نسبة كبيرة من الضوء ، ولذا يجب ضرب قيمة الليومن الصادر من المصباح فى حالة الإضاءة غير المباشرة فى 0.6 ، أى أننا نستفيد فقط من 60% من الفيض الصادر من هذا المصباح.

ويتم تغيير نوعية الإضاءة باستخدام العواكس Reflectors ، كما أننا نلجأ إلى استخدام العواكس عند الحاجة لتعديل المنحنى الخاص بالمصباح أو لتقليل تأثير الزغللة Glare كما فى الشكل 7-10.

وهناك أيضا درجات أخرى بين الإضاءة المباشرة والإضاءة غير المباشرة تعرف بالإضاءة " شبه المباشرة " ، وهناك أيضا الإضاءة " شبه الغير مباشرة " ، وذلك كله حسب نسبة الضوء الساقط مباشرة من المصباح.



شكل 7-10 : استخدام العواكس للتقليل من الزغللة (البهر)

الخطوة الثانية : تحديد مستوى شدة الاستضاءة

فى هذه الخطوة يتم تحديد مستوى الاستضاءة المطلوبة. ويبين الجدول 7-3 بعضا من قيم شدة الاستضاءة الموصى بها عالميا (تحسب مستوى الاستضاءة في العادة عند ما يسمى بمستوى التشغيل ، هو مستوى مرتفع عن سطح الأرض بمسافة تتراوح بين 70 الى 90 cm). (راجع المواصفات الخاصة ببلدك)

جدول 7- 3 : مستوى شدة الإضاءة فى الفراغات المختلفة للمبانى

المكان		شدة الإضاءة (لوكس)
المبانى السكنية	سـلالم	120
	ممرات	60
	غرف معيشة :	
	عـام	150
	قراءة	300
	غرفة طعام	120
	غرفة نوم	120
	مطبـخ :	
	عام	120
	فوق أسطح العمل	500
	***حمام*:**	300
	حجرة مكتب :	
	- عام	300
	- فوق سطح المكتب	500
المكاتب	إستقبال، قاعات استراحة	120
	صالات إجتماعات	300
	حجرة تصوير وطباعة	300
	حجرة الرسم التخطيطى	500
	حجرة الرسم المعمارى الهندسى	1000
المكتبات	**أرفف الكتب :**	
	المستخدمة	300
	غير المستخدمة	60
	أعمال الفهرسة :	
	حجرات الخرائط	1000
	حجرات التصوير	300
	القراءة :	
	قراءة مكتبية	300

المكان		شدة الإضاءة (لوكس)
المستشفيات	الردهات، السلالم، المصاعد	120
	حجرات العلاج الطبيعى	300
	عيادات خاصة :	
	غرفة انتظار	120
	غرفة فحص	500
	الأسنان :	
	عام	300
	صينية الأدوات	500
	فجوة الفم	3000
	المعامل :	

	أخذ العينات	500
	معمل الأنسجة	1000
	حجرة الفحص المجهرى	300
	التحاليل الكيميائية	5000
	التحاليل البكترليوجية	1000
	تحليل الدم	500
	غرفة العمليات :	
	التحضير والتخدير	500
	عام بغرف العمليات	1000
	مائدة العمليات	- 25000
		100000
	غرف المرضى :	
	عام	60
	قراءة	300
	الأشعة :	
	قسم التشخيص	
	حجرة الأشعة	30
	فرز الأفلام	1000
	تحضير الباريوم	500
الفنادق	الممرات والسلالم والمصاعد	120
	الاستقبال	500
	حجرات النوم :	
	عام	150
	طاولة الكتابة ، أماكن التزين	300
	حمامات	300
	المطعم	120
المدارس	الفصول	300
	السبورة	500
	المعامل	500
	حجرات الرسم	500
	قاعات الإجتماعات	300
	الورش	500
	صالة الطعام	120
المحلات والمتاجر	**داخل المكان :**	
	إضاءة عامة	300
	إضاءة أماكن يراد لفت النظر إليها	750
	فاترينات العرض :	

	إضاءة عامة	500
	إضاءة أجزاء هامة يراد لفت النظر اليها	3000

الخطوة الثالثة : تحديد نوعية المصابيح

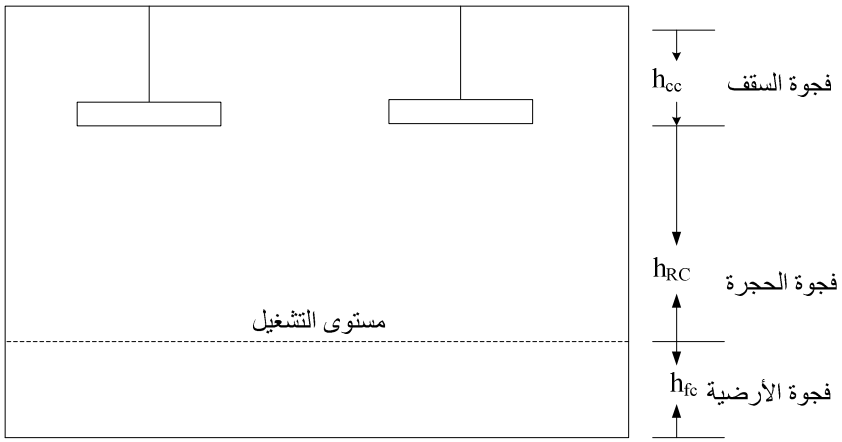
يتم في هذه الخطوة اختيار نوعية المصابيح ، طبقا للمتطلبات الديكورية ، وذلك من خلال كتالوجات الشركات المختلفة.

الخطوة الرابعة : حساب الـ Room Index ثم حساب معامل الانتفاع Utilization Factor

1- حساب الـ Room Index

قبل حساب الـ Room Index factor, k يجب أولا حساب Room Cavity (h_{RC}) كما فى الشكل 7-11 ، ثم نحسب الـ Room Index بدلالته وبدلالة أبعاد الحجرة كما يلى:

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}\left(L + W\right)} \quad \text{.....} 7-11$$

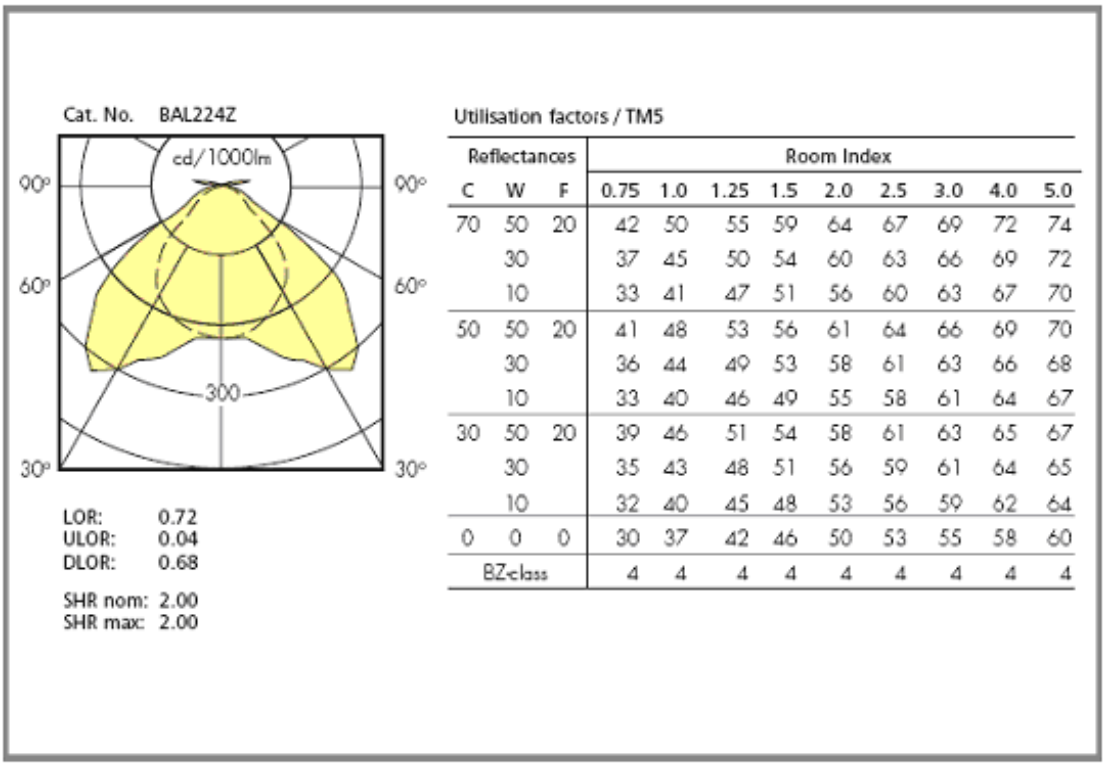


شكل 7-11 : حساب فجوة الحجرة Room Cavity

2- حساب معامل الانتفاع

ويعرف معامل الانتفاع Utilization Factor UF ، بأنه نسبة الفيض الضوئى عند مستوى التشغيل مقسوما على الفيض الكلى المتولد من المصباح. وهذا المعامل يتأثر بعوامل عدة منها :

- أبعاد الحجرة (طول L ، عرض W ، والارتفاع H) و يتأثر أيضا بطول المسافة بين المصباح ومستوى التشغيل (h_{RC}) ، وقد أخذت جميع هذه القيم فى الاعتبار عند حساب الـ Room Index فى الخطوة السابقة.
- يتأثر الـ UF أيضا بدرجة انعكاس الضوء من الحوائط W ومن الأرضيات F ومن السقف C كما فى الجدول الموجود بالشكل 7-12 ، حيث يتأثر بلون الحوائط (فاتح ، غامق) ، وهل الحوائط مثلا مجلدة بالرخام أو من دهانات خشنة . لاحظ أن هذه الجداول ستختلف من مصباح لأخر ومن شركة لأخرى .

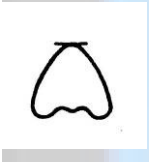
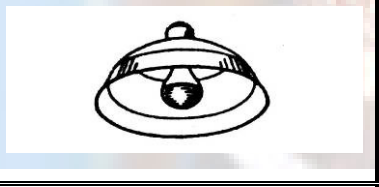
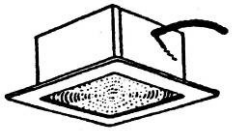


Reflectances			Room Index								
C	W	F	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
70	50	20	42	50	55	59	64	67	69	72	74
	30		37	45	50	54	60	63	66	69	72
	10		33	41	47	51	56	60	63	67	70
50	50	20	41	48	53	56	61	64	66	69	70
	30		36	44	49	53	58	61	63	66	68
	10		33	40	46	49	55	58	61	64	67
30	50	20	39	46	51	54	58	61	63	65	67
	30		35	43	48	51	56	59	61	64	65
	10		32	40	45	48	53	56	59	62	64
0	0	0	30	37	42	46	50	53	55	58	60
BZ-class			4	4	4	4	4	4	4	4	4

شكل 7-12 : أحد جداول حساب معامل الانتفاع Utilization factor

كما يمثل الجدول 7-4 نموذجا آخر (حسب الكود المصرى) لتحديد معامل الاستفادة Utilization Factor. مع ملاحظة أن الـ Room Index التى تظهر فى الجدول 7-4 يتم اختيارها أولا من الجدول 7 -5 بناء على أبعاد الحجرة. ويمكن الرجوع لمثل هذه الجداول كاملة فى كتالوجات الشركات ، أو الكود الخاص بدولتك.

جدول 7-4 : معامل الاستفادة (u) لوحدات الإنارة

No	Polar curve	LUMINAIRE	Ceiling	75 %			50 %			30 %	
			Walls	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
			Room Index	COEFFICIENT OF UTILIZATION							
1			J	.38	.36	.35	.38	.36	.35	.36	.35
			I	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.44	.42
			H	.49	.49	.48	.49	.48	.47	.48	.47
			G	.53	.52	.51	.52	.51	.50	.51	.49
			F	.55	.54	.53	.53	.53	.52	.53	.51
			E	.57	.57	.36	.37	.56	.55	.55	.54
			D	.61	.59	.58	.59	.58	.57	.57	.56
			C	.62	.61	.59	.60	.59	.58	.58	.37
			B	.63	.62	.61	.61	.60	.59	.59	.58
			A	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.59
2			J	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.26	.23
			I	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.33	.31
			H	.41	.38	.34	.41	.38	.34	.37	.34
			G	.45	.41	.39	.44	.41	.39	.40	.39
			F	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41
			E	.51	.48	.46	.50	.48	.46	.46	.46
			D	.55	.52	.50	.54	.52	.50	.51	.50
			C	.56	.54	.52	.55	.53	.52	.52	.51
			B	.59	.57	.55	.58	.56	.54	.55	.54
			A	.60	.58	.56	.59	.57	.56	.56	.55
3			J	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.22	.20
			I	.31	.28	.26	.29	.28	.26	.28	.26
			H	.34	.31	.29	.32	.31	.29	.30	.28
			G	.36	.33	.32	.34	.33	.31	.32	.30
			F	.38	.35	.34	.36	.34	.33	.34	.32
			E	.40	.39	.38	.39	.37	.36	.37	.35
			D	.43	.41	.40	.42	.40	.39	.39	.38
			C	.45	.43	.42	.44	.41	.40	.40	.40
			B	.48	.45	.44	.47	.43	.42	.42	.41

			A	.50	.47	.46	.48	.46	.45	.45	.44
4			J	.52	.49	.47	.51	.49	.47	.48	.47
			I	.55	.53	.51	.54	.52	.51	.51	.50
			H	.57	.55	.53	.56	.54	.53	.53	.53
			G	.58	.57	.55	.57	.56	.55	.55	.54
			F	.59	.58	.57	.58	.57	.56	.56	.56
			E	.61	.60	.59	.60	.59	.58	.58	.57
			D	.63	.62	.61	.61	.61	.60	.60	.59
			C	.64	.64	.63	.63	.63	.62	.62	.61
			B	.65	.65	.64	.64	.64	.63	.63	62
			A	.66	.66	.65	.65	.65	.64	.64	.63
5			J	.38	.32	.28	.37	.32	.28	.31	.28
			I	.47	.42	.39	.46	.41	.38	.40	.37
			H	.51	.47	.44	.50	.47	.43	.46	.43
			G	.55	.51	.48	.54	.51	.47	.50	.47
			F	.58	.54	.51	.57	.53	.51	.52	.50
			E	.63	.60	.57	.62	.59	.56	.58	.53
			D	.68	.64	.61	.66	.64	.61	.63	.60
			C	.70	.67	.63	.68	.65	.64	.64	.62
			B	.73	.70	.68	.71	.68	.67	.67	.66
			A	.74	.72	.70	.72	.70	.68	.69	.67
6			J	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.28	.25
			I	.42	.38	.35	.41	.37	.34	.37	.34
			H	.46	.42	.39	.44	.42	.39	.41	.39
			G	.50	.46	.43	.48	.45	.41	.44	.41
			F	.53	.49	.46	.51	.47	.44	.47	.44
			E	.57	.54	.51	.56	.52	.50	.52	.50
			D	.61	.58	.55	.59	.56	.54	.56	.54
			C	.63	.60	.57	.61	.58	.56	.58	.56
			B	.66	.64	.61	.64	.60	.59	.60	.59
			A	.67	.63	.62	.66	.62	.61	.62	.60
7			J	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.28	.25
			I	.41	.37	.34	.40	.36	.33	.36	.33
			H	.45	.41	.38	.44	.41	.38	.40	.38
			G	.48	.45	.42	.48	.45	.42	.43	.42
			F	.51	.48	.45	.50	.47	.45	.46	.45
			E	.55	.53	.50	.55	.52	.50	.51	.50
			D	.60	.57	.54	.58	.56	.54	.55	.54
			C	.61	.59	.56	.60	.57	.56	.57	.55
			B	.64	.62	.60	.62	.60	.59	.60	.58
			A	.63	.63	.61	.64	.62	.60	.61	.60

جدول 7-5: معامل الحجرة (Ri)

ارتفاع السقف (م)							
5.00 – 4.20	6.00 – 510	7.20 – 6.30	9.0 – 750	10.80-9.10	15.0-11.10		
منسوب التعليق فوق سطح الشغل (م)							
3.50 – 3.00	4.0 – 3.60	5.0 – 4.20	6.00 – 5.10	7.20 – 6.10	9.00 – 7.50	10.80-9.10	15.00-11.10
معامل الحجرة							
J							
J							
J	J						
I	J	J					
I	J	J	J				
H	I	J	J				
J	J						
J	J	J					
I	J	J					
H	I	J	J				
H	I	J	J				
H	H	I	J				
I	J	J					
I	J	J					
H	I	J	J				
H	I	J	J				
G	H	I	J				
G	H	I	J				

الخطوة الخامسة : حساب معامل فقد الضوء (معامل الصيانة).

عندما تستعمل المصابيح لفترة زمنية طويلة فإن الفيض الخارج منها سيتأثر لاشك خلال هذه الفترة بعدة عوامل أهمها تغيير جهد التشغيل ، و تغير معاملات الانعكاس ، ومعدلات احتراق المصابيح ، و عمر المصابيح ، وأيضا بمستوى نظافة اللمبات ، وكل هذه الاعتبارات تؤخذ فى الاعتبار عند تعيين معامل فقد الضوء LL. وتتراوح قيمة معامل الصيانة من 0.76 إلى 1 فى حالة الصيانة الدورية المنتظمة ، فى حين تبلغ قيمته من 0.66 إلى 0.75 فى حالة الصيانة غير المنتظمة لوحدات الإنارة.

الخطوة السادسة : حساب عدد المصابيح

بعد حساب UF فى الخطوة الرابعة ، وحساب الـ L_L فى الخطوة الخامسة ، وبمعلومية قيمة الفيض Φ الصادر من المصباح الذى تم اختياره فى الخطوة الثالثة ، وبمعلومية مستوى الاستضاءة المطلوبة E والتى تم تحديدها فى الخطوة الثانية ، بعد كل ذلك يمكن حساب عدد المصابيح N تمهيدا لتوزيعها بالشكل الملائم باستخدام المعادلة :

$$N = \frac{EA}{\phi\, UF\;\; L_L} \quad ....7-12$$

حيث

E شدة الاستضاءة المطلوبة ووحداتها Lm/m^2 .

A مساحة مستوى التشغيل ووحدتها m^2 .

Φ الفيض الضوئى لكل مصباح ووحداتها بالليومن .

UF معامل الاستفادة Utilization Factor ، وهو رقم أقل من الواحد .
L_L معامل فقد الضوء ، وهو رقم أقل أيضا من الواحد .
N عدد المصابيح .
مع ملاحظة أن بعض الشركات تضرب عدد المصابيح التى نحصل عليها من المعادلة السابقة فى 1.25 كمعامل أمان إضافى لمتغيرات غير منظورة . وفيما يلى أمثلة منوعة لتطبيق طريقة الليومن المعدلة.
والبعض الآخر يضيف عنصر كفاءة المصباح الضوئية فى الاعتبار ، ومن ثم تصبح المعادلة السابقة على الصورة التالية :

$$N = \frac{EA}{\phi\, P \eta_{Lamp} UF\ L_L}$$

η_{Lamp} كفاءة اللمبة (Lm/W)
P قدرة المصباح بالوات

الخطوة السابعة : توزيع المصابيح
عندما تكون قيمة (N) المحسوبة من العلاقة السابقة عدداً كسرياً، يتم تقريب القيمة المحسوبة إلى العدد الصحيح التالى مباشرة، (مثال: 10.3 تصبح 11وهكذا). ويمكن زيادة عدد وحدات الإنارة إلى الرقم الذى يحقق عدة حلول لتوزيع هذه الوحدات، (فمثلا 11 يمكن زيادتها إلى 12 والتى تعطى توزيع 2 صف × 6وحدات إضاءة أو 3 صفوف × 4 وحدات).

مثال 7-4
مطلوب تصميم إضاءة مكتب أبعاده 7 x 14 متر ، وارتفاع السقف 3 متر ، و مستوى الاستضاءة المطلوبة يساوى 1000 Lux ، علما بأن انعكاس السقف 70% والحوائط 50 % ، والأرضيات 20% ، وأن مستوى العمل يرتفع 75 سم من الأرض ، وأن وحدة الإضاءة المستخدمة تنتج فيضا قدره 2250 ليومن ومعلقة تحت السقف بمسافة 60 سم.
الحل:
يجب أولا تحديد فجوة الحجرة h_{RC} وستساوى

$$H_{RC} = 3 - 0.6 - 0.75 = 1.65 \text{ m}$$

ثم بمعلومية أبعاد الحجرة
L = 14m
W = 7m
H = 3 m
نحسب منها الـ Room Index (راجع المعادلة 7-11)

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}(L+W)} = \frac{14 \times 7}{1.65(14+7)} = 2.8$$

الآن بمعلومية هذه القيمة (تقرب إلى 3 فى الشكل 7-12) ، وبمعلومية أيضا نسبة الانعكاس من السقف (70%) ، وانعكاس الحوائط (50%) ، وانعكاس الأرضيات (20%) ، ومن الجدول الموجود فى الشكل 7-12 وستجد أن معامل الاستفادة UF يساوى 0.69 ، وبفرض أن معامل فقد الضوء يساوى 0.7 ، ثم بالتعويض فى المعادلة لحساب عدد المصابيح N نجد أن العدد يساوى

$$= \frac{1000 * 7 * 14}{2250 * 0.69 * 0.7} = 90.1 \cong 91\,\text{N}$$

مثال 7-5

المطلوب تصميم نظام الإضاءة لغرفة اجتماعات أبعادها كالاتى:

L = 15.00 m
W = 8.00 m
H = 3.40 m
h_{RC} = 2.55 m

علما أن المستوى المطلوب للاستضاءة يساوى 300 Lux ، ومواصفات اللمبة المستعملة هى كما يلى:

OSRAM DULUX 2 x 24 W
light color LUMILUX Warm
luminous flux per lamp = 1800 Lumen
Light loss factor = 0.58

مع مراعاة أن الانعكاس من الحوائط والسقف والأرضيات معطى بالقيم التالية:
Ceiling = 0.8
Wall = 0.5
Work surface = 0.3

الحل:
نحتاج أولا إلى حساب الـ Room Index Factor, k طبقا للمعطيات فى رأس المسألة

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}(L+W)} = \frac{15 \times 8}{2.55\,(15+8)} = 2$$

ومن الجدول 7-6 (وهو خاص بالشركة المنتجة للمصابيح) سنجد أن UF المقابل لانعاكس السقف = 80%
وحوائط 50% وأرضيات 30% مع (Room Index = 2) سنجد أن UF المقابل يساوى 0.91 .
ومن معطيات ومواصفات اللمبة نجد أن Light Loss = 0.58 .

جدول 7-6 : أحد جداول حساب Room Utilization Factor

معاملات الانعكاس										
Ceiling	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.5	0.5	0.3
Wall	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.8	0.3	0.5	0.3	0.3
Surface	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Room Index Factor, k	Room Utilization Factor in %									
0.6	73	46	37	44	36	66	36	42	35	35
0.8	82	57	47	54	46	74	45	51	44	44
1.0	91	66	56	62	54	80	53	59	52	51
1.25	98	75	65	70	62	85	61	66	60	59
1.5	103	82	73	76	69	89	67	72	66	65
2.0	109	91	82	84	78	94	75	78	73	72
2.5	114	98	90	90	84	97	81	83	79	77
3.0	117	103	96	95	90	99	86	87	83	82
4.0	120	109	103	100	95	101	91	91	88	86
5.0	122	113	107	103	98	103	93	93	91	89

وبالتعويض نجد أن عدد المصابيح

$$N = \frac{1.25 \times 300 \times 15 \times 8}{2 \times 1800 \times 0.58 \times 0.91} = 23.7$$

وتقرب إلى أقرب أعلى عدد صحيح (24) ، والتوزيع المقترح هو 3 x 8 Lamp .

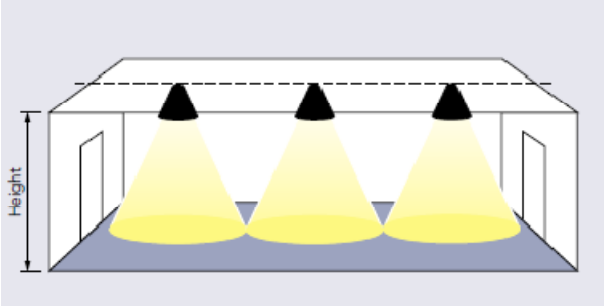
وأخيرا ، يمكن تحديد نسبة المسافة البينية بين المصابيح وكذلك تحديد ارتفاع تعليق وحدات الإنارة من الجدول 7-7.

جدول 7-7: منسوب التعليق والمسافات البينية لوحدات الإنارة

إضاءة غير مباشرة أو شبه غير مباشرة				إضاءة مباشرة ـ شبه مباشرة- أو تناثريه			إضاءة مباشرة مركزه	إضاءة مباشرة شبه مركزه
ارتفاع السقف (م)	المسافة من الحوائط (م)	تدلى الوحدة (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	منسوب التعليق (م)	المسافة من الحوائط (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)
2.40	0.90	–0.30 0.90	2.70	2.40	0.90	2.25	1.65	0.75
2.70	0.90	-0.45 0.90	3.15	2.70	0.90	2.70	1.80	0.90
3.00	1.05	-0.60 0.90	3.75	3.00	1.05	3.15	2.10	1.20
3.30	1.05		4.05	3.30	1.05	3.60	2.40	1.35
3.60	1.20	-0.75 1.20	4.50	3.60	1.20	4.05	2.70	1.50
3.90	1.20	-0.90 1.20	5.10	3.90	1.20	4.50	3.00	1.65
4.20	1.50		5.70	4.20	1.50	4.95	3.30	1.80
4.50	1.50		6.00	4.50	1.50	5.40	3.60	1.95
4.80	1.80	-1.20 1.50	6.60	4.80	1.80	6.00	3.90	2.10
5.40	1.80		7.20	5.40	1.80	6.60	4.65	2.40
أكثر من 5.40	2.10	-1.20 1.80	8.40	6.00 أو أكثر	2.10	7.50	5.25	2.70

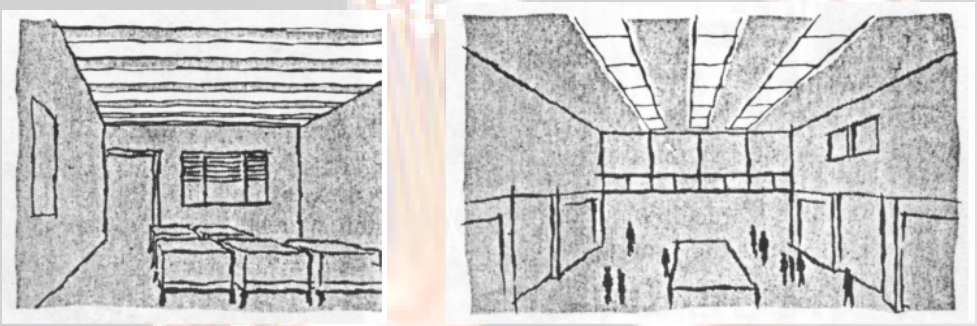
7-10 اعتبارات هامة فى التصميمات

1- يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عند توزيع أعداد المصابيح المحسوبة كما فى الأمثلة السابقة ألا تزيد النسبة بين أعلى إضاءة إلى أقل إضاءة عن 1.25 وذلك حتى يمكن تصنيف الإضاءة بأنها منتظمة ، وحتى لا يحدث ما يسمى بالتباين. ولتحقيق ذلك يجب أن تكون نسبة المسافة بين أى مصباحين إلى ارتفاع المصباح أو ما يسمى بـ Space to Height Ratio لا تزيد عن 1.5 حتى لا تحدث بقع مظلمة كما فى الشكل 7-13 .



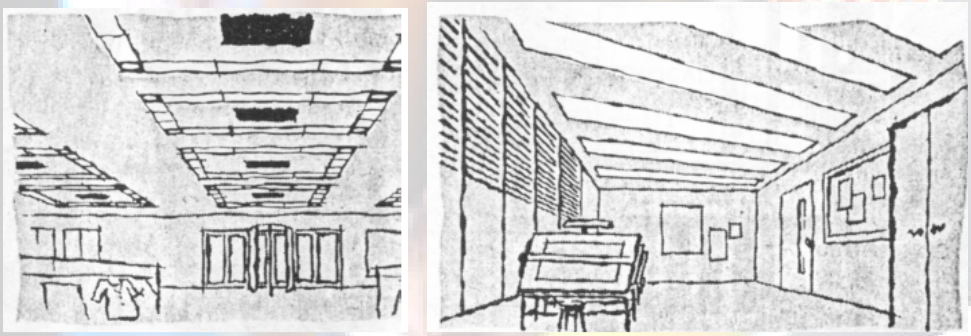
شكل 7-13 : ضبط Space To High Ratio لمنع البقع المظلمة

2- إذا أردت أن تظهر اتساع المكان فاستخدم الإضاءة المستعرضة كما فى الشكل 7- 14 (يسار) أما إذا أردت أن تبرز عمق المكان فيجب أن تستخدم الإضاءة الطولية. كما فى الشكل 7-14 (يمين).



شكل 7-14 : إبراز عمق المكان

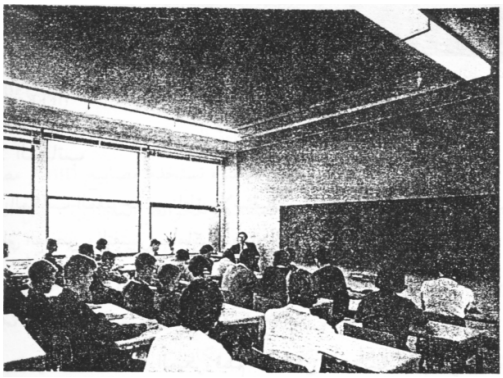
3- التشكيلات المائلة للمصابيح تخفف من ظهور الظلال كما فى الشكل 7-15 (يمين) أما التشكيلات المستطيلة فتساعد فى جذب الانتباه كما فى الشكل 7-15 (يسار).



شكل 7-15 : تشكيلات لمنع الظلال أو لجذب الانتباه

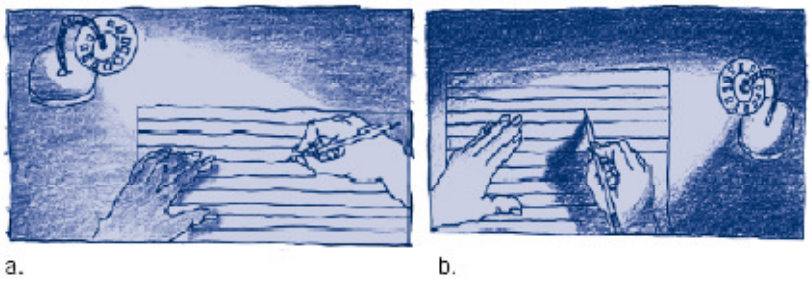
4- فى قاعات المدارس يجب أن تكون النافذة على يسار الطلاب لمنع الظلال ، ويفضل استخدام لمبات فلورسنت طولية موازية للنافذة ومتباعدة قدر الإمكان ، مع مراعاة أن يكون للسبورة إضاءة غير مباشرة خاصة بها لتجنب البهر كما فى الشكل 7-16.

5-



شكل 7-16 : وضع النوافذ على يسار الطلبة لمنع الظلال.

6- لاحظ أنه لو وضع مصدر الضوء على يمين الطالب فسيتكون الظل كما فى الشكل 7-17.



شكل 7-17 : تكون الظلال حسب موقع المصباح

7-11 مصابيح الإضاءة

المصابيح هى مصدر الإضاءة الكهربية حيث تقوم بتحويل القدرة الكهربية إلى قدرة ضوئية . ويوجد أنواع كثيرة من المصابيح الكهربية تختلف فى تركيبها وطرق تشغيلها وكفاءتها ولون إضاءتها . ويمكن تصنيف المصابيح الكهربية فى أربع مجموعات :

1- المصابيح المتوهجة وتتضمن ما يلى :
- مصابيح التنجستن العادية Incandescent Lamps .
- مصابيح التنجستين الهالوجينية Tungsten Halogen Lamps .

2- مصابيح التفريغ الغازى (Gas Discharge Lamps) وتتضمن ما يلى :
- مصابيح الفلورسنت Fluorescent lamps (وتعرف أيضا بمصابيح الزئبق منخفض الضغط)
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى High Pressure Sodium lamps (HPS) .
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low Pressure Sodium lamps (SOX) .
- مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى High Pressure Mercury lamps (HPM) .
- مصابيح الهاليد المعدنى Metal Halide lamps .
- لمبات النيون Neon lamp .

3- المصابيح الموفرة للطاقة .

4- مصابيح الـ LED .

7-11-1 المصابيح المتوهجة Incandescent lamps

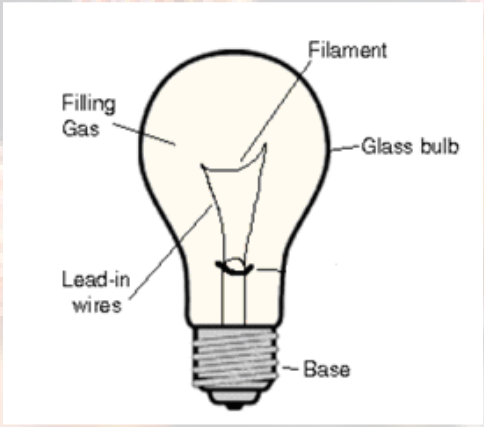
تنتج مصابيح الفتيلة المتوهجة ضوءا عند تسخين فتيلة التنجستن حتى التوهج ، ولذا تسمى أيضا بالمصابيح الحرارية ، وقد استخدام التنجستن فيها لما يتميز به من صلابة ، وتحمل للحرارة العالية ، كما أنه يتميز كذلك بضعف معدل البخر له (المقصود تبخر السلك المعدنى مع ارتفاع درجة حرارته) . وتوضع الفتيلة فى وسط مفرغ من الهواء (بصيلة) تحتوى على غاز خامل (أرجون أو أرجون + نيتروجين) . وقد يرفع الضغط داخل البصيلة إلى 1.5 جوى ، لأن الضغط المرتفع يخفض معدل البخر ويطيل عمر المصباح . ووظيفة هذا الغاز الخامل أن يمنع أكسدة الفتيلة عند ارتفاع درجة حرارتها ، ويقلل من تبخر معدن الفتيلة ، ومن ثم يطيل من عمر

المصباح ، كما أنه يقلل من السواد الذى يغطى المصباح من الداخل نتيجة البخر . ويوضح شكل 7-18 مكونات المصباح. و البصيلة لها أنواع متعددة :

- زجاج عادى وله أشكال متنوعة (شفاف – مفضض) .
- أبيض ديلوكس (سيليكا تخفى السواد الناتج عن البخر) .
- ضوء النهار (زجاج أخضر مزرق يمتص جزء من الأحمر) .

والكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة المستخدمة فى الطرق حوالى 10 Lm/W وتعتبر كفاءة منخفضة حيث يضيع جزء كبير من الطاقة على صورة حرارة. وأكثر استخداماته تكون فى مجالات الخدمة الشاقة مثل القطارات و السيارات وإشارات المرور. وهذه بعض الخواص الهامة:

- المظهر دافئ (2800 درجة)
- أمانة النقل قرب 100
- العمر 1000- 4000 ساعة
- الفتح والغلق لا يحتاج لدائرة خاصة ولا يتأثر عمره بعددها
- التحكم يمكن خفض جهد حتى 50%



شكل 7-18 : مصباح التنجستن

7-11-2 مصابيح الهالوجين

الأصل أنها مصابيح تنجستن وأضيف لها أحد الهالوجين (يود ، بروم ، فلور) ويصدر عنها حرارة عالية لذا نستخدم الكوارتز فى زجاج البصيلة الخاصة بها (صورة 7-1) ، وفكرة عمله أنه عندما يتحد بخار التنجستن مع الهالوجين المضاف فإن الجزيئات الناتجة تقترب من الفتيل التنجستن الساخن وترسب عليه وبالتالى فقد اختفت معه ظاهرة السواد الداخلى ، وهذه الدورة استرجاعية Regenerative cycle. بمعنى أن المادة المتكونة مع ارتفاع درجة حرارة الفتيلة تتحلل مرة أخرى إلى تنجستن وهالوجين ، وهكذا. و قد أدت فكرة هذه الدورة إلي إطالة عمر المصباح إلي 2000 ساعة كحد أدنى بدلا من 1000 ساعة ، وإلي زيادة الكفاءة الضوئية إلي 21 لومن / وات مع الاحتفاظ بأمانة نقل ألون عالية تقترب من 100 ، لكن لا يفضل معه خفض الجهد. لاحظ أن التخلص التام من ظاهرة التسويد أدي إلي خفض الغلاف الزجاجي إلي 90 % من حجم مصباح متوهج عادي له نفس القدرة .

صورة 7-1 : مصباح الهالوجين

وأبرز مجالات الاستخدام في المناطق التي تحتاج إلى قدرة صغيرة وإضاءة عالية ، وأمانة عالية لنقل الألوان مثل أجهزة تسليط الشرائح Projectors ، ومصابيح السيارات ، وإضاءة المسارح ، كما يستخدم فى المنازل و المحلات ولمبات الغمر الضوئى Flood Light والبؤر الضوئية Spot Light.

7-11-3 مصابيح التفريغ الغازى

تنتج مصابيح التفريغ الغازية الضوء من طريق مرور الكهرباء عبْر غاز تحت الضغط ، بدلاً من توهج الفتيلة كما فى المصابيح المتوهجة. ومثل هذه العملية تسمى بالتفريغ الكهربائي Electric Discharge. ولذا تسمى هذه المصابيح أحياناً بمصابيح التفريغ الكهربائي. وتضم هذه العائلة من المصابيح: المصابيح الفلورية ، ومصابيح النيون، ومصابيح الصوديوم منخفضة/عالية الضغط ، ومصابيح بخار الزئبق عالية الضغط ، ومصابيح الهاليد المعدنية.

الفكرة العامة لمصابيح التفريغ الغازى

الفكرة العامة لكافة هذه المصابيح هو حدوث قوس كهربى Electric Arc خلال غاز تحت ضغط منخفض أو مرتفع. وفى أغلب هذه المصابيح يكون هناك غازين خاملين بداخل المصباح: الأول يكون سريع التأين ويسمى غاز البدء ، ويحتاج لجهد عالى عند البدء ، أما الغاز الثانى فتستثار ذراته باصطدام الالكترونات المنبعثة من إلكترودات اللمبة (التى تصنع غالبا من التنجستن) ، ويصاحب ذلك انبعاث للخطوط الطيفية Light Spectrum الخاصة بهذه الذرات ، ولذا ستختلف الألوان الصادرة من هذه المصابيح حسب الغاز الثانى الموجود بداخلها ، وتسمى اللمبة غالبا باسم هذا الغاز (الصوديوم ، النيون ، الزئبق ، إلخ) .

وظيفة الملف الكابح

وينشأ عن الـ Electric Arc فى الغاز الثانى تيار عالى جدا ، لاسيما وأن مقاومة الـ Arc سالبة أى أنها تنقص مع زيادة التيار فتحدث زيادة مضطردة فى قيمة التيار ، ولذا نحتاج غالبا إلى ملف كابح Ballast يوصل على التوالى مع المصباح للحد من هذا التيار طوال مدة تشغيل المصباح. وللملف الكابح وظيفة أخرى هى المحافظة على فرق الجهد خلال اللمبة ثابتا طوال فترة التشغيل . ومع وجود هذه الملفات أصبح من الضرورى استخدام مكثفات لتحسين معامل القدرة فى هذه النوعية من المصابيح بسبب انخفاض الـ Power Factor .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن لهذا الـ Ballast وظيفة أخرى تحدث تحديدا عند البدء فقط ، حيث يساهم بصورة أساسية فى توليد الجهد العالى اللازم لعملية البدء. فعند توصيل الكهرباء لدائرة المصباح يقوم البادئ (Starter or Igniter) بتوصيل تيار صغير يمر خلال ملف الـ Ballast ، وينشأ هذا التيار مجالا كهربيا صغيرا فى الملف ، لكن هذا البادئ سرعان ما يفصل وينقطع التيار ، وهنا نستفيد من الـ Inductance العالية التى يتميز بها هذا الملف ، حيث سيحاول هذا الملف الإبقاء على التيار داخله ومنعه من الانهيار (تذكر أن من أساسيات الكهرباء أن أى ملف Coil يحاول دائما منع أى تغير فى التيار : فإذا زاد التيار خلاله فإنه يحاول منعه من الزيادة ، وإذا نقص فإنه يحاول منعه من النقصان ، و هي القاعدة المعروفة بقاعدة لنز Lenz Rule . وهذه الخاصية مفيدة جدا هنا لأن محاولة الملف منع التيار من التناقص سينشأ عنها ظهور جهد عالى لحظى بين أطراف الملف وتتأثر اللمبة بهذا الجهد العالى فيحدث انهيار لعزلية الغاز الموجود بداخلها فيحدث تفريغ للغاز Electric Discharge ، ويصبح موصلا . وقد يحتاج لعدة محاولات للوصول إلى التوصيل الدائم حيث تصبح درجة الحرارة داخله مناسبة. وهذه الفكرة العامة تكاد تكون مشتركة فى كافة أنواع مصابيح التفريغ .

وباستثناء المصابيح الفلورية فإن مصابيح التفريغ الغازي لا تُستخدم في المنازل ، حيث تبدو ألوان الأشياء مختلفة عن لونها الطبيعي بدرجة كبيرة على الرغم من أنها تُعَمَّر مدة أطول ، وتعطي ضوءاً أشد ، مقابل كل واط من القدرة ، وهي من هذا الجانب أكفأ من المصابيح المتوهجة.

7-11-4 مصابيح الفلورسنت (الزئبق منخفض الضغط)

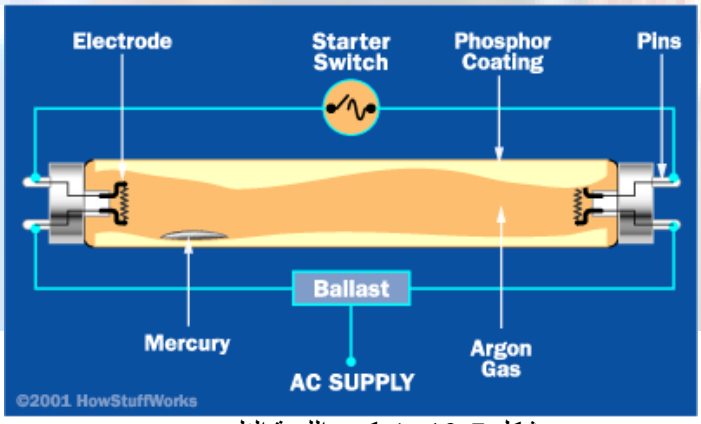
يتركب المصباح الفلورسنت من إلكترودين عند الأطراف (يسميان بالأنود والكاثود) ، تنبعث منهما الكترونات عند تسخينها ، وغالبا تكون مصنوعة من تنجستن مطلى بالباريوم ، وتوضع الـ Electrodes داخل أنبوب اسطوانى يحتوى على خليط من بخار الزئبق والأرجون تحت ضغط منخفض جدا (وهذا يساعد على إبقائه على هيئة غاز) ، كما يحتوي السطح الداخلي للأنبوب على مادة فوسفورية تقوم بامتصاص الأشعة الفوق البنفسجية التي تنطلق لدى مرور تيار في غاز بخار الزئبق (والتى هى فى الأصل موجات غير مرئية) ، وتطلق هذه المادة بعد امتصاصها لهذه الأشعة موجات ضوئية بجميع الأطوال الموجية مما ينشئ اللون الأبيض المميز لهذه اللمبات.

ويحتاج المصباح إلى بادئ تشغيل Starter (أنبوب صغير بداخله غاز الأرجون سريع التأين وبه الكترودين قريبين لبعضهما لتسهيل عملية التفريغ) ، ويحتاج كذلك إلى الملف الكابح Ballast .

وعند توصيل طرفى اللمبة إلى مصدر كهربى AC supply فإن جهدا كهربيا سينشأ بين طرفى اللمبة وطرفى الـ Starter (راجع الشكل 7-19) ، لكن و بسبب كون الغاز داخل الأنبوب باردا فى بداية التشغيل فإن الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة ستلاقي مقاومة للمرور عبر الغاز، لهذا ستمر عبر الـ Starter الذى يتأين غازه أسرع ، ثم تمر عبر إلكترودات مصباح النيون ، وبمرور التيار فإن الإلكترودين سيسخنان بشكل كبير (وهى اللحظة التي يحمر فيها طرفي المصباح) .

ومعروف أن الإلكترونات تكون سريعة في المواد الساخنة ، مما سيجعل عملية قذف الإلكترونات أسهل ليمر عبر الغاز فتمر أول دفعة (تسخن الغاز داخل الأنبوبة الاسطوانية قليلا) ثم ما يلبث التيار خلال الأنبوب الرئيسى أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية ، فينتقل مرة أخرى ليمر عبر الـ Starter ، لتسخن الإلكترودين من جديد ، وتنتقل الدفعة الثانية من الإلكترونات عبر الغاز . تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يسخن الغاز بشكل كاف ليكون مرور الإلكترونات عبره أسهل من مرورها عبر الـ Starter (لهذا يومض المصباح عدة مرات قبل أن يعمل) ، ويقوم الملف Ballast بمنع التيار من الارتفاع لقيم عالية بعد تمام الإضاءة وحدوث التفريغ خلال أنبوبة المصباح الرئيسية.

لاحظ أنه فى كل مرة – خلال المحاولات الأولية فى بداية التشغيل – عندما ينقطع التيار خلال الـ Starter فإنه يتولد جهد عالى ، فينكسر عزل الغاز فى الأنبوب الرئيسى ويحدث تفريغ بين الإلكترودين الأصليين ويمر التيار الذى ما يلبث أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية .



شكل 7-19 : تركيب اللمبة الفلورسنت

وتتميز هذه المصابيح بأنها تعطى ضعف الكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة .

السمات والخواص

- زمن البدء 2-5 ثوانى (الأنواع الجديدة لها بدء سريع).
- معامل القدرة Power factor منخفض .
- الألوان (الأبيض – دافئ – ديلوكس يشبه المتوهج).
- العمر 7500 ساعة .

- الكفاءة الضوئية حوالى 80 ليومن/وات.
- يتأثر الضوء بالتقادم (يتراكم مسحوق على السطح الداخلى) .
- يتأثر بالحرارة (تؤثر على كمية الطاقة الفوق بنفسجية من القوس) .
- لا يعمل إذا انخفض الجهد عن 75% .
- نستخدم مكثف لتقليل تأثير التداخل Interference مع أجهزة الاتصالات وأيضا لتحسين معامل القدرة فإننا.

ورغم أن أغلب المصابيح الفلورية عبارة عن أنبوبة اسطوانية الشكل إلا أنه توجد مصابيح علي شكل حرف U أو دائرية الشكل. كما أنه يوجد ثلاثة أنواع من المصابيح الفلورية حسب تشغيلها :

- مصباح ذو تسخين متقدم " قبل بدء التشغيل " وهو يحتاج إلي بادئ خاص .
- مصباح سريع البدء ولا يحتاج إلي بادئ ، و يستغرق البدء فيه ثانية أو ثانيتين ، وهو مزود بـ Starting Coil داخلى يوضع قريب من الإلكترودين وموصل بالأرض.
- مصباح لحظي البدء ولا يحتاج إلي بادئ بل تنبعث الألكترونات على البارد من مادة يطلى بها الإلكترودين.

ظاهرة الارتعاش Flicker

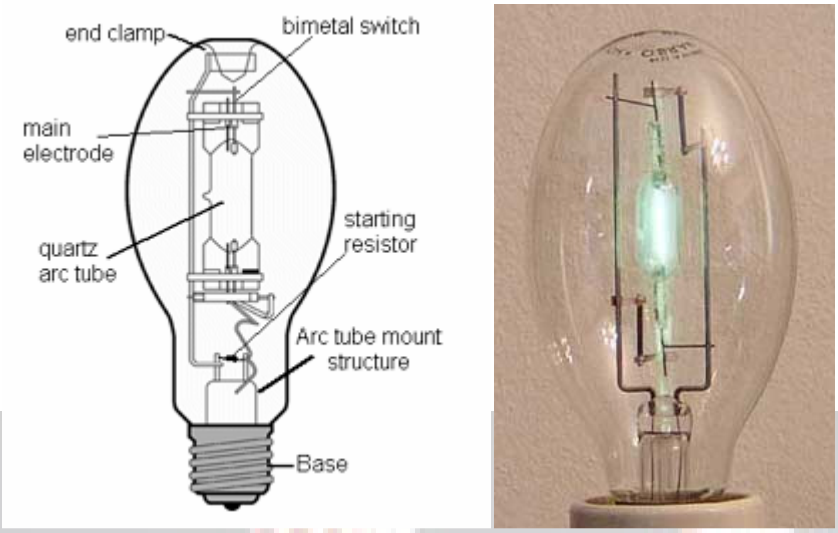
حيث أن المصباح يتغذى من مصدر متردد ، وكما هو معروف فإن القدرة تتناسب مع ضعف قيمة التردد ، أى أن ($P \alpha 2F$) . ولحسن الحظ فعين الإنسان لا تلحظ هذا التردد السريع على الأجسام الثابتة ، لكن إذا وجد شئ متحرك (مروحة مثلا) فقد تظهر له بعض الخيالات فيما يعرف باسم التأثير الاستروبوسكوبى Stroboscopic Effect . وأحيانا ترى المروحة وكأنها تدور بسرعة بطيئة عكس الاتجاه وهى الظاهرة المعروفة باسم الارتعاش Flicker.

ويمكن خفض هذا التأثير داخل الغرفة وذلك بتوصيل المصابيح داخل الغرفة الواحدة على Phases مختلفة وليس على نفس الـ Phase حيث يتسبب الـ Phase shift بين أى Two phases بالغاء هذا التأثير. أما إذا كان لدينا Phase واحد فقط للتغذية وأردت فى نفس الوقت أن تلغى هذه الظاهرة فعليك بتوصيل مصباحين فى الغرفة على نفس الـ Phase ولكن بعد إضافة Inductance لأحدهما حتى يعطى Phase Shift بين الإضاءتين.

7-11-5 مصابيح بخار الزئبق عالى الضغط

يتكون مصباح بخار الزئبق من أنبوبتين زجاجيتين ، إحداهما داخلية (أو أنبوب التفريغ) ، و هى التي يحدث بها القوس الكهربائي ، و الأخرى خارجية تحفظ أنبوبة القوس من تغيرات درجة الحرارة و في بعض الأحيان تعمل كـ Filter لإبعاد بعض أطوال الموجات الصادرة من إشعاعات القوس كما فى الشكل 7-20 . وقد تحتوى بعض البويصلات الخارجية على طبقة من الفسفور و تعرف هذه المصابيح بمصابيح الزئبق الفلورسنتية .

و أنبوب التفريغ الداخلى مصنوع من الكوارتز (لانه يتحمل أكثر من 700 درجة مئوية كما يتحمل التغيرات المفاجئة فى الحرارة و لا يمتص الضوء المرئى) ، ويوضع بداخله مادتى الزئبق والأرجون ، وبداخله أيضا يوجد إلكترودين أساسيين بالإضافة إلى إلكترود بدء Starting يوضع قريب من أحد الإلكترودين الأساسيين ومتصل كهربيا بالأخر (الإلكترود السفلى فى الشكل 7-20) عن طريق مقاومة بدء . والمجموعة كلها توضع داخل أنبوب زجاج عادى خارجى بينهما غاز خامل كما ذكرنا.



شكل 7-20 : مصباح زئبق عالى الضغط

وعند التوصيل بجهد كهربى يحدث توهج بين الإلكترود والبادئ ، فيتأين غاز الأرجون سريعا وينتشر حتى يصل للإلكترود الأخر فيسخن الإلكترودين الأصليين وتنبعث الإلكترونات ويحدث ما يسمى بالتفريغ الكهربى.
لكن التفريغ حتى الآن حدث تحت ضغط منخفض ويتميز باللون الأزرق ، لكن سرعان ما يتبخر الزئبق بالحرارة ويزيد ضغطه ويرتفع الضغط داخل المصباح ليصل إلى 15 ضغط جو ، فيزداد النصوع ويظهر اللون الأبيض المشرب بالزرقة. لاحظ أن الإشعاعات الصادرة من هذه المصابيح تقع فى مدى الأشعة فوق البنفسجية (غير مرئية) ولذا تحتاج هذه المصابيح لمادة فلورية لتحويل الأشعة الغير مرئية إلى ضوء مرئي.

السمات والخواص

- اللون أبيض مزرق لغياب اللون الأحمر.
- أمانة النقل منخفضة (15-52) .
- الكفاءة الضوئية 40-60 ليومن/ وات .
- العمر 20000 ساعة .
- البدء وإعادة التشغيل يحتاج إلى 4- 7 ق .
- يستخدم فى إضاءة الشوارع (لاحظ أن البهر المصاحب لهذا المصباح عالى جدا ولذا يجب ألا يوضع فى مستوى البصر بل على ارتفاعات عالية) .

7-11-6 مصابيح الصوديوم منخفض الضغط

مثل الزئبق منخفض الضغط (الفلورسنت) مع فارق جوهرى أنه لا يحتاج لمادة فسفورية لانه ينتج الضوء مباشرة حيث يتولد الضوء عن طريق التفريغ الغازي الذي يتم في وسط له ضغط منخفض يتكون من غاز صوديوم ، وغاز خامل (نيون) ، أو أرجون تحت ضغط منخفض ، ويقع الإشعاع الناشئ عن التفريغ الغازى في مجال اللون الأصفر فقط ولذا فهو وحيد اللون ، ولا يحتاج لمادة فلورية مثل مصابيح الزئبق.
وتكون أنبوبة التفريغ الداخلية فى هذه المصابيح عادة علي شكل U (صورة 7-2) ومزودة عند كل طرف بفتيلة مكسية بمادة إنبعاثية ، وعند التسخين يبدأ التفريغ فيظهر أولا بلون أحمر برتقالى حتى ترتفع درجة الحرارة فيبدأ الصوديوم في عملية التفريغ ويتحول الضوء إلي الأصفر ، وتتراوح فترة بداية التشغيل حتي إعطاء الإضاءة الكاملة من 7 إلى 15 دقيقة ، وتتم المحافظة علي درجة الحرارة عن طريق العزل الحراري للأنبوبة.

صورة 7-2 : مصباح صوديوم منخفض الضغط

السمات والخواص

- لا يحتاج لوقت لإعادة البدء ، لكنها تحتاج إلى حوالى 10 دقائق لوصول الضوء إلى أقصى شدة.
- أعلى كفاءة ضوئية على الإطلاق (133 – 183) ليومن / وات ولكنه يعتبر الأسوأ من حيث أمانة نقل الألوان (23) حيث لا يمكن تمييز الألوان علي ضوئه لذلك يستخدم في الإضاءة الخارجية فقط كما فى الشوارع والمطارات.
- ويعتبر البهر الناتج منه أقل من المصابيح الأخري .
- ويصل عمره إلي 15000 ساعة وقدرته بين 35 إلى 180 وات.
- ورغم أن أمانة النقل له سيئة إلا أن التمييز به أعلى ما يمكن (لذا يستخدم فى مصابيح الضباب) .

7-11-7 مصابيح الصوديوم عالى الضغط

مثل الزئبق عالى الضغط مع اختلاف المادة ، وتعتمد فكرة عمله علي حدوث تفريغ لبخار لصوديوم عند ضغط عالي . والفرق بينه وبين الصوديوم منخفض الضغط أن طول موجات الإشعاع تكون علي مدي أوسع من الطيف المرئي مما يجعل اللون أصفر ذهبي به كمية من اللون الأحمر وكمية صغيرة من الأزرق والبنفسج.
وبالإضافة إلي الصوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق وغاز الزينون الذى يساعد علي عملية بدء المصباح. والغلاف الخارجى للمبة ينتج على شكل بيضاوى أو أنبوبي كما فى الصورة 7-3.

وقد استخدمت هذه التقنية بعد اكتشاف مادة أكسيد الألومنيوم التي لا تتفاعل مع الصوديوم حتى مع الضغط المرتفع والحرارة العالية ، كما أنها مادة شفافة تقريبا لا تحجب الضوء . وتوضع الأنبوبة داخل غلاف زجاجي مفرغ لعزلها حراريا . وبالإضافة إلي الصوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق حيث يرفع الزئبق الكفاءة الضوئية للمصباح عن طريق خفض الـ Losses الناتجة عند التوصيل الحراري و الناتجة عن التوصيل الكهربي ، كما يحتوى على غاز الزينون الذى يساعد فى عملية بدء المصباح.

صورة 7-3 : لمبات الصوديوم عالى الضغط

والمصباح له كفاءة ضوئية عالية (125 ليومن / وات) وأمانة متوسطة لنقل الألوان (45) ولذا تستخدم في الإضاءة الخارجية . ويصل عمر المصباح إلي 24000 ساعة ، وعند بدء التشغيل يحتاج المصباح إلي 6 دقائق ليصل إلي 80 % من أقصى شدة ، ويحتاج بعد إطفاءه إلي 3 دقائق لإعادة تشغيله .

7-11-8 مصابيح الهاليد المعدنى Metal Halide Lamp

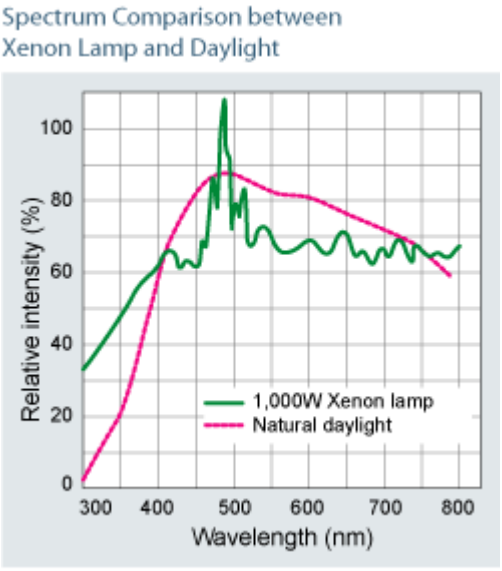
الهاليد المعدني هو مركب ثنائي العنصر من أحد الهالوجينات وهو اليود وعنصر معدني آخر يكون إما الصوديوم أو الثاليوم أو الكانديوم ، ويمكن مع استعمال الهاليد الحصول علي أمانة نقل ضوء ممتازة (60–90) وكفاءة ضوئية عالية 70:100 ليومن / وات ، وهو يصنع بقدرات عالية غالبا (1000 و 2000 و 3500 وات) ، و طريقة التشغيل مثل المصباح الزئبقي الذي سبق شرحه .

السمات والخواص

- الكفاءة والأمانة أعلى من السابقين.
- زمن البدء يتراوح 5-6 ق لكن يحتاج إلى ربع ساعة لإعادة التشغيل.
- العمر أقل 7000 ساعة.
- يستخدم غالبا فى الشوارع والملاعب .

7-11-9 مصابيح الزينون

من نوعية مصابيح التفريغ عالى الجهد لكن بداخلها غاز الزينون الذى ينتج طيفا هو الأقرب إلى طيف ضوء النهار كما فى الشكل 7-21 . وتتميز هذه المصابيح بصغر الحجم وشدة النصوع ولذا تستخدم بكثرة فى السيارات ، كما تستخدم فى الأعمال التى تحتاج لضوء عالى جدا (سينما أو ملاعب) ، ويبلغ متوسط العمر بين 1000 : 2000 ساعة ، لكنه فى البيوت يستخدم منه النوعية ذات الجهد المنخفض (12 فولت فقط) بعد إضافة محول 12/220 فولت ، ويعيبها أنه تتولد منها حرارة عالية.



شكل 7-21 : مصباح الزينون و التحليل الطيفي لضوئه

7-11-10 مصابيح النيون

هي من عائلة مصابيح التفريغ الغازى ، وتتكون من أنابيب (قطرها من 7 إلى 15 ملم) مملوءة بغاز النيون ذى الضغط المنخفض جدا مخلوطا بقليل من الهيليوم ، ويستخدم معها محول رفع للحصول على جهد الاشتعال فى البداية ، فتتوهج عندما تحدث عملية تفريغ كهربائية داخلها ، علما بأن غاز النيون النقي في أنبوب صاف يُعطي ضوءاً أحمر اللون ، لكن يمكن إنتاج الضوء في ألوان أخرى بمزج غاز النيون بغازات أخرى ، أو استخدام أنابيب ملونة ، أو مزيج من هاتين الطريقتين. ويمكن تشكيل الأنابيب بأشكال مختلفة (على شكل حروف مثلا كما فى الصورة 7-4).

صورة 7-4 : لمبات النيون

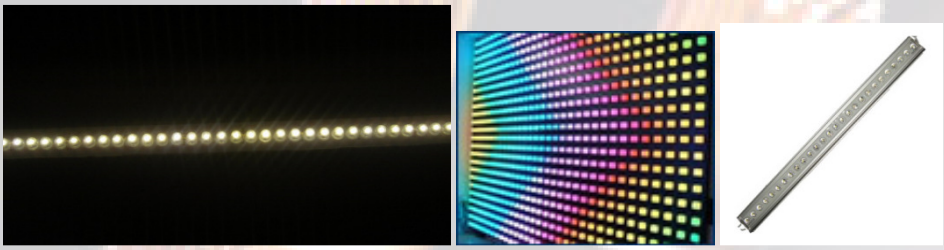
7-11-11 مصابيح الـ LED

وهى تطوير حديث لما كان يعرف باسم Light Emitted Diode والتى كانت مستخدمة منذ السبعينات كلمبات إشارة صغيرة Indication Lamps وذلك فى التطبيقات ذات الجهد المنخفض ، لكن حديثا بدأ التوسع فى استخدام هذه النوعية من اللمبات ، رغم أن عمر هذه اللمبات طويل إلا أن سعرها يعتبر عالى جدا إذا نظرنا إلى قيمة $/Watt ، ولذا يكثر استخدمها فى التطبيقات ذات القدرة المنخفضة وخاصة فى السيارات. وتتميز بأنها تستهلك قدرا ضئيلا جدا من الطاقة ، لكنها تعانى من مشكلة أن ضوءها محدد الاتجاه ولذا تستخدم أساسا كنوع من أنواع الـ spot light ، وغالبا يستخدم عدد من هذه الـ LEDs داخل المصباح فتعطى كفاءة ضوئية أعلى بكثير من اللمبات العادية ذات القدرة المماثلة (صورة 7-5).

صورة 7-5 : مصابيح الـــ LED

فى بعض الأحيان يكون شكل لمبات الـ LED على صورة خيط كما فى الصورة 7-6 ، علما بأن لمبات الـ LED هنا عبارة عن مربعات صغيرة مساحتها حوالى 5 x 5 ملم تقريبا ومتباعدة عن بعضها بمسافات صغيرة كما فى الصورة المضيئة ، وهذا النوع تكون كل لمبة فيه قدرتها حوالى 1 W ويمكن أن تكون ذات ألوان منوعة كما فى الصورة . ويصل سعر المتر منه إلى حوالى 50 دولار.

لاحظ أن من أبرز ميزات هذا النوع من اللمبات هو أن كمية الحرارة المتولدة صغيرة جدا مقارنة مثلا بلمبات الزينون السابقة.



صورة 7-6 : أشكال منوعة للـمبات الـــ LED

7-11-12 المصابيح الموفرة

وأشهر أنواعها هو CFL Compact Florescent Lamp وتتميز بأنها تستهلك كمية صغيرة من الطاقة الكهربية لتعطى نفس كمية الضوء الصادرة من المصابيح العادية ، على سبيل المثال فاللمبة CFL بقدرة 18 وات تعطى نفس كمية الضوء الصادرة من مصباح 75 وات (صورة 7-6) . ويضاف إلى ذلك أن عمرها الافتراضى يصل إلى خمسة أضعاف عمر اللمبة العادية ، لكن بالطبع سعرها أغلى. وقد أصبحت هذه النوعية من اللمبات (CFL) تحل تدريجيا محل لمبات الفلورسنت العادية بسبب هذه الميزات السابق ذكرها.

صورة 7- 6 : اللمبات الموفرة.

7-11-13 مقارنة بين أنواع اللمبات المختلفة

ربما يشعر البعض بعد هذا العرض التفصيلى بالحيرة من كثرة الأنواع ، وربما يحتاج البعض فقط إلى مقارنة سريعة بدون تفاصيل.

عموما ، أصبح الكثيرون يفضلون فى المنازل استخدام لمبات الـ Compact لكونها ذات لون أبيض واستهلاكها من الطاقة بسيط حيث أنها تندرج تحت فئة اللمبات الموفرة . ولايزال استخدام لمبات الهالوجين (12 فولت) مفضلا فى الإضاءة الموجهة القوية ، وإن كانت لمبات الـ LED بدأت تنافس فى هذا المجال خاصة فى المنازل المكيفة لأنه لا يصدر عنها حرارة عالية كما هو الحال فى لمبات الهالوجين ومتوافرة بأشكال وألوان متعددة. و فى غرف المكاتب لا يزال يفضل استخدام لمبات الفلورسنت لضوئها الهادئ الأبيض . أما فى الحدائق والمحلات الكبرى والملاعب فيفضل استخدام لمبات الميتالهايد لكون إضاءتها بيضاء وقوية.

أما فى الشوارع فلمبات الصوديوم هى دائما الاختيار الأول يليه الميتالهاليد . أما لمبات الزئبق فلا نلجأ إليها سوى فى حالة الرغبة فى تكلفة اقتصادية غير مكلفة حيث أنها الأرخص لكن بالطبع إذا اخترتها فعليك أن تتحمل مشكلة أنها تحتاج لعدة دقائق لإعادة التشغيل.

7 -12 الإضاءة المنزلية

أول نقطة يجب أن تراعى فى التصميم الجيد للإضاءة المنزلية هو التعرف على طبيعة استخدام الغرفة ، و الأنشطة المتوقع ممارستها داخلها ، كذلك يتعين علينا النظر في أمور أخرى كشكل وحجم الغرفة المراد تصميم مخطط الإضاءة لها وطريقة توزيع قطع الأثاث داخلها. ولذلك ، ففي البداية يستخدم المخطط الهندسي في تحديد مواضع قطع الأثاث الهامة و التعرف على عدد المقابس (البرايز) والمفاتيح الكهربائية اللازمة ومكان كل منها لتأمين أفضل نظام تحكم فى منظومة الإضاءة ، ثم يستخدم المصمم الأنواع المتعددة من طرق الإضاءة وكذلك الأنواع المختلفة من وحدات الإضاءة لتحقيق أهدافه . وأهم الأساليب المستخدمة فى الإضاءة المنزلية:

1. إضاءة عامة : هي التي تضيء المكان و تحقق الضوء العام للغرفة .
2 . إضاءة مركزة : هي التي تعطي مزيداً من الضوء المباشر لمراكز العمل و النشاط في الغرفة .
3 . إضاءة موجهة : هي التي تستخدم لتبرز النقاط الجمالية في المنزل و تلفت النظر إليها كالتحف أو اللوحات أو الديكورات الإنشائية .

وقد أصبحت الإضاءة المركبة أو المختلطة هي الأكثر قبولاً في الإضاءة الداخلية ، الأمر الذي يتطلب تعاوناً بين مهندس الإضاءة ومهندس الديكور من أجل توفير بيئة داخلية مفيدة ومريحة.

و في إضاءة المنازل عموما ، ما يزال الضوء المركزي المتدلي من السقف ، وسواء كان مصباحاً مفرداً أو ثريا متعددة المصابيح (نجفة) ، هو الأسلوب الأكثر شيوعاً في إضاءة المنازل العادية ، وغالباً ما يكمله ضوء قائم في أحد الزوايا (أباجورة). ويعد هذا الأسلوب من أفضل الطرق المعتمدة لراحة البصر وأكثرها اقتصاداً ، إذ تكون العين أكثر فاعلية وأقل إجهاداً عندما تكون الإضاءة في مكان العمل (عند القراءة مثلاً بجوار الأباجورة) أكثر بقليل منها فيما يحيط بذلك المكان .

وبصفة عامة يعد المصباح الكهربائي المتوهج ذو السلك المعدني أكثر المصابيح ملائمة لجو المسكن الاجتماعي بسبب لون ضيائه المائل للصفرة لأنه يشعر الإنسان بالدفء والراحة. أما مصابيح الفلورسنت فهي المفضلة في بعض الأماكن من المنزل كالمطابخ، وغير مرغوب فيها في غرف الجلوس والنوم بسبب حجم مصباحها من جهة ولمشابهة ضوئها ضوء النهار الغير مناسب لهذه الأماكن .

ويعتبر تصميم الإنارة في غرفة النوم تحدياً لمهندس الديكور والكهرباء نظراً لتنوع الأنشطة داخلها ، و احتياج كل منها لنوع مختلف من الإضاءة , فالقراءة فوق السرير مثلاً تتطلب توفير إضاءة مريحة و مصممة بعناية بحيث تؤدي الوظيفة و تعطي الجمال المطلوب منها وقد يفضل البعض إمكانية التحكم في شدتها (بواسطة Dimmer) بحيث تستخدم لغير القراءة أيضاً و آخرين يفضلون أن تكون قابلة للتحريك بحيث يكون لها ذراع خاص يحقق تلك الرغبة ، كما أن التسريحة و المرآة على وجه الخصوص بحاجة لإضاءة جيدة , و كذلك غرفة الملابس تحتاج لإضاءة تسمح باختيار الألوان بشكل صحيح و مناسب .

7-13 إضاءة الطرق

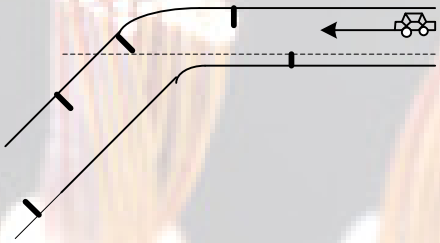
أهم متطلبات إضاءة الطرق ليلا هي الارتقاء بعوامل الأمان و لتوفير الرؤية الكافية ، و قد أوضحت الإحصائيات أن الطرق المضاءة إضاءة مناسبة تقل بها حوادث المرور و الجريمة و تنشط فيها الأعمال التجارية. وتوجد عدة عوامل تشارك في تحديد مستوى الاستضاءة المطلوبة بالطرق ، ومن أهم هذه العوامل اعتبارات الأمان بالطرق ، و حجم حركة مرور السيارات و المارة ، فكلما زاد حجم المرور زادت نسبة التعرض للحوادث و تصبح الرؤية الغير جيدة مصدرا لارتباك حركة المرور والمارة .

وقد عرفت شوارع المدن الكبرى الإضاءة منذ قرون ، وكان الناس في القاهرة القديمة مثلا في العصر المملوكي يلزمون بوضع مصابيح على أبواب دورهم ، وشاع استعمال مصابيح الغاز في عواصم العالم منذ أواخر القرن التاسع عشر ثم حلت محلها مصابيح القوس الكهربائية فالمصابيح المتوهجة. ومع تطور صناعة السيارات وازدياد حركة المرور على الطرق ليلاً اكتسبت إضاءة الشوارع أهمية جديدة وتطلب الأمر استعمال مصابيح شديدة التوهج كمصابيح بخار الزئبق والصوديوم.

7-13-1 أين يوضع عمود الإنارة؟

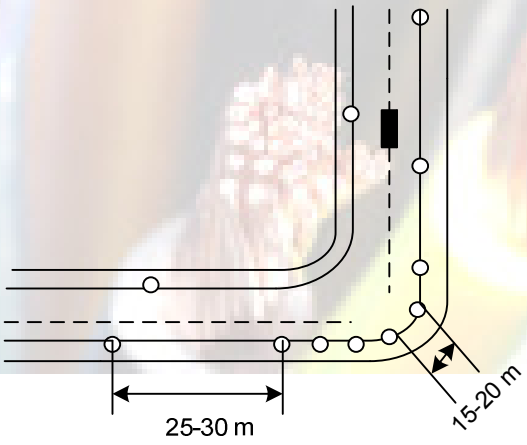
1- يجب أن تكون الإضاءة عند التقاطعات أعلى فى مستوى الاستضاءة منها على طول الطريق ، ويفضل أن يكون لون اللمبات عند التقاطعات بلون مختلف عن لون إضاءة الشوارع الطويلة حتى يستطيع القادم من بعيد أن يتهيأ لاقترابه من التقاطع فيبطئ من سرعته. ويفضل أيضا أن يتم تعليق وحدات الإنارة بطريقة مختلفة عند التقاطعات من أجل مزيد من التمييز كأن تكون الأعمدة عالية بدرجة أكبر مثلا مع استخدام عدد أقل حتى لا يضطرب المشهد عند التقاطع.

2- اذا كان عرض الشارع أقل من مرة ونصف ارتفاع العمود فيجب أن توضع أعمدة الإنارة على المنحنى الخارجى فقط كما فى الشكل 7-22 .



شكل 7-22 : وضع الأعمدة على المنحنى الخارجي للطريق

3- كلما ضاق نصف القطر لمنحنى الطريق عند أى التفاف كلما وجب أن تكون المسافة بين الأعمدة فى المنحنى أصغر من المسافة التى كانت موجودة فى الطريق الطولى قبل المنحنى ، ويفضل أن تكون نصف المسافة أو ثلاثة أرباعها مع ضرورة وضع الأعمدة فقط على المنحنى الخارجى للدوران كما فى الشكل 7-23 .



شكل 7-23 : زيادة الإضاءة عند المنحنيات

4- توضع الأعمدة فى الشوارع الطولية بطرق تختلف حسب عرض الشارع كما فى الحالات التالية :

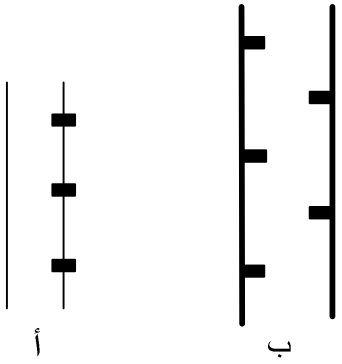
أ. إذا كان عرض الشارع أقل من ارتفاع العمود فيجب أن توضع الأعمدة على جانب واحد (شكل 7 - 24- أ)

ب. إذا كان عرض الشارع مرة إلى مرة ونصف من ارتفاع العمود فتوضع الأعمدة بطريقة خلف خلاف (شكل 7-24- ب).

ج. إذا كان عرض الشارع أكبر من مرة ونصف ارتفاع العمود فتوضع الأعمدة متقابلة.

د. إذا وجدت جزيرة فى وسط الشارع فيجب وضع الأعمدة داخلها .
هـ. ويجب ألا تزيد المسافة الفاصلة بين كل عمود وآخر على 4-5 أضعاف ارتفاع هذا العمود .

5- وفى المواصفات الأمريكية تكون الإضاءة على أحد الجانبين إذا كان عرض القسم المخصص للمرور أقل من 12 متراً ، وتكون الإضاءة على محور الشارع إذا لم يزد عرضه على 18 متراً وتصبح الإضاءة لازمة على كلا الجانبين عندما يصل العرض إلى 48 متراً.



شكل 7-24 : تشكيلات إضاءة الطرق.

7-13-2 مستويات الإضاءة فى الشوارع

مستويات الإضاءة فى الشوارع يحسمها أهمية الشارع ، فالطريق الهام تكون مستوى الاستضاءة فيه تتراوح بين 8-16 Lux ، بينما الطريق الأقل أهمية تكون مستوى شدة الاستضاءة فيه تتراوح بين 4-8 Lux ، وأما الطريق فرعى تكون مستوى الاستضاءة فيه تتراوح بين 2-4 Lux .

7-13-3 ارتفاع العمود وقدرة المصباح

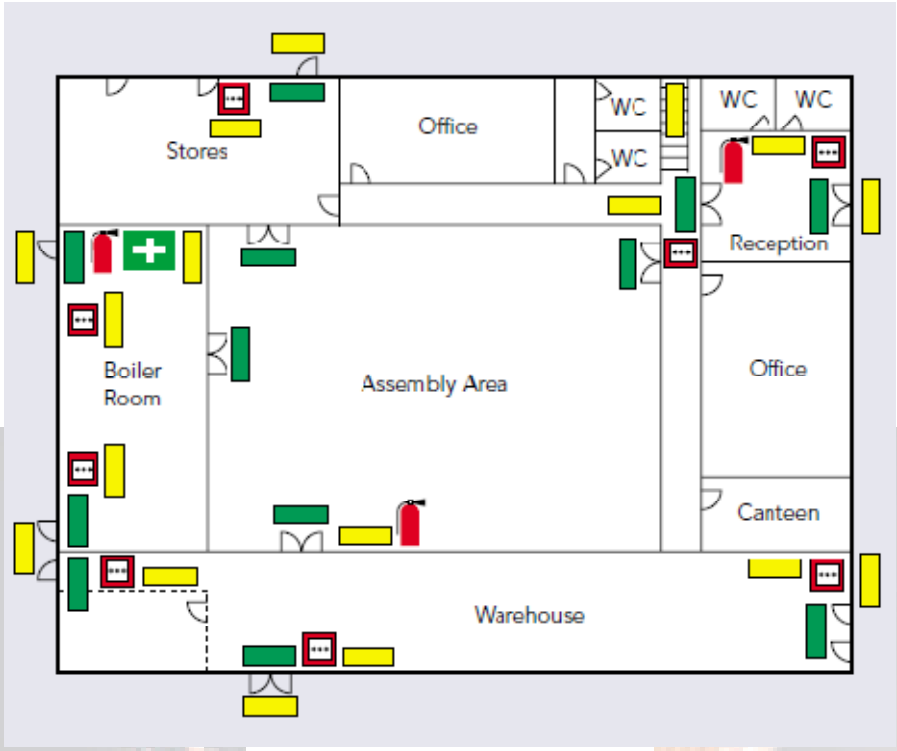
يتوقف ارتفاع العمود وقدرة اللمبة على درجة أهمية الشارع مروريا ، فأعلى المستويات ستكون على الـ High Ways بينما ستكون أقل المستويات فى الشوارع السكنية الضيقة . ويمكن الاسترشاد بالقيم التالية فى الجدول 7-8 ، والمعتمدة فى الكود الكويتى عند اختيار الأعمدة واللمبات ، وبالطبع يجب الرجوع للمواصفات الخاصة ببلدك عند التصميم النهائى.

جدول 7- 8 : ارتفاع العمود وقدرة اللمبة

نوع الشارع	ارتفاع العمود	نوع اللمبة (وقدرتها)
الطرق السريعة	30 متر	الصوديوم (2000W)
الشوارع الرئيسية	20 متر	الزئبق (1000W)
الشوارع العامة	8-12 متر	ميتالد هاليد (250-400 W)
الطرق الداخلية	4 متر	ميتالد هاليد (80W)

7-14 لمبات الطوارئ

نختم هذا الفصل بإشارة سريعة عن الأماكن التى يجب أن تزود بالمبات الطوارئ ، وهى اللمبات التى تحوى بطاريات ضمن تركيبها ، وتضيء أتوماتيكيا عند انقطاع التيار العادى . وأهم هذه المناطق : السلالم ، ودورات المياه ، ومكان لوحة الإنذار ، وأماكن طفايات الحريق ، كما يجب أن تكون كافة اللوحات الإرشادية بالمبنى لاسيما اللوحات التى تشير لمناطق الخروج Exit Signs من هذا النوع من اللمبات . والشكل 7-25 يشير إلى هذه المواضع بالتفصيل.



شكل 7-25 : مواضع لمبات الطوارئ

الفصل الثامن
إستلام الأعمال الكهربية

8

الفصل الثامن

استلام الأعمال الكهربية

بعد الانتهاء من التركيبات الكهربية أو بعد إجراء أى تغيرات رئيسية فى التركيبات القديمة يجب أن يتم التأكد من صلاحية الشبكة للعمل قبل توصيل التيار إليها. ومن الطبيعى فإن التركيبات الكهربية - مهما كانت درجة جودتها – فهناك احتمال ولو بسيط لوجود أخطاء بها ، أكثرها غير مقصود ، وبعضها بسبب الأعمال الإنشائية للبناء ، مثل دخول مسمار داخل الكابل أو تعرض عازل أحد الأسلاك للتلف بسبب طرقه أو ثنيه بشدة ، أو احتمال حصول قطع فى أحد أماكن الربط ، أو إهمال فى تثبيت أو تركيب أحد الكابلات ، فضلا عن احتمال العطل الذى يلحق بالمعدات الكهربية نفسها بسبب خلل إما من منشأ صناعتها أو بسبب الشحن والنقل والتخزين . ولا يخفى على القارئ أهمية أن نقوم بالكشف على التركيبات واختبارها قبل تزويد المستهلك بالكهرباء.
والمجهود الضخم الذى بذله فريق الأعمال الكهربية فى مرحلتى التصميم والتنفيذ قد يصبح هدرا بسبب إهمال المهندس المسئول عن استلام الأعمال ، أو بسبب قلة خبرته ، فهو لا يعلم ماذا يستلم ولا كيف يستلم؟ .

والهدف من هذا الفصل شرح جميع خطوات الاستلام بالتفصيل والتى تتم غالبا على ثلاثة مراحل :

- مرحلة المعاينة
- مرحلة الاختبار
- مرحلة الاستلام النهائى

وتسمى عملية المعاينة فى بعض الدول بـ "التفتيش على المهمات الكهربية " . وعموما فالمقصود بالمعاينة أو التفتيش هو ملاحظة الأجهزة والمعدات باستخدام اللمس أو النظر فقط وكشف العيوب الظاهرة فيها دون استخدام أدوات اختبار ودون توصيل تيار.

أما مرحلة الاختبار فيقصد بها كشف أخطاء توصيل الأجهزة والمعدات باستخدام أجهزة اختبار وفى وجود تيار كهربى.

وأخيرا فنقصد بمرحلة الاستلام النهائى أن نراجع الكميات والمواصفات الواردة بالعطاء مراجعة دقيقة حيث ستتم المحاسبة المالية النهائية بناء على مستخلصات هذه المرحلة. وسنرجع فى عمليات المعاينة والاستلام إلى الكود المصرى تحديدا .

أولا معاينة الأعمال الكهربية

كما ذكرنا فإنه يجب فحص واختبار التركيبات الكهربائية عند الانتهاء منها وقبل توصيل التيار الكهربائى بغرض التشغيل، وذلك للتأكد من تحقيق المتطلبات الواردة فى الكود والعطاء، ويراعى تزويد الأشخاص القائمين بالمعاينة والاختبارات بالرسومات التخطيطية والبيانات اللازمة. ويجب اتخاذ كافة الاحتياطات أثناء المعاينة والاختبارات لتلافى حدوث أية أخطار للأشخاص أو المهمات المركبة، وعلى أن يؤخذ فى الاعتبار احتمال وجود خلل فى بعض الدوائر موضوع المعاينة والاختبار. وتتم المعاينة عادة بدون توصيل التيار وذلك للتحقق من توافر المتطلبات العامة التالية:

1- تحقق اشتراطات الأمان للمعدات المركبة (ويمكن التأكد من ذلك بمعاينة بطاقة بيانات المهمات أو من واقع الشهادات المعتمدة الصادرة من الشركات الصانعة).
2- تحقيق جودة تركيب المهمات.

3- التأكد من عدم وجود أية عيوب أو أضرار مرئية قد تعيب التشغيل المأمون.

ويجب أن تشمل المعاينة التحقق من النقاط التالية كحد أدنى:

- مطابقة الطريقة المستعملة للوقاية ضد التلامس المباشر (مثل إستعمال الحواجز أو الحوائل أو وضع الأجزاء المكهربة خارج نطاق متناول اليد) ، على أن يتم قياس المسافات المنفذة فعلاً لتحقيق الوقاية.
- توافر حوائل الحريق والاحتياطات الأخرى ضد انتشار الحريق والحماية ضد التأثيرات الحرارية.
- ضبط أجهزة الوقاية على القيم المناسبة لضمان الفصل التلقائى لمصدر التغذية عند حدوث أية أحوال غير عادية.
- توافر أجهزة الفصل والتوصيل ، على أن تكون مركبة فى المواضع المناسبة وعدم توصيلها فى موصل التعادل.
- سلامة توصيل مخارج المقابس (البرايز) ودوى المصابيح.
- تمييز وترقيم الدوائر والفيوزات والمفاتيح وأطراف النهايات وخلافه.
- جودة توصيل نهايات الأسلاك.
- إمكانية الوصول إلى كل المعدات بحيث يسهل تشغيلها وصيانتها.
- توافر رسومات التوصيلات الكهربائية وبطاقات بيانات المعدات وعلامات التحذير والتعليمات الأخرى المثيلة.
- التأكد من أن جميع أقسام المعدات قد تم توصيلها بالقطب الأرضى بالتركيبات وأن جميع الأجزاء المعدنية قد تم تأريضها بالطريقة الصحيحة.

ثانيا : الاختبارات الكهربية

يجب إجراء الاختبارات التالية (طبقاً للكود المصرى) وبنفس الترتيب:

(1) اختبار استمرارية موصلات الدوائر الحلقية النهائية.
(2) اختبار استمرارية موصلات الوقاية شاملة موصلات Equ-potential.
(3) اختبار مقاومة قطب التأريض.
(4) اختبار مقاومة العزل.
(5) اختبار عزل المهمات المجمعة فى الموقع.
(6) اختبار الوقاية بالفصل بين الدوائر.
(7) اختبار الوقاية ضد اللمس المباشر بوضع حواجز او حاويات أثناء التركيب.
(8) اختبار عزل الأرضيات والحوائط غير الموصلة.
(9) اختبار تحديد القطبية.
(10) تحديد أو قياس معاوقة حلقة الخطأ الأرضى بأحد الطرق الواردة بالكود.
(11) اختبار أداء أجهزة الوقاية التى تعمل على مبدأ Residual Current أو أجهزة Earth Leakage.
(12) اختبار الأداء الوظيفى.

فى حالة فشل التركيبات الكهربائية فى اجتياز أى من الاختبارات السابقة نتيجة لخطأ معين ، فإنه يجب تصحيح هذا الخطأ ثم إعادة إجراء هذا الاختبار بالإضافة إلى أية اختبارات سابقة محتمل أن تكون نتائجها قد تأثرت بتواجد هذا الخطأ.

وسنعرض فى هذا الفصل لطرق إجراء بعض من هذه الاختبارات ، ويمكن الرجوع لكود لدولتك لمراجعة كل هذه الاختبارات. ولكننا نبدأ أولا بعرض أشهر الأجهزة المستعملة فى الاختبارات.

1-8 أجهزة الإختبارات

هناك العديد من الأجهزة المستخدمة فى اختبارات الدوائر الكهربية منها على سبيل المثال:

1- الأفوميتر (AVO)
وهو جهاز شامل يمكنه قياس الجهد والتيار والمقاومة ، حيث يستخدم كأوميتر بكثرة لاختبار سلامة الموصلات وعدم إصابتها بقطع Open Circuit ، أو تماس Short Circuit مع الأرضى . كما يستخدم كأفوميتر لقياس جهد BB معين فى لوحة التوزيع أو جهد نقطة ما.

2- **منظومة الجرس أو المصابيح بالبطارية**
وهو جهاز بدائى سهل العمل والاستخدام ، ويتكون من بطارية جافة وجرس أو مصباح متصلين جميعا على التوالى. والغرض من هذا الجهاز البسيط هو التنبيه عن طريق السمع أو النظر الى اكتمال الدائرة الكهربية أو عدمه. ويستخدم مع الجهاز أسلاك فحص طويلة حيث يربط الجهاز بين طرفى الموصل المراد اختباره فيرن الجرس أو يضئ المصباح إذا كان الموصل المفحوص بالفعل سليما. ويمكن كذلك بهذا الجهاز فرز الأسلاك وتمييزها وترقيمها لتسهل عملية ربطها خاصة إذا كانت ذات ألوان متشابهة . ويستخدم هذا الجهاز كذلك فى اكتشاف ما إذا كان هناك أى اتصال غير مرغوب فيه مع الأرض أو مع بقية الأسلاك بسبب انهيار العازل.

3- مبين الجهد
وهو البديل الأرقى والأدق لمنظومة الجرس أو المصابيح الكهربية (صورة 8-1) ، خاصة أنه يصلح للجهود العالية التى لا يصلح معها هذه الوسائل البسيطة. ويستخدم للتأكد من وجود / عدم وجود جهد على الكابل أو الـ BB .

صورة 8-1 : مبين الجهد

4-جهاز ميجر Megger
وهو عبارة عن مولد يدوي فى صورته القديمة (يمين الصورة 8-2) يولد AC Volt تصل قيمته إلى حوالى (1000) فولت ، ويستخدم الميجر أساسا لقياس المقاومة العالية وفحص مقاومة عوازل الأسلاك. والنوع الأحدث منه يظهر فى يسار الصورة السابقة.

صورة 8-2 : أشكال الـ Megger

5- جهاز اختبار استمرارية الارضى

هناك أجهزة حديثة تجعل من الممكن التحقق من استمرارية موصل الأرضى Earth Continuity دون الحاجة لقياس قيمة الأرضى وذلك بجهاز بسيط كما فى الصورة 8-3 ، حيث يوصل بالجهاز الاطراف الثلاثة للـ Socket ، ويعطى الجهاز اشارات ملونة و قراءات متعددة للدلالة على استمرارية خط التعادل ، وأخرى وخط للدلالة على الاتصال بالـ Phase ، بالإضافة إلى إشارة للدلالة على استمرارية الأرضى وقيمة تقريبية لقيمة مقاومة الأرضى مقاسة من أى نقطة بالمبنى (القراءة تشمل مقاومة المنظومة + الأسلاك حتى نقطة القياس) .

صورة 8-3 : بعض أشكال Earth Continuity

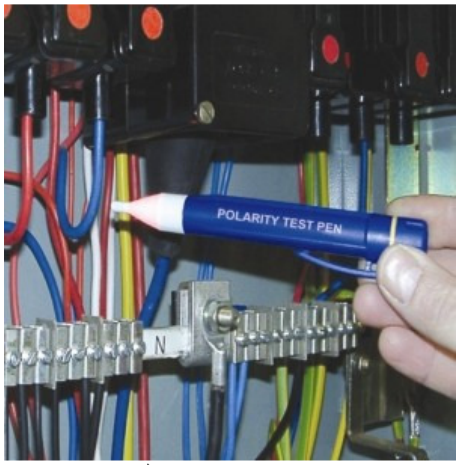
6- مقياس شدة الاستضاءة

من ضمن الأجهزة الواجب وجودها مع المهندس عند استلام الأعمال الكهربية جهاز الـ Lux meter ويستخدم فى التأكد من أن مستويات الإضاءة فى الغرف المختلفة مطابقة للمواصفات. والصورة 8-4 تمثل أحد أشكال هذا الجهاز .

صورة 8-4 : أحد أشكال الـــ Lux Meter

7- متتبع الدوائر Circuit Tracer

وهو جهاز مفيد فى استلام الأعمال ويمكن بواسطته تحديد مثلا الـــ CBs الذى يغذى Socket معينة أو لمبة معينة . وهو مكون من جزأين كما فى الصورة 8-5 : الأول يوضع فى الـــ Socket فيسحب تيارا له تردد مرتفع ، ومن ثم حين تمر بالجزء الثانى على الـــ CBs الموجودة بلوحة التوزيع فلابد أن واحدا فقط من هذه الـــ CBs سيتسبب فى صدور صفير معين ، مما يدل على أنه الـــ CB المغذى لهذه الـــ Socket . ويستخدم هذا الجهاز أيضا فى تتبع مسارات الكابلات والأسلاك بنفس الطريقة السابقة.



صورة : 8-5 : متتبع الدوائر.

صورة 8-6 : Polarity Indicator

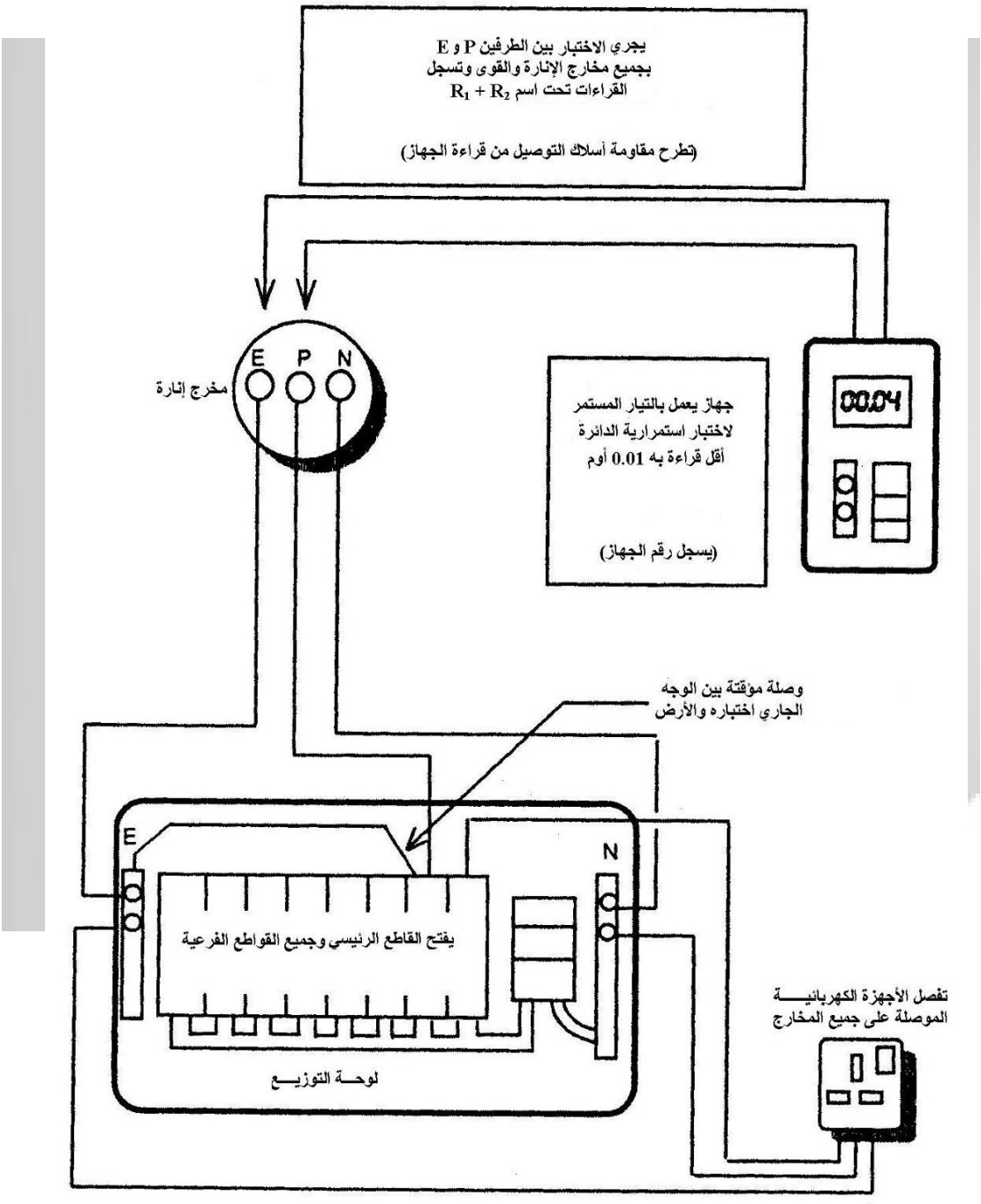
8-2 اختبارات جودة منظومة الأرضى

الغرض من هذه الاختبارات هو التأكد من استمرارية توصيلات الأرضى وفحص جودة مقاومة الأرضى وأن تكون هذه المقاومة ذات قيمة مقبولة . وهناك عدة اختبارات يجب إجراؤها :

8-2-1 اختبار استمرارية أسلاك الأرضى

بعد الانتهاء من التركيبات الكهربائية داخل المباني لابد من التأكد من استمرارية أسلاك التأريض الوقائي المستخدمة في تلك التركيبات وذلك لما تمثله عدم استمرارية تلك الأسلاك من خطورة على حياة مستخدمي المبنى. ويتم ذلك بقياس المقاومة بين كل نقطة توصيل الـــ Phase وبين نقطة توصيل الأرضى فى كل مخرج على حدة على أن يتم ذلك بعد إجراء ما يلى :

1- فصل جميع الأجهزة الموصلة بالبرايز.
2- فصل المفتاح العمومى للكهرباء وكذلك المفاتيح الفرعية باللوحة.
3- عمل وصلة **مؤقتة** بين الـ Phase المراد اختباره وبين Bus Bar الأرضى باللوحة كما هو موضح في الشكل (8-1).
4- يجب أن تكون المقاومة المقاسة بعد ذلك فى حدود 0.01 أوم لضمان استمرارية الأرضى.
5- يحسن استخدام الجهاز اختبار استمرارية الأرضى الذى أشرنا إليه سابقا فى الجزء الأول من هذا الفصل لسهولة استعماله خاصة عند قياس استمرارية الأرضى بالبرايز.



شكل 8-1 : اختبار استمرارية الأرضى

8-2-2 اختبار قيمة مقاومة إلكترود الأرضى

وهذا بالطبع يختلف عن الاختبار السابق الذى يعطى مؤشر فقط على وجود موصل الأرضى سليما ، أما هذا الاختبار فيعطى قيمة مقاومة الأرضى الفعلية (راجع الفصل السادس).

وهناك أيضا اختبار القاطع الخاص بتسريب الارضى Ground Fault Circuit Breaker ، حيث تزود هذه القواطع دائما بمفتاح اختبار Test ، و عند الضغط عليه فإننا نسرب عمداً جزءا يسيرا جدا من التيار ، فإذا فصل الجهاز فهذا يعنى أنه سليم وإلا تراجع الدائرة أو يستبدل الجهاز.

8-3 اختبارات العازلية

بعد الانتهاء من التركيبات الكهربائية في المباني وقبل إطلاق التيار بها يجب قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات للتأكد من عدم إصابة هذا العزل بأية أضرار أثناء تمديد الأسلاك في المجاري الخاصة بها وللتأكد أيضا من صحة الوصلات التي استخدمت في ربط الدوائر الفرعية بالدوائر العمومية ومن صحة تنفيذ نهايات الأسلاك وربطها بالمخارج بمختلف أنواعها. ولهذا الغرض يستخدم جهاز قياس مقاومة العزل (الميجر) والذى يعمل بجهد مستمر قدره 500 فولت.

ويلاحظ أنه من الضروري قبل إجراء هذه القياسات فك جميع اللمبات ، وفصل جميع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية من المخارج المخصصة لتغذيتها حتى لا نعرضها لجهد الاختبار ، وحتى تكون المقاومة الوحيدة الموجودة بين خط الـ Phase وخط التعادل أو بين خط الـ Phase و خط الأرضي الوقائي هي مقاومة عزل الأسلاك.

8-3-1 قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات الكهربائية

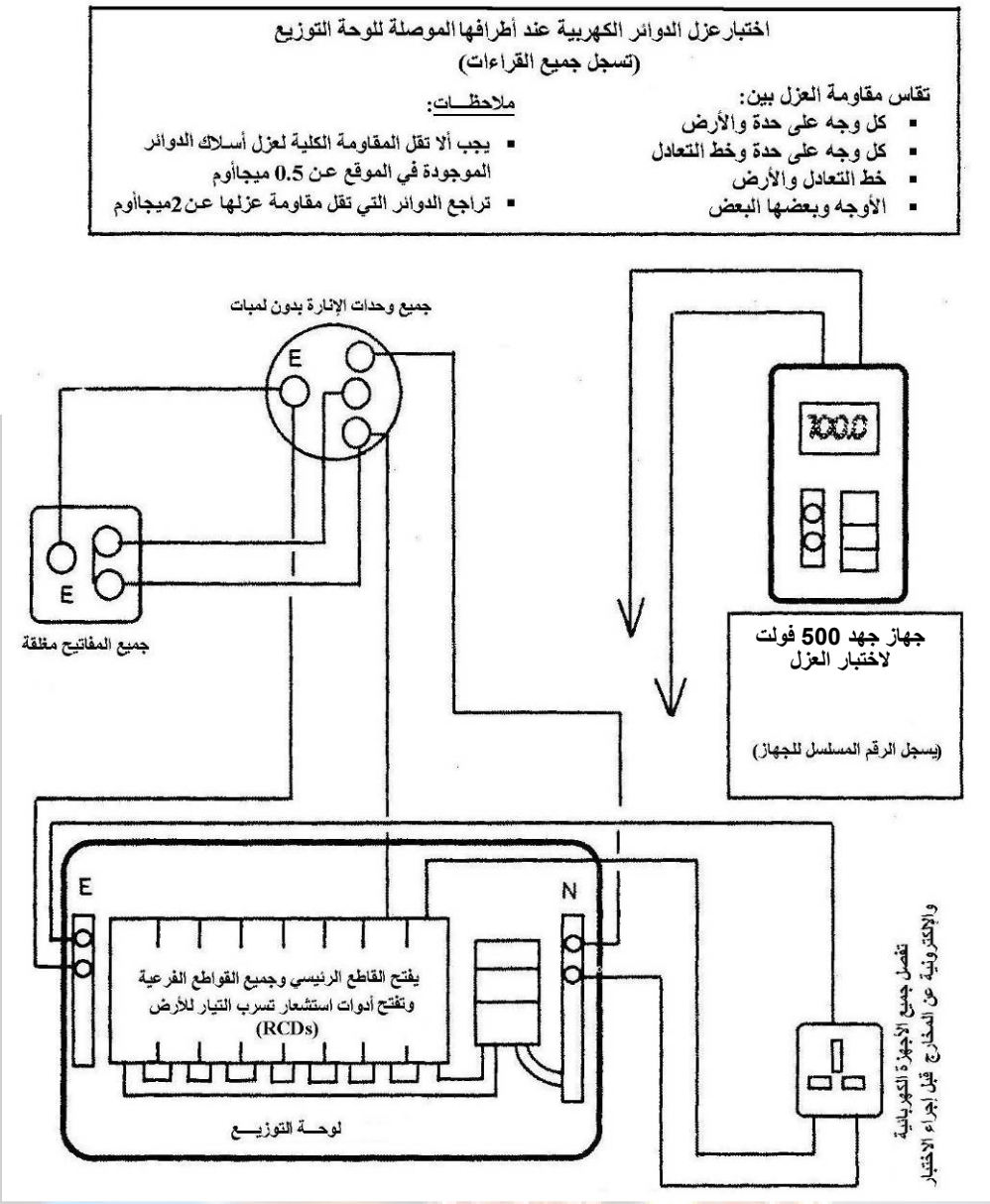
ويتم عادة إجراء ثلاثة قياسات هى :

- قياس مقاومة العزل بين أى سلك من الموصلات (Phases) وبين الأرضى .
- قياس مقاومة العزل بين الـ Phases وبعضها البعض.
- قياس مقاومة العزل بين الـ Phases و الـ Neutral .

ويوضح الشكل (2-2) كيفية إجراء هذا الاختبارات.

وعموما يجب أن تكون قراءة المقاومة التى يقيسها جهاز الميجر أكبر من 2 مليون أوم فى الدوائر المنفصلة ، وأكبر من نصف مليون فى الدوائر المجمعة لضمان العزل التام عن الأرضي (هذه القيم خاصة بالكود المصرى ويجب أن تراجع القيم الخاصة بكود بلدك).

فى بعض الأحيان يصعب فصل جميع الأحمال لتنفيذ هذا الاختبار خاصة إذا كان المبنى كبيرا والأحمال مركبة بالفعل ، ولذا يمكن تنفيذ هذا الاختبار فى وجود الأحمال مع القبول بقيمة أقل لقيمة العزل المقاسة.

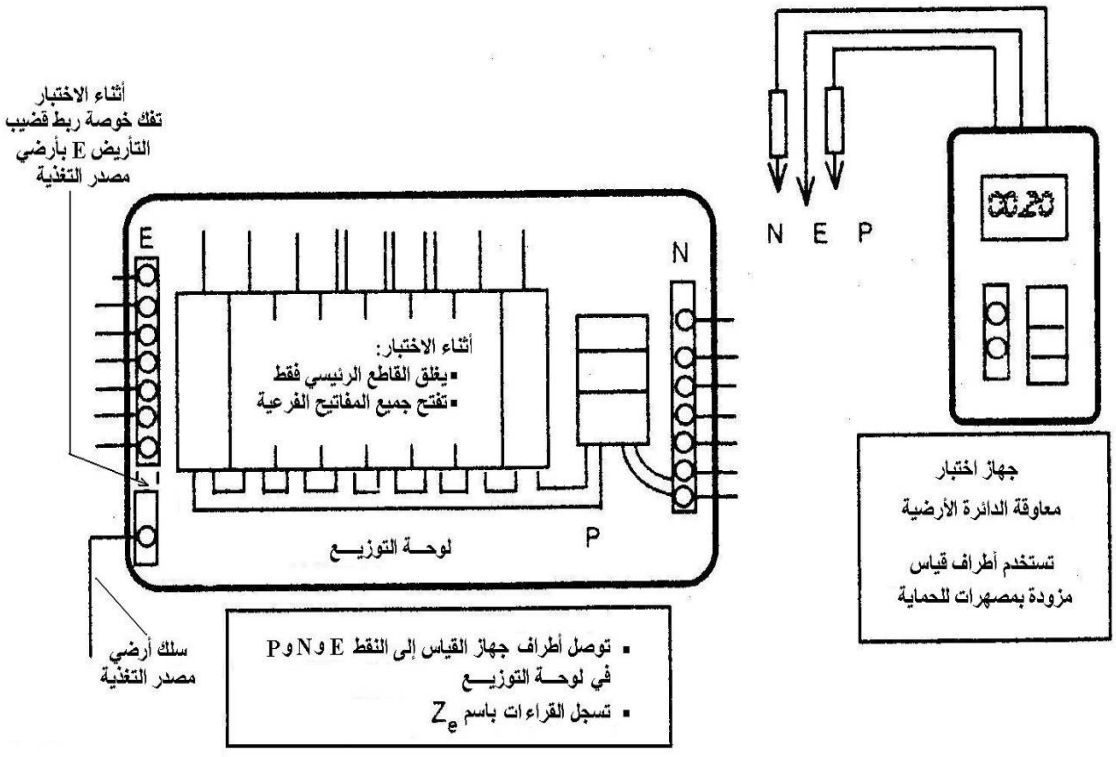


شكل (8-2): قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات الكهربائية

8-3-2 قياس المعاوقة الكلية للدوائر الكهربية المغلقة

وللتأكد من صلاحية أجهزة الوقاية المركبة فى بداية كل دائرة كهربائية بغرض حمايتها من تيارات القصر التي يمكن أن تتعرض لها ، فإنه يلزم معرفة قيمة المعاوقة الكلية للدائرة التي تمر بها التيارات الأرضية إذ أن هذه المعاوقة هي التي تحدد قيمة تيار القصر ($I_{SC} = V \div Z_{eq}$). وفى نفس الوقت لابد من التأكد من أن القيمة الكلية لمعاوقة الدائرة قليلة إلى الحد الذي يمكن الاطمئنان معه إلى أنه في حالة حدوث أخطاء أرضية (Earth Faults) فإن تيار القصر الناتج عن الخطأ سيكون كافياً لتشغيل أجهزة الوقاية وعزل الجزء الذي حدث به الخطأ.

ويمكن قياس المعاوقة الكلية للدائرة بعد توصيلها إلى مصدر التغذية باستخدام جهاز قياس خاص بذلك يسمى "جهاز قياس معاوقة الدائرة الأرضية Earth Loop Impedance Tester " وذلك كما هو موضح في الشكل (2-3). ويمكن الاستعاضة عن قياس المعاوقة بحسابها بنفس الأسلوب الذى تم شرحه فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.



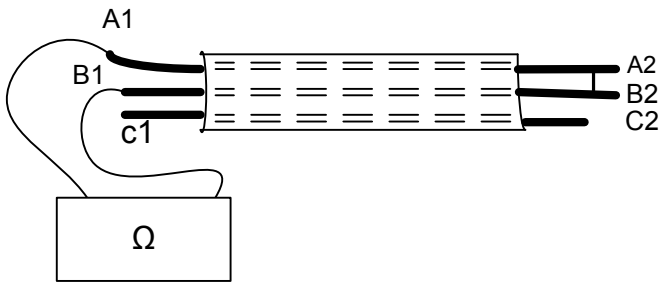
شكل (8-3): قياس المعاوقة الكلية لدائرة كهربية أرضية مغلقة

لاحظ أننا لو لم نستخدم الميجر واستخدمنا بدلا منه الأوميتر بمفرده فإنه سيكون غير كاف لإثبات أن العزل سليم ، لأن السلك إذا كان منثنيا عند نقطة ما ، وكان العزل مكشوفا عند هذه النقطة (دون أن يلمس الأرض) ، لكنه في نفس الوقت قريب جدا من الأرض ، فعندئذ يصبح الجهد الذي ينتجه الأوميتر لقياس المقاومة (و هو جهد صغير جدا لا يتعدى 2V) غير كاف لكسر العزل بين الجزء المكشوف وبين الأرض ، و بالتالي لا يكتشف هذا العطل. و الحل الوحيد هنا هو استخدام جهاز الميجر لأنه الوحيد القادر على اكتشاف هذه العيوب بسبب الجهد العالي الذي ينتجه والذى يتسبب في انهيار العزل في المسافات الصغيرة بين الجزء المكشوف والأرض إن وجدت.

8-4 اختبار استمرارية اسلاك الموصلات

بعد إجراء الاختبارات السابقة فإننا نقوم بإطلاق الكهرباء فى التركيبات ، فإذا وجد أن هناك دائرة ما لم يصل إليها التيار فإننا نقوم بهذا الاختبار للتأكد من استمرارية التوصيلات ، ولضمان سلامة وصحة الربط ، وذلك بواسطة أوميتر أو جرس يعمل ببطارية مع استخدام اسلاك طويلة .

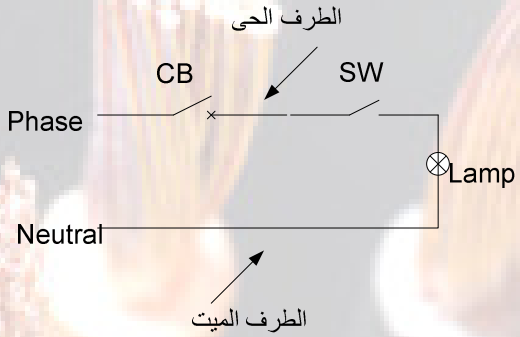
فمثلا عند اختبار استمرارية الـ Phases الثلاثة للكابل فى الشكل 8-8 فيمكن أن يربط الجهاز بين النقطتين A1,B1 مع عمل Short بين النقطتين A2 B2 ، فإذا كان هذين الموصلين سليمين فعندما يؤشر الجهاز مقاومة قليلة جدا ، ويعاد الاختبار على الموصلات الأخرى.



شكل 8-8 : اختبار استمرارية التوصيل

8-5 اختبارات القطبية

من المعلوم ان التوصيل الصحيح لأى جهاز كهربي موصل على التوالى مع مفتاحه يكون بأن يوضع المفتاح بين الـ phase (الطرف الحى) وبين الجهاز كما فى الشكل 8-1 الذى يظهر طريقة توصيل لمبة.

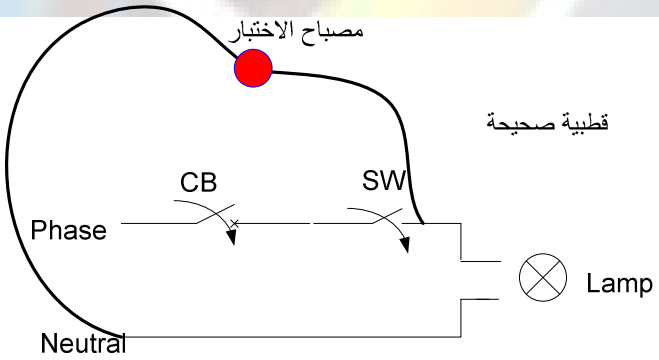


شكل 8-1 : التوصيل الصحيح للمبة

والغاية من اختبار القطبية هو التأكد من الربط الصحيح للأجهزة والمعدات الكهربية أثناء التركيب بأن يتم التأكد من أنها جميعا قد ربطت بالمفتاح قبل اتصالها بالـ (Phase) والذى يسمى محليا بالسلك الحى ، والتأكد من أن جميع المفاتيح لها اتجاه واحد للفتح ، وكذلك جميع الـ CBs . كما أن هذا الاختبار مفيد للتأكد من أن جميع البرايز موصلة بطريقة موحدة. وهناك عدة أنواع من هذا الاختبار .

8-5-1 اختبار القطبية مع وجود الكهرباء :

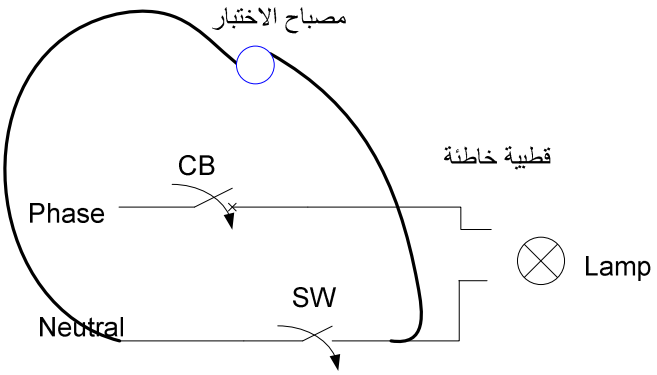
تفصل أولا اللمبات من مواضعها ثم يؤخذ جهاز الاختبار والذى هو عبارة عن مصباح موصل مع سلكين طويلين ، ثم يوضع أحد طرفي سلكى الاختبار على طرف خط الـ Neutral (الخط الميت أو البارد) فى لوحة التوزيع ، ويوصل الطرف الاخر على طرف المفتاح (الـ Switch) ، وسيضئ مصباح الاختبار فقط فى حالة كون القطبية صحيحة كما فى الشكل 8-2 .



مصباح الاختبار

شكل 8-2 : القطبية صحيحة

أما إذا كانت القطبية خاطئة فلن يضئ مصباح الاختبار كما فى الشكل 8-3.



شكل 8-3 : قطبية خاطئة

يستخدم هذا الاختبار أيضا لفحص قطبية البرايز والتأكد من أن الطرف الحى (الـ Phase) متصل دائما بالطرف الأيمن للبريزة

شروط هذا النوع من الاختبار:

1- أن يكون المفتاح والـ CB كلاهما مغلقا.
2- إزالة المصابيح من أماكنها .
3- إزالة جميع الأجهزة من الـ Sockets (لا يوصل أى جهاز على البرايز).
4- يجب تكرار عملية الاختبار بالنسبة إلى كافة المفاتيح.

لاحظ أن الالتزام الدقيق بكود الألوان عند التنفيذ يجعل اختبارات القطبية غير ضرورية.

8-5-2 أسلوب أيسر فى تحديد القطبية

مع التطور الهائل فى أجهزة القياس أصبح من الممكن تمييز الخط الـ Live من الخط الذى لايحمل جهد بواسطة جهاز يشبه القلم كما فى الصورة 8-6 . وفكرة عمله تعتمد على تأثره بالمجال الكهربى الذى ينشأه التيار المار بالسلك . وتتم معايرته بحيث يصدر ضوء عند رأس القلم وصوتا إذا كان على بعد يقل عن 3mm من السلك المكهرب ، ولا نحتاج لوضع هذا الجهاز داخل الدائرة . وهو يحتاج فقط يحتاج لبطارية عادية ، ويمكنه تمييز الجهود حتى 240 فولت .

8-6 شهادة إتمام العمل فى التركيبات الكهربائية

بعد إتمام المعاينات والاختبارات المطلوبة واعتمادها من مهندس إستشارى كهربائى متخصص يقوم المقاول أو من ينوب عنه بتقديم شهادة إتمام العمل إلى المالك أو من ينوب عنه، وذلك بعد استكمال أى أعمال ناقصة وإصلاح أى عيوب تظهر أثناء المعاينة أو الاختبارات. ويجب أن ترفق شهادات المعاينات والاختبارات المعتمدة مع شهادة إتمام العمل فى التركيبات.

ثالثا استلام الأعمال الكهربية

7-8 متطلبات عملية الاستلام الابتدائي

يتم تسليم المشروع ابتدائيا بعد استيفاء المستندات والإجراءات التالية:

8-7- 1 الرسومات النهائية (uilt DrawingsB s-A)

الرسومات النهائية هى ما تعرف برسومات الحفظ وهى تنتج عن الرسومات التنفيذية المعتمدة والمفروض تواجدها فى الموقع للتنفيذ بموجبها ويوقع عليها أولاً بأول أية تعديلات أو تغييرات معتمدة تكون قد أجريت واتفق عليها واعتمدت، ويقوم المقاول بعد الانتهاء من تنفيذ جميع الأعمال وأثناء اختبار تشغيلها وحصرها وقبل تسليمها ابتدائياً بتجهيز هذه الرسومات بمقياس رسم مناسب (1 : 100 ، 1 : 50) على ورق كلك لإمكانية الطبع منها وكذلك على قرص مدمج (CD) ويكتب عليها (AS built drawings) أو (AS constructed) وكذلك (الرسومات النهائية) ويجب أن يكون واضحاً بدقة فى هذه الرسومات جميع ما تم تنفيذه من أعمال على الطبيعة متضمناً كافة البيانات والأبعاد وكافة ما توضح على الرسومات التنفيذية بعد إجراء التعديلات عليها.

8-7-2 دليل التشغيل والصيانة (maintenance manuals &Operation)

(أ) على المقاول تقديم كافة النشرات الخاصة بالتشغيل والصيانة لجميع أجزاء ومفردات المشروع تحت الاستلام وهى التى يلزم الرجوع إليها عند عمل الصيانة أو عند عمل أى تعديلات أو توسعات فى المستقبل . وإذا دعت الضرورة، فيجب على المقاول تقديم اللوحات الإرشادية والتحذيرية للتشغيل والصيانة الوقائية والتى تعلق داخل لوحات خاصة فى نفس أماكن المعدات والمهمات المقصودة بهذا البند.

(ب) يجب أن يقدم المقاول كشف بعناوين جميع الموردين لمهمات ومعدات المشروع وتليفوناتهم وفاكساتهم وأقرب مركز للصيانة وقطع الغيار لمهمات المشروع للرجوع إليهم عند الحاجة.

8-7-3 قوائم قطع الغيار

(أ) يقوم المقاول بتسليم بيان بقطع الغيار التى يمكن أن يكون المشروع فى حاجة إليها خلال فترة تشغيل عادية لمدة 5 سنوات معتمدة من الوكلاء التجاريين للمعدات والأجهزة والمهمات الموردة بالمشروع وكذلك يذكر الأرقام الخاصة بهذه القطع (.Spare Part No) والمصادر التى يمكن الحصول عليها منها.

(ب) قد يرى مالك واستشارى المشروع وأثناء إعداد مستندات النشر أن ينص فى دفتر الشروط والمواصفات والكميات على قيام المقاول بأعمال الصيانة الوقائية خلال سنة الضمان وقد يكون هذا النص شاملاً قيام المقاول بتدبير قطع الغيار اللازمة أو بدونه.

8-7-4 دفاتر حصر الأعمال

حيث أن الكميات الواردة بمقايسة الأعمال هى كميات استرشادية ، كما أن ما يجرى أثناء التنفيذ من تعديلات قد تكون صغيرة أو كبيرة ، وبالإضافة إلى ما تم أثناء التنفيذ من حصر الأعمال دورياً لعمل المستخلصات أول بأول مع تقدم سير العمل بالمشروع فإنه يتم الحصر والقياس تبعاً لنوع الوحدة المنصوص عليها فى دفتر البنود والكميات سواء بالعدد أو بالمتر الطولى أو بالمقطوعية هذا ويتم إعداد دفاتر الحصر بحيث يدون كل بند فى صفحة ويدون بالصفحة المقابلة تفاصيل الحصر بالأدوار أو المبانى المختلفة أو للأطوال من/إلى وهكذا بحيث يكون أمام كل بند تفاصيل تنفيذه عداً أو قياساً من الطبيعة مع الرسومات النهائية.

8-7-5 شهادات الاختبارات

(أ) يجب أن ترفق كافة شهادات الاختبارات لجميع المهمات والأجهزة والمعدات بالمشروع فى دوسيه خاص يسلم قبل إجراء الاستلام الإبتدائى للمشروع. مع ملاحظة أنه يجب أن يكون معلوماً أن جميع تجارب الاختبارات التى ينص عليها فى مستندات النشر يتم إجراؤها على نفقة المقاول وبواسطة عماله المتدربين ومعداته وأجهزته المعايرة حديثاً والتى يقدمها المقاول طبقاً لمطلب المهندس كذلك فإن للمهندس الحق فى

إرسال أى عينات أو مواد أو مهمات يرى المهندس أن يتأكد من مواصفاتها – إلى معامل اختبار معتمده لاختبارها والتأكد من صلاحيتها ومطابقتها للمواصفات ويكون ذلك على نفقة المقاول.

تشمل الاختبارات الآتى:

(1) تقارير الاختبارات النوعية (Type test reports)

هى التقارير النهائية عن اختبارات المنتج من نفس النوع والسعة والمواصفة الفنية المماثل لنفس النوع المستخدم بالمشروع. ومن أمثلة الاختبارات النوعية الخاصة بمحولات القوى الكهربائية ما يلى:

1- اختبار ارتفاع درجة الحرارة عند التيار المقنن باستخدام طريقة قصر الدائرة.
2- اختبار العزل بالـ Impulse Voltage.
3- اختبار قصر الدائرة باستعمال تيار يساوى 25 ضعفاً من التيار المقنن.
4-

(2) اختبارات المصنع المنتج (Routine tests)

وهى الاختبارات الروتينية التى تجرى بالمصنع على كل معدة أومنتج بعد التصنيع قبل النقل للموقع للتأكد من سلامة ووفاء المعدة أو المنتج ومطابقته للمواصفات المطروحة وسلامة أداءه. ومن أمثلة الاختبارات الروتينية (اختبارات المصنع) والتى تجرى على محولات القوى الكهربائية ما يلى:

- اختبار الصمود على ارتفاع الجهد واختبار التفريغ الكهربائى الجزئي.
- قياس الـ Loss عند الحمل و اللاحمل .
- قياس جهد المعاوقة.
- قياسات الجهد ، ورمز مجموعة المتجهات.
- قياس مقاومة الملفات.
- اختبارات العزل بين الملفات وبين الملفات الأرضية.
-

(3) اختبارات الموقع (Site test)

وهى الاختبارات التى تجرى بالموقع بعد النقل والتركيب لتأكيد سلامة النقل وعدم تعرض المنتج لأى تغييرات أثناء النقل وكذلك للتأكد من سلامة أوضاع التركيب وسلامة الأداء فى هذه الأوضاع. ومن أمثلة الاختبارات التى تجرى بالموقع على محولات القوى الكهربائية ما يلى:

- اختبار التسخين مع قياس ارتفاع درجة الحرارة للأجزاء المختلفة كل 15 دقيقة.
- اختبار عزل الملفات باستعمال الميجر.

8-7 -6 قوائم استلام الأعمال

يتم استيفاء النماذج كما فى الأمثلة الموجودة بالجزء الثانى من هذا الفصل . واخيرا ، فإنه على المقاول تدريب جهاز التشغيل من قِبَل المالك (مهندسين وفنيين ومتخصصين) وتزويدهم بكافة المعلومات والبيانات الضرورية اللازمة سواء لأعمال التشغيل أو الصيانة. ويتم التدريب من قِبَل مهندسي المقاول أو الشركة المنتجة على أعمال تشغيل المهمات ومراقبتها وصيانتها طبقاً لنصوص العقد الذى يحدد مدة التدريب ومكان التدريب سواء بالموقع أو بمصانع الشركة المنتجة. ونظراً لأهمية تدريب الكوادر اللازمة فإن على المالك أن يكون لديه العمالة المؤهلة للقيام بذلك.

8-7-7 آلية الإستلام الإبتدائى

إذا تم استيفاء جميع المستندات المطلوبة للاستلام الابتدائى وإتمام تدريب المختصين ، واتضح من المعاينة أن جميع الأعمال قد تمت طبقاً لشروط ومواصفات العقد فيتم عمل إجراءات الاستلام الابتدائى حيث يحرر محضر رسمى للاستلام الابتدائى من ثلاث صور.

و بعد إجراء الاستلام الابتدائى تحرر كشوف الختامى مرفقاً بها دفاتر الحصر وتعتمد من كل من المقاول والمهندس والمالك أو المفوضين من قبلهم لصرف قيمتها بعد خصم قيمة التأمين النهائى للأعمال لحين انتهاء سنة الضمان.

8-7-8 ضمان الأعمال

يضمن المقاول جميع الأعمال محل التعاقد وذلك لمدة سنة كاملة من تاريخ محضر الاستلام الابتدائى للمشروع وعليه إجراء كافة الإصلاحات اللازمة خلال هذه السنة مع تحمله كافة تكاليف الإصلاحات. وإذا ثبت تقصير المقاول فى تنفيذ الإصلاحات بحد أقصى 15 يوماً من إنذاره كتابة بذلك، (إلا إذا تحددت مدة أقل من ذلك فى مستندات المشروع)، يتم خصم تكاليف هذه الإصلاحات من التأمين النهائى أو من أى مستحقات أخرى للمقاول وليس للمقاول الرجوع إلى القضاء فى هذا الشأن بأى حال من الأحوال. ويكون المقاول مسئولاً عن كل خطر يحدث للمهمات أو الأفراد طوال مدة الضمان نتيجة التشغيل العادى.

8-7-9 الاستلام النهائى

إذا قام المقاول بالوفاء بجميع ما عليه من إلتزامات طبقاً لشروط العقد وبالأخص ضمان الأعمال خلال فترة الضمان المنصوص عليها، يقوم المقاول بإخطار المالك كتابة برغبته فى تسليم الأعمال نهائياً فإنه يتم تشكيل لجنة الإستلام وتكون مكونة من المالك والمهندس والمقاول أو من ينوب عنهم ويتم تحرير محضر استلام نهائى للأعمال ويوقع عليه كل من المهندس والمقاول والمالك أو من يفوضونه فى ذلك.

أما إذا أخل المقاول بأى إلتزامات عليه وعلى الأخص بالنسبة لضمان الأعمال ، فإنه يتم تأجيل الاستلام النهائى لحين تنفيذ كل إلتزامات المقاول ، وبعد التصديق على محضر الاستلام النهائى ، يصرف للمقاول قيمة التأمين النهائى للأعمال والمودع لدى المالك أو رد خطاب الضمان البنكى إلى المقاول خلال أسبوع على الأكثر.

الجزء الثانى
قوائم استلام الأعمال الكهربية

8-8 نماذج لقوائم الاستلام

فى هذا الجزء نقدم نماذج من الكود المصرى الخاصة باستلام بعض المهمات الكهربية. والهدف من هذا الجزء هو تغطية النقص فى توصيف بعض المهمات الكهربية خلال فصول هذا الكتاب ، بحيث يصبح القارئ ملما بأهم البنود التى يجب أن يحددها أثناء توصيفه لهذه الأعمال أو التى يجب أن يراجعها أثناء استلامه لهذه الأعمال.

1-8-8 استلام مولدات الطوارئ

البند	ملاحظات
الماكينة الديزل – الرقم الكودى – الرقم المسلسل – الشركة المصنعة وبلد الصنع – المواصفة القياسية للتصنيع – سنة الصنع – الطراز – القدرة – القدرة المستمرة لوحدة التوليد عند السرعة المقننة ومعدل الضغط ودرجة الحرارة ومعامل قدرة 0.8 متأخر وجهد وتردد محددين0 – القدرة عند درجة حرارة الموقع وارتفاعه عن سطح البحر (القدرة بعد التصحيح)0 **غرفة المولد** – أبعاد الغرفة (طول × عرض × ارتفاع) (م) – أبعاد باب الغرفة (عرض × ارتفاع) (م) – أبعاد فتحة التهوية بالباب (عرض × ارتفاع) سم – وجود فتحة بحوائط الغرفة للتهوية (عرض × إرتفاع) سم **التهوية** – (جبرية/طبيعية) – سعة مروحة التهوية – وجود فتحة لماسورة العادم مجهزة بجراب **المولد** – الشركة المصنعة وبلد الصنع – المواصفة القياسية للتصنيع – القدرة (ك0ف0أ) – الجهد (فولت) – التردد (هرتز) – (أحادى /ثلاثى) الأطوار **نظام العادم** – طول مسار ماسورة العادم (م) – عدد الانحناءات فى مسار العادم – قطر ماسورة العادم (مم) – العزل الحرارى لماسورة العادم – وجود مخفضات الصوت – حساب الضغط العكسى على مسار العادم **الماكينة** – الشركة المصنعة وبلد الصنع – المواصفة القياسية للتصنيع – عدد الاسطوانات	

- قطر الاسطوانة
- المشوار (Stroke)
- الإزاحة(displacement)
- نسبة الانضغاط (Compression ratio)
- أسلوب سحب الهواء (Aspiration)
- السرعة
- القدرة الفرملية الفعلية
- استهلاك الوقود عند الحمل الكامل
- كمية هواء التبريد (CFM)
- كمية الهواء للاحتراق الداخلى (CFM)
- كمية زيت التزييت
- استهلاك زيت التزييت
- كمية غازات العادم (CFM)
- درجة حرارة غازات العادم

- تقويم الماكينة
  - (إدارة يدوية / إدارة تلقائية)
  - بالمارش والبطارية
  - بالهواء
  - بمساعدة ماكينة تدار بالبنزين

طريقة التبريد

- رديـاتير مركـب مـع الماكينـة وسـعته بـاللتر وكميـة الهـواء التـى تطـرد بواسـطة المروحـة أو سـعة المروحة (CFM)
- رديـاتير بعيد عن الماكينة وبياناته
- مبادلات حرارية
- أبراج حرارية
- أبراج تبريد
- ماكينات تبريد هواء تحدد سعة مروحة التبريد (CFM)

خزان الوقود

- سعة الخزان اليومى (لتر)
- سعة الخزان الشهرى (لتر)
- مضخة الوقود (يدوية / كهربية)
- مصفاة الوقود
- سخان الوقود

كابلات التغذية

بين المولد والقلاب (اليدوى/التلقائى)

- المقطع (مم^2)
- نوع العزل

لوحة التحكم فى التشغيل

التحويل من المصدر للماكينة

- يدوى بواسطة سكينة قلاب
- أتوماتيكى بواسطة ATS
- وجود مفتاح Bypass (يوجد / لايوجد)
- عدد ( ) لمبات بيان حالة التشغيل

شاحن البطارية

- التغذية (أحادى /ثلاثى)الطور
- سعة تيار التغذية (أمبير)
- تيار الشحن (أمبير)
- القدرة (فولت أمبير)
- أجهزة القياس والمراقبة

- فولتميتر
- لمبات بيان
- مفتاح تشغيل/إيقاف

موانع الإهتزازات

- بين الماكينة والشاسيه
- بين الشاسية والقاعدة الخرسانية

الضوضاء الناتجة عن التشغيل

- شدة الضوضاء عند مسافة 000 (م) مقاسة بالديسبل (أ)
- معدل الضوضاء (NR)

أجهزة القياس والمراقبة

- أميتر
- فولتميتر
- مقياس للتردد
- مقياس لمعامل القدرة
- مقياس للقدرة الفعالة
- مقياس للقدرة غير الفعالة
- جهاز قياس ضغط الزيت
- جهاز قياس درجة حرارة الزيت
- جهاز قياس درجة حرارة مياه التبريد
- مقياس لسرعة الماكينة (RPM)
- مقياس لدرجة حرارة العادم

أجهزة الإنذار وفصل الماكينة عند :

- إرتفاع درجة حرارة مياه التبريد (إنذار + فصل)
- إرتفاع درجة حرارة الزيت (إنذار + فصل)
- إنخفاض ضغط الزيت (إنذار + فصل)
- زيادة سرعة الماكينة عن الحدود المسموحة (فصل)

2-8-8 استلام لوحات التوزيع العمومية

البند	ملاحظات
الرقم الكودى للوحة الرقم المسلسل للوحة القضبان سابقة التجهيز : (بين المحول وخلية الدخول باللوحة) – حالة التركيب ▪ داخل وعاء من الصاج الصلب المدهون والمثبت داخليا بدعامات معزولة ▪ قضبان التوزيع مطابقة للمواصفات العالمية الكهروتقنية رقم .... ▪ قضبان التوزيع مصنعة بترخيص صناعى / أو منتج أصلى مطابق لشهادة اختبار نوعى رقم ..... صادرة من معمل .... بتاريخ .... وصالحة للعمل حتى تاريخه ▪ مكشوفة عارية / مكشوفة ومكسوة بعزل ينكمش بالحراره (Heat Shrinkable) **يجب التأكد أنها مصنعة من:** نحاس نقى لا يقل درجة نقاوته عن 99.99٪ ألومنيوم نقى مطابق للمواصفة ..... – أبعاد القضبان الرئيسية ( ) × ( ) مم – مقطع قضيب التعادل ( ) × ( ) مم – مقطع قضيب التأريض ( ) × ( ) مم – سعة التيار (أ) – سعة التيار الحرارية (أ) – سعة تيار القصر (ك0أ) – سعة القصر لموصل التعادل (ك0أ) – درجة الوقاية (IP) ***<u>لوحة التوزيع</u>*** – الشركة المصنعة – التصنيع طبقاً للمواصفات الكهروتقنية العالمية رقم ..... – النوع – من النوع القائم بذاته والتعامل مع اللوحة من الأمام فقط / من الأمام والخلف (ذى الإطار المفتوح/ ذات البناء/ ذات الخلايا/ ذات وحدات قابلة للسحب/ طراز صندوقى) – التثبيت (على قاعدة خرسانية /داخل الحائط/خارج الحائط) – سمك الصاج الصلب المصنع منه اللوحة – دخول الكابلات إلى اللوحة (من أعلى / من أسفل) – خروج الكابلات من اللوحة (من أعلى / من اسفل) درجة وقاية اللوحة (IP) ***<u>خلايا الدخول</u>*** – قضبان توزيع خماسية ذات سعة (أ)	

وتتحمل تيار قصر قدرة ..... (ك.أ)
- قاطع تلقائى ثلاثى
  - من النوع : (الثابت/ القابل للسحب، بالمحرك/ يدوى)
    (مقولب / مفتوح)
  - العدد
  - سعة (أ)
  - سعة القطع (ك0أ)
- الضبط المغناطيسي
  - ثابت In (.....)
  - قابل للضبط In (..... to.....)
- الضبط الحرارى
  - قابل للضبط In (..... to.....)

أجهزة القياس

- عدد ( ) أميتر
  بتدريج من 000 إلى 000 أمبير
  بمحول تيار 000 / 000 أمبير
- عدد ( ) فولتميتر
  بتدريج من 000 إلى 000 فولت
  بمفتاح إنتقاء
- عداد قياس معامل القدرة
- عداد قياس الطاقة الفعالة
- عداد قياس الطاقة غير الفعالة
- عدد ( ) لمبه بيان كاملة بالمصهر

كابلات التغذية للوحات التوزيع الرئيسية

- الشركة المصنعة

كابلات ثلاثية الأقطاب من (النحاس/ الألومنيوم) (مسلحة/ غير مسلحة) فصيلة 1000 فولت بعزل (XLPE / PVC)

- المقطع ($مم^2$)
- الطول (م)
- سمك العزل (مم)

مجارى كابلات التغذية للوحات التوزيع الرئيسية

- داخل خندق بأبعاد
  (عرض × عمق) (سم)
  طول الخندق (م)
- داخل مواسير
  (خرسانية /صلب/بلاستيك ثقيل)
  - القطر (مم)
  - الطول (م)
- على صوانى من الصاج المجلفن
  - العرض (سم)
  - ارتفاع الأجناب (سم)
  - الطول (م)

غرف التفتيش

- الأبعاد (طول × عرض × عمق) (سم)
- نوع الغطاء (زهر ثقيل / خرسانى)

	– العدد ***<u>خلايا الخروج</u>*** – قاطع تلقائى ثلاثى ▪ من النوع : (الثابت/القابل للسحب،بالمحرك/يدوى) ▪ (مقولب/ مفتوح) ▪ العدد ▪ سعة (أ) ▪ سعة القطع (ك0أ) – الضبط المغناطيسي ▪ ثابت In (.....) ▪ قابل للضبط In (..... to.....) – الضبط الحرارى ▪ قابل للضبط In (..... to.....) ***<u>المراجعات المهمة بالنسبة للوحات الرئيسية</u>*** – التأكد من تربيط قضبان التوزيع بعد النقل والتركيب. – التأكد من تثبيت اللوحات جيداً باستخدام الجوايط ووضعها الأفقى بميزان المياه – التأكد من ربط الكابلات الداخلة سواء من أسفل أو من أعلى اللوحة على جرائد معدنية وأقفزة قبل توصيلها إلى المهمات والأجهزة باللوحة. – التأكد من رباط الكابلات جيداً على المرابط الخاصة بها بالقواطع والصواميل وصواميل الزنق المناسبة. – التأكد من استخدام lugs (نحاس/ألومنيوم) فى حالة رباط الكابلات المصنوعة من الألومنيوم. – التأكد من استخدام الجلندات سواء الخاصة بالمواسير و الكابلات إذا ما كانت اللوحة ذات درجة وقاية عالية	

3-8-8 استلام لوحات التوزيع الفرعية للجهد المنخفض

البند	ملاحظات
لوحات التوزيع الفرعية	
– الرقم الكودى للوحة	
– الرقم المسلسل للوحة	
– الشركة المصنعة	
– مصنعة بترخيص من شركة	
أو مصنعة طبقاً لشهادة اختبار نوعى رقم ..	
صادرة من معمل ..... بتاريخ..... وصالحة حتى تاريخه	
– مطابقة للمواصفات الكهروتقنية الدولية IEC.رقم ..... أو المواصفات المصرية رقم...	
– التركيب (داخل/ خارج) الحائط	
– قضبان التوزيع	
▪ سعة التركيب (أ)	
▪ سعة القطع (ك0أ)	
▪ سمك الصاج	
▪ درجة الوقاية (IP)	
– ***قواطع تلقائية ثلاثية*** (مقولبة/ منمنمة)	
▪ العدد	
▪ سعة (أ)	
▪ سعة قطع (ك0أ)	
– ***قواطع تلقائية أحادية***	
▪ العدد	
▪ سعة (أ)	
▪ سعة قطع (ك0أ)	
– **مصاهر سريعة القطع**	
▪ سعة	
▪ تيار القصر	
▪ عدد	
– **سكاكين بالمصاهر**	
▪ سعة	
▪ تيار القصر	
▪ عدد	
- **وحدة تغذية بكونتاكتور وأوفرلود (over load) لمحرك**	
▪ سعة الكونتاكتور على الاختيار AC3	
▪ سعة الاوفرلود (over load)	
▪ عدد مرات التشغيل على الحمل الأقصى	
أجهزة القياس	
▪ عدد ( ) أميتر بتدريج من 000 إلى 000 أمبير	
▪ عدد ( ) فولتميتر بتدريج من 000 إلى 000 فولت بمفتاح إنتقاء	
▪ جهاز قياس معامل القدرة عدد ( ) لمبه بيان كاملة بالمصهر	
كابلات التغذية للوحة	
كابلات ثلاثية الأقطاب من النحاس/الالمونيوم فصيلة 1000 فولت	
▪ المقطع (مم^2)	
▪ الطول (م)	

▪ نوع العزل ▪ سمك العزل (مم) ▪ الشركة المصنعة ▪ التصنيع طبقاً للمواصفات الكهروتقنية العالمية رقم ..... ***مجارى كابلات التغذية للوحة*** – داخل مواسير (صلب / بلاستيك) ▪ القطر (مم) ▪ الطول (م) – على صوانى من الصاج المجلفن ▪ العرض (سم) ▪ ارتفاع الأجناب (سم) ▪ الطول (م) ▪ سمك الصاج (مم) ▪ النوع (مقفلة/مخرمة) ▪ بغطاء /بدون غطاء ▪ الدهان (الكتروستاتيك/ مجلفنة على الساخن) ▪ أسلوب التعليق ومتانته ومناسبته للأحمال ▪ التأريض والتأكد من استمرارية الأرضى ▪ وزن الكابلات لكل متر طولى من طول الصوانى (مجارى الكابلات)	

4-8-8 استلام قضبان التوزيع سابقة التجهيز Bus Duct

البند	ملاحظات
– إسم الشركة المنتجة – بلد الصنع – الطراز – درجة الوقاية IP – السعة بالأمبير عند درجة حرارة .....مْ – سعة القطع kA – مادة الموصلات (نحاس/ألومنيوم/ألومنيوم مغلف بالنحاس) – مادة الغلاف (نحاس/ألومنيوم/ستانلس ستيل) – نوع القضبان (عادى التهوية/مضغوط ومعزول) Ventilated / compact – أقصى تحمل لدرجة الحرارة – المقاومة للمتر الطولى عند درجة حرارة الوسط: ▪ لموصل الطور ▪ لموصل التعادل ▪ لموصل الأرضى – التكوين (3ph + N + E)/(3ph + N) – طول القطعة الواحدة (م)	

– المقاسات الخارجية (سم) – الوزن للمتر الطولى (كجم) – صناديق التفريع وسعتها T.O.B – القطع الخاصة: ▪ التكوين (ـ / ⊤ / +) ▪ وحدة تخفيض السعة ▪ وحدة بداية ▪ وحدة بداية مرنة – مقاومة الأجزاء لانتشار الحريق – وجود فواصل لانتشار الحريق والدخان (نصف ساعة / ساعة / أكثر من ساعة) – وسائل التعليق والتثبيت – طول قضبان التوزيع بالكامل شاملاً القطع الخاصة (م) – وزن قضبان التوزيع بالكامل إذا ما كانت خطاً صاعداً (كجم) ▪		

الملحق الأول
الرموز البيانية

الملحق الأول
الرموز البيانية فى بعض المواصفات

1- أولا : فى الكود الكويتى

الوصـف	الرمز
مصباح سقفي أو معلق	
معلقة (مصباح) حائط	
معلقة حائط مطرية (ضد الأحوال الجوية)	
معلقة (مصباح) فلورسنت	
كشاف ضوئي على عامود	
مروحة سقف	
مروحة حائط	
منظم المروحة مع مفتاح مجاور	
مروحة شفط على الحائط أو الزجاج	
مروحة شفط على السقف	
مأخذ تيار بمفتاح ذي ٣ مسامير بقوة ١٣ أمبيراً	
مأخذ مرتفع مستوى تثبيته ذو ٣ مسامير بقوة ١٣ أمبيراً يعمل بمفتاح منفصل .	
مأخذ تيار مقاوم للأحوال الجوية (مطري) ذو ٣ مسامير بقوة ١٣ أمبيراً يعمل بمفتا ح منفصل .	
مأخذ تيار ذو ثلاثة أوجه أو ثلاثة أوجه ومحايد	
مأخذ تيار ذو ثلاثة أوجه أو ذو ثلاثة أوجه ومحايد مقاوم للأحوال الجوية (مطري).	
وحدة تحكم الطباخ	CCU
علبة توصيل مع نقاط توصيل	JB
مفتاح ذو طريق واحد	
مفتاح ذو طريقين	

الوصـــف	الرمـز
مفتاح سقفي (يعمل بسحب الحبل)	
مفتاح ذو طريق واحد مقاوم للأحوال الجوية (مطري)	
مصهر	
قاطع دائرة آلي (في قالب)	
قاطع دائرة آلي صغير	
قاطع الدائرة للحماية من التسريب الأرضي الذي يعمل بالتيار	
مرحل التسريب الأرضي	
عداد الكيلو واط . ساعة	
لوحـة توزيع	
مفتاح ذو مصهر	
مفتاح تحويل (قلاب)	
لوحة التوزيع الرئيسية (لمزيد من المعلومات الرجاء الاطلاع على المخطط الهيكلي)	
لوحة التوزيع الفرعية (لمزيد من المعلومات الرجاء الاطلاع على المخطط الهيكلي)	
كيبلات تحت الأرض	
قناة (مسار أو عبارة) دخول الكابل	
قضيب أرضي	
زر الجرس	
مؤشر الجرس مع جرس (النقاط توضح عدد الطرق)	
مأخذ هوائي التلفزيون	

ثانيا : بعض الرموز من الكود الأمريكى NEC

WIRING – IN OR ABOVE CEILING (HASH MARKS INDICATING NEUTRAL WIRE, HASH WITH DOT INDICATING GROUNDING WIRE. USUALLY DRAWN IN CURVED LINES).

WIRING – EXPOSED (USUALLY DRAWN IN STRAIGHT LINES).

WIRING – IN OR BELOW THE FLOOR. (USUALLY DRAWN IN DOTTED CURVE LIENS).

WIRING – IN OR ABOVE CEILING (HASH MARKS INDICATING NEUTRAL WIRE, HASH WITH DOT INDICATING GROUNDING WIRE.

BUS DUCTS – FEEDER, PLUG–IN.

SWBD SWITCHBOARD (TO SCALE)

PANELBOARD – FLUSH, SURFACE

J P T BOXES – JUNCTION, PULL, TERMINAL

TEL WIRING CABINETS – AS LABELED

TRANSFORMER

TRANSFORMERS – AUTO, CURRENT

FUSES – PLUG, CARTRIDGE TYPE

CIRCUIT BREAKERS – MOLDED CASE, DRAWOUT

CIRCUIT BREAKERS – AIR, OIL

T THERMOSTAT

GROUNDING

M 3 M 15 MOTOR (NO. INDICATING HORSEPOWER RATING)

MOTOR STARTERS – MANUAL, MAGNETIC, ETC.

ELECTRICAL CONTACT – NORMALLY OPEN, NORMALLY CLOSE

PUSHBUTTONS – NORMALLY OPEN (N.O.), NORMALLY CLOSE (N.C.)

PUSHBUTTONS – MONENTARY, MAINTAINED.

C CONTROL RELAYS

LIGHTING FIXTURES – FLUSH, OR SURFACE MOUNTED ON CEILING. (DRAWN TO SCALE AND SHAPE IF PRACTICAL).

LIGHTING FIXTURES – BRACKET OR RECESS MOUNTED ON WALL (DRAWN TO SCALE AND SHAPE IF PRACTICAL).

EXIST SIGN FIXTURES – CEILING, WALL, BRACKETS

$ $3 $4 WALL SWITCHES – SINGLE POLE, 3–WAY, 4–WAY

$D $ WALL SWITCHES – DOUBLE POLE

$K WALL SWITCHES – KEY–OPERATED

WALL SWITCHES – LOSW VOLTAGE REMOTE CONTROL

F N DISCONNECT SWITCHES – NON–FUSED, FUSED

RECEPTACLES – SINGLE, DUPLEX, TRIPLEX

Φ_G Φ_G RECEPTACLES – GF (GROUNDING FAULT INTERRUPTER)

S A SPECIAL RECEPTACLES – AS LABELED

SIGNAL DEVICES – BELLS, BUZZERS

CLOCK OUTLETS – INDIVIDUAL, CENTRAL SYSTEM

SPEAKERS

ELECTRICAL HEATERS

TELEPHONE – TYPE, FAX, DATA, ETC.

D Sk DETECTORS – THERMAL, SMOKE, ETC.

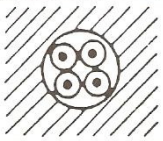
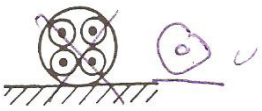
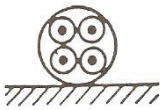
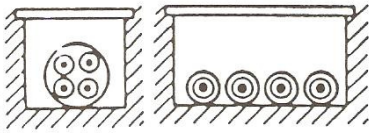
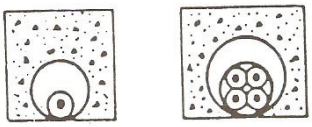
F FIRE ALARM STATION

الملحق الثانى

جداول تحميل الكابلات

ملحق -2
جداول تحميل الكابلات (المواصفات الكويتية)

جدول ٢-(١)
طرق التمديد

النوع	الوصف	الأمثلة
١-	كيبل أحادي القلب معزول ومغلف بمادة (بي.في.سي)أو غير مغلف ممد ماسورة مطمورة في الخرسانة أو مثبتة بالصب .	
٢-	كيبل أحادي القلب معزول ومغلف بمادة (بي.في.سي)أو غير مغلف ممدد في ماسورة مركبة على سطح الحائط أو المبني.	
٣-	كيبل أحادي القلب معزول ومغلف بمادة (بي.في.سي)أو غير مغلف ممدد في قناة صندوقية.	
٤-	كيبل أحادي القلب معزول ومغلف بمادة (بي.في.سي) أو كيبل متعدد القلوب معزول بمادة (بي.في.سي)/ اكس.ال.بي.ئي)مسلح وغير مسلح ممدد على حاملات.	
٥-	كيبل متعدد القلوب معزول بمادة (بي.في.سي)/ (اكس.ال.بي.ئي)مسلح أو غير مسلح مثبت على سطح الحائط أو المبني.	
٦-	كيبل ذو قلب واحد معزول بمادة (بي.في.سي)مسلح بمادة غيرمغناطيسية أو كيبل متعدد القلوب معزول بمادة (بي.في.سي)/ (اكس.ال.بي.ئي)مسلح أو غير مسلح ممدد في خنادق.	
٧-	كيبل أحادي القلب معزول بمادة(بي.في.سي)مسلح بمادة غير مغناطيسية أو كيبل متعدد القلوب مسلح أو غير مسلح معزول بمادة (بي.في.سي)/ (اكس.ال.بي.ئي)ممدد في قناة (مسار).	
٨-	كيبل متعدد القلوب معزول بمادة (بي.في.سي)/ (اكس.ال.بي.ئي)مسلح أو غير مسلح مطمور مباشر ة في الارض.	

جدول ٢-(٢)
معاملات التصحيح لمجموعة من الكيبلات ذات القلوب المفردة ويزيد عددها على ثلاث كيبلات

نوع طريقة التمديد	عدد الموصلات ومعامل التصحيح										
	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٦	٢٠	٢٤	٢٨	٣٢	٣٦	٤٠
٧,٦,٥,٤,٣,٢,١	٠,٨٠	٠,٦٩	٠,٦٢	٠,٥٩	٠,٥٥	٠,٥١	٠,٤٨	٠,٤٣	٠,٤١	٠,٣٩	٠,٣٨	٠,٣٦

ملحوظة : في حالة وجود دائرة كهربائية واحدة ذات ثلاثة أوجه تستخدم عدد ٤ أسلاك عندئذ لا يجري استخدام أي من معاملات التصحيح ويجب العمل بالمعايير الواردة في الجدولين ٢ - (٦) و ٢-(٧) وفي حالة ضم أكثر من دائرة كهربائية ذات ثلاثة أوجه في ماسورة أو في قناة صندوقية عندئذ يجب أن تؤخذ معاملات التجميع المناسبة بعين الاعتبار .

جدول ٢-(٣)
معاملات التصحيح لمجموعة من الكيبلات المسلحة والغيرمسلحة متعددة القلوب ويزيد عددها على كيبل واحد

نوع طريقة التمديد	عدد الكيبلات ومعامل التصحيح										
	٢	٣	٤	٥	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠
٧,٦,٥,٤	٠,٨٠	٠,٧٠	٠,٦٥	٠,٦٠	٠,٥٧	٠,٥٢	٠,٤٨	٠,٤٥	٠,٤٣	٠,٤١	٠,٣٩	٠,٣٨

ملحوظة : في حالة ماتكون المسافة بين الكيبلات المتجاورة تزيد مرتين عن مجموع القطر الكلي لها عندئذ لا حاجة لاستعمال معامل التخفيض .

جدول ٢-(٤)

معـامــلات التصحيح لمجمــوعـة مـن الكيبـلات المسلحـة والغيــر مسلحـة متعــددة القلـوب يزيدعددهاعن كيبل واحد ومطمورة في الأرض

نوع طريقة التمديد - ٨	عدد الكيبلات ومعامل التصحيح				
	٢	٣	٤	٥	٦
الكيبلات الممددة ملامسة لبعضها	٠,٨١	٠,٧٠	٠,٦٣	٠,٥٩	٠,٥٥
كيبلات ممددة تبعد عن بعضها البعض ١٥سم	٠,٨٧	٠,٧٨	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٦٨

جدول ٢-(٥)

معاملات التصحيح لدرجـةالحرارة المحيطة التي تزيد على ٤٠ درجة مئويـة ليتم تطبيقها على سعة حمل التيار المبينة في الجداول المختلفة.

درجة الحرارة المحيطة	نــوع	الــعازل		
	(بي.في.سي)	(اكس.ال.بي.ئي)	معدنـــي	
			مغطى بمادة (بي.في.سي)	غير مغطى
٤٥مْ	٠,٩١	٠,٩٤	٠,٨٩	٠,٩٨
٥٠مْ	٠,٨٥	٠,٨٩	٠,٨٠	٠,٩٦
٥٥مْ	٠,٧٠	٠,٨٢	٠,٦٩	٠,٩١
٦٠مْ	٠,٥٧	٠,٧٤	٠,٥٤	٠,٨٨

جدول ٢-(٦)

سعة حمل التيار للكيبلات النحاسية احادية القلب المعزولة بمادة (بي.في.سي)مغلفة وغير مغلفة عند درجة حرارة محيطة ٤٠ درجة مئوية وذلك لطرق التمديد أرقام ١، ٢، ٣.

مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل (مم٢)	تيار كهربائي متردد وجه واحد (أمبير)	تيار كهربائي متردد ثلاثة أوجه (أمبير)
١,٥	١٥	١٤
٢,٥	٢١	١٨
٤	٢٨	٢٤
٦	٣٦	٣١
١٠	٥٠	٤٤
١٦	٦٦	٥٩
٢٥	٨٨	٧٧
٣٥	١٠٩	٩٧
٥٠	١٣١	١١٧
٧٠	١٦٧	١٤٩
٩٥	٢٠٢	١٨٠
١٢٠	٢٣٤	٢٠٨

جدول ٢ – (٧)

سعة حمل التيار للكيبلات النحاسية أحادية القلب المعزولة والمغلفة بمادة (بي . في . سي) عند درجة حرارة محيطة مقدارها ٤٠ درجة مئوية ، وذلك لطريقة التمديد رقم (٤) .

مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل (مم٢)	تيار كهربائي متردد ذو وجه واحد (أمبير)	تيار كهربائي متردد ذو ثلاثة أوجه (أمبير)
١,٥	١٧	١٥
٢,٥	٢٣	٢١
٤	٣١	٢٨
٦	٤٠	٣٦
١٠	٥٥	٥٠
١٦	٧٤	٦٦
٢٥	٩٧	٨٨
٣٥	١٢٠	١٠٩
٥٠	١٤٦	١٣١
٧٠	١٨٥	١٦٧
٩٥	٢٢٥	٢٠٢
١٢٠	٢٦٠	٢٣٤
١٥٠	٢٩٩	٢٦٩
١٨٥	٣٤١	٣٠٧
٢٤٠	٤٠١	٣٦١

جدول ٢ – (٨)

سعة حمل التيار للكيبلات النحاسية متعددة القلوب المعزولة بمادة (بي . في . سي) عند درجة حرارة محيطة مقدارها ٤٠ درجة مئوية ، وذلك لطرق التمديد أرقام ٤ , ٥ , ٦ , ٧ .

مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل (مم٢)	مسلح (أمبير)	غير مسلح (أمبير)
٤	٢٨	٢٨
٦	٣٦	٣٥
١٠	٤٩	٤٧
١٦	٦٤	٦٢
٢٥	٨٤	٧٨
٣٥	١٠٤	١٠٠
٥٠	١٢٨	١٢٢
٧٠	١٥٧	١٥٣
٩٥	١٩١	١٨٧
١٢٠	٢٢٤	٢١٨
١٥٠	٢٥٧	٢٥٠
١٨٥	٢٩٠	٢٨٧
٢٤٠	٣٤٧	٣٤١
٣٠٠	٣٩٢	٣٩١
٤٠٠	٤٥٥	٤٥٢

جدول ٢ – (٩)

سعة حمل التيار للكيبـلات النحاسية متعددة القلوب المعزولـة بمادة (اكس . ال . بي .ئي) عند درجة حرارة محيطة مقدارها ٤٠ درجة مئوية ، وذلك لطرق التمديد أرقام ٤، ٥، ٦، ٧ .

مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل (مم٢)	مسلح (أمبير)	غير مسلح (أمبير)
٤	٣٦	٣٣
٦	٤٧	٤٣
١٠	٦٤	٥٩
١٦	٨٧	٨٠
٢٥	١١٥	١٠٦
٣٥	١٣٩	١٢٨
٥٠	١٦٨	١٥٥
٧٠	٢١٤	١٩٧
٩٥	٢٦٣	٢٤٢
١٢٠	٣٠٤	٢٨٠
١٥٠	٣٥٣	٣٢٥
١٨٥	٤٠٢	٣٧٠
٢٤٠	٤٧٦	٤٣٨
٣٠٠	٥٤٢	٤٩٩

جدول ٢ - (١١)

سعة حمل التيـار للكيبلات النحاسيـة متعددة القلوب عنـد درجة حـرارة ارضية مقدارهـا ٣٠ درجة مئوية ، وذلك لطريقة التمديد رقم (٨) .

أ - الكيبلات المعزولة بمادة (بي - في - سي) والمسلحة

ب - الكيبلات المعزولة بمادة (أكس - ال - بي -ئى) والمسلحة

مساحة المقطع العرضي الاعتباري للموصل (مم٢)	معزول بمادة (بي . في . سي) ومسلح (أمبير)	معزول بمادة (اكس . ال . بي . ئي) ومسلح (أمبير)
٤	٣٧	٤٣
٦	٤٧	٥٤
١٠	٦٢	٧٣
١٦	٨١	١٠٠
٢٥	١٠٨	١٢٥
٣٥	١٢٩	١٥٠
٥٠	١٥٤	١٧٦
٧٠	١٨٥	٢١٧
٩٥	٢٢٢	٢٦١
١٢٠	٢٥٥	٣٠٠
١٥٠	٢٨٤	٣٣٤
١٨٥	٣٢١	٣٧٥
٢٤٠	٣٧٥	٤٣٥
٣٠٠	٤٢٠	٤٩٠

الملحق الثالث
الأحمال التقديرية

الملحق الثالث
الأحمال التقديرية للمحلات والمنازل

أولا : السعات النمطية لوحدات المبانى التى لا يزيد ارتفاعها عن 15 دوراً بالقاهرة الكبرى

أسم المنطقة	السعة ك.ف.أ/100 م^2		أسم المنطقة	السعة ك.ف.أ/100 م^2		أسم المنطقة	السعة ك.ف.أ/100 م^2	
	سكن	محلات أو مكاتب		سكن	محلات أو مكاتب		سكن	محلات أو مكاتب
شبرا			**السيدة زينب**			**الدقى**		
شارع شبرا	3	12	ضريح سعد	2	4	مدينة المهندسين		
روض الفرج	1.5	8	عابدين	2	4	مدينة الضباط		
جزيرة بدران	1.5	8	مصر القديمة	2	4	العجوزة	5	
جسر البحر	1.5	8	السيدة زينب	2	4	الدقى		
أغاخان	4	12	زين العابدين	2	4	الصحفيين		
أرض شريف	3	9	المنيل	3	6	الأوقاف		
الزاوية الحمراء والشرابية	1.5	6	جادرن سيتى	6	9	المعلمين		
باقى المناطق	1.5	8	**القلعة**			الجيزة		
الحلمية			الخرطة القديمة ابو سبحة	1.5	3	بين السرايات	3	
عين شمس	1.5	6	السيدة عائشة درب الحصر	1.5	3	ميت عقبة	3	
المطرية	1.5	6	الحلمية القديمة عبد الرحمن	2	4	داير الناحية		
الوايلى	1.5	6	الحلمية الجديدة مصطفى سرى	2	4	بولاق الدكرور	1.5	
القبة	3	6	الدرب الأحمر	2	4	ميت عقبة البلد		
			ش الأزهر	3	6	أرض اللواء		
العباسية			ش بور سعيد	2	4	إمبابة		
العباسية والظاهر	3	8	ميدان بركة الفيل	2	4	**الهرم**		
مصر والسودان	3	8	**المعادى**			شارع الهرم	5	
مدينة نصر	3	9	المعادى الجديدة	3	7	الطالبية		
الجمالية	3	9	المانجو	3	7	أرض اللواء		
باقى المناطق	3	6	حدائق المعادى	3	7	الجيزة	3	
شبرا الخيمة			عزبة جبريل			الربيع الجيزى		
مساكن الضباط	2	6	فايدة كامل			عزبة ابو قتاتة		
أرض أبو سعده	1.5	4	مصر القديمة	1.5	2	دولار		
الصباغة والتجهيز	1.5	4	دار السلام			فكيهة		
بهتيم	1.5	4	البساتين			منيل شيحة		
أرض نوبار	1.5	4	طرة البلد			المنوات	1.5	
بولاق			عزبة نافع			طموه		
القللى	3	6	كوتستيكا			المنيب		
منطقة إزالة عشش الترجمان	8	12	السرايات	4	7	كفر طهرمس		
الموسكى	4	8	دجلة	4	7	كفر غطاط		
عابدين	8	12	الجولف	4	7	نزلة السمان		
وسط المدينة	8	12	**حلوان**		4	كفر نصار		
عابدين البلد	2	4	إسكان فوق المتوسط	2	4			
الزمالك	8	12	إسكان المحافظة فوق المتوسط	2	4			
			إسكان متوسط	2	3			
			إسكان شعبى	1.5				

ثانيا الأحمال طبقا لقواعد مؤسسة الكهرباء السعودية

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين التجاريين

المساحة المعطاة متر مربع	الحمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي		حجم عداد الكهرباء أمبير
				مقرر القاطع أمبير	ك.ف.أ	
25	6	3	3.6	30	19.74	3x25(100)
50	10	6	6			
75	16	9	6.9			
92	19	11	11.4			
93	20	11.2	12	60	39.48	3x25(100)
100	22	12	13.2			
125	27	15	16.2			
150	32	18	19.2			
175	38	21	22.8			
200	43	24	25.8			
224	47	26.9	28.2			
225	48	27	28.8	100	65.8	3x25(100)
250	54	30	32.4			
275	59	33	35.4			
300	64	36	38.4			
325	70	39	42			
350	75	42	45			
375	80	45	48			
399	85	47.9	51			
400	86	48	51.6	150	98.7	3x40(160)
425	91	51	54.6			
450	96	54	57.6			
475	102	57	61.2			
500	107	60	64.2			
525	112	63	67.2			
550	118	66	70.8			
575	123	69	73.8			
600	128	72	76.8			
611	130	73.3	78			
612	131	73.4	78.6	200	131.6	محول تيار
625	134	75	80.4			
650	139	78	83.4			
675	144	81	86.4			
700	150	84	90			
725	155	87	93			
750	160	90	96			
772	164	92.6	98.4			

773	165	92.8	99	300	197.4	محول تيار
775	166	93	99.6	أنظر		
800	171	96	102.6	ملاحظة رقم		
825	176	99	105.6	1		
850	182	102	109.2			
875	187	105	112.2			
900	192	108	115.2			
925	198	111	118.8			
950	203	114	121.8			
975	208	117	124.8			
1000	214	120	128.4			
1025	219	123	131.4			
1050	224	126	134.4			
1075	230	129	138			
1076	231	129.1	138.6	400	263.2	محول تيار
1100	235	132	141			
1125	240	135	144			
1150	246	138	147.6			
1175	250	141	150			
1200	256	144	153.6			
1233	263	148	157.8			
1234	264	148.1	158.4	500	329	محول تيار
1300	278	156	166.8			
1400	299	168	179.4			
1500	320	180	192			
1600	342	192	205.2			
1700	363	204	217.8			
1800	384	216	230.4			
1852	395	222.2	237			
2917	396	291.7	198	800	526.4	محول تيار
1853	396	222.4	237.6			
1900	405	228	243			
2000	427	240	256.2			
2100	448	252	268.8			
2200	469	264	281.4			
2300	491	276	294.6			
2400	512	288	307.2			
2465	526	295.8	315.6			

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين المنزليين

المساحة المعطاة متر مربع	الحمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي		حجم عداد الكهرباء أمبير
				مقرر القاطع امبير	ك.ف.أ	
25	4	2.5	2	30	19.74	3x25(100)
50	8	5.0	4			
75	12	7.5	6			
100	16	10.0	8			
124	19	12.4	9.5			
125	20	12.5	10	60	39.48	3x25(100)
150	24	15.0	12			
175	28	17.5	14			
200	32	20	16			
225	36	22.5	18			
250	40	25	20			
275	43	27.5	21.5			
300	46	30	23			
312	47	31.2	23.5			
313	48	31.3	24	100	65.8	3x25(100)
325	50	32.5	25			
350	53	35	26.5			
375	56	37.5	28			
400	60	40	30			
425	63	42.5	31.5			
450	66	45	33			
475	70	47.5	35			
500	73	50	36.5			
525	76	52.5	38			
550	80	55	40			
575	83	57.5	41.5			
599	85	59.9	42.7			
600	86	60	43	150	98.7	3x40(160)
625	90	62.5	45			
650	93	65	46.5			
675	96	67.5	48			
700	100	70	50			
725	103	72.5	51.5			
750	106	75	53			
775	110	77.5	55			
800	113	80	56.5			
825	116	82.5	58			
850	120	85	60			
875	123	87.5	61.5			

			63	90	126	900
			65.2	93	130	930
محول تيار	131.6	200	65.35	93.1	131	931
			66.5	95	133	950
			68	97.5	136	975
			70	100	140	1000
			71.5	102.5	143	1025
			73	105	146	1050
			75	107.5	150	1075
			76	110	152	1100
			78	112.5	156	1125
			80	115	160	1150
			81.5	117.5	163	1175
			82	118.8	164	1188
محول تيار	197.4	300	82.5	118.9	165	1189
		أنظر	83	120	166	1200
		ملاحظة رقم	90	130	180	1300
		1	96.5	140	193	1400
			103	150	206	1500
			110	160	220	1600
			115	167.9	230	1679
محول تيار	263.2	400	115.5	168	231	1680
			116.5	170	233	1700
			123	180	246	1800
			130	190	260	1900
			131.5	192.3	263	1923
محول تيار	329	500	132	192.4	264	1924
			136.5	200	273	2000
			143	210	286	2100
			150	220	300	2200
			156.5	230	313	2300
			163	240	326	2400
			170	250	340	2500
			176.5	260	353	2600
			183	270	366	2700
			190	280	380	2800
			196.5	290	393	2900
			197.5	291.6	395	2916
محول تيار	526.4	800	198	291.7	396	2917
			203	300	406	3000
			263	389	526	3890

المراجع العربيـــــــــــة

1- قواعد التمديدات الكهربية ، وزارة الكهرباء والماء ، الكويت.
2- كابلات القوى الكهربية ، د. آسر على زكى ، د. محمد صلاح الدين خليل ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، 2001.
3- تخطيط وتصميم التمديدات الكهربية فى المشاريع الكبرى ، د. هانى عبيد ، دار الشروق ، عمان ، 2001.
4- التأريض الوقائي ، د. آسر على زكى ، د. أحمد حلمى ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، 1983.
5- التأسيسات والمكائن الكهربية ، د. مظفر أنور النعمة ، دار اليازورى ، عمان ، 2006 .
6- تقنية التوزيع الكهربى ، المؤسسة العامة للتعليم الفنى والتريب المهنى ، السعودية.
7- شبكات كهربية ، المؤسسة العامة للتعليم الفنى والتريب المهنى ، السعودية.
8- المحولات الكهربية وآلات التيار المستمر ، د. محمد أحمد قمر ، دار الراتب الجامعى ، 1988.
9- إضاءة المصانع والأبنية العامة ، د. عبد المنعم موسى ، دار الراتب الجامعى ، الاسكندرية ، 1995.
10- الإضاءة ، د. آسر على زكى ، د. حسن الكمشوشى ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، 1985.

11- الكـود المصـري لأسـس تصـميم وشـروط تنفيـذ التوصـيلات والتركيبـات الكهربائية في المباني

- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني (مجلد 1) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني (مجلد 2) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني (مجلد 3) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني - الانظمة الخاصة (مجلد 4 – التأريض) .
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني-الانظمة الخاصة(مجلد5 – الوقاية من الصواعق)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني- الانظمة الخاصة (مجلد6–تحسين معامل القدرة)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المبانى - الانظمة الخاصة (مجلد 7 – التوافقيات) .
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المبان - الانظمة الخاصة (مجلد 8 – الملامسات والبادئات المستعملة في التحكم في المحركات التأثيرية ثلاثية الطور) .
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني- الانظمة الخاصة (مجلد 9– التحكم في الإضاءة)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني-الانظمة الخاصة (مجلد 10 – مولدات الطوارئ)

12- مواصفات بنود أعمال التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى.

- ✓ المواصفات القياسية المصرية 4913 ج1 /2005 , مكثفات القدرة التى لا تلتئم ذاتيا والموصلة على التوازى لنظم التيار المتردد ذات جهد مقنن حتى ويشمل 1000 فولت : الجزء الأول: عام- دليل الأداء والاختبار المقنن – متطلبات الأمان.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0136-2006/03، محولات القدرة - جـ3: اختبارات العزل ومستوياته.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0136-2005/05، محولات القدرة - جـ5: القدرة على تحمل قصر الدائرة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2006/1886، محولات القدرة, محولات من النوع الجاف.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2005/1888، دليل تحميل المحولات الجافة للقدرة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0182-2005/01، الكابلات المعزولة بالبولى فينيل كلورايد ذات الجهود المقننة حتى 750/450 فولت – جـ1: متطلبات عامة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0182-2005/02، الكابلات المعزولة بالبولى فينيل كلورايد ذات الجهود المقننة حتى 750/450 فولت – جـ2: طرق الاختبار.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0182-2006/03، الكابلات المعزولة بالبولى فينيل كلورايد ذات الجهود المقننة حتى 750/450 فولت – جـ3: كابلات غير مغلفة للتوصيلات الثابتة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0182-2006/04، الكابلات المعزولة بالبولى فينيل كلورايد ذات الجهود المقننة حتى 750/450 فولت – جـ4: كابلات مغلفة للتوصيلات الثابتة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0182-2006/05، الكابلات المعزولة بالبولى فينيل كلورايد (بى.فى.سى) ذات الجهود المقننة حتى 750/450 فولت – جـ5: كابلات مرنة (كردونات).
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 965-1-2005، كابلات القوى ذات العزل المبثوق لجهد مقنن 1 كيلو فولت و30 كيلو فولت ج1: الكابلات للجهود المقننة من 6 كيلو فولت حتى 30 كيلو فولت.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 965-2-2006، كابلات القوى ذات العزل المبثوق لجهد مقنن 1 كيلو فولت و30 كيلو فولت ج2: الكابلات للجهود المقننة من 6 كيلو فولت حتى 30 كيلو فولت.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2005/2948، موصلات الكابلات المعزولة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2841-1995/01، المتطلبات العامة للمعدات الكهربائية التى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار – جـ1: المصطلحات والتعاريف الفنية.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2841-1995/02، المتطلبات العامة للمعدات الكهربائية التى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار – جـ2: الاشتراطات الواجب توافرها فى جميع المعدات الكهربائية.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2841-1995/03، المتطلبات العامة للمعدات الكهربائية التى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار – جـ3: الاشتراطات الإضافية لبعض المعدات الكهربائية.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2841-1995/04، المتطلبات العامة للمعدات الكهربائية التى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار – جـ4: التحقق والاختبارات.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2841-1996/05، المتطلبات العامة للمعدات الكهربائية التى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار – جـ5: وضع العلامات.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 1998/3370، المعدات الكهربائية المغمورة فى الزيت والتى تعمل فى جو غازى قابل للإنفجار.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 1988/0151، الشريط العازل للأغراض الكهربائية.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 265ج1/2006 ، مصهرات الجهد المنخفض – جـ1: متطلبات عامة.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 265ج3/2006 ، مصهرات الجهد المنخفض – جـ4: مصهرات مستخدمة بواسطة أشخاص غير مدربين (مصهرات مستخدمة للأغراض المنزلية وما شابهها).
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 2003/0027، المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين للاستخدام المنزلى وما يشابهه من أغراض الإنارة العامة – متطلبات الأداء.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0060-1994/01، رؤوس ودوى المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين للأغراض العامة – جـ1: رؤوس المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين للاستخدامات المنزلية وما يشابهها.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 1163-1995/02، اختبارات العازلات الخزفية المستخدمة لتوزيع القدرة الكهربائية (الجهد 1000 فولت وأقل).
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0060-1994/03، رؤوس ودوى المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين للأغراض العامة – جـ3: دوى وقواعد المصابيح الفلورسنت.
- ✓ المواصفات القياسية المصرية 0133-1997/01، القوابس والمقابس المستخدمة فى التوصيلات الكهربائية المنزلية وما شابهها – جـ1: المتطلبات العامة.

- ✓المواصفات القياسية المصرية 0133-1997/02، القوابس والمقابس المستخدمة فى التوصيلات الكهربائية المنزلية وما شابهها – جـ2: الوقاية من الصدمة الكهربائية واشتراطات التأريض.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 0133-1997/03، القوابس والمقابس المستخدمة فى التوصيلات الكهربائية المنزلية وما شابهها – جـ3: مكونات القوابس والمقابس.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 0133-1997/04، القوابس والمقابس المستخدمة فى التوصيلات الكهربائية المنزلية وما شابهها – جـ4: اختبارات الأداء.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 0133-1997/05، القوابس والمقابس المستخدمة فى التوصيلات الكهربائية المنزلية وما شابهها – جـ5: الاختبارات الميكانيكية.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 321-2005/01، كوابح التيار الخاصة بالمصابيح الفلورسنت الأنبوبية – جـ1: المتطلبات العامة الخاصة بمتطلبات الحماية.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 321-2005/02، كوابح التيار الخاصة بالمصابيح الفلورسنت الأنبوبية – جـ3: متطلبات الأداء.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/0438، المفاتيح الكهربائية للأغراض المنزلية وما يماثلها من التركيبات الكهربائية الثابتة – المتطلبات العامة.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/2347، قيم شدة التيار الكهربائى فى التوصيلات والتركيبات الكهربائية فى المبانى.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 1993/2405، الوقاية من أجل السلامة للتركيبات الكهربائية فى الأماكن المحظور دخولها.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/2838، المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين لأغراض الإضاءة الخافتة (السهارى) – المتطلبات العامة.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/2996، المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين بقدرات تصل إلى 25 واط للأغراض المنزلية – المتطلبات العامة.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/3585، متطلبات الأمان للمصابيح ذاتية الكبح (ذات الكابح المدمج) لخدمات الإنارة العامة.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/3938، الكوابح الالكترونية المغذاة بتيار متردد للمصابيح الفلورسنتية الأنبوبية – متطلبات الأداء.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2003/3938، الكوابح الالكترونية المغذاة بتيار متردد للمصابيح الفلورسنتية الأنبوبية – المتطلبات العامة – متطلبات الأمان.
- ✓المواصفات القياسية المصرية 2005/4111، المصابيح الكهربائية ذات فتيلة التنجستين (المصابيح الشمعة) لأغراض الإضاءة العامة – المتطلبات العامة.

المراجع الأجنبيـــــــــــة

1- Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Benjamin Stien, John Renolds, John Wily & Sons , 8th Edition, 1992.
2- Mechanical and Electrical Systems for Buildings, William K. Tao, Richard R. Janis, Prentice Hall, 2nd Edition, 2001.
3- Electrical Installation Handbook, SIEMENS, John Wily & Sons , 2000.
4- Electrical Installation Calculations, B. Jenkins, M. Coates, Blackwell Science,2nd Edition, 1998.
5- A Practical Guide to the Wiring Regulations, Blackwell Science Ltd, 1999.
6- Industrial lighting systems , John P. Frier , McGraw-Hill , 1980
7- Electrical power distribution system engineering , Turan Gonen, McGraw-Hill , 1986.
8- IEC 60364-5-52 Electrical Installations of Buildings - Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems
9- IEC 60364-5-54 Electrical Installations of Buildings - Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements.
10- IEC 60479-1 Effects of Current on Human Beings and Livestock - General aspects.
11- Electrical Installation Design, Bill Atkinson, Blackwell Science, 2nd edition, 2000.
12- Handbook of Electrical Design Details, Neil Sclater, John Trasiter, McGraw-Hil Companies, 2003

IEC Specifications

IEC 227 (Poly vinyl chloride)-insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V:
227 -1 Part 1 – General requirements
227-2 Part 2 – Test methods
227-3 Part 3 – Non-sheathed cables for fixed wiring
227-4 Part 4 – Sheathed cables for fixed wiring
227-5 Part 5 – Flexible cables (cords)
227-6 Part 6 – Lift cables and cables for flexible connections

IEC 245 Rubber-insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V
245-1 Part 1 – General requirements
245-2 Part 2 – Test methods
245-3 Part 3 – Heat-resisting silicone-insulated cables
245-4 Part 4 – Cords and flexible cables
245-5 Part 5 – Lift cables
245-6 Part 6 – Arc welding electrode cables

IEC 502 Extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1 kV to 30 kV

IEC 702 Mineral insulated cables and their terminations with a rated voltage not exceeding 750 V
702-1 Part 1 – Cables
702-2 Part 2 – Terminations

IEC 173	Colours of the cores of flexible cables and cords
IEC 391	Marking of insulated conductors
IEC 446	Identification of insulated and bare conductors by colour
IEC 60	High voltage test techniques:
	60-1 Part 1 – General definitions and test requirements
	60-2 Part 2 – Test procedures
	60-3 Part 3 – Measuring devices
	60-4 Part 4 – Application guide for measuring devices
IEC 229	Tests on cable oversheaths which have a special protective function and are applied by extrusion
IEC 230	Impulse tests on cables and their accessories
IEC 270	Partial discharge measurements
IEC 332	Tests on electric cables under fire conditions:
	332-1 Part 1 – Test on a single vertical insulated wire or cable
	332-3 Part 3 – Tests on bunched wires or cables
IEC 538	Electric cables, wires and cords: methods of test for polyethylene insulation and sheath
IEC 540	Test methods for insulation and sheaths of electric cables and cords (elastomeric and thermoplastic compounds)
IEC 811	Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables
	811-1 Part 1 – Methods for general application
	811-2 Part 2 – Methods specific to elastomeric compounds
	811-4 Part 4 – Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds
	(The several parts of IEC 811 are themselves subdivided into sections, e.g. 811-1-1, 811-1-2, 811-2-1, with certain groups of test methods in each section. Part 3 is reserved for methods specific to PVC compounds)
IEC 815	Electrical test methods for electric cables
	815–2 Part 2 – Partial discharge tests
	(When all parts of IEC 811 and IEC 815 have been completed they will replace IEC 538 and IEC 540)
IEC 71	Insulation co-ordination
	71-1 Part 1 – Terms, definitions, principles and rules
	71-2 Part 2 – Application guide
	71-3 Part 3 – Phase-to-phase insulation co-ordination: principles, rules and application guide
IEC 287	Calculation of the continuous current rating of cables (100% load factor)
IEC 364	Electrical installations of buildings. This has a number of parts, which are subdivided into chapters, and sections, of which some have a bearing on cables; the following, which supersedes IEC 448, is particularly relevant:
	364– 5 –523 Part 5 –Selection and erection of electrical equipment
	Chapter 52 Wiring systems
	Section 523 Current carrying capacities
IEC 724	Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0.6/1.0 kV

تم بحمد الله
وصل اللهم على سيدنا
محمد
وعلى آله وصحبه وسلم