7- تصميم موصلات (كابلات / قضبان) التغذية الرئيسية

عام

(1) لا يجوز استعمال بعض أقطاب الكابل متعدد الأقطاب على جهد يخالف الجهد المستعمل عليه الأقطاب الأخرى للكابل.

(2) يراعى دائماً الالتزام بالألوان المميزة لموصلات كابلات المغذيات ودوائر التوزيع وفقاً لما هو مبين بالكود.

(3) يراعى عند استخدام المواسير الصلب وفى حالة تمديدات التيار المتردد أن يتم تركيب موصل الطور وموصل خط التعادل فى حالة التيار أحادى الطور أو موصلات الأطوار وموصل خط التعادل فى حالة التيار ثلاثى الأطوار داخل ماسورة واحدة ولا ينطبق هذا فى حالات المواسير البلاستيك.

(4) يراعى عدم تركيب الكابلات الخاصة بتركيبات الإنارة أو القوى التى تغذى من جهود مختلفة فى نفس المواسير أو المجارى، ويجب أن تكون توصيلات كل جهد مستقلة بمواسيرها وعلب توصيلها.

(5) يجب ألا يحتوى الكابل متعدد الموصلات على موصلات خاصة بدوائر إنارة الطوارئ بالإضافة إلى موصلات خاصة بدوائر أخرى.

(6) يجب ألا يقل مقطع الموصلات النحاسية للمغذيات (Feeders) عن 4م^2، أما المغذيات ذات الموصلات من الألومنيوم فيجب ألا يقل مقطع كل موصل عن 16م^2.

(7) يجب احتواء الكابلات غير المغلفة داخل مواسير أو مجارى أو صناديق مقفلة، ويجب عدم تركيبها فى المواقع داخل مجارى خرسانية أو داخل جزء من ماسورة ثم تشكيله بالخرسانة إلا إذا كانت معزولة بعزل مضاعف (فصيلة 1000 فولت).

(8) يلزم أن تكون الكابلات المدفونة مباشرة فى الأرض من نوع مسلح أو ذات غلاف معدنى أو كليهما أو أن تكون من النوع متحد المركز المعزول بمادة البلاستيك (بى. فى. سى)، كما يتم دفنها على عمق كاف لتحاشى تلفها نتيجة لأى اضطراب للأرض من المحتمل حدوثه أثناء الاستخدام العادى.

(9) يجب أن تكون الكابلات التى يتم تركيبها تحت سطح الأرض داخل مواسير أو مجارى أو أنابيب ذات غلاف واق أو مسلحة وذات مقاومة مناسبة لأى تلف ميكانيكى يحتمل حدوثه خلال سحبها داخل المواسير.

(10) يجب أن تكون الكابلات التى يتم تركيبها على حوائط المبانى وما يشابهها مزودة بحماية مناسبة ومقاومة لأى تلف ميكانيكى قد تتعرض له.

(11) يجب أن تكون الكابلات والتوصيلات المكونة من موصلات معزولة والمركبة فى أماكن معرضة لأشعة الشمس المباشرة من نوعية مقاومة للتلف الذى قد تسببه الأشعة فوق البنفسجية، مع مراعاة درجة حرارة الوسط المحيط عند اختيار قطاعاتها.

(12) يراعى عند تمديد أكثر من كابل فى خندق واحد المحافظة على المسافات الفاصلة بين الكابلات على النحو التالى:

جدول رقم (7-1): المسافات الفاصلة بين 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

(13) يراعى استعمال كابلات مغلفة بالبلاستيك الصامد لعوامل التآكل فى حالة الكابلات الأرضية عند احتواء التربة على أملاح أو مواد كيماوية.

7-1 تصميم واختيار كابلات الجهد المتوسط

عام

توجد عدة عوامل يجب دراستها لتحديد كيفية تصميم و اختيار كابلات الجهد المتوسط. و هذه العوامل هي:

1- القدرة الكهربية:

يمكن التعبير عنها بوحدات ك.ف.أ أو كيلو وات ومنها يتم حساب أقصى تيار ينتظر مروره في كابل التغذية مع مراعاة تطور الأحمال (إن وجد).

2- جهد التشغيل.

3- أقصى سماحية للهبوط في الجهد.

4- معاملات تصحيح سعة حمل كابلات التغذية:

تكون طبقاً لطريقة تركيب هذه الكابلات و لظروف تشغيلها في الوسط المحيط مع حساب السعة المطلوبة لتيار الكابلات بعد تصحيحها.

5- تيار القصر:

* تيار القصر المتماثل Symmetrical short circuit current.
* تيار القصر غير المتماثل إلى موصل التأريض

Asymmetrical short circuit to ground current

(1) القدرة الكهربية و حساب تيار الحمل

يتم في جميع الأحوال حساب تيار الحمل عن طريق القدرة الكهربية سواء كانت بالكيلو فولت أمبير أو الكيلو وات من خلال المعادلات (7-1)، (7-2) و (7-3) التالية:

$$I = \frac{\mathrm{kW} \times 1000}{\sqrt{3} \times \mathrm{V} \times \cos\phi} \qquad (7\text{-}1)$$

أو

$$I = \frac{\mathrm{kVA} \times 1000}{\sqrt{3} \times \mathrm{V}} \qquad (7\text{-}2)$$

أو

$$I = \frac{\mathrm{Horse\ Power} \times 0.746 \times 1000}{\sqrt{3} \times \mathrm{V} \times \cos\phi \times \eta} \qquad (7\text{-}3)$$

حيث:

I = تيار الحمل الكامل

V = فرق الجهد بين الأطوار (r.m.s)

$\cos\phi$ = معامل القدرة للحمل

η = كفاءة المحرك

(2) جهد التشغيل

يتحدد جهد و مستوى عزل الكابلات طبقا لجهد التشغيل و نظام التأريض المتبع. فالكابلات التي تعمل على جهد أكبر من أو يساوى 5 ك.ف تنقسم إلى فئتين:-

* كابلات ذات مستوى عزل 100٪ من جهد التشغيل ويكون ذلك عند التشغيل فى شبكة تعمل بنظام [أت (TN)] والتى يكون موصل التعادل بها مؤرض (Grounded neutral service).
* كابلات ذات مستوى عزل 133٪ من جهد التشغيل بها ويكون ذلك في الشبكة التى تعمل بنظام [ع أ (IT)] والتى يكون موصل التعادل بها غير مؤرض (Ungrounded neutral service). ويمكن أن يستمر تشغيل هذا النظام لمدة ساعة واحدة بعد حدوث تيار قصر بين أحد الأطوار والأرض ولكن هذا يعرض الطورين الآخرين لجهد تشغيل أعلى (Line to line voltage)، ولذلك يتم استخدام مستوى عزل مرتفع لموصلات الأطوار الثلاثة. ويتميز هذا النظام باستمرارية التغذية في حالة حدوث تيار قصر بين أحد الأطوار والأرض (Phase to ground fault).

(3) أقصى سماحية للهبوط في الجهد

يتم حساب الهبوط في الجهد كنسبة مئوية بقسمة الفرق بين جهد الإرسال والاستقبال مقسوما على جهد الإرسال. وينشأ الهبوط نتيجة لمرور تيار كهربي في كابل التغذية. وقد ينشأ في بعض الأحيان نتيجة لنقل أو توزيع قدرة كهربية كبيرة لمسافات طويلة، هبوط في الجهد أكبر من الحد المسموح مما ينتج عنه انخفاضاً فى جهد التشغيل عند نقطة الاستقبال (أو الحمل). ولتقليل الهبوط في

هذا الجهد إلى الحد المسموح به يمكن زيادة مساحة مقطع كابلات التغذية المستخدمة، أما في حالة إنشاء شبكات جديدة فمن الممكن رفع جهد الإرسال، حيث أن رفعه يؤدى إلى تقليل التيار الكهربي المار فى الشبكة وبالتالى يؤدى إلى تقليل الهبوط في الجهد مع زيادة السماحية لنقل القدرة الكهربية لمسافات أطول.

(4) سعة حمل الكابل و معاملات التصحيح

تعرف سعة حمل التيار لكابل على أنها التيار الذي ينتج عنه رفع درجة حرارة الموصل إلى أقصى درجة، وهى محددة لكل من الكابلات المعزولة بالبولي اثيلين المتشابك (XLPE)، والورق وكلوريد البولي فينيل (PVC) على أساس 90 و 65 و 70 درجة مئوية على التوالى. أما عندما يتكون مسار كابل التغذية من أجزاء تختلف عن بعضها في ظروف درجة حرارة الوسط المحيط، أو عند تجميع الكابل مع كابلات أخرى في مسار واحد، أو عند مرور تيار زائد بها لمدة طويلة، أو عندما يلاصق الكابل مادة عازلة للحرارة فى جزء من مساره، فيجب حساب معاملات التصحيح في كل من هذه الأجزاء طبقا للظروف المختلفة في كل جزء مع أخذ أقل قيمة لها عند حساب معامل التصحيح الكلى.

7-1-1 الكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت (Paper insulated, PIC)

يبين جدول (7-2) ظروف التشغيل القياسية والتي يتم على أساسها تحديد السعة التيارية للكابل.

جدول رقم (7-2): الظروف القياسية لتشغيل الكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت

Maximum sustained conductor temperature	70 deg C
Ground Temperature	25 deg C
Ambient air temperature (free air-shaded)	30 deg C
Ground Thermal Resistivity	1,2K.m/W
Depth of laying to top of cable or duct	800 mm

كما تبين جداول (7-3) و حتى (7-7) ظروف التشغيل غير القياسية التي يجب تصحيح السعة التيارية للكابل لتتفق معها وتبين أيضاً معاملات التصحيح المناظرة لها وهى كالتالي:

جدول رقم (7-3): معامل التصحيح حسب عمق دفن الكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت فى نظم مد مختلفة

	Correction factor	
Depth of laying (mm)	Direct in ground	In single way ducts
800	1,00	1,00
1100	0,98	0,99
1250	0,96	0,97
1500	0,95	0,96
2000	0,92	0,94

جدول رقم (7-4): معامل التصحيح حسب المقاومة الحرارية للمكان الممدود فيه الكابل المعزول بالورق المشبع بالزيت

	Correction factor	
Thermal Resistivity $(k^{o}m/W)$	Direct in ground	In single way ducts
1,0	1,07	1,03
1,5	0,92	0,95
2,0	0,84	0,89
2,5	0,76	0,84

جدول رقم (7-5): معامل التصحيح طبقاً لعدد الكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت فى المجموعة والبعد بينها محورياً

	Correction factor								
No of cables in group	Direct in ground					In single way ducts			
	Axial spacing (mm)					Axial spacing (mm)			
	Touching	150	300	450	600	Touching	300	450	600
2	0,80	0,85	0,89	0,90	0,92	0,88	0,91	0,93	0,94
3	0,69	0,75	0,80	0,84	0,86	0,80	0,84	0,87	0,89
4	0,63	0,70	0,77	0,80	0,84	0,75	0,81	0,84	0,87

No of cables in group	Correction factor								
	Direct in ground					In single way ducts			
	Axial spacing (mm)					Axial spacing (mm)			
	Touching	150	300	450	600	Touching	300	450	600
5	0,57	0,66	0,73	0,78	0,81	0,71	0,77	0,82	0,85
6	0,55	0,63	0,71	0,76	0,80	0,69	0,75	0,80	0,84

جدول رقم (7-6): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة التربة المحيطة بالكابل المعزول بالورق المشبع بالزيت

Maximum conductor Temperature (70 deg C)	Ground temperatures (deg C)				
	25	30	35	40	45
Correction factor	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80

جدول رقم (7-7): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة الهواء المحيط بالكابل المعزول بالورق المشبع بالزيت

Maximum conductor Temperature (70 deg C)	Air temperatures (deg C)			
	25	30	35	40
Correction factor	1,10	1,00	0,94	0,87

7-1-2 الكابلات المعزولة بالبولي اثيلين المتشابك (XLPE INSULATED).

ظروف التشغيل القياسية والتي يتم على أساسها تحديد السعة التيارية للكابل كما بالجدول التالي:-

جدول رقم (7-8): الظروف القياسية لتشغيل كابلات معزولة (XLPE)

Maximum sustained conductor temperature	90 deg C
Ground temperature	25 deg C
Ambient air temperature (free air-shaded)	30 deg C
Ground thermal resistivity	1,2K.m/W
Depth of laying to top of cable or duct	800 mm

كما يوجد ظروف تشغيل غير قياسية يجب عندها تصحيح السعة التيارية للكابل لتتفق معها وتبين الجداول التالية معاملات التصحيح المختلفة طبقا لظروف التشغيل وهـــى كالتالي:

جدول رقم (7-9): معامل التصحيح حسب عمق دفن الكابلات المعزولة (XLPE) فى نظم مد مختلفة

	Correction factor	
Depth of laying (mm)	Direct in ground	In single way ducts
500 - 800	1,00	1,00
850 - 1000	0,97	0,96
1050 - 1200	0,95	0,95
1250 - 1400	0,93	0,95
1450 - 1600	0,92	0,94

جدول رقم (7-10): معامل التصحيح حسب المقاومة الحرارية للمكان المدفون فيه الكابل المعزول (XLPE)

	Correction factor	
Thermal Resistivity $(k^{o}m/W)$	Direct in ground	In single way ducts
0,7	1,23	1,28
1,0	1,08	1,12
1,2	1,00	1,00
1,5	0,90	0,93
2,0	0,80	0,85
2,5	0,72	0,80
3,0	0,66	0,74

جدول رقم (7-11): معامل التصحيح طبقاً لعدد الكابلات المعزولة (XLPE) فى المجموعة والبعد بينها محورياً

No of cables in group	Correction factor					
	Direct in ground			In single way ducts		
	Axial spacing (mm)			Axial spacing (mm)		
	Touching	250	700	Touching	250	700
2	0,79	0,85	0,87	0,87	0,91	0,93
3	0,69	0,75	0,79	0,80	0,86	0,91
4	0,63	0,68	0,75	0,75	0,80	0,87
5	0,58	0,64	0,72	0,72	0,78	0,86
6	0,55	0,60	0,69	0,69	0,74	0,83

جدول رقم (7-12): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة التربة المحيطة بالكابل المعزول (XLPE)

Maximum conductor Temperature (90 deg C)	Ground temperatures (deg C)				
	25	30	35	40	45
Correction Factor	1,0	0,96	0,9	0,88	0,84

جدول رقم (7-13): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة الهواء المحيط بالكابل المعزول (XLPE)

Maximum conductor Temperature (90 deg C)	Air temperatures (deg C)				
	30	35	40	45	50
Correction factor	1,0	0,95	0,89	0,84	0,78

7-1-3 الكابلات المعزولة بكلورايد متعدد الفينيل (PVC INSULATED)

يبين جدول (7-14) ظروف التشغيل القياسية والتي يتم على أساسها تحديد السعة التيارية للكابل.

جدول رقم (7-14): الظروف القياسية لتشغيل الكابلات المعزولة (PVC)

Maximum sustained conductor temperature	70 deg C
Ground temperature	25 deg C
Ambient air temperature (free air-shaded)	30 deg C
Ground thermal Resistivity	1,2K.m/W
Depth of laying to top of cable or duct	500 mm

كما توجد ظروف تشغيل غيرقياسية يجب عندها تصحيح السعة التيارية للكابل لتتفق معها وتبين الجداول التالية معاملات التصحيح المختلفة طبقا لظروف التشغيل وهى كالتالي:

جدول رقم (7-15): معامل التصحيح حسب عمق دفن الكابلات المعزولة (PVC) فى نظم مد مختلفة

	Correction factor	
Depth of laying (mm)	**Direct in ground**	**In single way ducts**
500	1,00	1,00
800	0,97	0,97
1000	0,95	0,96
1250	0,94	0,95
1500	0,93	0,94
2000	0,92	0,93

جدول رقم (7-16): معامل التصحيح حسب المقاومة الحرارية للمكان الممدود فيه الكابل المعزول (PVC)

	Correction factor	
Thermal resistivity $(k^o m/W)$	**Direct in ground**	**In single way ducts**
1,00	1,08	1,04
1,5	0,93	0,96
2,0	0,83	0,88
2,5	0,78	0,87

جدول رقم (7-17): معامل التصحيح طبقاً لعدد الكابلات المعزولة (PVC) فى المجموعة والبعد بينها محورياً

No of cables in group	Correction factor								
	Direct in ground					In single way ducts			
	Axial spacing (mm)					Axial spacing (mm)			
	Touching	150	300	450	600	Touching	300	450	600
2	0,81	0,87	0,91	0,93	0,94	0,90	0,93	0,95	0,96
3	0,70	0,78	0,84	0,87	0,90	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,63	0,74	0,81	0,86	0,89	0,78	0,85	0,89	0,91
5	0,59	0,70	0,78	0,83	0,87	0,75	0,82	0,87	0,90
6	0,55	0,67	0,76	0,82	0,86	0,72	0,81	0,86	0,90

جدول رقم (7-18): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة التربة المحيطة بالكابل المعزول (PVC)

Maximum conductor Temperature (70 deg C)	Ground temperatures (deg C)			
	25	30	35	40
Correction Factor	0,90	0,85	0,80	0,74

جدول رقم (7-19): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة الهواء المحيط بالكابل المعزول (PVC)

Maximum conductor Temperature (70 deg C)	Air temperatures (deg C)			
	30	35	40	45
Correction Factor	1,00	0,94	0,87	0,79

(5) تيار القصر

تعد معرفة قيمة تيار القصر المار فى كابل، من أحد الاعتبارات الهامة عند اختياره حيث أنه في حالة تعرض الكابل لتيار قصر، فإنه يجب أن يتحمل القوي الميكانيكية الناتجة عن تيار القصر. وعلي أي حال فإنه يجب تحديد قيمة تيار القصر التى يتحملها الكابل في زمن معين، فمثلاً تحدد مواصفات كابلات الجهد المتوسط ذات عزل من مادة البولي اثيلين المتشابك درجة حرارة تشغيل دائمة عند 90 درجة مئوية بينما تكون درجة الحرارة 250 درجة مئوية عند

مرور تيار القصر لمدة ثانية واحدة. ويبين الجدول التالي العلاقة بين أنواع عزل الكابلات المختلفة و أقصى درجة حرارة مسموح بها عند مرور تيار القصر.

جدول رقم (7-20): أقصى درجة حرارة للكابلات عند مرور تيار القصر حسب نوعية عزل الكابل

نوع عزل لكابل		درجة حرارة الموصل (مْ)		معامل القصر للكابل (K)	
		درجة حرارة التشغيل	أقصي درجة حرارة	نحاس	ألومونيوم
ثرموبلاستيك	مساحة مقطع أقل من 300مم^2	70	150	0.110	0.071
	مساحة مقطع أكبر من 300مم^2	70	130	0.096	0.062
عزل بولي اثيلين متشابك		90	250	0.143	0.098
عزل ورق مشبع بالزيت		65		0.116	0.078

(أ) تيار القصر المتماثل

عند حدوث خطا في منظومة القوى الكهربية نتيجة لحدوث قصر، تقوم أجهزة الوقاية بتحديد الخطأ مع فصل الجزء الخاص بموقع الخطأ. ولا يتم ذلك لحظيا و لكن بزمن متأخر قد يصل إلى بضعة ثوان. ويتم تحديد قيمة تحمل الكابلات لتيار قصر بالحساب من المعادلة (7-4):

$$I_{sc} = \frac{K \times A}{\sqrt{t}} \qquad (7\text{-}4)$$

Where:
I_{sc} = Short circuit rating of cable (kA)
A = Cross sectional area of conductor (mm^2)
t = Time to trip (seconds)
K = Cable short circuit factor

ويتم تحديد معامل القصر للكابل (K) من الجدول (7-20).

ويوضح الشكل (7-1) تيارات القصر للكابلات المعزولة بكلوريد عديد الفينيل (PVC) للجهود من 1 إلى 10 كيلوفولت.

كما يبين شكل (7-2) تيارات القصر للكابلات المعزولة بالبولي إيثيلين المتشابك (XLPE) للجهود من 1 إلى 30كيلوفولت.

- يوضح شكل (7-3) تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت جهد 1-10 ك.ف.
- يوضح شكل (7-4) تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت جهد 12-20 ك.ف.
- يوضح شكل (7-5) تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت جهد 18-30 ك.ف.

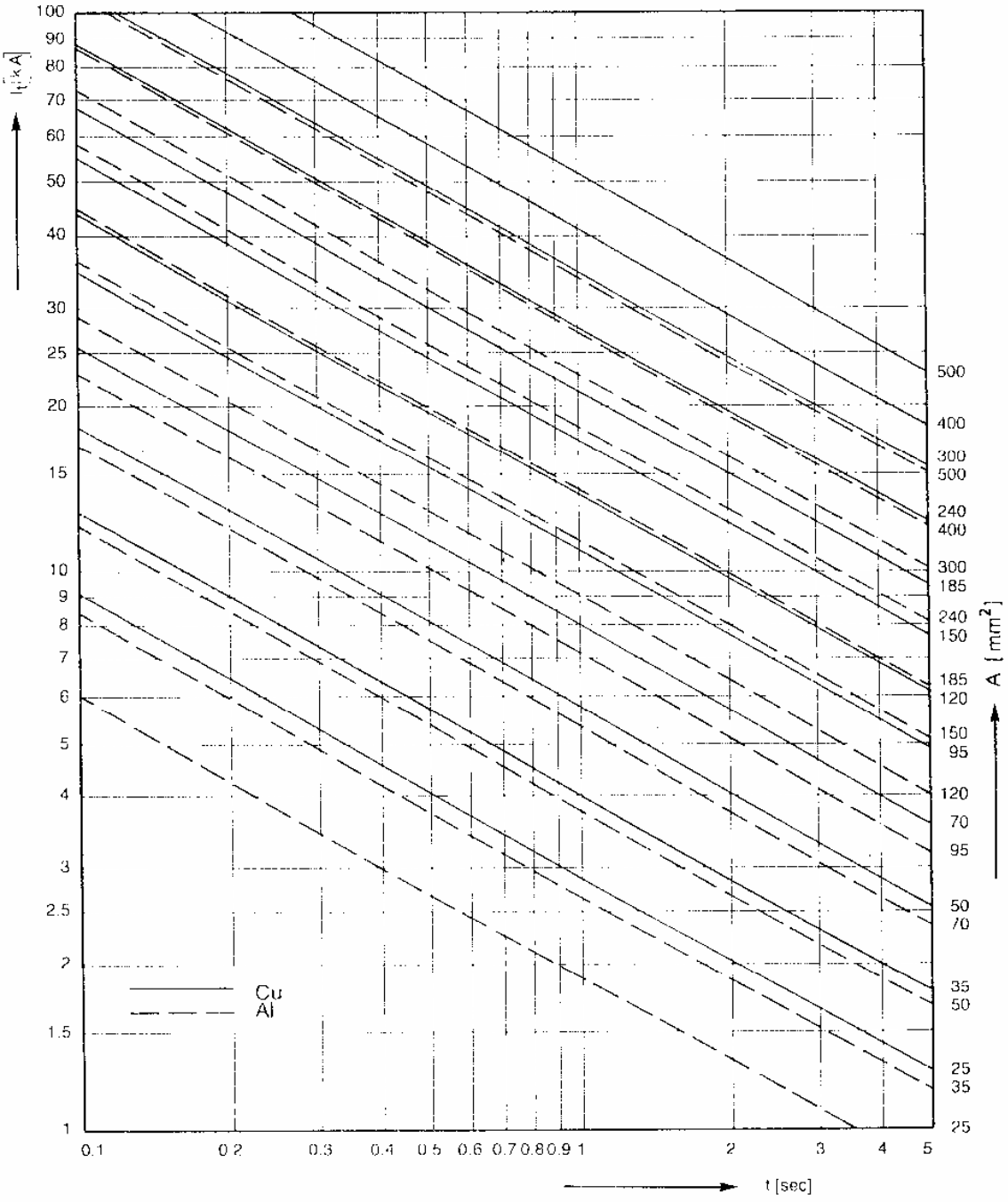
(ب) تيار القصر غير المتماثل إلى موصل التأريض

في حالة تلامس احد موصلات الأطوار بموصل الأرض لابد من ضمان أن موصل الأرض قابل لاستيعاب تيار الخطأ الحادث عند هذه الحالة و المحدد بالمعادلة (7-5):

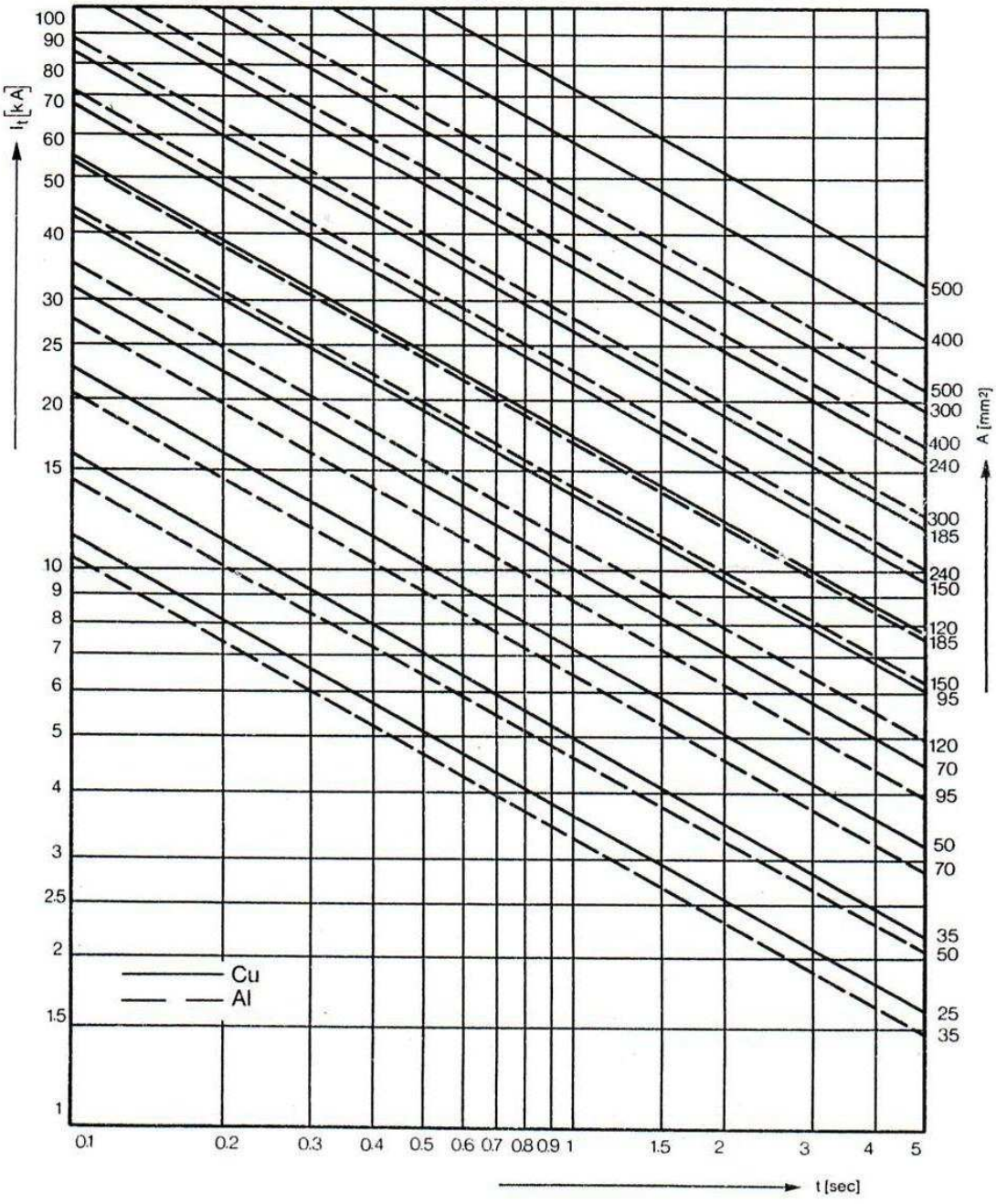
$$I_{EF} = \frac{C \times A}{\sqrt{t}} \qquad (7\text{-}5)$$

Where:

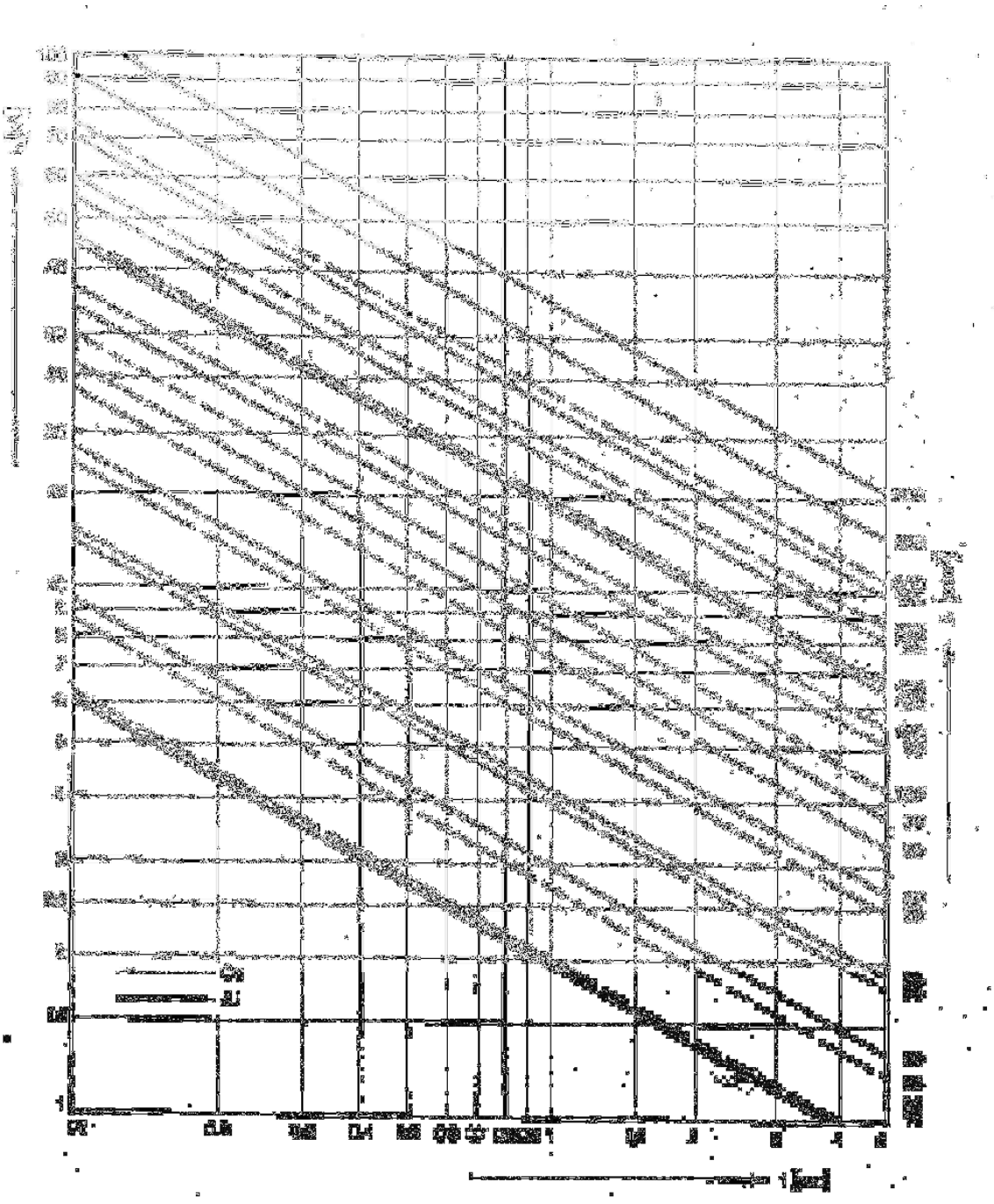
C = A factor that depends on the earth path material. (Steel wire armor, lead sheath, or copper tape)
A = Cross-sectional area of earth path.
t = Fault duration in seconds.



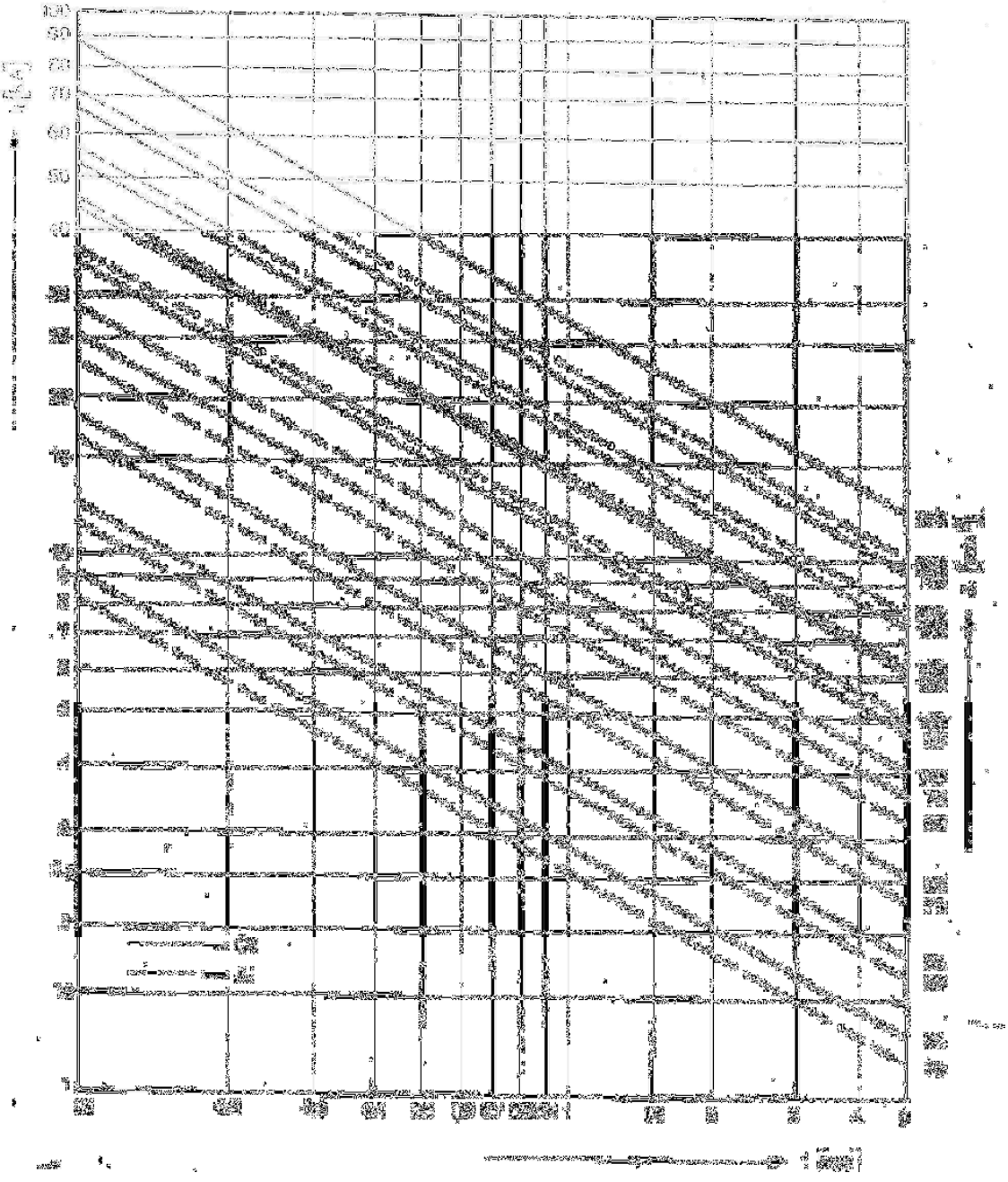
شكل رقم (7–1): تيارات القصر للكابلات المعزولة بكلوريد متعدد الفنيل (PVC)
جهد 1–10 كيلوفولت



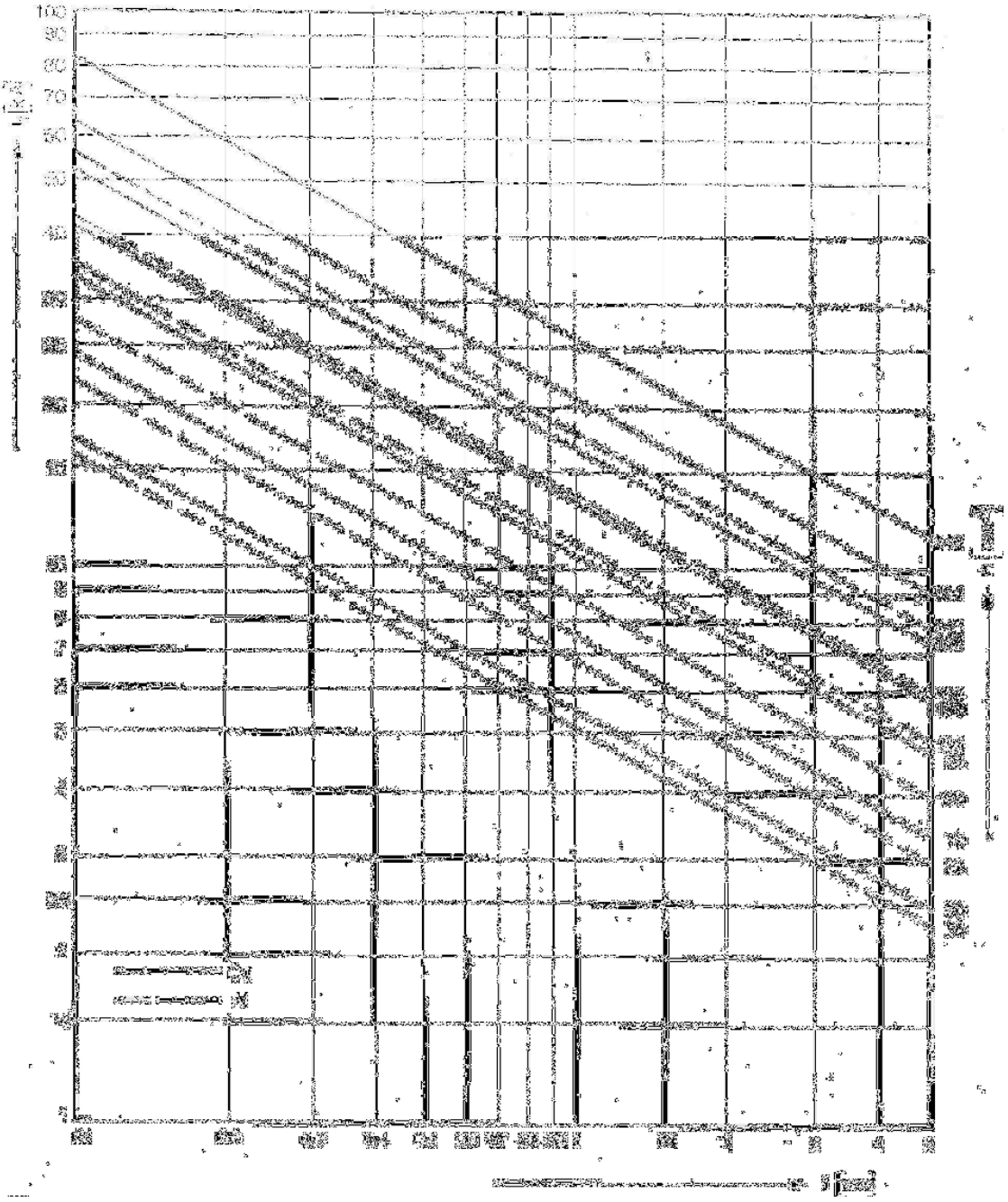
شكل رقم (7-2): تيارات القصر للكابلات المعزولة بالبولي إيثيلين المتشابك XLPE للجهود من 1 إلى 30 كيلو فولت



شكل رقم (7-3): تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت
جهد 1 - 10 كيلوفولت



شكل رقم (7–4): تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت جهد 12 –20 كيلوفولت



شكل رقم (7-5): تيارات القصر للكابلات المعزولة بالورق المشبع بالزيت
جهد 18 – 30 كيلوفولت

7-1-4 أمثلة تطبيقية

مثال (1):

حدد تيار القصر الذي يمكن أن يتحمله كابل بموصلات نحاسية معزول بالبولي فينيل كلوريد (PVC) ومساحة مقطعه 70 مم^2 لمدة 1 ثانية.

الحل:

من المعادلة $I_{sc} = \frac{k\,A}{\sqrt{t}}$

مساحة المقطع (A) = 70 مم2.

معـــــــامل القصر (K) = 0.111 [من جدول (7-20)].

زمـــن إزالة الخطأ (t) = 1 ثانية.

تـــــيار القصـــــر لزمن إزالة الخطأ مقداره 1 ثانية = 7.77 ك.أ .

مثال (2):

إذا كان زمن مرور تيار القصر فى شبكة جهد متوسط لا يزيد عن 120 مللي ثانيـــة، فما هو تيار القصر في كابل مساحة مقطعة 240مم2 مـــن الألومونيـــوم المعـــزول بالبولي إيثيلين المتشابك XLPE لهذه المدة من الزمن. وإذا كان الزمن لا يزيـــد عـــن 200 مللي ثانية أحسب تيار القصر.

الحـــــل:

مساحة المقطع (A) = 240 مم^2.

معامل القصر (K) = 0.098 [من جدول (7-20)].

زمـــن إزالة الخطأ (t) = 120 مللي ثانية (0.12 ثانية).

تـــــيار القصـــــر لزمن إزالة الخطأ لا يزيد 120 مللي ثانية = 63.7 ك.أ .

زمـــن إزالة الخطأ (t) = 200 مللي ثانية (0.2 ثانية).

تيار القصـــــــر لزمن إزالة الخطأ لا يزيد 200 مللي ثانية = 49.4 ك.أ .

مثال (3):

إذا كان مستوي قدرة القصر 750 ميجا فولت أمبير للجهد 22ك.ف وزمـــن إزالـــة القصر لقاطع (C.B) هو 200 مللي ثانية، فهل يكون الكابل الـــذي مـــساحة مقطعـــه 50مم2 ألومونيوم معزول (XLPE) و مدفون في الأرض على عمق 0.8 متر منفردا

في المسار و الدائرة تعمل في درجة حرارة تربة متوسطة 25 مئوية مناسبا لتغذية حمل قيمته 5 ميجا فولت أمبير أم لا ؟

الحـــــل:

تيار الحمل بالأمبير = 5000/ (1.73×22)= 131.37 أمبير.

من الجـــدول (م 6) بالملحـــق، فإن مساحة مقطع هذا الكابل تتحمل تيارا مقداره 140 أمبير وحيث أن الكابل مدفون في الأرض، فإنه مناسب أيضاً من ناحية القدرة على تغذية الحمل.

تيار القصر الفعلى فى الكابل = $750\times10^6 \div (1.73\times22\times10^3)$ = 19.7ك.أ .

وبتطبيق المعادلة رقم (2) لتحديد تحمل الكابل لتيار القصر.

مساحة المقطع (A) = 50 مم2.

معامل القصر (K) = 0.098.

زمن إزالة الخطأ (t) = 200 مللي ثانية (0.2 ثانية).

تيار القصر المحسوب للكابل = 10.3 ك.أ. وهو أقل من تيار القصر الفعلى (19.7 ك.أ.).

وعليه، فإن الكابل بمساحة مقطع 50مم^2 غير مناسب لتحمل تيار القصر ويجب اختيار كابل بمساحة مقطع أكبر.

مثال (4)

ترغب شركة التوزيع في تغذية محول توزيع سعة 2 ميجافولت أمبير جهد 0.4/11 كيلوفولت من مصدر تغذية يقع على بعد 3 كيلومتر، و تنوي الشركة أن تستعمل لهذا الغرض كابلا من النحاس معزولا بالورق المشبع بالزيت يدفن منفردا على عمق 1.25 متر في تربة لها مقاومة حرارية 2 درجة كلفن.متر/وات و تبلغ درجة الحرارة المتوسطة لهذه التربة 25 درجة مئوية كما يبلغ مستوى القصر المتماثل للشبكة 250 ميجا فولت أمبير أما مستوى القصر لموصل التعادل فيبلغ 100 ميجا فولت أمبير ويضمن القاطع إزالة الخطأ في وقت لا يزيد عن 0.5 ثانية. فما هو مقطع المغذى المناسب الذي يلزم استخدامه في هذه التغذية؟

أولا: الاختيار طبقا لسعة حمل التيار

تيار الحمل الأقصى للمحول = $(2\times10^6)\div(1.73\times11\times10^3)$=105 أمبير.

معامل التصحيح لعمق الدفن = 0.96 (من بند 7-1-1 (أ))

معامل التصحيح للمقاومة الحرارية للتربة = 0.84 (من بند 7-1-1 (ب))

معامل التصحيح لدرجة حرارة التربة = 1.00

لذا يجب اختيار كابل ذو سعة حمل:

= 105 ÷ (1.00×0.84×0.96) = 130أمبير

من جـــداول سعــة حمل التيار للكابلات المعزولة بالورق المــشبع بالزيــت رقم (م 6) بالملحق، يتبين أن كابلا نحاسيا قطاع 3×35 مم^2 يكون كافياً.

ثانيا: دراسة هبوط الجهد

هبوط الجهد= 1.73× المعاوقة للكيلومتر × تيار الحمل × المسافة بالكيلومتر

= 3×105×0.627×1.73

= 341.8 فولت (تناظر 3.2٪ من جهد مرسل قيمته 11 ك.ف.)

ثالثا: دراسة تيارات القصر

تيار القصر المتماثل للشبكة=$(250\times10^6)\div(11000\times1.73)$=13.14ك.أ.

تيار القصر الذي يمكــن أن يتحملــه الكابــل المختــار لمــدة 0.5 ثانيــة = $\frac{35\times0.116}{\sqrt{0.5}}=\frac{kA}{\sqrt{t}}$ = 5.742 ك.أ. (أقل من تيار القصر بالشبكة).

حيث: يبلغ معامل القصر (K) *0.116* وذلك من الجدول بالبند (5).

لذا يجب اختيار مقطع أكبر للكابل حيث أن هذا القطاع لا يتحمل قيمــة تيــار القصر بالشبكة ويمكن حساب المقطع المطلوب بحل المعادلة:

$$\frac{A\times0.116}{\sqrt{0.5}}=13.14$$

$$\therefore A=80\,\text{mm}^2$$

وحيث أن أقرب قطاع قياسي هو 95 مم^2 فإنه يمكن استخدام هذا القطاع بعــد التأكد من تحمله لتيار القصر إلى موصل التأريض.

تيار القصر غير المتماثل إلى موصل التأريض:

= 100×10^6 ÷ (11000×1.73) = 5.254 ك.أ.

قطاع الغلاف الرصاص لكابل 95 مم^2 معزول بالورق = 198.2 مم^2.

تيار التحمل للغلاف الرصاصي لمدة 0.5 ثانية = $\frac{198.2 \times 0.024}{\sqrt{0.5}}$ = 6.7 ك.أ.

وهو أكبر من تيار القصر فى موصل التأريض.

وبالتالي فإن الكابل النحاسي قطاع 95 مم^2 يفى بمتطلبات تغذية الحمل.

ويستفاد من المثال رقم (4) أنه في بعض الأحيان يلزم استخدام قطاعات من الكابلات ذات سعة حمل تيار أكبر من التي تتطلبها تغذية الحمل و ذلك لمواجهة قيم تيارات القصر ذات المنسوب المرتفع بالشبكة التي يتم التغذية منها وقد تكون لها أزمنة إزالة خطأ كبيرة بسبب ما تتطلبه وسائل الحماية و القطع ذات الخواص البطيئة.

7-2 كابلات / قضبان التغذية الرئيسية للجهد المنخفض

7-2-1 القضبان المدمجة

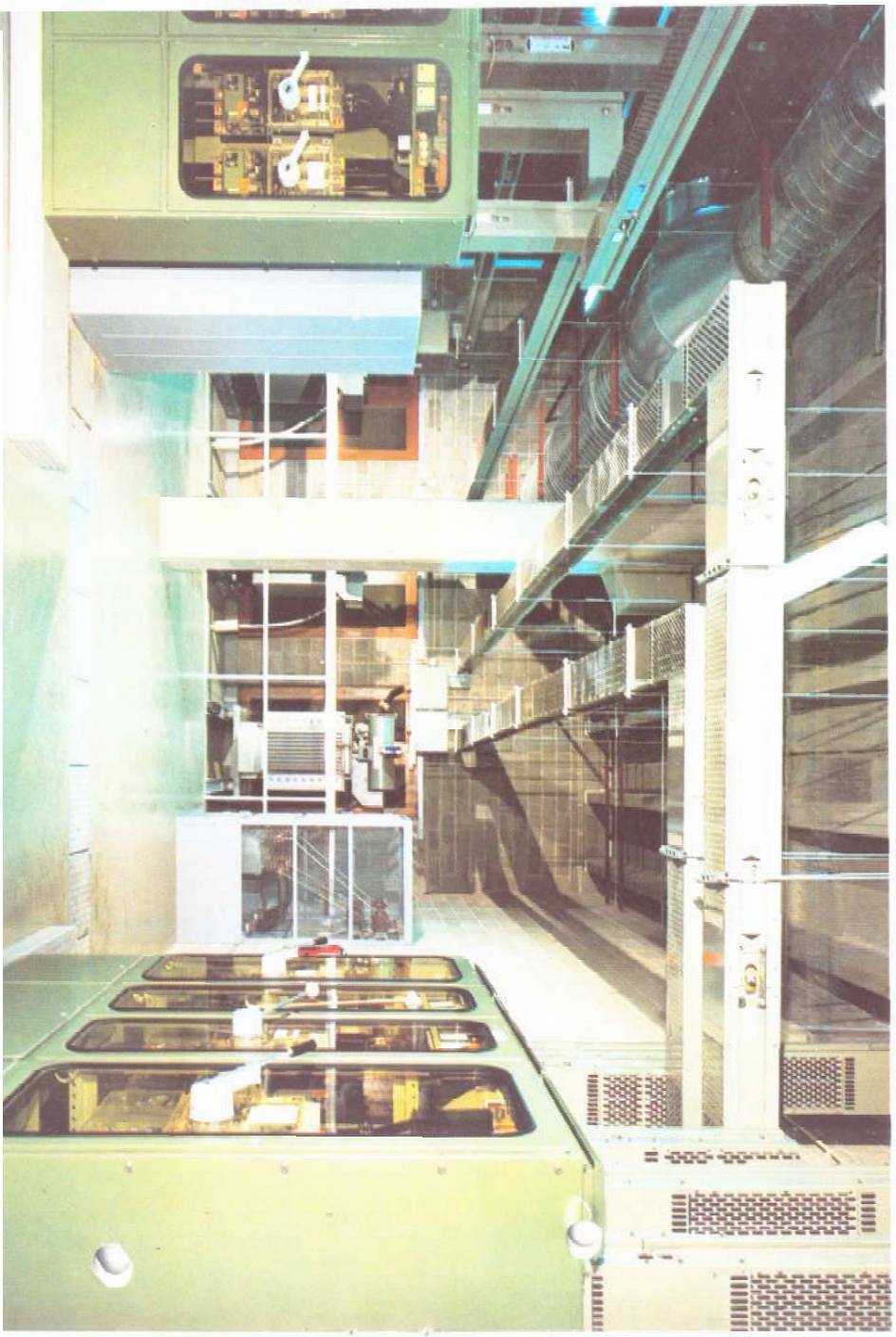
تعد نظم القضبان المدمجة شكلا من أشكال نظم التغذية الكهربائية التي يمكن أن تمتد في جميع أرجاء المبنى لتوصيل الكهرباء من مصدر التغذية المتاح إلى الأحمال كل في مكانه. ويزكى استخدام هذه القضبان في الأماكن كثيفة الأحمال الكهربية (مثل المصانع والمباني الإدارية والتجارية الكبيرة وكبيرة الارتفاع) أو الأماكن التي يتقرر استخدامها بشكل مختلف عن الغرض الأصلي الذي أنشئت من أجله ولا يمكن تغيير مسارات مجاري الأسلاك والكابلات الكهربائية التي كانت موجودة بها أصلا كي تناسب الاستخدام الجديد للمبنى.

والقضبان المدمجة عبارة عن موصلات معزولة عن بعضها البعض وعن جسمها الخارجي الذي عادة ما يكون عبارة عن غلاف معدني وأحيانا ما يكون مادة عازلة مصبوبة. ومجموعة القضبان المدمجة المكونة لشبكة توزيع داخلية في مبنى ما يمكن تمثيلها بشجرة التي تمثل القضبان ذات السعة الكبيرة ساقها بينما تكون القضبان ذات السعات الصغيرة ممثلة للفروع الكبيرة والفروع الصغيرة التي يقل مقاسها كلما زاد تفرعها بعيدا عن الساق.

تصنع الموصلات المستخدمة في القضبان المدمجة إما من النحاس أو من الألمونيوم عالي النقاوة. أما الغلاف المعدني للقضبان المدمجة فغالبا ما يكون من الصاج المجلفن أو من الألمونيوم المشكل بالكبس. وتصنع القضبان وتختبر بالكامل في

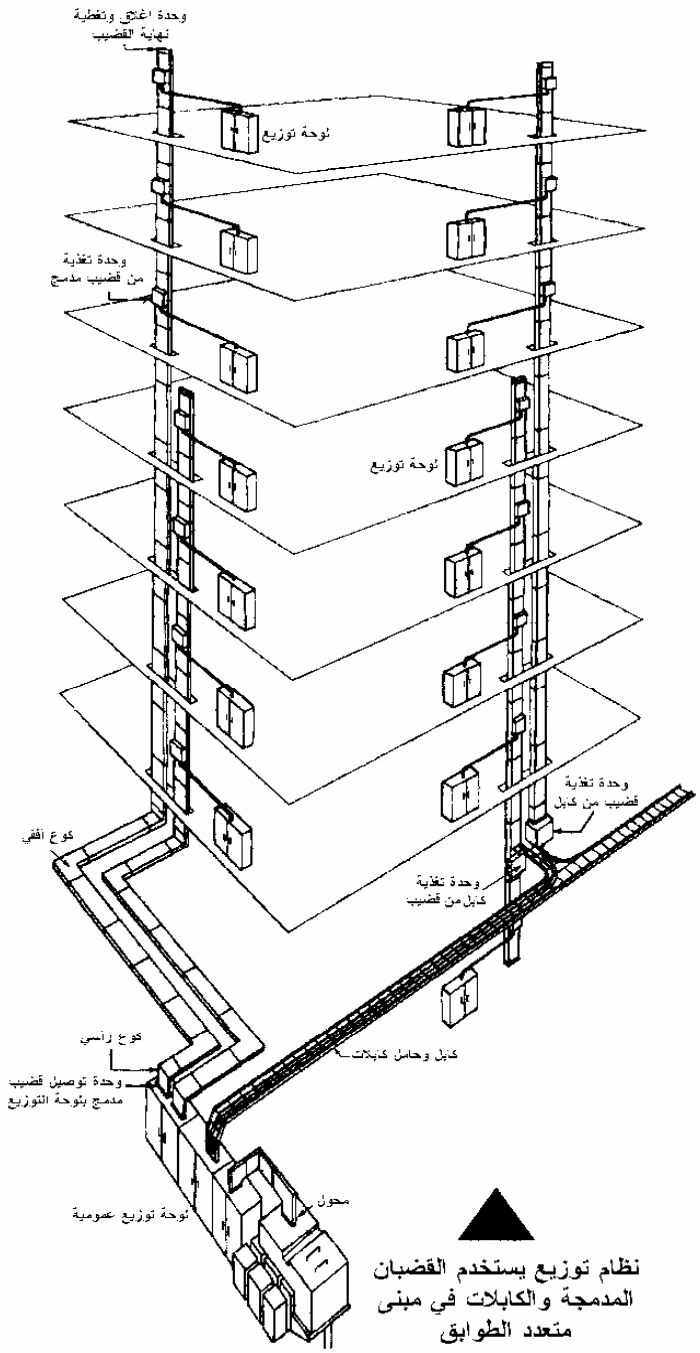
المصانع المتخصصة وتنقل إلى المواقع التى سيتم تركيبها فيها كاملة الصلاحية للتركيب. ويكون الجزء الأساسي من القضبان المدمجة عبارة عن وصلات مستقيمة ذات أطوال قياسية غالبا ما تكون 2 أو 3 متر.

تمدد القضبان في المبانى إما مثبتة على الجدران أو الأسقف أو معلقة من الأسقف. ونظرا لأن القضبان يمكن أن تعبر من غرفة إلى غرفة في نفس الطابق ومن طابق إلى طابق في المباني متعددة الطوابق، فإنها تصنع على شكل وصلات تحتاج إلى أنواع عديدة من القطع التكميلية التي تستخدم في توصيلها إلى مصادر التغذية والأحمال ومعدات القطع والوقاية وتوصيلها ببعضها البعض وتغيير مساراتها أفقيا ورأسيا حسب ظروف المكان. ويوضح الشكل (7–6) مجموعة من القضبان المدمجة الموصلة للوحة توزيع والمعلقة من سقف غرفة الكهرباء.

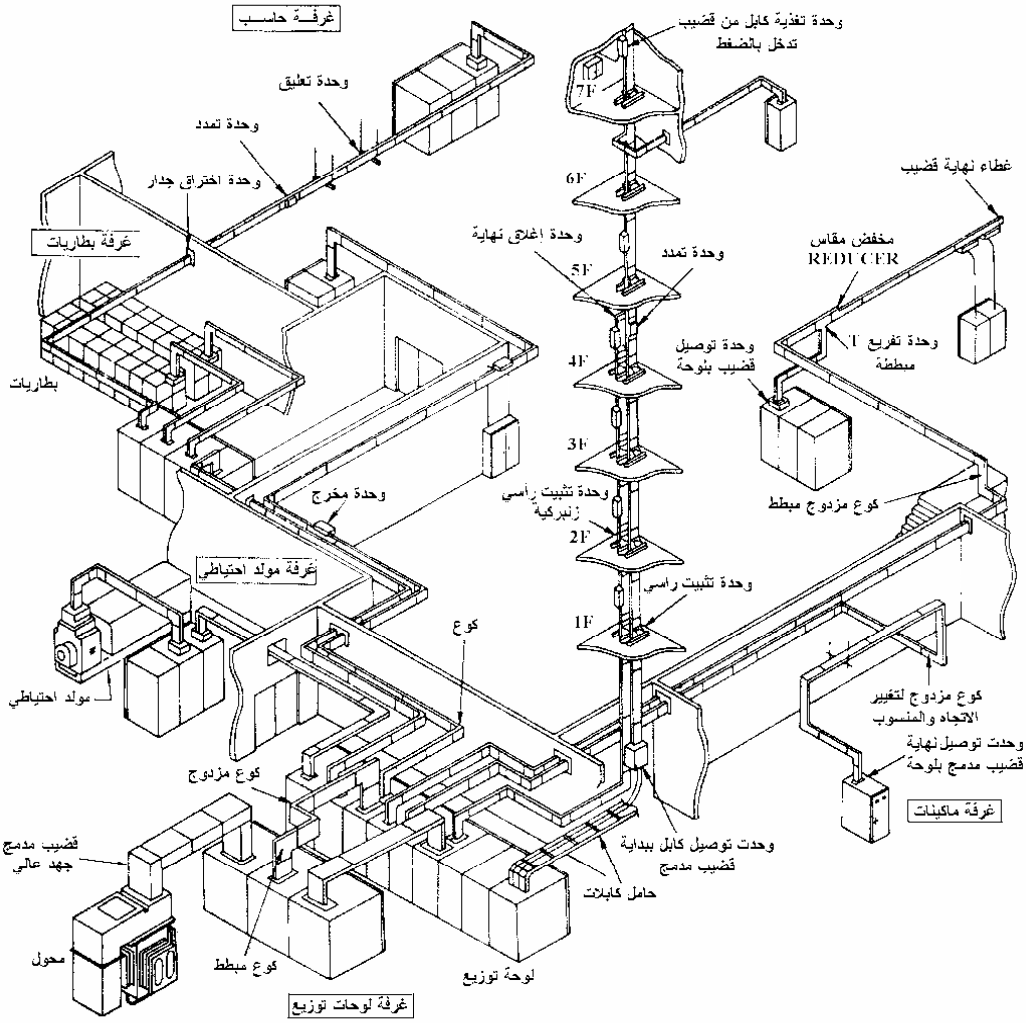


شكل رقم (7-6): صورة توضح القضبان المدمجة الخارجة من لوحة توزيع بغرفة كهرباء

ويوضح الشكلان (7-7) (7-8) نموذجين لنظامي توزيع داخل المبـــاني يـــستخدمان القضبان المدمجة.



شكل رقم (7-7): رسم تخطيطي يوضح نموذجا لشبكة توزيع جهد منخفض مكونة بصفة أساسية من قضبان مدمجة



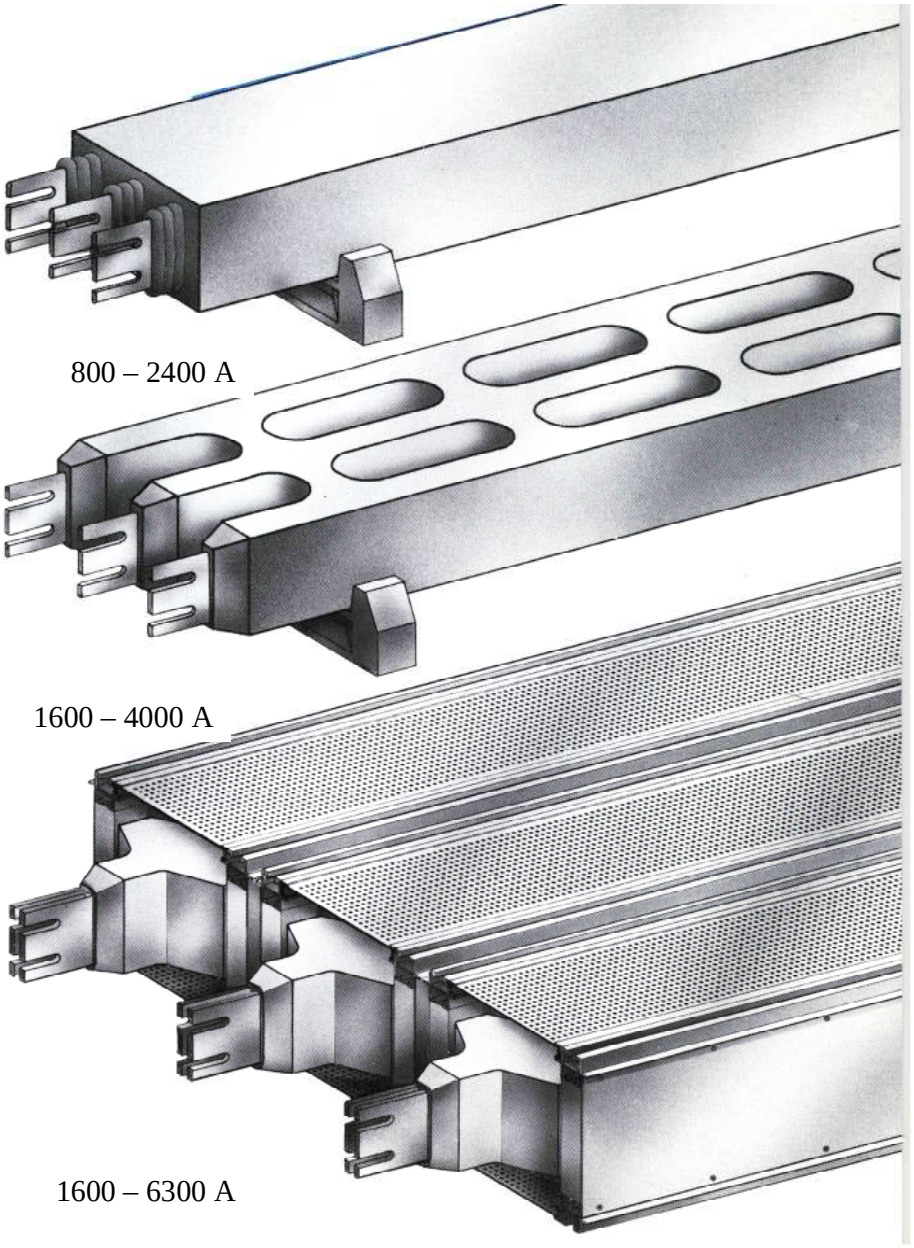
نظام متكامل للتوزيع باستخدام القضبان المدمجة

شكل رقم (7-8): رسم تخطيطي لنظام توزيع متكامل يستخدم القضبان المدمجة

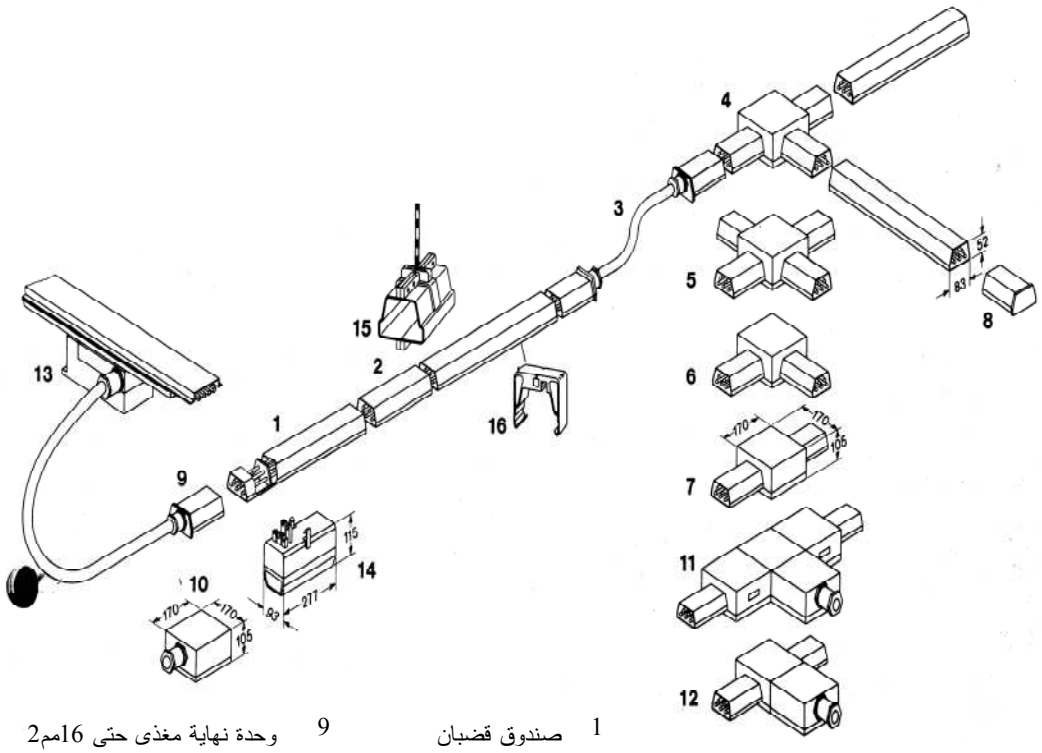
(أ) مكونات نظم القضبان المدمجة

تصنع القضبان المدمجة بمقاسات مختلفة تتراوح سعتها مابين 25 أمبير و 5000 أمبير، أنظر شكل (7-9). ومنها ما يستخدم كموزع لتغذية مجموعة من وحدات الإنارة داخل غرفة محدودة المساحة وما يستخدم كناقل لربط أطراف الجهد المنخفض بمحول توزيع بلوحة التوزيع العمومية الخاصة به.

ومنها أيضا ما يستخدم في ربط لوحات التوزيع العمومية بواحدة أو أكثر من لوحات التوزيع الفرعية. ويوضح شكل (7–10) مكونات نظام القضبان المدمجة.



شكل رقم (7–9) : بعض أشكال للقضبان المدمجة وسعتها

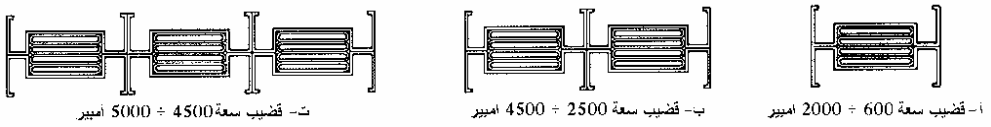


1	صندوق قضبان	9	وحدة نهاية مغذى حتى 16مم2
2	وصلة تمدد	10	وحدة نهاية مغذى حتى 35مم2
3	وصلة مرنة	11	وحدة مغذى فى المركز حتى 70مم2 مزود بمصاهر ثلاثية مزدوجة
4	صندوق حرف T	12	وحدة مغذى فى المركز حتى 70مم2 بدون مصاهر
5	صندوق تعامدى	13	وحدة انتقال (وحدة تفريع من نظام أكبر)
6	صندوق حرف L	14	وحدة تفريع
7	صندوق وسيط	15	فلانشة تحميل وحمالة تعليق
8	فلانشة نهاية	16	حمالة تثبيت

شكل رقم (7-10): مكونات نظام القضبان المدمجة

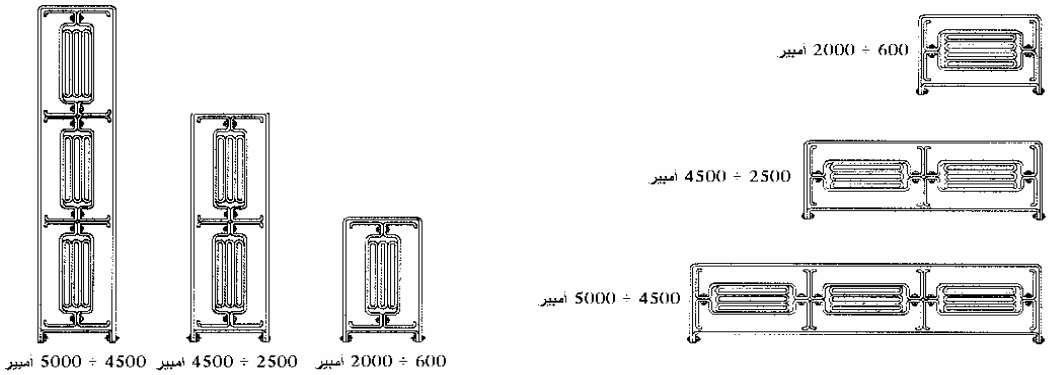
عند استخدام قضبان لتغذية لوحة توزيع فرعية واحدة من لوحة توزيع عمومية فإن هذه القضبان تكون من النوع الناقل (Feeder Type Bus Duct). أما القضبان التي تستخدم لتغذية مجموعة من لوحات التوزيع الفرعية من لوحة

عمومية فتكون من النوع المـــوزع (Distributor Type Bus Duct). ويوضـــح الشكل (7–11) مقاطع مستعرضة في ثلاثة أنواع من القضبان المدمجة تتراوح سعتها لنقل التيار مابين 600 أمبير و 5000 أمبير وجميعها من نوع مناســـب للتركيب داخل المبنى (Indoor Type).



شكل رقم (7–11): مقطع مستعرض في ثلاثة قضبان مدمجة ذات سعات مختلفة ومن نوع مناسب للتركيب داخل المباني

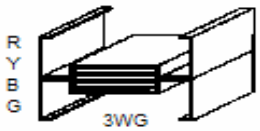
ويوضح الشكل (7–12) قطاعات مستعرضة في مجموعة مماثلة من القضبان ولكنها جميعها صالحة للتركيب خارج المبنى (Outdoor Type) . وكمـــا هـــو واضح من الشكل فإن الفارق مابين مجموعة القضبان في (أ) من الشكل وتلـــك الموجودة في (ب) هو فقط كيفية تثبيتها.



شكل رقم (7–12): قطاع مستعرض في مجموعة من القضبان المدمجة المناسبة للتركيب خارج المباني

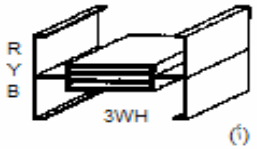
ويختلف تصميم القضبان المدمجة طبقا لعدد موصلاتها والذي يتحدد بصفة أساسية طبقا لنوع الحمل ونوع نظام التوزيع الذي ستستخدم فيه القضبان. ويوضح الشكل (7-13) قطاعات مستعرضة في أربعة أنواع من القضبان جميعها مناسبة للاستخدام في شبكات التوزيع ثلاثية الأطوار إلا أنها تتباين فيما بينها كالآتي:

* مجموعة القضبان فى شكل (أ) ثلاثية الموصلات، والموصلات جميعها خاصة بالأطوار الثلاثة لمصدر التغذية ولا يوجد بها موصل لخط التعادل. ويستخدم الغلاف المعدني لهذه القضبان كموصل تأريض وهو يكافئ من ناحية المقاومة الكهربية موصل له ضعف مقاومة موصلات الأطوار. ويراعى في تصميم هذا النوع من القضبان المحافظة على استمرارية الاتصال الكهربي بين جميع الوصلات والقطع المكونة لشبكة التوزيع. وهذا النوع من القضبان لا يصلح للاستخدام إلا مع الأحمال ثلاثية الأطوار أو الأحمال أحادية الطور التي تعمل على جهد الخط وليس جهد الطور.
* مجموعة القضبان فى شكل (ب) مكونة من أربعة موصلات، ثلاثة منها متماثلة وخاصة بأطوار مصدر التغذية أما الموصل الرابع فخاص بخط الأرضي الوقائي (Protective Earth conductor) ومساحة مقطعه نصف مساحة أي من موصلات الأطوار. ولا يستخدم الغلاف المعدني لهذه القضبان لأغراض التأريض نظرا لأن تصميم القضبان لا يضمن استمرارية الاتصال الكهربي بين أغلفة الأجزاء المختلفة المكونة لشبكة التوزيع. ونظرا لعدم وجود موصل لخط التعادل فإن هذا النوع من القضبان أيضا لا يصلح للاستخدام إلا مع الأحمال ثلاثية الأطوار أو الأحمال أحادية الطور التي تعمل على جهد الخط وليس جهد الطور.



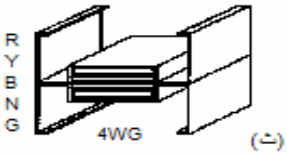
(ب)

- قضبان مدمجة ثلاثية الأطوار رباعية الموصلات
- لا يوجد موصل خاص للأرضي
- يوجد موصل خاص للأرضي مساو لنصف مساحة قطاع أي من موصلات الأطوار



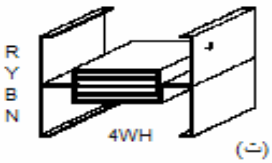
(أ)

- مجموعة قضبان ثلاثية الأطوار وثلاثية الموصلات
- لا يوجد موصل تعادل
- الغلاف يستخدم كأرضي ويكافئ نصف مساحة قطاع أي من موصلات الأطوار
-



(ث)

- مجموعة قضبان ثلاثية الأطوار خماسية الموصلات
- موصل التعادل مماثل لموصلات الأطوار
- موصل خاص للأرضي مساو لنصف مساحة قطاع أي من موصلات الأطوار



(ت)

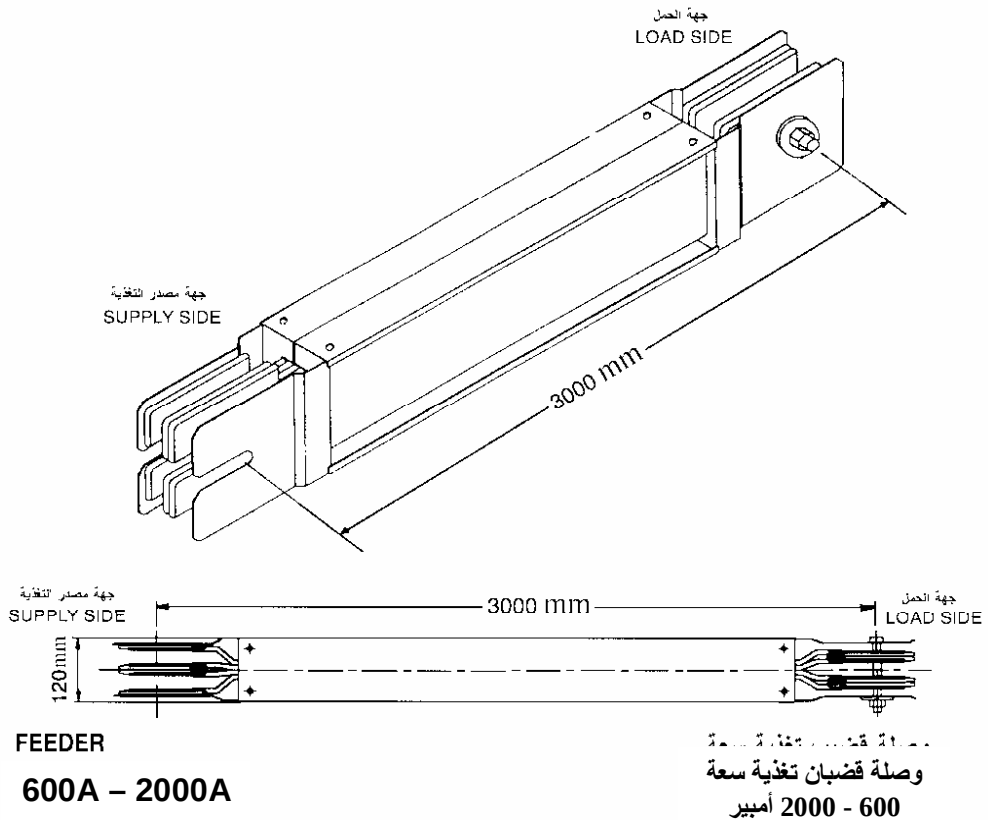
- مجموعة قضبان ثلاثية الأطوار رباعية الموصلات
- موصل التعادل مماثل لموصلات الأطوار
- الغلاف يستخدم كأرضي ويكافئ نصف مساحة قطاع أي من موصلات الأطوار

شكل رقم (7-13): قطاعات مستعرضة في أربعة أنواع من القضبان المدمجة ثلاثية الأطوار

* القضبان فى الشكل (ت) تتكون من أربعة موصلات متماثلة ثلاثة منها خاصة بأطوار مصدر التغذية والرابع خاص بخط التعادل. أما الغلاف المعدني فيمكن أن يستخدم لأغراض التأريض فقط إذا كان تصميم القضبان يضمن استمرارية الاتصال الكهربي بين مكونات نظام التوزيع فإن الغلاف المعدنى يعتبر خط الأرضى ومقاومة هذا الغلاف تساوي ضعف مقاومة موصلات الأطوار.
* القضبان فى الشكل (ث) تشتمل على خمسة موصلات أربعة منها متماثلة والخامس له نصف مساحة مقطع أي من الموصلات الأربعة. وتخصص الموصلات الأربعة المتماثلة لأطوار نظام التغذية الثلاثة ولخط التعادل. أما الموصل الخامس فخاص بخط التأريض الوقائي.

(ب) قضبان التغذية (Feeder Bus Duct)

لا يمكن أخذ أي تغذية فرعية من قضبان التغذية العمومية حيث أنها مزودة بطرفي توصيل فقط أولهما يكون ناحية مصدر التغذية وثانيهما يكون ناحية الحمل. ولا تصلح أطراف الوصلات والقطع المكونة للقضبان إلا لربطها ببعضها البعض. ويوضح الشكل (7-14) رسما تخطيطيا لإحدى وصلات قضبان تغذية.

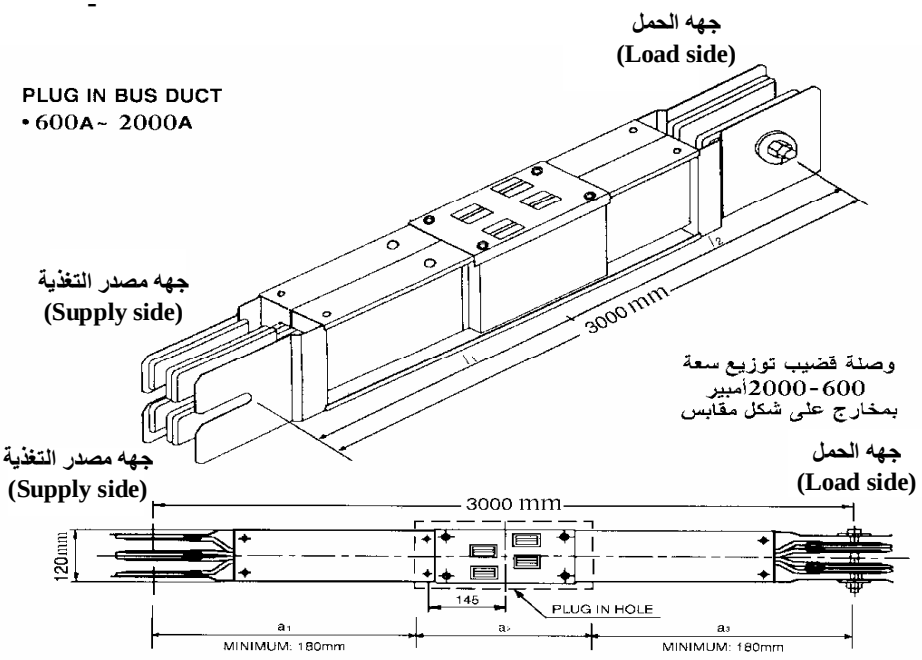


شكل رقم (7-14): وصلة قضبان تغذية

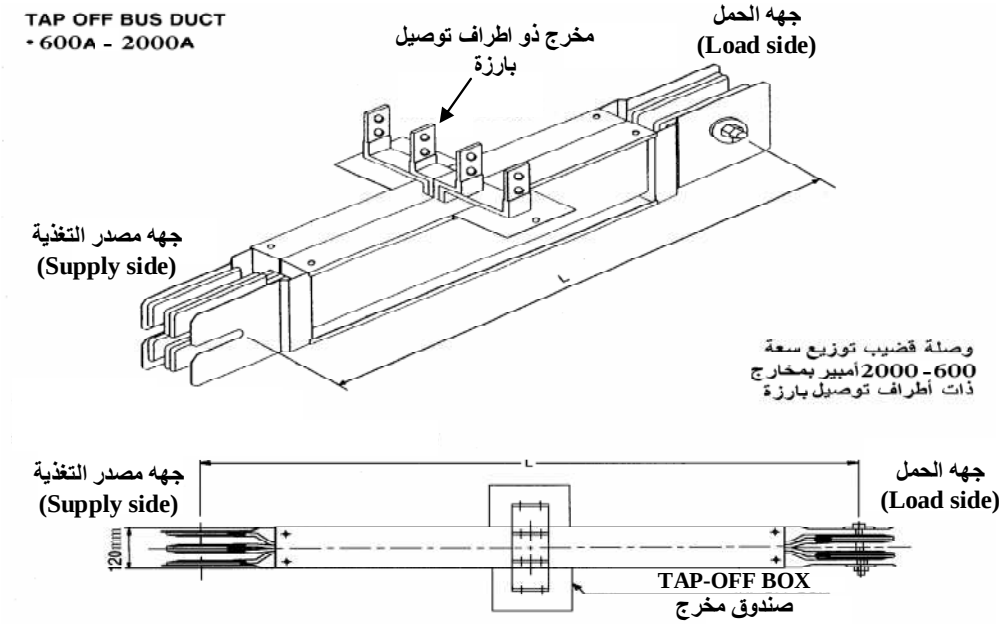
(ت) قضبان التوزيع (Distributor Bus Duct)

تصمم قضبان التوزيع والتي يمكن توصيل أحمال عليها من مخارج مركبة بين بدايتها ونهايتها بحيث تكون بها مخارج على مسافات منتظمة على كامل طولها. ويوجد نوعان من هذه القضبان وذلك بناءً على شكل المخارج الموزعة على طولها. يكون المخرج في النوع الأول على شكل مقبس مهيئ لاستقبال

قابس الدائرة الفرعية المغذية للحمل. وكما هو موضح في الشكل (7-15). أما النوع الثاني فيزود بمخارج ذات أطراف توصيل بارزة كما هو موضح في الشكل (7-16). ولا يترك النوع الأخير من المخارج مكشوفا وإنما يوضع داخل علب معدنية تصمم خصيصا لتركيب القواطع الآلية أو المصاهر المناسبة بداخلها لوقاية الدائرة الفرعية التي ستغذى من المخرج وتكون هذه العلب مزودة عادة بأبواب محكمة الغلق وبها آلية تأمين تمنع فتح الباب قبل فصل دائرة المخرج من خلال القاطع الموجود بداخلها.



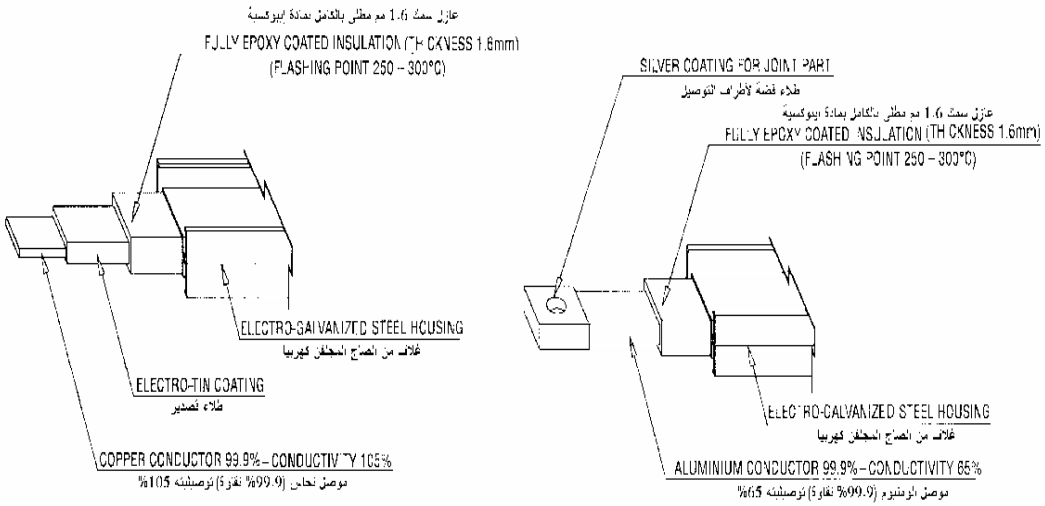
شكل رقم (7-15): قضبان توزيع مزودة بمخارج على شكل مقابس



شكل رقم (7–16): قضبان توزيع مزودة بمخارج على شكل أطراف بارزة مناسبة لربط أطراف موصلات الدوائر الفرعية أو وسائل حمايتها مباشرة معها

(ث) أنواع موصلات القضبان المدمجة

تتكون القضبان المدمجة من موصلات معزولة وتكون مصنعة إما من النحاس عالي النقاوة أو من الألومنيوم عالي النقاوة (درجة النقاوة 99.9٪). وتكون الموصلات على شكل قضبان مستطيلة المقطع مستديرة الأركان ويكون طولها حسب طول القطعة أو الوصلة التي سيستخدم فيها. وتجهز أطراف كل موصل بطريقة مناسبة لربط الوصلات ببعضها البعض لتكوين نظام متكامل للقضبان المدمجة صالح للاستخدام كشبكة للتوزيع أو كناقل لربط وحدات منظومة التوزيع ببعضها البعض. ويعزل كل موصل على حدة وترص مجموعة الموصلات الخاصة بالقضبان المدمجة بجانب بعضها ثم توضع داخل الغلاف. ويوضح الشكل (7–17) مقطعين في القضبان المدمجة نوعين من أحدهما بموصل نحاسي والآخر بموصل ألومنيوم. وينبغي ملاحظة كيفية عزل الموصلات وأن الموصلات النحاسية يتم قصدرتها وأن أطراف التوصيل الخاصة بالموصلات الألومنيوم تغطى بطبقة من الفضة لتقليل مقاومة التلامس بين الوصلات.

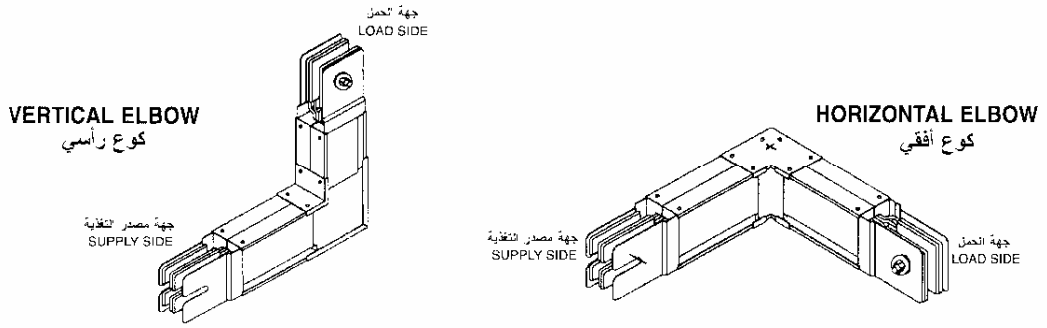


شكل رقم (7–17): رسم توضيحي لنوعين من الموصلات مستخدمين في القضبان المدمجة وللغلاف الخارجي للقضبان

(جـ) وحدات مدمجة لتغيير مسار القضبان

كثيرا ما تفرض ظروف المبنى تغيير مسار القضبان المدمجة. ولهذا الغرض تصمم القضبان المدمجة بحيث يمكن تغيير مسارها باستخدام وحدات خاصة تربط نهاية القضبان في مسارها القديم ببدايتها في مسارها الجديد. وغالبا ما تكون تلك الوحدات على شكل أكواع بزاوية 90 درجة. وهناك العديد من تصميمات الأكواع كي تناسب الأوضاع المختلفة لمسارات القضبان.

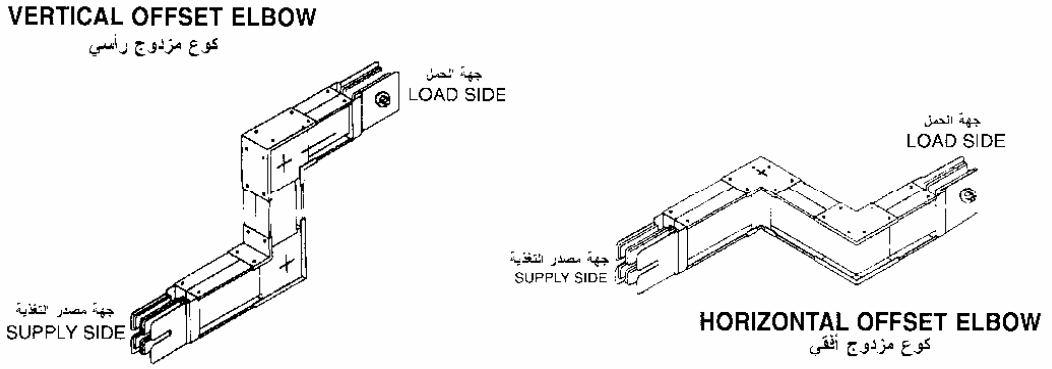
ويوضح الشكل (7-18) أشكال بسيطة لهذه الأكواع وهما الكوع الأفقي شكل (أ) والكوع الرأسي (شكل ب).



(أ) (ب)

شكل رقم (7-18): أشكال أكواع القضبان المدمجة

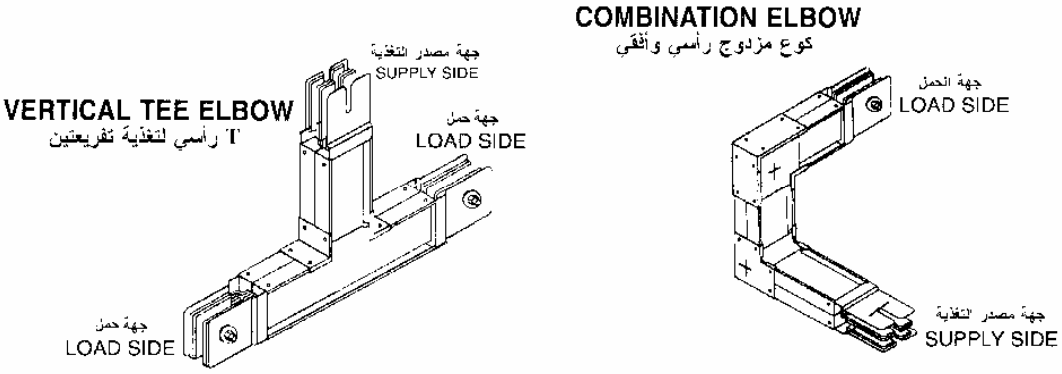
أما الشكل (7-19) فيوضح نوعين آخرين من الأكواع أولهما (شكل أ) عبارة عن كوع مزدوج أفقي يستخدم في تغيير مسار القضبان إلى مستوى آخر موازٍ له أو إلى مستوى رأسي آخر للقضبان الرأسية. أما النوع الثاني (شكل ب) فكوع مزدوج رأسي ويستخدم لتغيير مسار القضبان من مستوى رأسي إلى مستوى رأسي أخر مواز له مع المحافظة على الاتجاه الأصلي للقضبان.



(ب) (أ)

شكل رقم (7–19): كوع مزدوج أفقي وكوع مزدوج رأسي

وتوجد أشكال أخرى من الأكواع المزدوجة مثل تلك الموضحة في الشكل (7–20). ويستخدم الكوع (شكل أ) في الأماكن التي تقتضي تغيير اتجاه مسار القضبان بزاوية 90 درجة وتغيير وضعها من رأسي إلى أفقي أو العكس. أما النوع الثانى (شكل ب) فعبارة عن شكل T لعمل تفريعة في اتجاه عمودي على اتجاه القضبان الأصلي (إذا ما كان هذا الأخير سيظل مستمرا في مساره) أو لعمل تفريعتين على استقامة واحدة ومتعامدتين على القضبان الرأسية إذا كانت القضبان الأصلية منتهيه عند هذا الكوع.



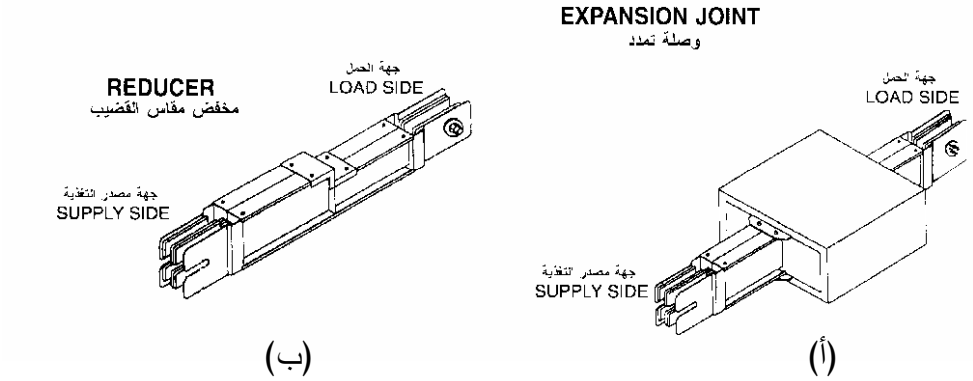
(ب) (أ)

شكل رقم (7–20): كوع مزدوج رأسي وأفقي وكوع على شكل T

(ح) وصلات التمدد ووحدات ربط قضيبين ذوي مقاسين مختلفين

عند عبور القضبان المدمجة فاصل للتمدد بين أجزاء المبنى، يتطلب الأمر أن يكون اتصال جزئي القضبان الممتدة على جانبي فاصل التمدد مرنا كي يكون قادرا على امتصاص حركة جزئي المبنى نسبياً ويكون ذلك باستخدام وصلة تمدد (Expansion Joint) الموضحة فى شكل (أ).

عند زيادة عدد المخارج المأخوذة من قضبان التوزيع، فإن التيار المتبقي بعد تغذية الأحمال الموصلة على هذه المخارج عادة ما يكون أقل بدرجة ملحوظة من التيار الأصلي لقضبان التوزيع. وفي هذه الحالة يمكن استخدام قضبان أصغر ذو سعة مناسبة لقيمة التيار المتبقي لتغذية باقي الأحمال. وفي هذه الحالة تكون هناك حاجة لاستخدام وحدة توصيل مخفضة لمقاس القضبان كتلك الموضحة فى شكل (ب) وتسمى مخفض (Reducer)



(أ) (ب)

شكل رقم (7-21): وصلات التمدد ومخفضات مقاس القضبان

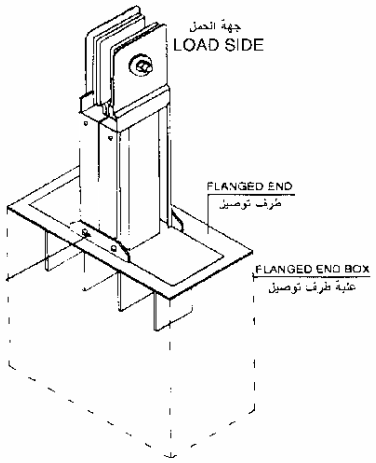
(خ) وحدات مدمجة لتوصيل القضبان المدمجة بلوحات التوزيع

- تتميز القضبان المدمجة بأنها تشغل حيزاً صغيراً جدا بالنسبة للتيار الذي تحمله بالمقارنة بالكابلات، ولذا فإن تصميمها دائما يراعي أن تكون أبعادها الكلية أقل ما يمكن، ومن هذا المنطلق فإن المسافات الفاصلة بين موصلات تلك القضبان تكون أيضا أقل ما يمكن وهو ما لا يسمح بتوصيل نهايات (أو بدايات) تلك القضبان إلى القواطع الموجودة بلوحات التوزيع مباشرة وهذا

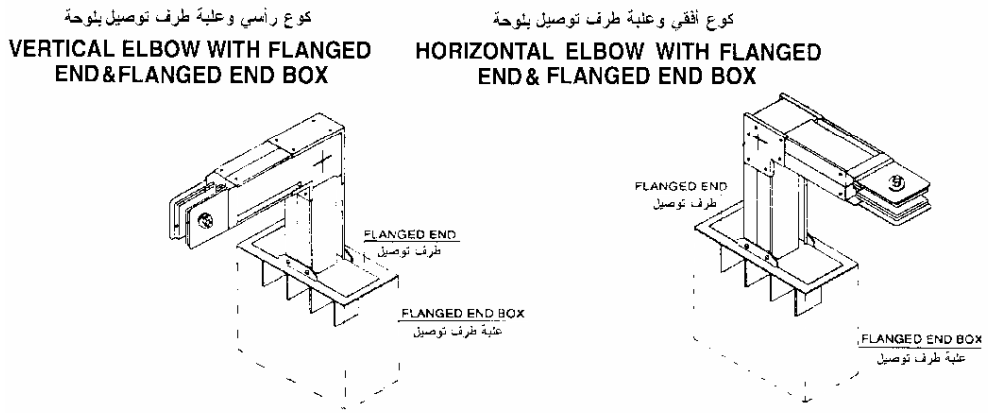
يستوجب استخدام وحدات نهاية (أو بداية) خاصة تعشق مع نهاية (أو بداية) القضبان من ناحية وإلى القاطع الموجود داخل اللوحة (أو أية موصلات مربوطة على أطرافه) من الناحية الأخري.

- ويوضح شكل (7-22) وحدة من هذا النوع. وكما هو واضح من الشكل فإن موصلات هذه الوحدة تكون عمودية على سطح اللوحة التي ستوصل إليها وبالتالي فإن الوصلات التي تربط بهذه الوحدة لابد وأن تكون على استقامتها ما لم تستخدم أكواع لتغيير الاتجاه. أما إذا كانت هناك حاجة لتغيير مسار القضبان المدمجة عند خروج وحدة النهاية من اللوحة، فإنه يمكن استخدام وحدات نهاية على شكل أكواع كتلك الموضحة في الشكل (7-23).وتقوم هذه الوحدات بدور النهاية والكوع في نفس الوقت.
- تكون الوصلة من وحدات البداية والنهاية عبارة عن وحدات مرنة (Flexible connectors) وتتضح أهمية أن تكون كذلك عند الربط بين القضبان وبعض الماكينات لمنع انتقال الاهتزازات إلى هذه القضبان (كما فى حالة ماكينات توليد الكهرباء) أو للسماح للقضبان بالتمدد والانكماش نتيجة لمرور أو عدم مرور التيار.

مغذي منتهي بطرف توصيل وعلبة نهاية
FEEDER WITH FLANGED END & FLANGED END BOX



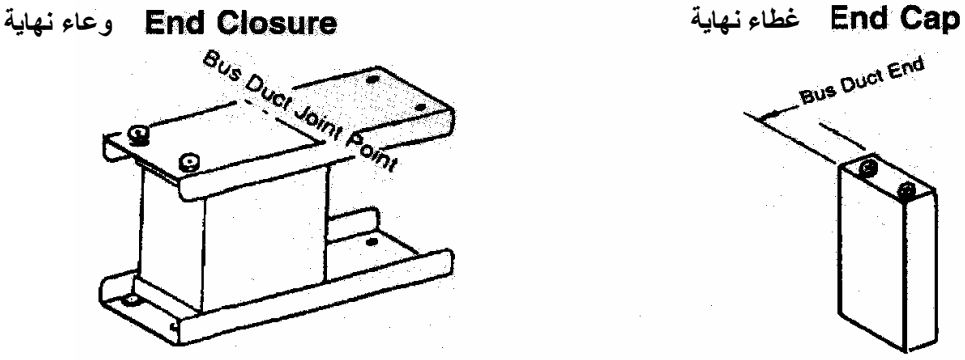
شكل رقم (7-22): وحدة بداية (أو نهاية) لقضبان مدمجة يبدأ من (أو ينتهي ب) لوحة توزيع



شكل رقم (7–23): وحدة بداية (أو نهاية) على شكل كوع لقضبان مدمجة يبدأ من (أو ينتهي ب) لوحة توزيع

(د) وحدة إغلاق نهاية قضبان

نظرا لأن الموصلات الخاصة بوصلات القضبان المدمجة (وجميع وحداتها التكميلية) غالبا ماتكون عارية عند أطرافها وأن اتصال الوحدات ببعضها البعض هو الذي يغطي تلك الموصلات العارية فإن الموصلات عند أطراف الوحدات الواقعة في نهاية القضبان تظل عارية. ولمعالجة هذا الوضع يوجد ضمن الوحدات التكميلية الخاصة بالقضبان المدمجة وحدة نهاية أو وحدة غطاء للنهاية كتلك الموضحة في الشكل (7–24).

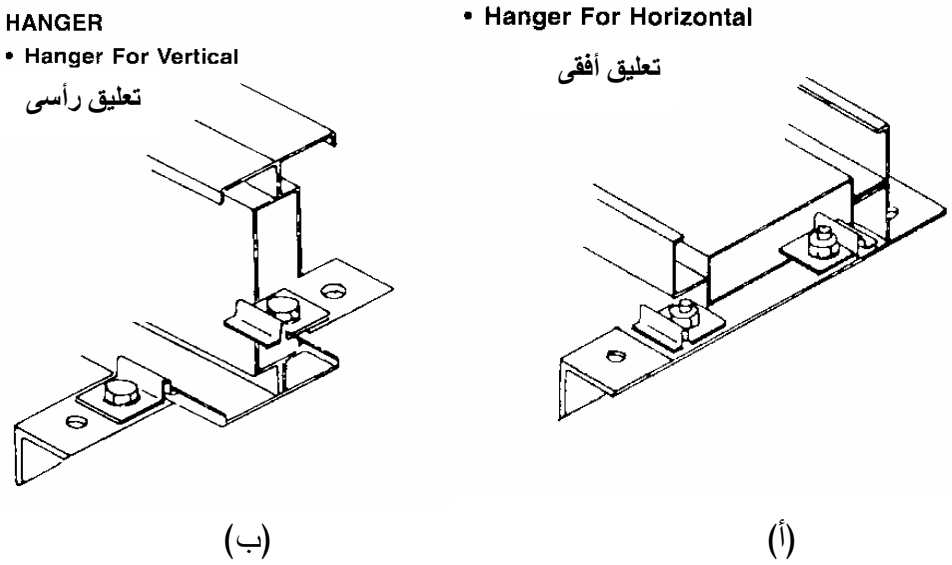


(أ) وحدة نهاية قضبان مدمجة (ب) وحدة إغلاق نهاية قضبان مدمجة

شكل رقم (7–24): وحدة إغلاق ووحدة نهاية قضبان مدمجة

(ذ) وحدات تثبيت القضبان

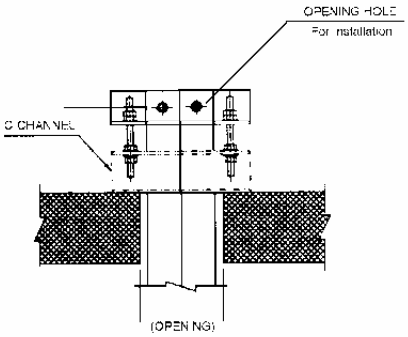
عند تثبيت القضبان رأسياً أو أفقياً على الجدران أو أفقياً على الأسقف أو عند تعليقها بالأسقف فإن الأمر يحتاج إلى وحدات تثبيت خاصة مناسبة لهذا الغرض كتلك الموضحة في الأشكال (7-25) و (7-26) و (7-27).

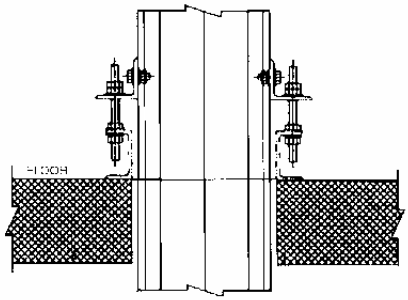


شكل رقم (7-25): تثبيت القضبان أفقياً (أ) أو رأسياً (ب)

تعليق القضبان رأسياً
(500 – 1200 أمبير)

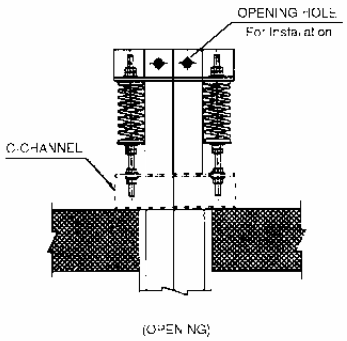
VERTICAL HANGER
• 1200A ~ 5000A

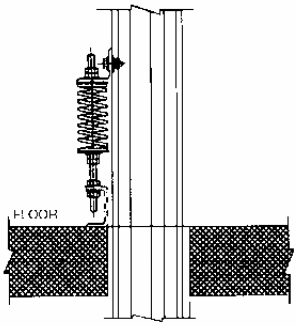




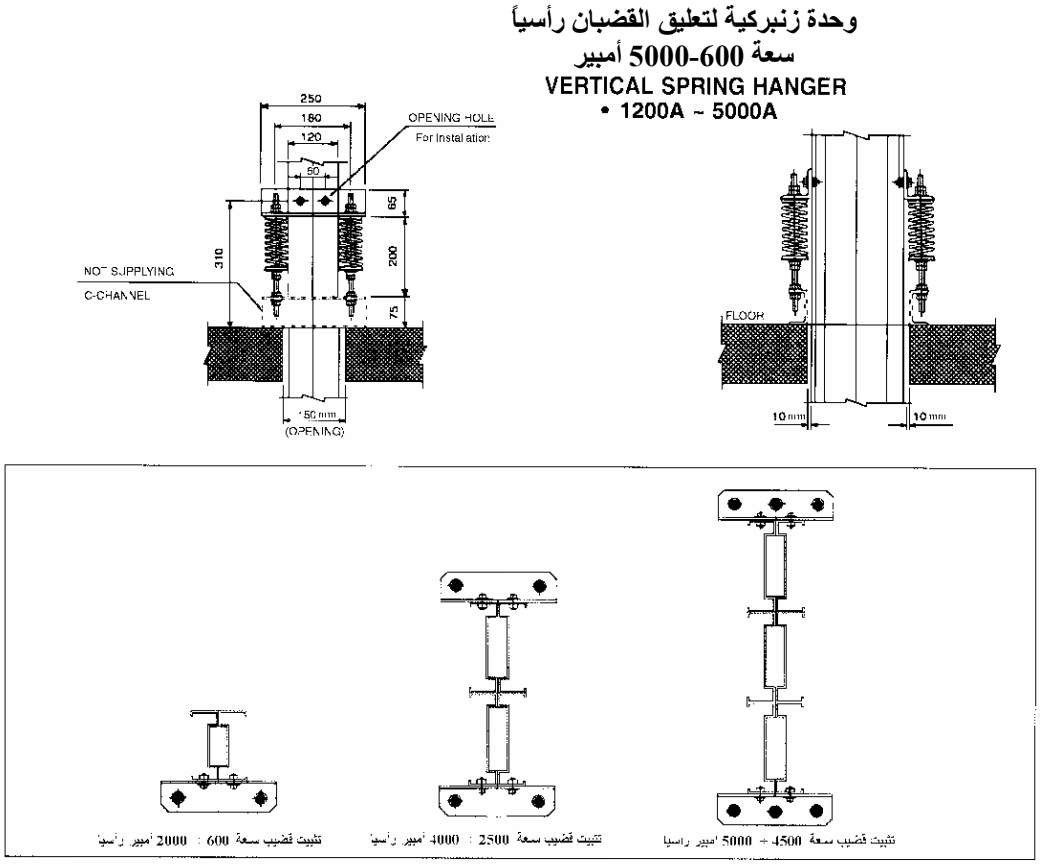
تعليق القضبان رأسياً باستخدام زنبركات
(600 – 1000 أمبير)

VERTICAL SPRING HANGER
• 600A ~ 1000A





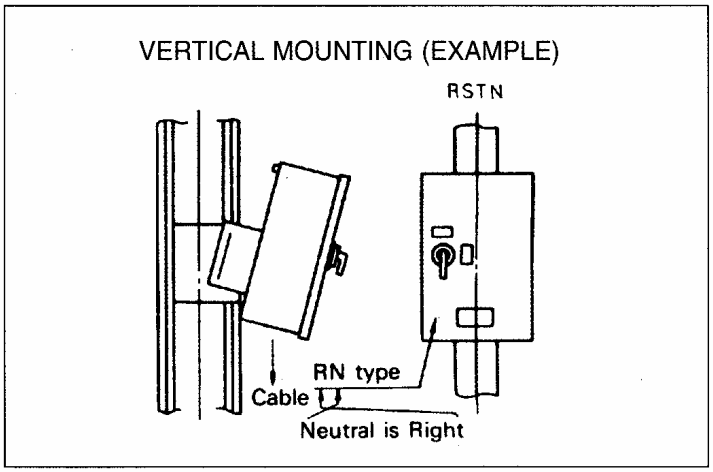
شكل رقم (7–26): مرور القضبان رأسيا عبر الأسقف



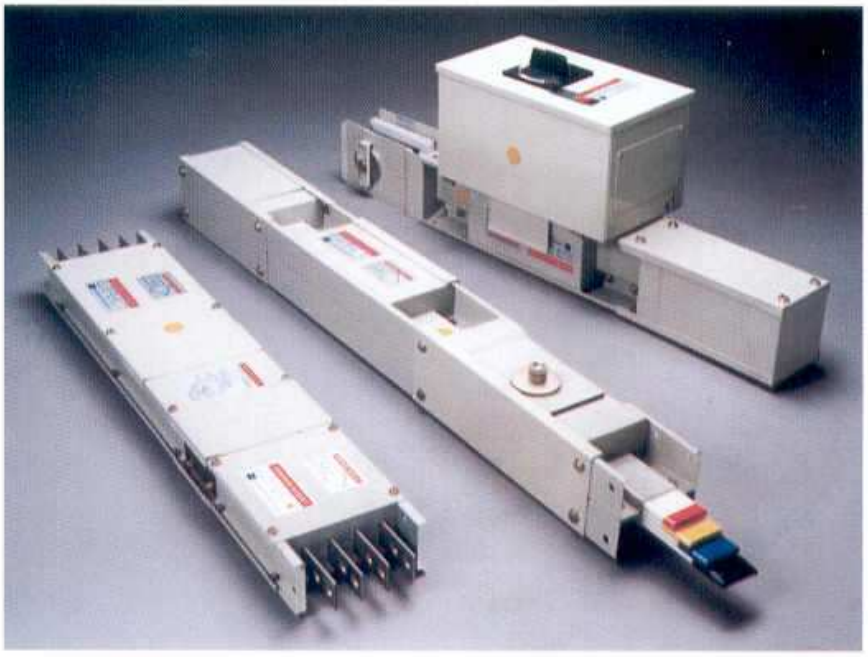
شكل رقم (7-27) عبور قضبان ذات سعات مختلفة رأسيا عبر الأسقف

(ر) صناديق المخارج

تبين الأشكال (7-28) و (7-29) و (7-30) كيفية تثبيت صندوق تفريغ على قضبان مدمجة.

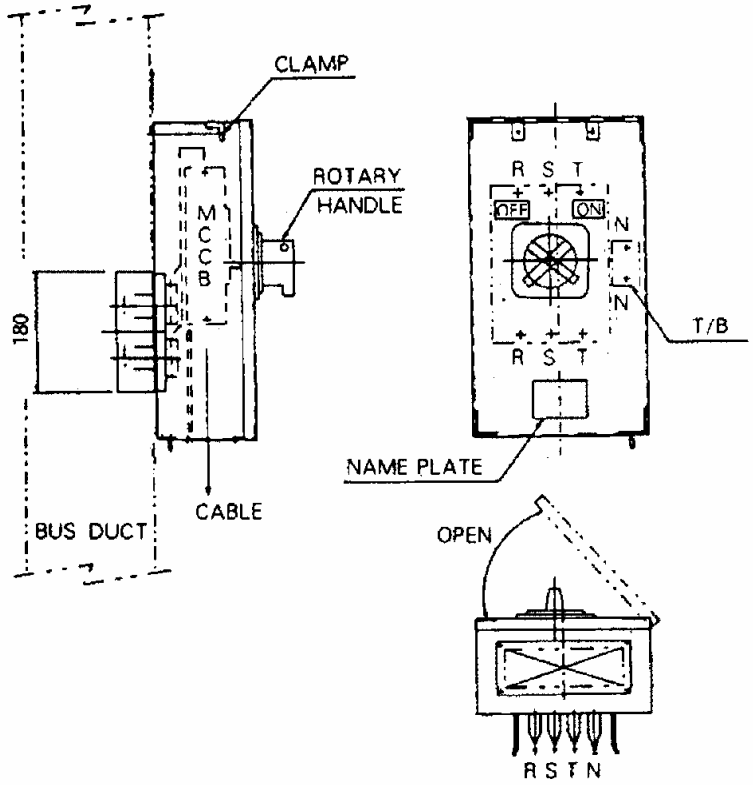


شكل رقم (7-28): رسم تخطيطي لصندوق مخرج موضحاً به كيفية تثبيته بالقضبان المدمجة



شكل رقم (7-29): صورة لنماذج من القضبان المدمجة
وأحدها (العلوي) مركب عليه صندوق مخرج فرعى

- صندوق وصل مزود بقاطع مقولب



شكل رقم (7-30): رسم تخطيطي لقضبان مدمجة مركب عليها صندوق مخرج بابه مفتوح (أسفل) أو مغلق (أعلى)

7-2-2 تصميم واختيار كابلات الجهد المنخفض

عام

تستخدم كابلات الجهد المنخفض فى ربط المحولات بلوحات الجهد المنخفض الرئيسية وفى شبكات تغذية اللوحات الفرعية وفى تغذية المعدات فى النظام من اللوحات الفرعية أو قد تستخدم فى شبكات التوزيع لتغذية المعدات.

كما يمكن استخدام قضبان ربط (Bus ducts) لربط المحولات بلوحات الجهد المنخفض الرئيسية.

عند تصميم و اختيار كابلات الجهد المنخفض فى أي من تطبيقات التغذية الكهربية فهناك عدة عوامل يجب دراستها. و هذه العوامل هي:

(1) نوعية الحمل (محرك – إضاءة – سخان) وتحديد القدرة الكهربية (من الممكن أن تكون ك.ف.أ أو كيلو وات) و منها يتم حساب أقصى تيار ينتظر مروره في كابل التغذية مع معرفة جهد التشغيل ومراعاة تطور الأحمال (إن وجد).

(2) أقصى سماحية للهبوط في الجهد.

(3) حساب تيار القصر وأجهزة الحماية.

(4) الظروف المحيطة أثناء التركيب والتشغيل وعوامل تصحيح السعة التيارية للكابلات.

(أ) حساب تيار الحمل

لاختيار الكابل المناسب , يجب معرفة جهد التشغيل والتيار الكهربى للحمل، ويمكن تطبيق المعادلات (7–6) أو (7–7) أو (7–8) لحساب تيار الحمل :

$$I_n = \frac{kW \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos\Phi} \qquad (7\text{-}6)$$

أو

$$I_n = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \qquad (7\text{-}7)$$

أو

$$I = \frac{HP \times 0.746 \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi \times \eta} \qquad (7\text{-}8)$$

حيث:

I : تيار الحمل الكامل

V : فرق الجهد بين الأطوار (r.m.s)

$\cos\phi$: معامل القدرة للحمل

η : كفاءة المحرك

ويتم استخدام قيمة الحمل لتحديد مساحة مقطع الكابل وذلك بالرجوع إلى جداول سعة حمل الكابلات بأنواعها المختلفة فى المجلد الثالث من الكود المصرى لأسس تصميم وشروط تنفيذ التركيبات الكهربائية فى المبانى حسب ظروف التشغيل.

ويتم تحديد قطاع الكابل على أن يتحمل قيمة تيارية أعلى نسبيا من تيار الحمل 120٪ كعامل أمان وفى حالة أن تكون نوعية الأحمال محركات كهربائية يوصى بأن يتحمل الكابل نسبة 125٪من التيار المقنن لهذا الحمل وذلك بسبب التيار العالى المسحوب عند بدء تشغيل هذه المحركات الكهربائية.

عند تصميم واختيار كابلات الجهد المنخفض يتم اتباع نفس الخطوات الواردة بالنسبة لكابلات الجهد المتوسط لحساب أقصى تيار من المتوقع مروره فى هذه الكابلات.

مثال (5):

محول قدرة 1000 ك.ف.أ. والمطلوب تحديد عدد كابلات الربط النحاسية بقطاع (3 × 240 + 120مم^2) لربط أطراف خروج المحول بالقطاع الرئيسي بلوحة الجهد المنخفض.

الحـــل:

(1) التيار الخارج من المحول = $\frac{1000\times1000}{\sqrt{3}\times380}=\frac{kVA\times1000}{\sqrt{3}\times V}$ =1520 أمبير

(2) باختيار نسبة تحميل للمحول 100٪ يكون التيار المار بكابلات الربط هو 1520 أمبير

(3) من جداول تحميل الكابلات النحاسية بالمجلد الثالث من كود التركيبات الكهربائية يكون سعة حمل التيار لكابل قطاع (3×240+120مم^2) هو 480أمبير.

(4) عدد الكابلات المطلوبة = $\frac{1520}{480}$ = 3.16

أى أن عدد الكابلات المطلوبة بمساحة المقطع المختار هو 4 كابلات.

ملحوظة:

1- يتم عادة استخدام قاطع تيار سعة 1600 أمبير واستخدام عدد 4 كابلات مع هذا المحول.
2- لمزيد من الأمثلة، يمكن الرجوع إلى باب تصميم الدوائر.

(ب) أقصى سماحية للهبوط في الجهد

- لحساب الهبوط فى الجهد، يجب حساب أعلى قيمة تيارية للحمل أثناء التشغيل ويتم ذلك بضرب تيار الحمل فى معامل نسبى يعتمد على نوع الحمل.
- فى حالة استخدام بادئ تيار لمحرك من النوع ستار/دلتا يكون هذا المعامل مساوياً (3) أما إذا كان تشغيله مباشرة على التيار فيكون هذا المعامل مساوياً (6).
- إذا كان الكابل يغذى حملاً عبارة عن إنارة أو سخانات أو محولات فيكون المعامل مساوياً 1 وعلى أن يراعى أن تكون أقصى نسبة سماحية للهبوط في الجهد لا تتعدى 2.5٪.

هبوط الجهد = (هبوط الجهد فى الكابل لكل متر طولى و لكل أمبير من تيار الكابل) × طول الكابل (بالمتر) × التيار المار فى الكابل (بالأمبير).

- تحدد قيمة هبوط الجهد لكل متر طولى و لكل أمبير من تيار الكابل من الجدول المناسب لطبيعة الكابل من بين الجداول رقم م 5/3 إلى م 13/3 بالملحق الثالث فى الجزء الثالث من الكود المصرى.
- بعد حساب هبوط الجهد تتم مراجعة الهبوط الكلى فى الجهد من نقطة التغذية حتى ابعد الأحمال فى الدائرة، و فى حالة تجاوز الهبوط فى الجهد النسبة المسموح بها لابد من تعديل قطاع الكابلات الى القطاعات الأكبر حتى يتحقق الالتزام بالحد المسموح به.

مثـــــــال (6):

كابل الومنيوم مسلح ثلاثي الأقطاب ذو جهد 380 فولت وعزل PVC مدفون فى الأرض بطول 125 متر يحمل تياراً مقداره 110أمبير. المطلوب تحديد مساحة مقطع الكابل المناسب بحيث لا يتعدى الهبوط في الجهد 2.5 ٪ .

الحـــــــل :

أقصى هبوط في الجهد = (الهبوط فى الجهد / متر طولى / أمبير) × تيار الحمل × طول الكابل .

يكون هبوط الجهد /متر طولى / أمبير =

(0.025 × 380) / (110×125) = 0.69 مللى فولت / متر / أمبير.

ومن الجدول م23/3 بالمجلد الثالث لكود التركيبات الكهربائية يتم اختيار أكبر قيمة بالقرب من 0.69 فنجد أنها 0.68 مما يعنى ضرورة استخدام كابل أرضى مسلح بموصلات ألومنيوم معزول (PVC) قطاع (3 × 95) + 50 مم^2.

(ت) حساب تيار القصر وأجهزة الحماية

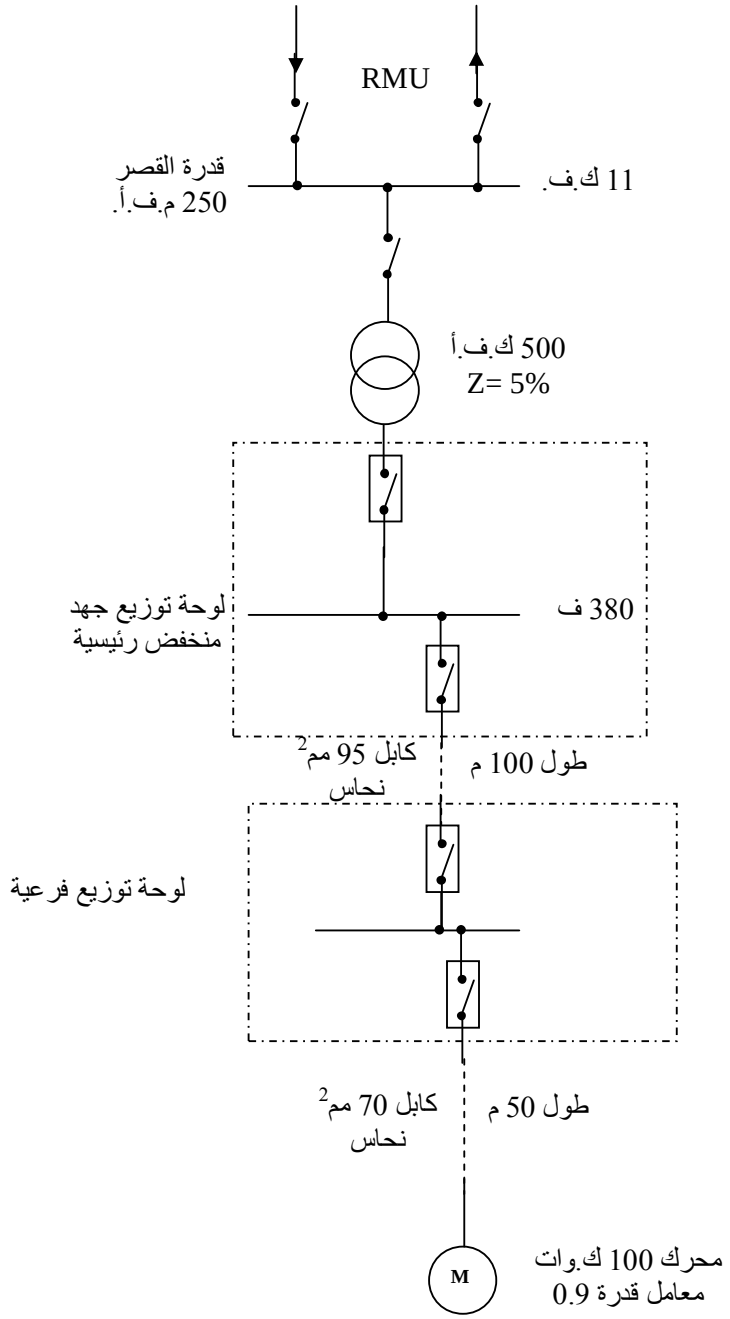
تصمم الكابلات الكهربية لتعمل تحت ظروف أقصى درجة حرارة معينة وتعتمد هذه الدرجة على مادة الموصلات المستخدمة فى الكابلات (نحاس أو ألمونيوم) وكذلك على نوعية وسمك المادة العازلة. ويكون اختيار الكابلات على أساس عدم تعدى حدود أقصى درجات الحرارة المسموح بها.

فمثلاُ إذا كانت لوحة التوزيع المستخدمة ذات جهد 400 فولت وذات مستوى قصر بقدرة 5 ميجا فولت أمبير، فيكون تيار القصر بقيمه 7.22 كيلو أمبير وإذا تم تغذية هذه اللوحة عن طريق كابل، فيجب أن يتحمل مرور هذا التيار بدون إنهيار حتى يتم فصل هذا التيار.

وعليه, فإن أقل قطاع كابل يمكن أن يتحمل هذا التيار لمدة 1 ثانية هو 70مم^2 إذا كانت من النحاس أو 95مم^2 ألومنيوم. وبفرض أن زمن فصل هذا التيار (شاملاً أى تأخيرات ميكانيكية فى أجهزة الوقاية)هو 2 ثانية فيكون أقل قطاع كابل نحاسى يمكن استخدامه هو 95مم^2 (يستطيع أن يتحمل 7.725 كيلو أمبير لمدة 2 ثانية) أو كابل 150مم^2 ألومنيوم (يستطيع أن يتحمل 8.061 كيلو أمبير لمدة 2 ثانية). وبالمثل لو كان زمن الفصل أقل من 1 ثانية يمكننا استخدام قطاعات أقل.

مثال (7):

المطلوب حساب تيار القصر عند لوحة التوزيع الفرعية أخذاً فى الاعتبار البيانات الموضحة بالرسم الخطى المفرد بالشكل التالى :-


RMU
قدرة القصر
250 م.ف.أ.
11 ك.ف.
500 ك.ف.أ
Z= 5%
لوحة توزيع جهد
منخفض رئيسية
380 ف
كابل 95 مم2
نحاس
طول 100 م
لوحة توزيع فرعية
كابل 70 مم2
نحاس
طول 50 م
M
محرك 100 ك.وات
معامل قدرة 0.9

الحـــــل:-

تم استخدام نظام الوحدات (p.u) فى الحسابات لتحديد قيمة تيار القصر على النحو التالى بعد اختيار أى قيمة مرجعية (Base MVA):-

معاوقة المصدر (Z_N) = Base MVA/ Fault level MVA (p.u)

معاوقة المحول (Z_T) =

Base MVA x transformers impedance/transformers MVA (p.u)

معاوقة الكابل (Z_L)= Z(ohms) x base MVA / V^2(kV) (p.u)

المعاوقة الكلية = $Z_N + Z_T + Z_L$ (p.u)

مستوى قصر الدائرة:

(Base MVA / p.u. total impedance) = fault level (MVA)

تيار القصر fault current= $fault\ level\ (MVA) \times 1000 \times 1000 / \sqrt{3}$ **x** voltage **(V)**

باستخدام قيمة مرجعية اختيارية ولتكن (100 MVA) يمكن تحديد المعاوقة الكلية (p.u) عند لوحة التوزيع الفرعية لحساب تيار القصر على النحو التالى :-

معاوقة المصدر (Z_N)= 100/250 =0.4 (p.u)

معاوقة المحول (Z_T)= (100/0.5) X 0.05 = 10 (p.u)

ومن الجداول نجد أن معاوقة كابل قطاع 185 مم^2 هى 0.1445 (أوم/كم).

وبذلك تكون معاوقة الكابل لطول 100 متر = 0.01445 أوم

معاوقة الكابل (Z_L)= 0,01445 x 100 / $(0,38)^2$ = 10.004 (p.u)

المعاوقة الكلية = 10 + 10 + 0.4 = 20.4 (p.u)

وعليه يكون مستوى قصر الدائرة عند لوحة التوزيع = 100/20.4 =4.9 (MVA)

تيار القصر عند لوحة التوزيع = 380 × $\sqrt{3}$ / (4.9 X1000000) = 7.44 (kA)

وحيث أن كابل بموصلات نحاسية قطاع 70 مم^2 يتحمل تيار قصر قيمة 8.05 كيلو أمبير لمدة ثانية واحدة، فهو آمن الاستخدام بعد حساب قيمة تيار القصر عند لوحة التوزيع الفرعية وعلى أن تتم مراعاة زمن فصل جهاز الوقاية المستخدم. وإذا تمت وقاية الدائرة المغذية للمحرك عن طريق مصهر سعته 200أمبير أو قاطع تلقائى بنفس السعة فكلاهما يعمل بكفاءة لفصل تيار قصر الدائرة خلال 1 ثانية ويمكن حساب زمن الفصل الفعلى من منحنيات الفصل التى تحدد علاقة الزمن مع تيارات القصر والصادرة من الشركة الصانعة لأجهزة الوقاية.

كما يمكن تحديد تيار القصر (I_{sc}) الذى يتحمله الكابل بمعرفة زمن فصل جهاز الوقاية المستخدم معه من المعادلة (7-9) التالية:

$$I_{sc} = \frac{A \times K}{\sqrt{t}} \qquad (7\text{-}9)$$

حيث:

K: معامل القصر للكابل المستخدم

K =0. 115 for PVC / Copper cables (70°C - 160°C)
K =0. 143 for XLPE / Copper cables (90°C - 250°C)
K =0.076 for PVC / Aluminum (solid or stranded) cables (70°C - 160°C)
K =0.0 94 for XLPE / Aluminum (solid or stranded) cables (90°C - 250°C)
K =0. 115 for PIC / Copper cables (70°C - 160°C)
K =0.0 76 for PIC / Aluminum (stranded) cables (70°C - 160°C)

و(A) هى مساحة مقطع موصل الكابل (مم^2) و (t) هو زمن بقاء تيار الخطأ بالثانية. فإذا كان زمن الفصل لجهاز الوقاية المستخدم للكابل أعلاه هو 0.2 ثانية، فيكون التيار الذى يتحمله هذا الكابل هو:

$$I_s = \frac{0.076 \times 115}{\sqrt{0.2}} = 19.54KA$$

ومن ثم فإن استخدام كابل نحاس قطاع 70مم^2 يكون ملائما فى هذه الحالة.

مثال (8):

يتم تغذية ورشة بها محرك كهربائى قدرة 30 ك وات يعمل عند جهد 380 فولت ثلاثي الأطوار بكابل ألومنيوم مسلح و معزول PVC.علما بأن المسافة بين لوحة المحول والورشة 250 متر وتبلغ قدرة القصر على قضبان اللوحة 15 م.ف.أ. لمدة 0.5 ثانية ومطلوب تحديد مساحة مقطع الكابل مع اعتبار أن أقصي هبوط مسموح به في الجهد 2.5٪ علماً بأن معامل التصحيح الكلى 0.8، ومعامل القدرة للمحرك هو 0.86 وكفاءته 87٪.

الحل :

قدرة المحرك بالكيلو فولت أمبير = 30 ÷(0.87×0.86)=40.01 ك.ف.أ

تيار الحمل للمحرك = 40×10^3 ÷(380×1.73)= 61 أمبير

تيار الكابل = تيار المحرك ÷ معامل التصحيح الكلى = 61÷0.8=76.25أمبير

مساحة مقطع الكابل المناسب من الناحية الحرارية= 4×35 مم^2

(من الجدول م23/3 بالمجلد الثالث من كود التركيبات الكهربائية)

تيار القصر لمدة 0.5 ثانية عند اللوحة = 15×10^{3} ÷(1.73×380)= 22.8ك.أ.

مساحة مقطع الكابل اللازم لتحمل تيار القصر تتحدد من المعادلة (7−10):

$$I_{sc}=\frac{A\times K}{\sqrt{t}} \qquad (7\text{-}10)$$

حيث: أن K للكابل الألومنيوم من القيم المعطاه أعلاه هى 0.076

فبالتالي تكون مساحة مقطع الكابل المطلوبة= 22.8×(√0.5)÷0.076=212مم^2

وبالتالي يتم اختيار أقرب قطاع قياسي لهذه القيمة وهو 240 مم^2

و يكون الهبوط في جهد الطور= (الهبوط فى الجهد / متر طولى /أمبير) × طول الكابل × التيار بالأمبير = 0.3 × (76.25 × 250) =5.72 فولت

بما يعادل 1.5 ٪ من القيمة الإسمية لجهد الخدمة.

(ث) معاملات التصحيح المختلفة طبقا لظروف التشغيل

عندما يتكون مسار كابل التغذية من أجزاء تختلف عن بعضها في ظروف درجة حرارة الوسط المحيط، أو في تجميع الكابل مع كابلات أخرى في مسار واحد، أو التعرض لتيار زائد لمدة طويلة، أو لتلاصق الكابل مع مادة عازلة للحرارة فيجب حساب معاملات التصحيح في كل من هذه الأجزاء طبقا للظروف المختلفة في كل جزء مع اخذ قيمة معامل التصحيح الكلى.

جدول رقم (7−21): معامل التصحيح حسب عمق دفن الكابلات فى نظم مد مختلفة

Depth of laying (mm)	Correction factor	
500	1,00	1,00
800	0,97	0,97
1000	0,95	0,96
1250	0,94	0,95
1500	0,93	0,94
2000	0,92	0,93

جدول رقم (7−22): معامل التصحيح حسب المقاومة الحرارية للمكان المدفون فيه الكابل

Thermal Resistivity (K.m/W)	Correction factor	
1,0	1,08	1,04
1,2	1,00	1,00
1,5	0,93	0,96
2,0	0,83	0,88
2,5	0,78	0,87

جدول رقم (7-23): معامل التصحيح طبقاً لعدد الكابلات فى المجموعة والبعد بينها محورياً

No of cables in group	Correction factor								
	Axial spacing (mm)					Axial spacing (mm)			
	Touching	150	300	450	600	Touching	300	450	600
2	0,81	0,87	0,91	0,93	0,94	0,90	0,93	0,95	0,96
3	0,70	0,78	0,84	0,87	0,90	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,63	0,74	0,81	0,86	0,89	0,78	0,85	0,89	0,91
5	0,59	0,70	0,78	0,83	0,87	0,75	0,82	0,87	0,90
6	0,55	0,67	0,76	0,82	0,86	0,72	0,81	0,86	0,90

جدول رقم (7-24): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة التربة المحيطة بالكابل

Maximum Conductor Temperature (°C)	Correction Factor					
	25	30	35	40	45	50
70 (PVC)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70
90 (XLPE)	1,00	0,96	0,92	0,88	0,82	0,76

جدول رقم (7-25): معامل التصحيح طبقاً لدرجة حرارة الهواء المحيط

Maximum Conductor Temperature (°C)	Correction Factor			
	30	35	40	45
70 (PVC)	1,00	0,94	0,87	0,79
90 (XLPE)	1,00	0,95	0,89	0,84

جدول رقم (7-26): معامل التصحيح طبقاً لعدد الكابلات المشتركة فى مسار أفقى فى الهواء

Correction Factor					
No. Of cables / Condition	1	2	3	6	9
Cable touching	1	0.9	0.84	0.80	0.75
Clearance D*between cables	1	0.95	0.9	0.88	0.85

ملحوظة:

تكون المسافة البينية (D) بين الكابلات فى جدول (7-26) هى القطر الخارجى للكابل . أما إذا كانت المسافات البينية بين كابلات مشتركة فى مسار أفقى واحد فى الهواء أكبر من ستة أمثال القطر الخارجى للكابل أو كانت هذه المسافة 150 مم أيهما يحقق، فإنه لا يوجد أي معامل تصحيح.

7-2-3 قضبان الربط

(أ) يمكن استخدام قضبان ربط بين المحولات ولوحات الجهد المنخفض الرئيسية وقد تكون هذه القضبان من النحاس أو الألومنيوم. طبقاً للمواصفات الدولية الكهروتقنية (IEC 60466).

وعند استخدام قضبان نحاسية وبمراعاة نسبة التحميل من المحولات (80٪) وظروف التشغيل يمكن تحديد مساحة مقطع قضبان الربط لكل طور وكما هو مبين فى جدول (7-27).

جدول رقم (7-27): مساحة مقاطع قضبان الربط بين المحولات ولوحات التوزيع الرئيسية

قدرة المحول ك.ف.أ.	التيار مع مراعاة نسبة التحميل 80٪ (أمبير)	مساحة مقطع قضبان الربط ($مم^2$)	السعة التيارية للقضبان (أمبير)
500	500	120 + 240 × 3	830
1000	1200	400 + 800 × 3	1540
1600	2000	500 + 1000 × 3	2055
2000	2500	800 + 1600 × 3	2525
2500	3000	1200 + 2400 × 3	3150

(ب) تكون الأشكال الخاصة من الكيعان والتيهات ووصلات الربط المرنة بين مجموعة القضبان والمحول أو مجموعة القضبان والقاطع الرئيسي بلوحة الجهد المنخفض الرئيسية من إنتاج نفس الشركة المصنعة للمجموعة ومصنعة طبقاً للمواصفات الدولية الكهروتقنية (IEC 60466).