محاسبات سطح مقطع هادی های الکتریکی

امیر نوروزی

پیشگفتار

محاسبات کابل در این کتابچه بر مبنای دو استاندارد IEC 60364-5-52(2001) مربوط به کابل های فشار ضعیف و استاندارد IEC 60502-2(2005) مربوط به کابل های فشار متوسط و قوی، می باشد.

همچنین از استاندارد IPS-E-EL-100 که استاندارد مربوط به طراحی تجهیزات الکتریکی در صنعت نفت ایران است نیز، در بعضی قسمت ها استفاده شده است.

امیرنوروزی

اداره مهندسی

شرکت پالایش نفت اصفهان

۰۳۱۳۳۹۶۳۱۴۹ - ۰۹۱۳۱۳۷۸۴۷۰

فهرست

۱- هادی های فشار ضعیف ۵

۱-۱-محاسبه سطح مقطع هادی های فشار ضعیف ۱۳

۱-۱-۱-محدودیت حداکثر جریان قابل تحمل ۱۳

۱-۱-۱-۱-محاسبه ی ضریب اصلاح KD ۱۴

۱-۱-۲-محدودیت مربوط به حداکثر افت ولتاژ مجاز ۱۵

۱-۱-۳-محدودیت مربوط به جریان اتصال کوتاه ۱۷

۱-۲-مثال محاسبات انتخاب کابل ۱۸

۲-هادی های فشار قوی ۲۳

۲-۱-محاسبات سطح مقطع هادی های فشار قوی ۲۵

۲-۲-روش های نصب هادی های فشار قوی ۲۵

۳-نکات طراحی و سایزینگ ۲۸

پیوست (۱) جداول مربوط به انتخاب سطح مقطع هادی های فشار ضعیف ۳۶

پیوست (۲) جداول مربوط به انتخاب سطح مقطع هادی های فشار قوی ۵۷

۴-مراجع ۷۳

۱- هادی های فشار ضعیف[1]

با عبور جریان برق از کابل ها و هادی ها به دلیل وجود مقاومت الکتریکی در مسیر، قسمتی از توان توسط خط تلف شده و به انرژی گرمایی تبدیل می شود. این تلفات طبق رابطه ی زیر، متناسب با مقاومت الکتریکی هادی است.

$$P = RI^2$$

همانطور که می دانید، مقدار مقاومت الکتریکی نیز مطابق رابطه زیر تعیین می شود.

$$R = \rho * L/A$$

در رابطه فوق، ρ مقاومت ویژه، L طول بر حسب متر و A سطح مقطع بر حسب متر مربع است. همچنین $\rho = 1/\alpha$ که α رسانایی ویژه است. برای بسیاری از هادی های مسی، $\alpha = 56$ است. این ضریب از روی مشخصات کابل مورد استفاده، تعیین می شود.

همانطور که در رابطه مقاومت الکتریکی دیده می شود، مقاومت با طول رابطه مستقیم و با سطح مقطع رابطه عکس دارد. بنابراین با افزایش سطح مقطع، می توان مقاومت الکتریکی هادی را کاهش و به دنبال آن تلفات گرمایی کابل ها و هادی ها کاهش می یابد. تلفات الکتریکی رخ داده بر روی مسیر، خود را به صورت گرما نشان می‌دهد و گرما باعث افزایش دمای هادی گردیده و چون هادی‌ها از جنس فلزات با ضریب دمایی مقاومت ویژه مثبت می‌باشند (ضریب دمایی مقاومت ویژه دو فلز رایج در ساخت کابل و سیم یعنی مس و آلومینیوم در ناحیه خطی آن ۰.۰۰۳۹ می‌باشد) با افزایش دما، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. در نتیجه با افزایش مقاومت باز هم تلفات بیشتر شده و این پسخورد افزایشی به طور مداوم، خود را تشدید می کند.

هادی ها و عایق روی آن ها، قابلیت تحمل میزان مشخصی از گرما و حرارت را دارند. لذا چنانچه درجه حرارت کابل از حد مجازی که برای همان **کابل** بخصوص، تعیین گردیده است، بیشتر شود؛ این موضوع باعث از بین رفتن عایق کابل و در نتیجه موجب کاهش طول عمر کابل می گردد. میزان حرارت قابل تحمل برای عایق های مختلف در جدول 52-4 آورده شده است.

Table **52-4** (52-A) – Maximum operating temperatures for types of insulation

Type of insulation	Temperature limit[a] °C
Polyvinyl-chloride (PVC)	70 at the conductor
Cross-linked polyethylene (XLPE) and ethylene propylene rubber (EPR)	90 at the conductor [b]
Mineral (PVC covered or bare exposed to touch)	70 at the sheath
Mineral (bare not exposed to touch and not in contact with combustible material)	105 at the sheath [b, c]

[a] The maximum permissible conductor temperatures given in table 52-4 on which the tabulated current-carrying capacities given in annex A are based, have been taken from IEC 60502 (1983) and IEC 60702 (1981)[a] and are shown on these tables.

[b] Where a conductor operates at a temperature exceeding 70 °C it shall be ascertained that the equipment connected to the conductor is suitable for the resulting temperature at the connection.

[c] For mineral insulated cables, higher operating temperatures may be permissible dependent upon the temperature rating of the cable, its terminations, the environmental conditions and other external influences.

انواع سیستم های انتقال برق با استفاده از هادی های الکتریکی در جدول ۱-۵۲ آورده شده است.

Table 52-1 (52F) **– Selection of wiring systems**

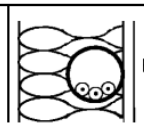
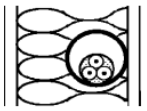
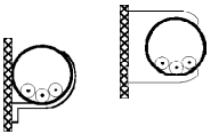
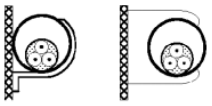
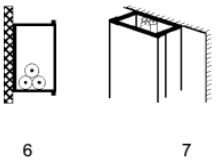
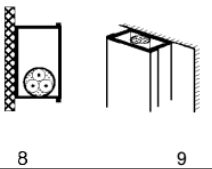
Conductors and cables		Method of installation							
		Without fixings	Clipped direct	**Conduit**	Cable trunking (including skirting trunking, flush floor trunking)	Cable ducting	Cable ladder Cable tray Cable brackets	On in-sulators	Support wire
Bare conductors		–	–	–	–	–	–	+	–
Insulated conductors		–	–	+	+	+	–	+	–
Sheathed cables (including armoured and mineral insulated)	Multi-core	+	+	+	+	+	+	0	+
	Single-core	0	+	+	+	+	+	0	+

+ Permitted.
– Not permitted.
0 Not applicable, or not normally used in practice.

انواع حالت های نصب کابل ها در سیستم های انتقال و توزیع برق در جدول ۳-۵۲ در ادامه، آورده شده است.

Table 52-3 (52H) – **Examples of methods of installation providing instructions for obtaining current-carrying capacity**

NOTE The illustrations are not intended to depict actual product or installation practices but are indicative of the method described.

Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex A)
1		Insulated conductors or single-core cables in conduit in a thermally insulated wall [a]	A1
2		Multi-core cables in conduit in a thermally insulated wall [a]	A2
3		Multi-core cable direct in a thermally insulated wall [a]	A1
4		Insulated conductors or single-core cables in conduit on a wooden wall or spaced less than 0,3 x conduit diameter from it	B1
5		Multi-core cable in conduit on a wooden, or masonry wall or spaced less than 0,3 x conduit diameter from it	B2
6 7		Insulated conductors or single-core cables in cable trunking on a wooden wall – run horizontally – run vertically [b]	B1
8 9		Multi-core cable in cable trunking on a wooden wall – run horizontally – run vertically [b]	Under consideration

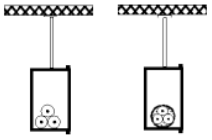
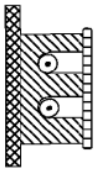
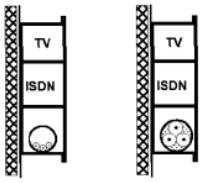
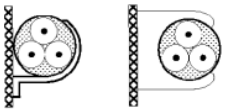
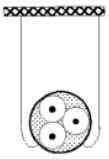
[a] The inner skin of the wall has a thermal conductance of not less than 10 $W/m^2 \cdot K$.

Values given for installation methods B1 and B2 in annex A are for a single circuit. Where there is more than one circuit in the trunking the group reduction factor given in table A.52-I7 is applicable, irrespective of the presence of an internal barrier or partition.

Care shall be taken where the cable runs vertically and ventilation is restricted. The ambient temperature at the top of the vertical section can be increased considerably. The matter is under consideration.

Values for reference method B2 may be used.

Table 52-3 *(continued)*

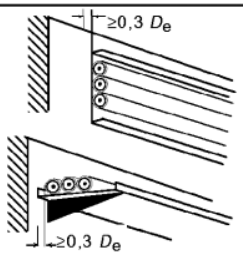
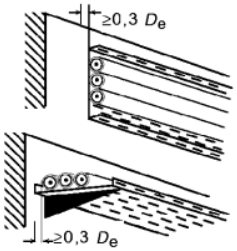
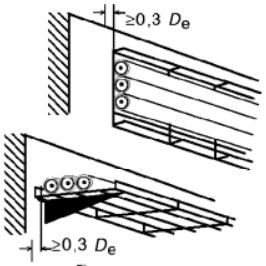
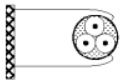
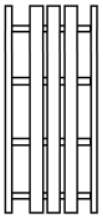
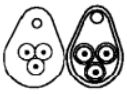
Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex A)
10		Insulated conductors or single-core cable in suspended cable trunking [a]	B1
11	10 11	Multi-core cable in suspended cable trunking [a]	B2
12		Insulated conductors or single-core cable run in mouldings [b]	A1
13		Insulated conductors or single-core cables in skirting trunking	B1
14	13 14	Multi-core cable in skirting trunking	B2
15		Insulated conductors in conduit or single-core or multi-core cable in architrave [c]	A1
16		Insulated conductors in conduit or single-core or multi-core cable in window frames [c]	A1
20		Single-core or multi-core cables – fixed on, or spaced less than 0,3 x cable diameter from a wooden wall	C
21		– fixed directly under a wooden ceiling	C, with item 3 of table A 52-17
22		– spaced from a ceiling	Under consideration

[a] Values given for installation methods B1 and B2 in annex A are for a single circuit Where there is more than one circuit in the trunking the group reduction factor given in table A 52-17 is applicable, irrespective of the presence of an internal barrier or partition

[b] The thermal resistivity of the enclosure is assumed to be poor because of the material of construct~onand possible air spaces Where the construct~ons thermally equivalent to methods of installation 6 or 7, reference method B1 may be used

[c] The thermal resistivity of the enclosure is assumed to be poor because of the material of construct~onand possible air spaces Where the construct~ons thermally equivalent to methods of installation 6, 7, 8, or 9, reference methods B1 or B2 may be used

Table 52-3 *(continued)*

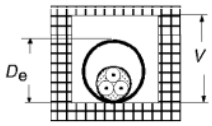
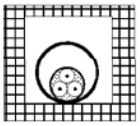
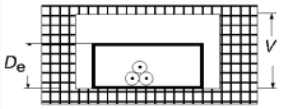
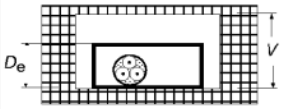
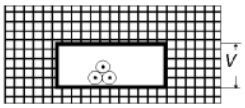
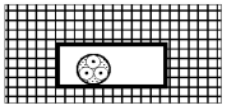
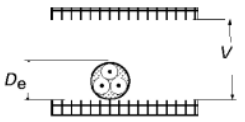
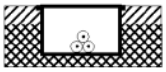
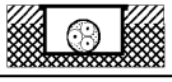
Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex A)
30		On unperforated tray [c]	C with item 2 of table A.52-17 [a]
31		On perforated tray [c]	E or F with item 4 of table A.52-17 [a, b]
32		On brackets or on a wire mesh [c]	E or F
33		Spaced more than 0,3 times cable diameter from a wall	E or F with item 4 or 5 of table A.52-17 or method G [a b]
34		On ladder	E or F
35		Single-core or multi-core cable suspended from or incorporating a support wire	E or F
36		Bare or insulated conductors on insulators	G

[a] For certain applications it may be more appropriate to use specific factors, for example tables A.52-20 and A.52-21 (see A.52.4.2 of annex A).

[b] Care shall be taken where the cable runs vertically and ventilation is restricted. The ambient temperature at the top of the vertical section can be increased considerably. The matter is under consideration.

[c] D_e = the external diameter of a multi-core cable:
- 2,2 x the cable diameter when three single core cables are bound in trefoil, or
- 3 x the cable diameter when three single core cables are laid in flat formation.

Table 52-3 *(continued)*

Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex A)
40		Single-core or multi-core cable in a building void [a, 2]	$1{,}5\ D_e \le V < 20\ D_e$ B2 $V \ge 20\ D_e$ B1
42		Single-core or multi-core cable in conduit in a building void [d]	Under consideration
24		Insulated conductors in cable ducting in a building void [a, c, d]	$1{,}5\ D_e \le V < 20\ D_e$ B2 $V \ge 20\ D_e$ B1
43		Single-core or multi-core cable in cable ducting in a building void [d]	Under consideration
44		Insulated conductors in cable ducting in masonry having a thermal resistivity not greater than 2 K · m/W [a, b, d]	$1{,}5\ D_e \le V < 5\ D_e$ B2 $5\ D_e \le V < 50\ D_e$ B1
45		Single-core or multi-core cable in cable ducting in masonry having a thermal resistivity not greater than 2 K · m/W [d]	Under consideration
46		Single-core or multi-core cable: – in a ceiling void – in a suspended floor [a, b]	$1{,}5\ D_e \le V < 5\ D_e$ B2 $5\ D_e \le V < 50\ D_e$ B1
50		Insulated conductors or single-core cable in flush cable trunking in the floor	B1
51		Multi-core cable in flush cable trunking in the floor	B2

[a] V = the smaller dimension or diameter of a masonry duct or void, or the vertical depth of a rectangular duct, floor or ceiling void.

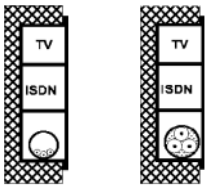
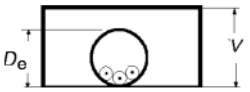
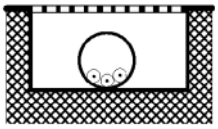
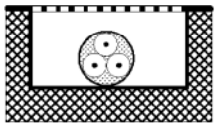
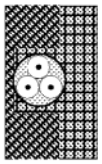
[b] D_e = the external diameter of a multi-core cable:

– 2,2 x the cable diameter when three single core cables are bound in trefoil, or
– 3 x the cable diameter when three single core cables are laid in flat formation.

[c] D_e = external diameter of conduit or vertical depth of cable ducting.

[d] Care shall be taken where the cable runs vertically and ventilation is restricted. The ambient temperature at the top of the vertical section can be increased considerably. The matter is under consideration.

Table 52-3 *(continued)*

Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex **A**)
52	 52 53	Insulated conductors or single-core cables in embedded trunking	B1
53		Multi-core cable in embedded trunking	B2
54		Insulated conductors or single-core cables in conduit in an unventilated cable channel run horizontally or vertically [a, b]	1,5 $D_e \leq V < 20\ D_e$ B2 $V \geq 20\ D_e$ B1
55		Insulated conductors in conduit in an open or ventilated cable channel in the floor [c, d]	B1
56		Sheathed single-core or multi-core cable in an open or ventilated cable channel run horizontally or vertically [d]	B1
57		Single-core or multi-core cable direct in masonry having a thermal resistivity not greater than 2 K·m/W Without added mechanical protection [e, f]	C
58		Single-core or multi-core cable direct in masonry having a thermal resistivity not greater than 2 K·m/W With added mechanical protection [e, f]	C

[a] De = external diameter of conduit
V = internal depth of the channel
The depth of the channel is more important than the width.

[b] Care shall be taken where the cable runs vertically and ventilation is restricted. The ambient temperature at the top of the vertical section can be increased considerably. The matter is under consideration.

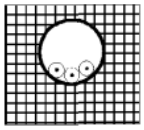
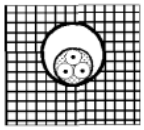
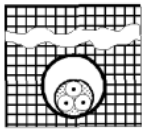
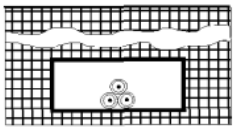
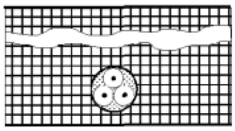
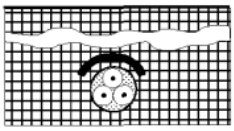
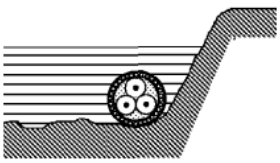
[c] For multi-core cable installed in method 55, use ratings for reference method B2.

[d] It is recommended that these methods of installation are used only in areas where access is restricted to authorised persons so that the reduction in current carrying capacity and the fire hazard due to the accumulation of debris can be prevented.

[e] For cables having conductors not greater than *16* mm^2, the current-carrying capacity may be higher.

[f] Thermal resistivity of masonry is not greater than 2 K·m/W.

Table 52-3 *(continued)*

Item No.	Methods of installation	Description	Reference method of installation to be used to obtain current-carrying capacity (see annex A)
59		Insulated conductors or single-core Cables in conduit in masonry[a]	B1
60		Multi-core cables in conduit in masonry[a]	B2
70		Multi-core cable in conduit or in cable ducting in the ground	D
71		Single-core cable in conduit or in cable ducting in the ground	D
72		Sheathed single-core or multi-core cables direct in the ground – without added mechanical protection (see note)	D
73		Sheathed single-core or multi-core cables direct in the ground – with added mechanical protection (see note)	D
80		Sheathed single-core or multi-core cables immersed in water	Under consideration

NOTE The inclusion of directly buried cables in this item is satisfactory when the soil thermal resistivity is of the order of 2,5 K·m/W. For lower soil resistivities, the current-carrying capacity for directly buried cables is appreciably higher than for cables in ducts.

[a] Thermal resistivity of masonry is not greater than 2 K·m/W.

۱-۱- محاسبه سطح مقطع هادی های فشار ضعیف

برای محاسبه سطح مقطع هادی های الکتریکی فشار ضعیف (دارای ولتاژ کمتر از ۱ کیلوولت)، در چند مرحله باید محدودیت های مختلف در نظر گرفته شده و با محاسبه ی حدود و قیود، سطح مقطع مناسب برای کابل با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، طراحی شود.

مهم ترین این محدودیت ها حداکثر جریان قابل تحمل کابل و حداکثر افت ولتاژ قابل تحمل تجهیزات می باشد. همچنین در نظر گرفتن محدودیت هایی نظیر محدودیت جریان اتصال کوتاه، محدودیت مربوط به هارمونیک ها و .... نیز باعث افزایش دقت محاسبه ی سطح مقطع هادی های الکتریکی می شود. در ادامه به این محدودیت ها و نحوه محاسبه سطح مقطع کابل با در نظر گرفتن این عوامل، پرداخته خواهد شد.

حداکثر سطح مقطع کابل های استفاده شده در حالت تک هسته ۲۴۰ میلی متر مربع و در حالت چند هسته ۴۰۰ میلی متر مربع خواهد بود.

۱-۱-۱-محدودیت حداکثر جریان قابل تحمل

برای محاسبه ی حداکثر جریان قابل تحمل، باید ابتدا بار های الکتریکی قابل اتصال به کابل، در شرایط کار نامی، مشخص باشد. زمانی که توان الکتریکی متصل شده به کابل مشخص باشد، با استفاده از رابطه ی توان الکتریکی، می توانیم، جریان کشیده شده از کابل را در حالت نامی، بدست آوریم. $(P = \sqrt{3}V * I * COS(\phi))$

حال برای در نظر گرفتن اضافه بار لحظه ای، مقدار ۲۰ درصد به این جریان بدست آمده اضافه کرده و این جریان را به عنوان جریان Ib در نظر می گیریم.

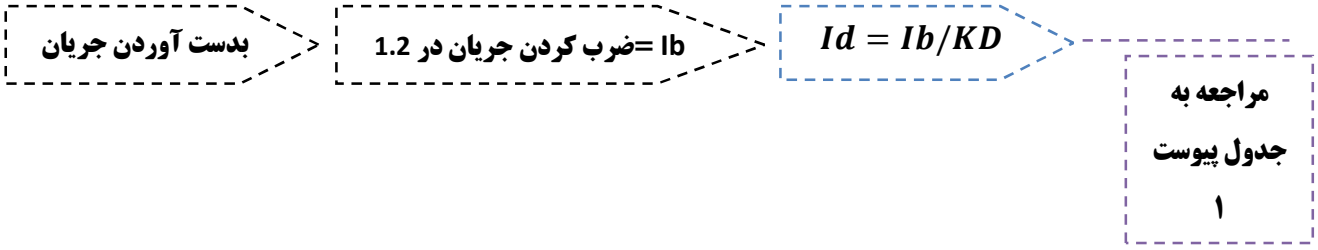
از آن جایی که جداول انتخاب سطح مقطع کابل برای شرایط استاندارد تعریف می شوند و شرایط نصب هادی در سیستم ما با شرایط استاندارد تفاوت دارد، باید از ضریب KD در محاسبات استفاده کنیم. به عبارت دیگر، با توجه به شرایط نصب، ضریب KD را (که در ادامه نحوه محاسبه آن آورده شده است) بدست می آوریم. حال طبق رابطه ی زیر مقدار جریان Id را محاسبه می کنیم.

$$ID = \frac{Ib}{KD}$$

با استفاده از جریان Id بدست آورده شده در رابطه فوق، به جداول موجود در پیوست ۱ رجوع کرده و سطح مقطع مناسب را، با در نظر گرفتن محدودیت جریان قابل تحمل به دست می آوریم.

نکته: در حالتی که عدد بدست آمده، بین دو سطح مقطع بود، سطح مقطع بالاتر را انتخاب می کنیم.

بنابراین به صورت خلاصه روند انتخاب سطح مقطع با در نظر گرفتن این محدودیت به صورت زیر خواهد بود.

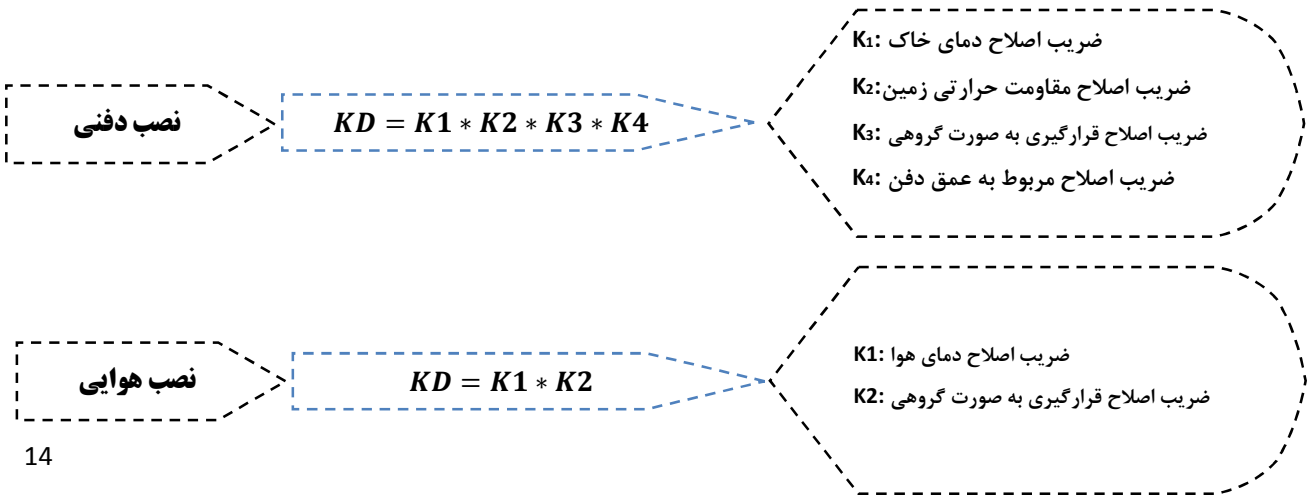


۱-۱-۱-۱- محاسبه ی ضریب اصلاح KD

به دلیل اینکه شرایط نصب معمولا با شرایط درج شده در جداول موجود در پیوست ۱ متفاوت است، از این ضریب اصلاح استفاده می کنیم. جداول موجود در پیوست ۱ برای دمای خاک ۲۰ درجه سانتی گراد و دمای هوای ۳۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده اند، اما برای مثال در پالایشگاه اصفهان دمای هوا حداکثر 43.3 درجه سانتی گراد و دمای خاک ۲۵ درجه سانتی گراد است. همچنین اعداد درج شده در جداول پیوست ۱، با در نظر گرفتن حالتی که مقاومت حرارتی خاک برابر 2.5KM/W بوده، در نظر گرفته شده است. عمق دفن کابل نیز از مواردی است، که باید به آن در حالت نصب دفنی کابل، توجه شود. جداول پیوست ۱ برای نصب کابل در عمق 0.7 متر از سطح زمین در نظر گرفته شده است. در حالتی که کابل ها در عمق دیگری نصب شوند، از ضرایب تصحیح موجود در جدول B.12 پیوست ۲ می توان استفاده کرد.

از طرف دیگر این جداول برای نصب یک کابل در نظر گرفته شده در حالتی که در اکثر موارد، چند کابل به صورت گروهی در کنار هم برای انتقال برق به کار می روند، که در این حالت نیز باید از ضریب تصحیح مناسب استفاده کرد.

بنابراین ضریب تصحیح Kd برای دو حالت نصب هوایی و دفنی به صورت زیر خواهد بود.



۱-۱-۲- محدودیت مربوط به حداکثر افت ولتاژ مجاز

در صورتی که بار الکتریکی تغذیه شده از یک خط، مقاومتی باشد. (یا موتورهای الکتریکی با ضریب توان نزدیک به ۱) از آنجایی که هادی ها و کابل هایی که تجهیزات را تغذیه می کنند، مقاومت الکتریکی دارند، در طول خط افت ولتاژ به وجود می آید. میزان این افت ولتاژ با مقاومت رابطه مستقیم دارد، بنابراین هرچه سطح مقطع هادی بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی کمتر بوده و افت ولتاژ کاهش می یابد.

در صورتی که ولتاژ نسبت به مقادیر نامی کاهش یا افزایش یابد، مشکلات و اختلالاتی در کار تجهیزات الکتریکی به وجود می‌آید. این اختلالات بسته به نوع بار متفاوت خواهند بود. به عنوان مثال در موتور های آسنکرون، کاهش ولتاژ می تواند باعث افزایش جریان موتور و گرم شدن آن شود. همچنین افزایش ولتاژ تغذیه، بالاتر از حد نامی درج شده روی پلاک موتور، می تواند باعث آسیب دیدن عایق سیم پیچی موتور شود.

مطابق استاندارد های [1]، [2] و [3] حداکثر افت ولتاژ مجاز مطابق زیر خواهد بود.

- **موتورهای الکتریکی:**
- **موتورهای 6KV**: حداکثر ۳ درصد ولتاژ نامی
- طبق [3] حداکثر افت ولتاژ برای موتور های MV و HV (ولتاژ بیشتر از ۱ کیلوولت) برابر 3.25% ولتاژ نامی
- **موتورهای 0.4KV**

- تا توان 22KW: حداکثر ۵ درصد ولتاژ نامی
- توان بین 23KW تا 55KW: حداکثر ۴/۵ درصد ولتاژ نامی
- توان بین 56KW تا 150KW: حداکثر ۳ درصد ولتاژ نامی

- در هنگام راه اندازی موتور های الکتریکی، جریانی حدود ۷ تا ۱۰ برابر جریان نامی از فیدر تغذیه کشیده شده که این موضوع باعث افت ولتاژ تغذیه می شود. حداکثر افت ولتاژ در هنگام راه اندازی موتورهای الکتریکی نباید از ۱۵ درصد ولتاژ نامی بیشتر شود.

- حداکثر افت ولتاژ از **فیدر تغذیه اصلی تا مرکز توزیع** (Substation) باید برابر ۱ درصد ولتاژ نامی باشد.
- حداکثر افت ولتاژ از **محل تغذیه تا پنل های جانبی** باید برابر ۲ درصد ولتاژ نامی باشد.
- حداکثر افت ولتاژ از **پنل های جانبی تا روشنایی** باید برابر ۳ درصد ولتاژ نامی باشد.

برای بدست آوردن محدودیت افت ولتاژ، با استفاده از سطح مقطعی که در قسمت ۱-۱ محاسبه شد، افت ولتاژ را با استفاده از روابط زیر محاسبه می کنیم. در صورتی که افت ولتاژ بدست آمده از مقدار در نظر گرفته شده در استانداردها، (که در صفحه قبل آورده شد) بیشتر باشد. یک رنج سطح مقطع کابل را افزایش داده و محاسبات را تکرار می کنیم. روند افزایش سطح مقطع را تا جایی ادامه می دهیم که افت ولتاژ از مقدار استاندارد کمتر شود.

For A.C. three phase system:

$$Vd = \frac{\sqrt{3} \times I_b \times (R\cos\phi + XSin\phi) \times L \times 100}{Vn \times 1000}$$

For A.C. single phase system:

$$Vd = \frac{2 \times I_b \times (R\cos\phi + XSin\phi) \times L \times 100}{Vn \times 1000}$$

For D.C. system:

$$Vdn = \frac{2 \times I_b \times R \times L_{max} \times 100}{Vn \times 1000}$$

V_n	Nominal voltage
V_d	Percentage of voltage drop
I_b	Full load current
Cos ϕ	Power Factor (pf)
R	Cable resistance (Ω/km)
X	Cable Reactance (Ω/km)
L	Estimated Cable Length in meter

در بسیاری از موارد با تقریب، می توان از راکتانس سیستم صرف نظر کنیم. بنابراین روند محاسبه ی محدودیت سطح مقطع براساس افت ولتاژ به صورت زیر خلاصه می شود.

بدست آوردن مقاومت الکتریکی با سطح مقطع محاسبه شده در قسمت ۱-۱، طبق رابطه

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

محاسبه افت ولتاژ از روابط ذکر شده در فوق

در صورتی افت ولتاژ برای بار مورد نظر از مقدار بدست آورده شده کمتر شد، سطح مقطع کفایت می کند. در غیر این صورت، سطح مقطع را یک رنج افزایش داده و محاسبات را تکرار می کنیم.

۱-۱-۳- محدودیت مربوط به جریان اتصال کوتاه

تحمل جریان اتصال کوتاه کابل، باید به همراه مشخصه حفاظتی رله در نظر گرفته شود، تا در هنگام اتصال کوتاه قبل از اینکه رله عمل کند، مشکلی برای کابل به وجود نیاید. کمترین سطح مقطع کابل برای تحمل جریان اتصال کوتاه مطابق معادله زیر، تعیین می شود.

$$A = \frac{I\sqrt{t}}{K} \quad (mm^2)$$

Where:

A = Cross sectional area of the conductor (mm^2)

I = Short circuit current (amps)

t = Total fault clearance time (seconds)

K = Constant dependent on the type of conductor, the insulations, the initial and final temperatures.

مقدار K را با استفاده از جدول زیر تعیین می کنیم.

TABLE 14 - MAXIMUM PERMITTED CONDUCTOR TEMPERATURES AND VALUES OF K FOR VARIOUS INSULANTS (COPPER CONDUCTORS)

Insulation	Cable types	Maximum working temp T_1°C	Final temp at end of short circuit T_2°C	Value of K for temps T_1, T_2
PVC	Up to 185 mm^2	70	150	109
PVC	240 mm^2 and above	70	130	95
EPR	All types	85	220	134
XLPE	All types	90	250	143

با استفاده از فرمول زیر نیز، می توان مقدار K را تعیین کرد.

$$K = 225.7 \times \sqrt{Ln\frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1}}$$

Where: T_1 = initial temperature of conductor (°C)
T_2 = final temperature of conductor (°C)

نکته: برای کابل های MV کمترین مقدار t می تواند 0.3 در نظر گرفته شود.

۱-۲- مثال محاسبات انتخاب کابل

در یک پروژه برای تغذیه یک موتور الکتریکی از یک مرکز توزیع برق، به یک کابل مدفون شده زیر زمین (D) نیاز داریم. در صورتی که شرایط زیر برقرار باشد، می خواهیم کابل تغذیه مناسب را با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، انتخاب کنیم.

توان موتور	**50KW**
ولتاژ	**400V**
فرکانس	**50HZ**
تعداد فاز	**3**
ضریب توان	**0.85**
طول کابل	**150m**
نوع عایق	**XLPE**
نوع هادی	**مس – چند هسته ای**
α کابل	**۵۶**
حداکثر دمای محیط	**40 درجه سانتی گراد**
دمای خاک	**25 درجه سانتی گراد**
مقاومت حرارتی خاک	**1.5KM/W**
عمق دفن کابل	**۲ متر از سطح زمین**
جریان اتصال کوتاه	**50KA**

نصب به صورت گروهی همراه دو کابل دیگر، با فاصله ی ۲۵ سانتی متر از هم.

زمان رفع خطای اتصال کوتاه توسط رله حفاظتی بالا دست 0.01 ثانیه است.

در قدم اول ابتدا جریان موتور را محاسبه می کنیم. با استفاده از فرمول توان داریم.

$$P = \sqrt{3}V * I * COS(\phi) => 50000 = \sqrt{3} * 400 * I * 0.85 => I = 84.9045$$

$$Ib = 84.9045 * 1.2 = 101.8854$$

حال می خواهیم ضریب تصحیح KD را از روی جداول بدست آوریم. همانطور که می دانیم، ابتدا باید ضرایب تصحیح K1, K2 , K3, K4 را برای حالت کابل دفنی محاسبه کنیم.

محاسبه ی ضریب تصحیح K1: همانطور که در مشخصات فوق دیده می شود، دمای خاک برابر ۲۵ درجه سانتی گراد ذکر شده است که با استفاده از جدول زیر(که در پیوست ۱ نیز موجود است.)، ضریب تصحیح K1 برابر 0.96 خواهد شد.

Table A.52-15 (52-D2) – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C to be applied to the current-carrying capacities for cables in ducts in the ground

Ground temperature °C	Insulation	
	PVC	XLPE and EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

محاسبه ی ضریب تصحیح K2: همانطور که در مشخصات فوق دیده می شود، مقاومت حرارتی زمین برابر 1.5KM/W ذکر شده است که با استفاده از جدول زیر(که در پیوست ۱ نیز موجود است.)، ضریب تصحیح K2 برابر 1.1 خواهد شد.

Table A..52-16 (52-D3) – Correction factors for cables in buried ducts for soil thermal resistivities other than 2,5 K·m/W to be applied to the current-carrying capacities for reference method D

Thermal resistivity, K·m/W	1	1,5	2	2,5	3
Correction factor	1,18	1,1	1,05	1	0,96

محاسبه ی ضریب تصحیح K3: همانطور که در مشخصات فوق دیده می شود، نصب کابل به صورت گروهی همراه دو کابل دیگر، با فاصله ی ۲۵ سانتی متر از هم ذکر شده است، (در این حالت کلا سه کابل به صورت موازی داریم.)که با استفاده از جدول زیر(که در پیوست ۱ نیز موجود است.)، ضریب تصحیح K3 برابر 0.8 خواهد شد.

60364-5-52 © IEC:2001 – 93 –

Table A.52-18 (52-E2) – **Reduction factors for more than one circuit, cables laid directly in the ground – Installation method D in tables A.52-2** (52-C1) **to A.52-5** (52-C4) **– Single-core or multi-core cables**

Number of circuits	Cable to cable clearance (*a*)[a]				
	Nil (cables touching)	One cable diameter	*0,125* m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

[a] Multi-core cables

محاسبه ی ضریب تصحیح K4: همانطور که در مشخصات فوق دیده می شود، عمق دفن کابل در این حالت ۲ متر از سطح زمین ذکر شده است. با توجه به اینکه استاندارد [1] که مربوط به کابل های فشار ضعیف است، در این مورد مسکوت مانده است، از جداول موجود در استاندارد [2] که در پیوست ۲ آمده است، برای این منظور استفاده می کنیم. همانطور که در جدول زیر دیده می شود، ضریب تصحیح K4 برابر 0.93 خواهد بود.

Depth of laying m	Single-core cables		Three-core cables
	Nominal conductor size mm²		
	≤185 mm²	>185 mm²	
0,5	1,04	1,06	1,04
0,6	1,02	1,04	1,03
1	0,98	0,97	0,98
1,25	0,96	0,95	0,96
1,5	0,95	0,93	0,95
1,75	0,94	0,91	0,94
2	0,93	0,90	0,93
2,5	0,91	0,88	0,91
3	0,90	0,86	0,90

بنابراین ضریب تصحیح KD را به صورت زیر خواهیم داشت.

$$\boldsymbol{KD = K1 * K2 * K3 * K4 = 0.96 * 1.1 * 0.8 * 0.93 = 0.7\ 8\ 5\ 6}$$

بنابراین جریان Id به صورت زیر بدست خواهد آمد.

$$Id = \frac{Ib}{KD} = \frac{101.8854}{0.7856} = 129.6912$$

حال به جداول پیوست ۱ مراجعه کرده و سطح مقطع مورد نظر را بدست می آوریم.

Table A.52-5 (52-C4) – Current-carrying capacities in amperes for methods of installation in table A.52-1 (52-B1) – XLPE or EPR insulationIthree loaded conductorsIcopper or aluminium – Conductor temperature: 90 °C/Ambient temperature: 30 °C in air, 20 °C in ground

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1,5	17	16,5	20	19,5	22	22
2,5	23	22	28	26	30	29
4	31	30	37	35	40	37
6	40	38	48	44	52	46
10	54	51	66	60	71	61
16	73	68	88	80	96	79
25	95	89	117	105	119	101
35	117	109	144	128	147	122
50	141	130	175	154	179	144
70	179	164	222	194	229	178
95	216	197	269	233	278	211
120	249	227	312	268	322	240
150	285	259	–	–	371	271
185	324	295	–	–	424	304
240	380	346	–	–	500	351
300	435	396	–	–	576	396
Aluminium						
2,5	19	18	22	21	24	22
4	25	24	29	28	32	29
6	32	31	38	35	41	36
10	44	41	52	48	57	47
16	58	55	71	64	76	61
25	76	71	93	84	90	78
35	94	87	116	103	112	94
50	113	104	140	124	136	112
70	142	131	179	156	174	138
95	171	157	217	188	211	164
120	197	180	251	216	245	186
150	226	206	–	–	283	210
185	256	233	–	–	323	236
240	300	273	–	–	382	272
300	344	313	–	–	440	308

NOTE In columns 3, 5, 6 and 7, circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors.

به دلیل اینکه عدد ۱۲۹ بین دو عدد ۱۲۲ و ۱۴۴ قرار دارد، عدد بالاتر یعنی ۱۴۴ را انتخاب می کنیم که متناظر با سطح مقطع ۵۰ میلی متر مربع برای کابل مسی سه هسته ای با نحوه قرارگیری D است.

در قدم دوم می خواهیم، مقدار افت ولتاژ را برای این سطح مقطع بدست آوریم. برای این امر، ابتدا مقاومت الکتریکی را محاسبه می کنیم.

$$R1 = \frac{L}{\alpha A} = \frac{150}{56 * 50} = 0.0536$$

مقاومتی که با رابطه فوق بدست می آوریم، مقاومت کلی سیم است، که با مقاومتی که در رابطه ی افت ولتاژ کابل وجود دارد، متفاوت است. در واقع این مقاومت با حاصل ضرب مقاومت واحد طول سیستم در طول سیستم بر حسب متر تقسیم بر هزار، برابر است.

$$R1 = RL/1000$$

حال مقدار افت ولتاژ را برای این مقاومت بدست می آوریم.

$$V\% = \frac{R1 * Ib * Cos(\phi) * \sqrt{3}}{Vn} * 100 = \frac{0.0536 * 101.8854 * 0.85 * \sqrt{3}}{400} * 100 = 2.01\%$$

که از حداکثر مقدار افت ولتاژ تعیین شده طبق استاندارد که مقدار 4.5% می باشد، کمتر است و این سطح مقطع محدودیت دوم را نیز برآورده می کند.

همانطور که گفته شد، در هنگام راه اندازی افت ولتاژ نباید از ۱۵ درصد بیشتر شود. برای بررسی این موضوع افت ولتاژ را در هنگام راه اندازی بدست می آوریم. (فرض می کنیم در این موتور الکتریکی جریان راه اندازی نهایتا ۷ برابر جریان نامی شود.)

$$Vstart\% = \frac{\sqrt{3} * R1 * Ib * Cos(\phi)}{Vn} * 100 = \frac{0.0536 * 7 * 101.8854 * 0.85 * \sqrt{3}}{400} * 100 = 14.1\%$$

همانطور که دیده می شود، افت ولتاژ بدست آمده در هنگام راه اندازی کمتر از ۱۵ درصد است و شرایط برآورده می شود. اما با توجه به نزدیکی عدد ۱۴ به ۱۵ می توان سطح مقطع کابل را یک رنج افزایش داد که این موضوع وابسته به نظر طراح و سایر ملاحظات می باشد.

در قدم سوم، با در نظر گرفتن جریان اتصال کوتاه برابر با $50KA$ با رابطه زیر، می توانیم حداکثر زمان رفع خط را محاسبه کنیم.

$$A = I * \frac{\sqrt{t}}{K}$$

$$From\ Table.4\ \ for\ \ XLPE\ \ we\ have\ K = 143$$

$$50 = 50000 * \frac{\sqrt{t}}{143} \rightarrow t = 0.02\ sec$$

همانطور که در مشخصات اولیه این مثال ذکر شده است، مقدار زمان رفع خطا توسط رله برابر 0.01 ثانیه است، بنابراین قبل از اینکه آسیبی به کابل برسد، رله حفاظتی خط را بی برق می کند.

۲- هادی های فشار قوی[2]

انتخاب هادی های فشار قوی، برای سطوح ولتاژی 1 kV (Um = 1,2 kV) تا 30 kV (Um = 36 kV) طبق استاندارد [2] انجام می گیرد. هادی های فشار قوی، بر اساس سطوح ولتاژی، به سه دسته A، B و C دسته‌بندی می شوند. در جدول ۱ این دسته بندی آورده شده است.

Table 1 – Recommended rated voltages U_0

Highest system voltage (U_m) kV	Rated voltage (U_0) kV	
	Categories A and B	Category C
7,2	3,6	6,0
12,0	6,0	8,7
17,5	8,7	12,0
24,0	12,0	18,0
36,0	18,0	–

انواع عایق های استفاده شده در هادی های فشار قوی مطابق جدول ۲ در زیر آورده شده است.

Table 2 – Insulating compounds

Insulating compound	Abbreviated designation
a) *Thermoplastic*	
polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages U_0/U = 3,6/6 kV	PVC/B*
b) *Thermosetting:*	
ethylene propylene rubber or similar (EPM or EPDM)	EPR
high modulus or hard grade ethylene propylene rubber	HEPR
cross-linked polyethylene	XLPE

* Insulating compound based on polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages $U_0/U \leq$ 1,8/3 kV is designated PVC/A in IEC 60502-1.

بیشترین دمای قابل تحمل هادی های فشار قوی دارای عایق با جنس های متفاوت، در جدول ۳ به صورت زیر آورده شده است.

Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound

Insulating compound		Maximum conductor temperature °C	
		Normal operation	Short-circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride	(PVC/B)		
	Conductor cross-section ≤300 mm²	70	160
	Conductor cross-section >300 mm²	70	140
Cross-linked polyethylene	(XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber	(EPR and HEPR)	90	250

بیشترین دمای قابل تحمل هادی های فشار قوی دارای غلاف با جنس های متفاوت، در جدول ۴ به صورت زیر آورده شده است.

Table 4 – Maximum conductor temperatures for different types of sheathing compound

Sheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
a) *Thermoplastic:*		
polyvinyl chloride (PVC)	ST_1	80
	ST_2	90
polyethylene	ST_3	80
	ST_7	90
b) *Elastomeric:*		
polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers	SE_1	85

ضخامت عایق، غلاف و زره ی کابل های فشار قوی، باید مطابق استاندارد [2] تعیین گردد.

۲-۱- محاسبات سطح مقطع هادی های فشار قوی

روند محاسبات سطح مقطع در هادی های فشار قوی، مشابه محاسبات هادی های فشار ضعیف در فصل اول است. با این تفاوت که، در این قسمت، از جدول های پیوست ۲ که از استاندارد [2] استخراج شده، استفاده خواهد شد.

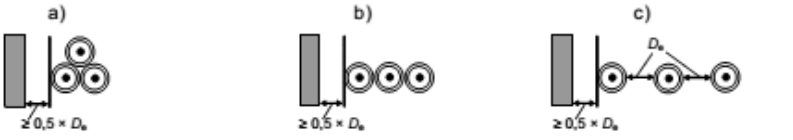
جداول پیوست ۲ براساس شرایط استاندارد زیر نگاشته شده اند. بنابراین در صورتی که شرایط نصب با شرایط زیر متفاوت باشد، مانند آنچه در بحث فشار ضعیف گفته شد، باید ضریب تصحیح KD در نظر گرفته شود.

دمای محیط	۳۰ درجه سانتی گراد
دمای خاک	۲۰ درجه سانتی گراد
مقاومت حرارتی زمین	1.5 KM/W
عمق نصب کابل های دفنی	۸۰ سانتی متر

۲-۲- روش های نصب هادی های فشار قوی

- کابل های هوایی تک هسته ای

کابل هوایی با هادی های تک هسته ای، به سه حالت زیر قابل نصب است.



where D_e is the external diameter of the cable.

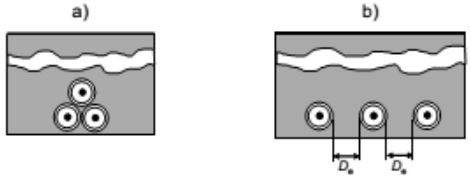
IEC 426/05

Figure B.1 – Single-core cables in air

- کابل های مدفون شده تک هسته ای

کابل مدفون شده زیر زمین با هادی های تک هسته ای، به دو حالت زیر، در عمق ۸۰ سانتی متری زیر زمین، قابل نصب است.

a) three cables in trefoil formation touching throughout their length;
b) three cables in horizontal flat formation with a clearance of one cable diameter, D_e.



IEC 427/05

Figure B.2 – Single-core cables buried direct

- کابل های مدفون شده زیر زمین درون داکت سفالی با هادی تک هسته ای

در شکل زیر، دو حالت قرارگیری کابل های مدفون شده در زیر زمین درون داکت سفالی با هادی تک هسته ای آورده شده است. عمق نصب در نظر گرفته شده در این حالت ۸۰ سانتی متر از سطح زمین می باشد.

a) three cables in trefoil ducts touching throughout their length;
b) three cables in horizontal flat formation, ducts touching throughout their length.

IEC 428/05

Figure B.3 – Single-core cables in earthenware ducts

- کابل های سه هسته ای

کابل های دارای هادی های سه هسته، ممکن است به یکی از سه حالت زیر نصب شوند.

a) single cable in air spaced at least 0,3 times the cable diameter from any vertical surface;
b) single cable buried direct in the ground at a depth of 0,8 m;
c) single cable in a buried earthenware duct having dimensions calculated in the same manner as for the single-core cables in ducts. The depth of burial of the duct is 0,8 m.

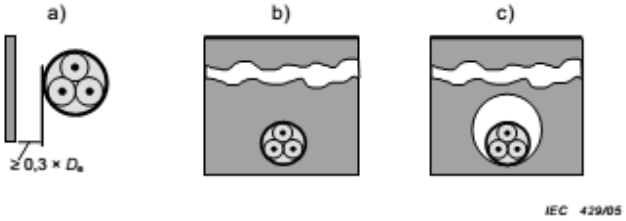


Figure B.4 – Three-core cables

a- کابل های نصب شده هوایی با فاصله ۰/۳ برابر قطر از سطح موازی آن.

b- کابل های نصب شده در عمق ۸۰ سانتی متری زمین.

c- کابل های نصب شده در عمق ۸۰ سانتی متری زمین درون داکت سفالی.

۳- نکات طراحی و سایزینگ

- در صورتی که مقدار جریان های **هارمونیکی** از ۱۰ درصد جریان نامی بیشتر باشد، هادی نول باید طوری انتخاب شود، که سطح مقطع نول نباید از سطح مقطع فاز کمتر باشد. برای ملاحظات بیشتر در رابطه با جریان های هارمونیکی به ANNEX D از استاندارد [2] مراجعه کنید.

- در مدارات زیر لازم است، هادی **نول** سطح مقطعی مانند هادی فاز داشته باشد.

- در مدار های تکفاز (دوسیمه)
- چند فاز یا تک فاز سه سیمه در حالتی که سطح مقطع هادی های مسی و آلمینیومی به ترتیب از ۱۶ و ۲۵ میلی متر مربع کمتر (یا برابر) باشد.

- در سیستم های چند فاز در صورتی که سطح مقطع هادی مس از ۱۶mm2، (آلمینیوم از ۲۵mm2) بیشتر باشد، در حالتی که شرط زیر برآورده شود، سطح مقطع سیم **نول** می تواند از سیم فاز کمتر انتخاب شود.

- سطح مقطع مورد نیاز برای عبور جریان هارمونیکی از سیم نول، از سطح مقطع کاهش یافته سیم نول، کمتر نباشد. (سیم نول توانایی عبور جریان های هارمونیکی را داشته باشد.)

- در سیستم های سه فاز با چهار سیم (در کابل های چند هسته ای)، سطح مقطع سیم **نول** نباید از ۵۰ درصد سطح مقطع سیم فاز کمتر باشد.[3] در حالت های زیر کاهش سطح مقطع سیم نول در سیستم های سه فاز چهار سیمه مجاز نیست.

- زمانی که بار های تغذیه شده نا متعادل باشند.
- در زمان وجود جریان های هارمونیکی
- مدارهای تغذیه لامپ های تخلیه الکتریکی

- براساس رابطه زیر، در حالت سه فاز، می توان **تلفات حرارتی کابل** را محاسبه کرد.

$$P_{loss} = 3 * R * I^2$$

که در رابطه فوق

R: مقاومت الکتریکی کابل در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد

I: جریان نامی کابل در حال کار

- برای هادی **نول** که در **سیستم حفاظت اضافه جریان** مورد استفاده قرار می گیرد، حداقل سطح مقطع سیم نول برای هادی مسی باید 16 mm^2 (آلمینیوم ۲۵mm^2) در نظر گرفته شود.

- **سطح مقطع کابل حفاظتی زمین:** اندازه سطح مقطع هادی زمین نباید از مقادیر تعیین شده، در دو مورد زیر، کمتر باشد. درصورتی که زمان قطع سیستم براثر عملکرد حفاظت از ۱ ثانیه بیشتر نباشد، اندازه سطح مقطع هادی زمین و هادی حفاظتی نباید از مقداری که توسط فرمول زیر به دست آورده می شود، کمتر در نظر گرفته شود. [3]

$$S = \frac{\sqrt{I^2.t}}{K}$$

Where:

S: is the cross – sectional area, in mm^2
I: is the value (r.m.s) in ampere of prospective fault current
t: is the operating time of the back – up protection device
K: is the factor dependent on the material of the protective conductor, the insulation and other parts and the initial and the final temperatures. (For calculation of K, see IEC 60364-5-54 annex A)

اندازه سطح مقطع هادی زمین و هادی حفاظتی نباید از مقدار مشخص شده، طبق جداول زیر، کمتر در نظر گرفته شود.

TABLE 17 - CONDUCTOR SIZE FOR BRANCH EARTH CONDUCTORS, CONNECTED TO INDIVIDUAL SWITCHGEAR AND CONTROL GEAR ASSEMBLIES, MOUNTED IN SUBSTATIONS, SWITCH ROOMS AND CONTROL ROOMS

Rated short current and duration	Conductor size in mm^2
20 KA / 1 s	2×70
25 KA / 1 s	2×70
31.5 KA / 1 s	2×70
40 KA / 1 s	2×70
50 KA / 1 s	2×120
63 KA / 1 s	2×120
80 KA / 1 s	2×150

Note:
2×70 means, 70mm^2 cable connected to two side switchgear and controlgear.

TABLE 18 - MINIMUM EARTHING / PROTECTIVE CONDUCTOR SIZE FOR VARIOUS APPLICATIONS

APPLICATION	SIZE / mm^2
Plant earth main ring	70
Branch to metallic enclosures of H.V & M.V electrical equipment	70
Branch to metallic enclosures of H.V & M.V electrical equipment , having a supply cable cross-sectional area 35 mm^2	35
Branch to metallic enclosures of H.V & M.V electrical equipment , having a supply cable cross-sectional area < 35 mm^2	25
Branch to control panels, etc.	25
Branch to non-electrical equipment exposed to lightning , e.g. tanks, columns and tall structures	70
To other non-electrical equipments	25
Interconnection cable between clean earth and electrical earthing system	70
Interconnection cable between lightning earth electrode and structure to be protected	70
Main earth wire for temporary electrical installations	70
Branch earth wire for temporary electrical installations	25

- سطح مقطع **سیم زمین ژنراتور** های قدرت باید بیشتر از $70mm^2$ انتخاب شود. [3]

- وقتی Switch board به وسیله ترانسفورماتور تغذیه می شود، سایز کابل ورودی مطابق با سایز مناسب برای تحمل جریان نامی ترانس طراحی می شود. [3]
- وقتی Switch board به وسیله ترانسفورماتور تغذیه نمی شود، سایز کابل ورودی مطابق با سایز مناسب برای تحمل جریان نامی کلید Incoming و یا کلید تغذیه Bus bar طراحی می شود. [3]

- محاسبات سایز کابل با استفاده از برنامه های کامپیوتری : برنامه های کامپیوتری می تواند در حل مسائل انتخاب سایز کابل ها، طراحی نحوه قرارگیری و ... با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و تکنیکی کمک کند.[3]

- **اسناد کابل ها** باید شامل موارد زیر شود.

پرونده طراحی کابلها شامل سایزینگ، انتخاب مشخصات و...

انتخاب مسیر عبور کابل ها

نحوه قرارگیری سینی کابل و ساپورت

شکل برش عرضی کابل، مشخص شدن مقطع کابل و فواصل آن

دیاگرام اتصال شامل شماره کابل، شماره شناسایی هسته کابل، شماره پایانه ها[3]

- انتخاب کابل [3]

- برای مناطق نزدیک دریا، کابل باید با سطح مقطع دایره ای، به صورت رشته ای طبق استاندارد IEC60228 انتخاب گردد.

- هیچ عایق PVC نباید برای دمای زیر صفر طراحی شود. مگر اینکه از نوع خاص باشد (Low Special) که در این حالت تا ۱۰- درجه سانتی گراد نیز قابل نصب می باشد.

- بسته به میزان آلودگی خاک یا وجود مواد مخرب شیمیایی، به ویژه در مناطق فرآیندی، کابل باید دارای غلاف سربی باشد. درواقع تا زمانی که زمین از آلودگی دور نماند، نیز باید از کابل های با غلاف سربی استفاده کنیم؛ از این رو باید در صنایع نفت و صنایع شیمیایی از کابل با غلاف سربی استفاده شود.

- کابل های چند هسته ای، معمولا نسبت به کابل های دارای یک هادی ترجیح داده می شود. هرچند کابل-های دارای یک هادی، معمولا به دلایل عملی و اقتصادی برای فواصل کوتاه استفاده می شوند. به عنوان مثال، معمولا در خروجی ژنراتور از کابل های تک هسته ای استفاده می شود.

- کابل هایی که جهت کنترل، حفاظت، نمایش، آلارم و ... استفاده می شوند، باید مناسب همان کاربرد مخصوص طراحی شوند.

کابل مدارات ولتاژ متوسط و فشارقوی

- کابل باید دارای هادی مسی با عایق پلی اتیلن (XLPE) با غلاف سربی و زره سیمی باشد.

کابل مدارات ولتاژ فشار ضعیف

-کابل باید دارای هادی مسی با عایق پلی اتیلن (XLPE) یا PVC و سطح مقطع گرد با ولتاژ 100KV/600 و همچنین با غلاف سربی و زره سیمی باشد.

-کابل کشی به صورت زیرزمینی یا روی زمین

کابل های کنترلی

-کابل های دو یا چندتایی کنترل و روشنایی باید: مسی / قابل نصب به صورت زیرزمینی و روی زمین / دارای عایق پی وی سی / 1000KV/600 / دارای غلاف سربی / زره تک سیم / برای سیگنالینگ ها و نشان دهنده ها.

کابل های مسی با غلاف و عایق معدنی

-در مناطق با دمای بالا، از غلاف معدنی که در برابر گرما مقاوم است(MICC) استفاده می شود.

-زمانی که از عایق معدنی استفاده می کنیم، کابل باید دارای هادی مسی و غلاف PVC باشد. کابل های با عایق معدنی، مطابق استاندارد IEC60702-1 می باشند.

- محدود به کاربردهای تجاری و سبک صنعتی مانند دفاتر، ماژول ها، اتاق کنترل و...

-مقاوم در برابر آتش (کاربرد در هشدار دهنده ها و تشخیص دهنده های آتش سوزی)

-کاربرد در محل هایی که نیاز است، کابل برای تعمیرات به صورت مکرر، قطع و وصل شود.

کابل های زمین

-تک هسته ای/ با هادی مسی به صورت پیچیده شده یا تک رشته / دارای عایق PVC / دارای رنگ سبز، زرد / قابل استفاده در زیر و روی زمین / دارای غلاف PVC که محافظ در برابر خوردگی الکترولیتی باشد.

سیم های فشار ضعیف

-در ولتاژهای LV سیم ها باید ویژگی های روبرو را داشته باشند: دارای هادی های مسی به صورت پیچیده - شده یا تک رشته / عایق PVC مطابق IEC60227 / نصب در لوله های فولادی گالوانیزه سخت / حداقل سطح مقطع باید 2.5mm2 باشد /

کابل های انعطاف پذیر

-در معرض لغزش از کابل ها یا سیم های انعطاف پذیر استفاده می شود / تا 450V دارای عایق لاستیک نئوپرن سنگین / مقاوم در برابر خمش و فشارهای مکانیکی / مطابق با استاندارد IEC60227-2

کابل های قابل استفاده در دریا

- عایق در برابر آب / دارای عایق XLPE یا عایق لاستیکی / EPR مسی / رشته ای.

- کابل های قابل استفاده در دریا با ویژگی های فوق، برای کاربردهای دیگر، قابل استفاده است.

-برای پروژه های کوچک، کابل با عایق EPR، با زره فولاد گالوانیزه یا آلیاژ مس، مطابق IEC600923 برحسب ملاحظات اقتصادی تهیه می شود.

-هرگاه برای کابل های تک هسته ای به زره نیاز داشته باشیم، این زره باید شامل برنز فسفر، مطابق استاندارد IEC60092-3 باشد.

انتخاب کابل برای مناطق در معرض خطر آتش سوزی

- دیاگرام مناطق در معرض ریسک آتش سوزی، شامل مناطق آسیب پذیر آتش و منابع تولید آتش سوزی باید رسم شود.
- در موارد زیر باید از کابل های مقاوم در برابر آتش سوزی استفاده کرد.
  - تجهیزات، مدارات در مناطق در معرض ریسک آتش سوزی
  - مدارات لازم برای Shut down دادن به واحد در مواقع اضطراری
  - روشنایی اضطراری
  - کابل های ضروری برای حفظ جان افراد یا تجهیزات، مانند آلارم های آتش نشانی، دتکتور های گازی و...
  - بسته به کاربرد، کابل ها باید مقاوم در برابر آتش (Fire proof) باشند.

ملاحظات محیطی

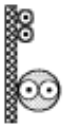
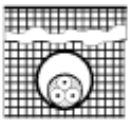
- غلاف کابل ها باید از مواد مناسبی ساخته شده تا بتواند در برابر حوادث محیطی مقاوم باشد. بعضی از مؤلفه-های محیطی مخرب:
  - تخریب در برابر آب دریا
  - تخریب در برابر حرارت منتشرشده از فلر یا خورشید.
  - دمای محیطی خیلی بالا یا خیلی پایین.

- اندازه سطح مقطع **لوله یا خرطومی** برق (Conduit) باید به صورتی انتخاب شود که نهایتا ۴۰ درصد از فضای داخل آن، توسط سیم ها اشغال شود.[3]
- **سینی ها** به دو صورت سوراخ دار (جهت فیکس کردن کابل ها) و بدون سوراخ هستند. در صورتی که سوراخ ها کمتر از ۳۰ درصد مساحت سینی را اشغال کنند، سینی بدون سوراخ حساب می شود.[2]

پیوست (۱)

جداول مربوط به انتخاب سطح مقطع هادی های فشار ضعیف

Table A.52-1 (52-B1) – **Schedule of reference methods of installation which form the basis of the tabulated current-carrying capacities**

Reference method of installation		Table and column						
		Current-carrying capacities for single circuits					Ambient temperature factor	Group reduction factor
		PVC insulated		XLPE ▮ EPR insulated		Mineral insulated		
		Number of cores						
		2	3	2	3	1, 2 and 3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Room **Insulated conductors in** conduit in a **thermally insulated** wall	A1	**A.52-2** Col. 2	**A.52-4** Col. 2	**A.52-3** Col. 2	**A.52-5** Col. 2	–	**A.52-14**	**A.52-17**
Room Multi-core cable in conduit in a thermally insulated wall	A2	A.52-2 Col. 3	A.52-4 Col. 3	A.52-3 Col. 3	A.52-5 Col. 3	–	A.52-14	A.52-17
Insulated conductors in conduit on a wooden wall	B1	A.52-2 Col. 4	A.52-4 Col. 4	A.52-3 Col. 4	A.52-5 Col. 4	–	A.52-14	A.52-17
Multi-core **cable in conduit** on a wooden wall	B2	A.52-2 Col. 5	A.52-4 Col. 5	A.52-3 Col. 5	A.52-5 Col. 5	–	A.52-14	A.52-17
 Single-core or multi-core cable on a wooden wall	C	A.52-2 Col. 6	A.52-4 Col. 6	A.52-3 Col. 6	A.52-5 Col. 6	70 °C Sheath 52-C5 105 °C Sheath 52-C6	A.52-14	A.52-17
 **Multi-core cable in ducts** in the ground	D	A.52-2 Col. 7	A.52-4 Col. 7	A.52-3 Col. 7	A.52-5 Col. 7	–	A.52-15	A.52-19
Multi-core cable in free air Clearance to wall not **less than 0,3 times cable diameter**	E	Copper A.52-10 Aluminium A.52-11		Copper A.52-12 Aluminium A.52-13		70 °C Sheath A.52-8 105 °C Sheath A.52-9	A.52-14	A.52-17

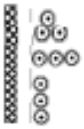
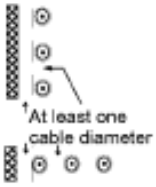
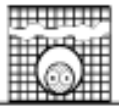
 **Clearance to wall not less than one cable** diameter	Single-core **cables, touching in** free air	F	Copper A.52-10 Aluminium A.52-11	Copper A.52-12 Aluminium A.52-13	70 °C Sheath A.52-8 105 °C Sheath A.52-9	A.52-14	A.52-17
 At least one cable diameter	Single-core cables, spaced in free air	G	Copper A.52-10 Aluminium A.52-11	Copper A.52-12 Aluminium A.52-13	70 °C Sheath A.52-8 105 °C Sheath A.52-9	A.52-14	–

Table A.52-2 (52-C1) **– Current-carrying capacities in amperes for methods of installation in table A.52-1** (52-B1) **– PVC insulationItwo loaded conductorsIcopper or aluminium – Conductor temperature: 70 °C/Ambient temperature: 30 °C in air, 20 °C in ground**

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1,5	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22
2,5	19,5	18,5	24	23	27	29
4	26	25	32	30	36	38
6	34	32	41	38	46	47
10	46	43	57	52	63	63
16	61	57	76	69	85	81
25	80	75	101	90	112	104
35	99	92	125	111	138	125
50	119	110	151	133	168	148
70	151	139	192	168	213	183
95	182	167	232	201	258	216
120	210	192	269	232	299	246
150	240	219	–	–	344	278
185	273	248	–	–	392	312
240	321	291	–	–	461	361
300	367	334	–	–	530	408
Aluminium						
2,5	15	14,5	18,5	17,5	21	22
4	20	19,5	25	24	28	29
6	26	25	32	30	36	36
10	36	33	44	41	49	48
16	48	44	60	54	66	62
25	63	58	79	71	83	80
35	77	71	97	86	103	96
50	93	86	118	104	125	113
70	118	108	150	131	160	140
95	142	130	181	157	195	166
120	164	150	210	181	226	189
150	189	172	–	–	261	213
185	215	195	–	–	298	240
240	252	229	–	–	352	277
300	289	263	–	–	406	313

NOTE In columns 3, 5, 6 and 7, circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors

Table A.52-3 (52-C2) **– Current-carrying capacities in amperes for methods of installation in table A.52-1** (52-B1) **– XLPE or EPR insulation/two loaded conductors/copper or aluminium – Conductor temperature: 90 °C/Ambient temperature: 30 °C in air, 20 °C in ground**

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1,5	19	18,5	23	22	24	26
2,5	26	25	31	30	33	34
4	35	33	42	40	45	44
6	45	42	54	51	58	56
10	61	57	75	69	80	73
16	81	76	100	91	107	95
25	106	99	133	119	138	121
35	131	121	164	146	171	146
50	158	145	198	175	209	173
70	200	183	253	221	269	213
95	241	220	306	265	328	252
120	278	253	354	305	382	287
150	318	290	–	–	441	324
185	362	329	–	–	506	363
240	424	386	–	–	599	419
300	486	442	–	–	693	474
Aluminium						
2,5	20	19,5	25	23	26	26
4	27	26	33	31	35	34
6	35	33	43	40	45	42
10	48	45	59	54	62	56
16	64	60	79	72	84	73
25	84	78	105	94	101	93
35	103	96	130	115	126	112
50	125	115	157	138	154	132
70	158	145	200	175	198	163
95	191	175	242	210	241	193
120	220	201	281	242	280	220
150	253	230	–	–	324	249
185	288	262	–	–	371	279
240	338	307	–	–	439	322
300	387	352	–	–	508	364

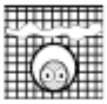
NOTE In columns 3, 5, 6 and 7, circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors.

Table A.52-4 (52-C3) – **Current-carrying capacities in amperes for methods of installation in table A.52-1** (52-B1) – **PVC insulation/three loaded conductors/copper or aluminium – Conductor temperature: 70 °C/Ambient temperature: 30 °C in air, 20 °C in ground**

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18
2,5	18	17,5	21	20	24	24
4	24	23	28	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	–	–	299	230
185	245	223	–	–	341	258
240	286	261	–	–	403	297
300	328	298	–	–	464	336
Aluminium						
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5
4	18,5	17,5	22	21	25	24
6	24	23	28	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	48	59	52
25	57	53	70	62	73	66
35	70	65	86	77	90	80
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	118	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	–	–	227	178
185	194	176	–	–	259	200
240	227	207	–	–	305	230
300	261	237	–	–	351	260

NOTE In columns 3, 5, 6 and 7, circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors.

Table A.52-5 (52-C4) **– Current-carrying capacities in amperes for methods of installation in table A.52-1** (52-B1) **– XLPE or EPR insulationIthree loaded conductorsIcopper or aluminium – Conductor temperature: 90 °C/Ambient temperature: 30 °C in air, 20 °C in ground**

Nominal cross-sectional area of conductor mm^2	Installation methods of table A.52-1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1,5	17	16,5	20	19,5	22	22
2,5	23	22	28	26	30	29
4	31	30	37	35	40	37
6	40	38	48	44	52	46
10	54	51	66	60	71	61
16	73	68	88	80	96	79
25	95	89	117	105	119	101
35	117	109	144	128	147	122
50	141	130	175	154	179	144
70	179	164	222	194	229	178
95	216	197	269	233	278	211
120	249	227	312	268	322	240
150	285	259	–	–	371	271
185	324	295	–	–	424	304
240	380	346	–	–	500	351
300	435	396	–	–	576	396
Aluminium						
2,5	19	18	22	21	24	22
4	25	24	29	28	32	29
6	32	31	38	35	41	36
10	44	41	52	48	57	47
16	58	55	71	64	76	61
25	76	71	93	84	90	78
35	94	87	116	103	112	94
50	113	104	140	124	136	112
70	142	131	179	156	174	138
95	171	157	217	188	211	164
120	197	180	251	216	245	186
150	226	206	–	–	283	210
185	256	233	–	–	323	236
240	300	273	–	–	382	272
300	344	313	–	–	440	308

NOTE In columns 3, 5, 6 and 7, circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm^2. Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors.

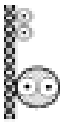
Table A.52-6 (52-C5) **– Current-carrying capacities in amperes for installation method C of table A.52-1** (52-B1) **– Mineral insulationlcopper conductors and sheath – PVC covered or bare exposed to touch** (see note 2) **Metallic sheath temperature: 70 °C/Reference ambient temperature: 30 °C**

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Number and arrangement of conductors for method C of table A.52-1		
	Two loaded conductors twin or single-core	Three loaded conductors	
		Multi-core or single-core in trefoil formation	Single-core in flat formation
1	2	3	4
500 V			
1,5	23	19	21
2,5	31	26	29
4	40	35	38
750 V			
1,5	25	21	23
2,5	34	28	31
4	45	37	41
6	57	48	52
10	77	65	70
16	102	86	92
25	133	112	120
35	163	137	147
50	202	169	181
70	247	207	221
95	296	249	264
120	340	286	303
150	388	327	346
185	440	371	392
240	514	434	457

NOTE 1 For single-core cables the sheaths of the cables of the circuit are connected together at both ends.

NOTE 2 For bare cables exposed to touch, values should be multiplied by 0,9.

Table A.52-7 (52-C6) – Current-carrying capacities in amperes for installation method C of table A.52-1 (52-B1) – Mineral insulation/copper conductors and sheath – Bare cable not exposed to touch and not in contact with combustible material Metallic sheath temperature: 105 °C/Reference ambient temperature: 30 °C

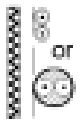
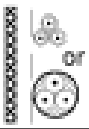
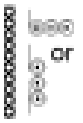
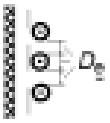
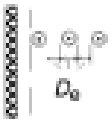
Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Number and arrangement of conductors for method C of table A.52-1		
	Two loaded conductors twin or single-core	Three loaded conductors	
		Multi-core or single-core in trefoil formation	Single-core in flat formation
			
1	2	3	4
500 V			
1,5	28	24	27
2,5	38	33	36
4	51	44	47
750 V			
1,5	31	26	30
2,5	42	35	41
4	55	47	53
6	70	59	67
10	96	81	91
16	127	107	119
25	166	140	154
35	203	171	187
50	251	212	230
70	307	260	280
95	369	312	334
120	424	359	383
150	485	410	435
185	550	465	492
240	643	544	572

NOTE 1 For single-core cables, the sheaths of the cables of the circuit are connected together at both ends.

NOTE 2 No correction for grouping need be applied.

NOTE 3 For this table reference method C refers to a masonry wall because the high sheath temperature is not normally acceptable for a wooden wall.

Table A.52-8 (52-C7) – Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1 (52-B1) – Mineral insulation/Copper conductors and sheath/PVC covered or bare exposed to touch (see note 2)
Metallic sheath temperature: 70 °C/Reference ambient temperature: 30 °C

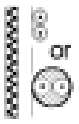
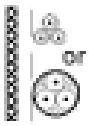
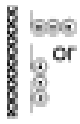
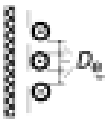
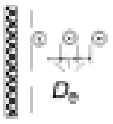
Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Number and arrangement of cables for methods E, F and G of table A.52-1				
	Two loaded conductors twin or single-core	Three loaded conductors			
		Multi-core or single-core in trefoil formation	Single-core touching	Single-core flat vertical spaced	Single-core horizontal spaced
	Method E or F	Method E or F	Method F	Method G	Method G
					
1	2	3	4	5	6
500 V					
1,5	25	21	23	26	29
2,5	33	28	31	34	39
4	44	37	41	45	51
750 V					
1,5	26	22	26	28	32
2,5	36	30	34	37	43
4	47	40	45	49	56
6	60	51	57	62	71
10	82	69	77	84	95
16	109	92	102	110	125
25	142	120	132	142	162
35	174	147	161	173	197
50	215	182	198	213	242
70	264	223	241	259	294
95	317	267	289	309	351
120	364	308	331	353	402
150	416	352	377	400	454
185	472	399	426	446	507
240	552	466	496	497	565

NOTE 1 For single-core cables the sheaths of the cables of the circuit are connected together at both ends.

NOTE 2. For bare cables exposed to touch, values should be multiplied by 0,9.

NOTE 3 D_e is the external diameter of the cable.

Table A.52-9 (52-C8) – **Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1** (52-B1) – **Mineral insulation/Copper conductors and sheath/ Bare cable not exposed to touch** (see note 2) **Metallic sheath temperature: 105 °C/Reference ambient temperature: 30 °C**

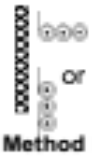
Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Number and arrangement of cables for methods E, F and G of table A.52-1				
	Two loaded conductors, twin or single-core	Three loaded conductors			
		Multi-core or single-core in trefoil formation	Single-core touching	Single-core flat vertical spaced	Single-core horizontal spaced
	Method E or F	Method E or F	Method F	Method G	Method G
					
1	2	3	4	5	6
500 V					
1,5	31	26	29	33	37
2,5	41	35	39	43	49
4	54	46	51	56	64
750 V					
1,5	33	28	32	35	40
2,5	45	38	43	47	54
4	60	50	56	61	70
6	76	64	71	78	89
10	104	87	96	105	120
16	137	115	127	137	157
25	179	150	164	178	204
35	220	184	200	216	248
50	272	228	247	266	304
70	333	279	300	323	370
95	400	335	359	385	441
120	460	385	411	441	505
150	526	441	469	498	565
185	596	500	530	557	629
240	697	584	617	624	704

NOTE 1 For single-core cables the sheaths of the cables of the circuit are connected together at both ends.

NOTE 2 No correction for grouping need be applied.

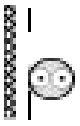
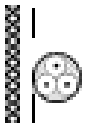
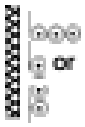
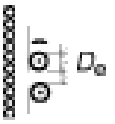
NOTE 3 D_e is the external diameter of the cable.

Table A.52-10 (52-C9) – **Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1** (52-B1) – **PVC insulation/Copper conductors**
Conductor temperature: 70 °C/Reference ambient temperature: 30 °C

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1						
	Multi-core cables		Single-core cables				
	Two loaded conductors	Three loaded conductors	Two loaded conductors touching	Three loaded conductors trefoil	Three loaded conductors, flat		
					Touching	Spaced	
						Horizontal	Vertical
							
	Method E	Method E	Method F	Method F	Method F	Method G	Method G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	22	18,5	–	–	–	–	–
2,5	30	25	–	–	–	–	–
4	40	34	–	–	–	–	–
6	51	43	–	–	–	–	–
10	70	60	–	–	–	–	–
16	94	80	–	–	–	–	–
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	–	–	754	656	689	852	795
500	–	–	868	749	789	982	920
630	–	–	1 005	855	905	1 138	1 070

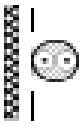
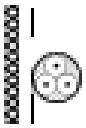
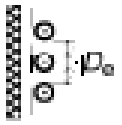
NOTE Circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors

Table A.52-11 (52-C10) – Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1 (52-B1) – PVC insulation/Aluminium conductors
Conductor temperature: 70 °C/Reference ambient temperature: 30 °C

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1						
	Multi-core cables		Single-core cables				
	Two loaded conductors	Three loaded conductors	Two loaded conductors touching	Three loaded conductors trefoil	Three loaded conductors, flat		
					Touching	Spaced	
						Horizontal	Vertical
							
	Method E	Method E	Method F	Method F	Method F	Method G	Method G
1	2	3	4	5	6	7	8
2,5	23	19,5	–	–	–	–	–
4	31	26	–	–	–	–	–
6	39	33	–	–	–	–	–
10	54	46	–	–	–	–	–
16	73	61	–	–	–	–	–
25	89	78	98	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	183	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447
300	439	381	497	434	455	557	519
400	–	–	600	526	552	671	629
500	–	–	694	610	640	775	730
630	–	–	808	711	746	900	852

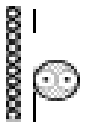
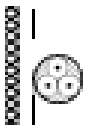
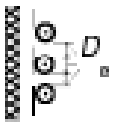
NOTE Circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors

Table A.52-12 (52-C11) – **Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1** (52-B1) – **XLPE or EPR insulation/Copper conductors – Conductor temperature: 90 °C/Reference ambient temperature: 30 °C**

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1						
	Multi-core cables		Single-core cables				
	Two loaded conductors	Three loaded conductors	Two loaded conductors touching	Three loaded conductors trefoil	Three loaded conductors, flat		
					Touching	Spaced	
						Horizontal	Vertical
							
	Method E	Method E	Method F	Method F	Method F	Method G	Method G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	26	23	–	–	–	–	–
2,5	36	32	–	–	–	–	–
4	49	42	–	–	–	–	–
6	63	54	–	–	–	–	–
10	86	75	–	–	–	–	–
16	115	100	–	–	–	–	–
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	228	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	–	–	940	823	868	1085	1008
500	–	–	1083	946	998	1253	1169
630	–	–	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362

NOTE Circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors

Table A.52-13 (52-C12) – Current-carrying capacities in amperes for installation methods E, F and G of table A.52-1 (52-B1) – XLPE or EPR insulation/Aluminium conductors
Conductor temperature: 90 °C/Reference ambient temperature: 30 °C

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	Installation methods of table A.52-1						
	Multi-core cables		Single-core cables				
	Two loaded conductors	Three loaded conductors	Two loaded conductors touching	Three loaded conductors trefoil	Three loaded conductors, flat		
					Touching	Spaced	
						Horizontal	Vertical
							
	Method E	Method E	Method F	Method F	Method F	Method G	Method G
1	2	3	4	5	6	7	8
2,5	28	24	–	–	–	–	–
4	38	32	–	–	–	–	–
6	49	42	–	–	–	–	–
10	67	58	–	–	–	–	–
16	91	77	–	–	–	–	–
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	–	–	740	663	694	856	792
500	–	–	856	770	806	991	921
630	–	–	996	899	942	1154	1077

NOTE Circular conductors are assumed for sizes up to and including 16 mm². Values for larger sizes relate to shaped conductors and may safely be applied to circular conductors

Table A.52-14 (52-DI) **– Correction factor for ambient air temperatures other than 30 °C to be applied to the current-carrying capacities for cables in the air**

Ambient temperature [a] °C	Insulation			
	PVC	XLPE and EPR	Mineral [a]	
			PVC covered or bare and exposed to touch 70 °C	Bare not exposed to touch 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,87	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	–	0,65	–	0,70
70	–	0,58	–	0,65
75	–	0,50	–	0,60
80	–	0,41	–	0,54
85	–	–	–	0,47
90	–	–	–	0,40
95	–	–	–	0,32

[a] For higher ambient temperatures, consult manufacturer.

Table A.52-15 (52-D2) – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C to be applied to the current-carrying capacities for cables in ducts in the ground

Ground temperature °C	Insulation	
	PVC	XLPE and EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Table A..52-16 (52-D3) – Correction factors for cables in buried ducts for soil thermal resistivities other than 2,5 K·m/W to be applied to the current-carrying capacities for reference method D

Thermal resistivity, K·m/W	1	1,5	2	2,5	3
Correction factor	1,18	1,1	1,05	1	0,96

NOTE 1 The correction factors given have been averaged over the range of conductor sizes and types of installation included in tables A.52-2 to A.52-5. The overall accuracy of correction factors is within f5 %.

NOTE 2 The correction factors are applicable to cables drawn into buried ducts; for cables laid direct in the ground the correction factors for thermal resistivities less than 2,5 K·m/W will be higher. Where more precise values are required they may be calculated by methods given in IEC 60287.

NOTE 3 The correction factors are applicable to ducts buried at depths of up to 0,8 m.

Table A.52-17 (52-EI) **– Reduction factors for groups of more than one circuit or of more than one multi-core cable to be used with current carrying capacities of tables A.52-2** (52-C1) **to A.52-13** (52-C12)

Item	Arrangement (cables touching)	Number of circuits or multi-core cables												To be used with current-carrying capacities, reference
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Bunched in air, on a surface, embedded or enclosed	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	A.52-2 to A.52-13 Methods A to F
2	Single layer on wall, floor or unperforated tray	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	No further reduction factor for more than nine circuits or multicore cables			A.52-2 to A.52-7 Method C
3	Single layer fixed directly under a wooden ceiling	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Single layer on a perforated horizontal or vertical tray	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				A.52-8 to A.52-13 Methods E and F
5	Single layer on ladder support or cleats etc.,	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTE 1 These factors are applicable to uniform groups of cables, equally loaded.

NOTE 2 Where horizontal clearances between adjacent cables exceeds twice their overall diameter, no reduction factor need be applied.

NOTE 3 The same factors are applied to:
- groups of two or three single-core cables;
- multi-core cables.

NOTE 4 If a system consists of both two- and three-core cables, the total number of cables is taken as the number of circuits, and the corresponding factor is applied to the tables for two loaded conductors for the two-core cables, and to the tables for three loaded conductors for the three-core cables.

NOTE 5 If a group consists of n single-core cables it may either be considered as n/2 circuits of two loaded conductors or n/3 circuits of three loaded conductors.

NOTE 6 The values given have been averaged over the range of conductor sizes and types of installation included in tables A.52-2 to A.52-13 the overall accuracy of tabulated values is within 5 %.

NOTE 7 For some installations and for other methods not provided for in the above table, it may be appropriate to use factors calculated for specific cases, see for example tables A.52-20 to A.52-21.

Table A.52-18 (52-E2) – **Reduction factors for more than one circuit, cables laid directly in the ground – Installation method D in tables A.52-2** (52-C1) **to A.52-5** (52-C4) – **Single-core or multi-core cables**

Number of circuits	Cable to cable clearance (*a*)[3]				
	Nil (cables touching)	One cable diameter	*0,125* m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0 70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

[3] Multi-core cables

[3] Single-core cables

NOTE Values given apply to an installation depth of 0,7 m and a soil thermal resistivity of 2,5 K · m/W They are average values for the range of cable sizes and types quoted for tables A 52-2 to A 52-5 The process of averaging, together with rounding off, can result in some cases in errors up to ±10 % (Where more precise values are required they may be calculated by methods given in IEC 60287-2-1)

Table A.52-19 (52-E3) – **Reduction factors for more than one circuit, cables laid in ducts in the ground – Installation method D in tables A.52-2** (52-C1) **to A.52-5** (52-C4)

A) Multi-core cables in single-way ducts

Number of cables	Duct to duct clearance (*a*)[a]			
	Nil (ducts touching)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

[a] Multi-core cables

NOTE Values given apply to an installation depth of 0,7m and a soil thermal resistivity of 2,5K·m/W. They are average values for the range of cable sizes and types quoted for tables A.52-2 to A.52-5. The process of averaging, together with rounding off, can result in some cases in errors up to ±10 %. Where more precise values are required they may be calculated by methods given in IEC 60287.

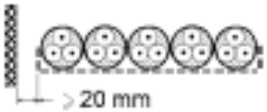
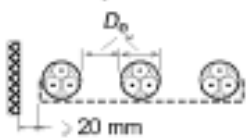
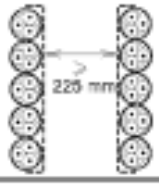
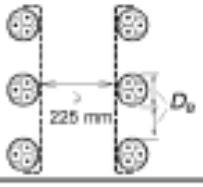
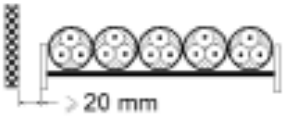
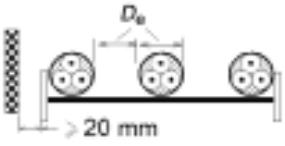
B) Single-core cables in single-way ducts

Number of single-core circuits of two or three cables	Duct to duct clearance (*a*)[a]			
	Nil (ducts touching)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

[a] Single-core cables

NOTE Values given apply to an installation depth of 0,7m and a soil thermal resistivity of 2,5K·m/W. They are average values for the range of cable sizes and types quoted for tables A.52-2 to A.52-5. The process of averaging, together with rounding off, can result in some cases in errors up to ±10 %. Where more precise values are required they may be calculated by methods given in IEC 60287.

Table A.52-20 (52-E4) **– Reduction factors for group of more than one multi-core cable to be applied to reference ratings for multi-core cables in free air – Method of installation E in tables A.52-8** (52-C7) **to A.52-13** (52-C12)

Method of installation in table 52-B2			Number of trays	Number of cables					
				1	2	3	4	6	9
Perforated trays (note 3)	31	Touching 	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
			2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		Spaced 	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
			2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
			3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	–
Vertical perforated trays (note 4)	31	Touching 	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
			2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
		Spaced 	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
			2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
Ladder supports, cleats, etc. (note 3)	32 33 34	Touching 	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
			2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
		Spaced 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
			2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
			3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	–

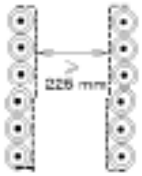
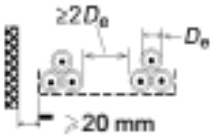
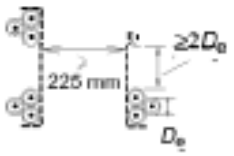
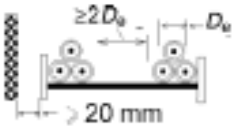
NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered in tables A.52-8 to A.52-13. The spread of values is generally less than 5 %.

NOTE 2 Factors apply to single layer groups of cables as shown above and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and must be determined by an appropriate method.

NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm and at least 20 mm between trays and wall. For closer spacing the factors should be reduced.

NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back. For closer spacing the factors should be reduced.

Table A.52-21 (52-E5) **– Reduction factors for groups of more than one circuit of single-core cables** (note 2) **to be applied to reference rating for one circuit of single-core cables in free air – Method of installation F in tables A.52-8** (52-C7) **to A.52-13** (52-C12)

Method of installation in table 52-3			Number of trays	Number of three-phase circuits (note 5)			Use as a multiplier to rating for
				1	2	3	
Perforated trays (note 3)	31	Touching	1 2 3	0,98 0,96 0,95	0,91 0,87 0,85	0,87 0,81 0,78	Three cables in horizontal formation
Vertical perforated trays (note 4)	31	Touching 	1 2	0,96 0,95	0,86 0,84	– –	Three cables in vertical formation
Ladder supports, cleats, etc. (note 3)	32 33 34	Touching	1 2 3	1,00 0,98 0,97	0,97 0,93 0,90	0,96 0,89 0,86	Three cables in horizontal formation
Perforated trays (note 3)	31		1 2 3	1,00 0,97 0,96	0,98 0,93 0,92	0,96 0,89 0,86	Three cables in trefoil formation
Vertical perforated trays (note 4)	31	Spaced 	1 2	1,00 1,00	0,91 0,90	0,89 0,86	
Ladder supports, cleats, etc. (note 3)	32 33 34		1 2 3	1,00 0,97 0,96	1,00 0,95 0,94	1,00 0,93 0,90	

NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered in table A.52-8 to A.52-13. The spread of values is generally less than 5 %.

NOTE 2 Factors are given for single layers of cables (or trefoil groups) as shown in the table and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and must be determined by an appropriate method.

NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm. For closer spacing the factors should be reduced.

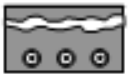
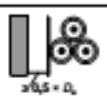
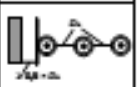
NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back and at least 20 mm between the tray and any wall. For closer spacing the factors should be reduced.

NOTE 5 For circuits having more than one cable in parallel per phase, each three phase set of conductors should be considered as a circuit for the purpose of this table.

پیوست (۲)

جداول مربوط به انتخاب سطح مقطع هادی های فشار قوی

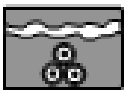
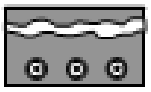
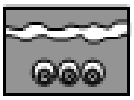
Table B.2 – Current ratings for single-core cables with XLPE insulation – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Copper conductor

Nominal area of conductor	Buried direct in the ground		In single-way ducts		In air		
	Trefoil	Flat spaced	Trefoil ducts	Flat touching ducts	Trefoil	Flat touching	Flat spaced
							
mm^2	A	A	A	A	A	A	A
16	109	113	103	104	125	128	150
25	140	144	132	133	163	167	196
35	166	172	157	159	198	203	238
50	196	203	186	188	238	243	286
70	239	246	227	229	296	303	356
95	285	293	271	274	361	369	434
120	323	332	308	311	417	426	500
150	361	366	343	347	473	481	559
185	406	410	387	391	543	550	637
240	469	470	447	453	641	647	745
300	526	524	504	510	735	739	846
400	590	572	564	571	845	837	938

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W
Screens bonded at both ends.	

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

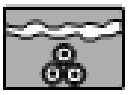
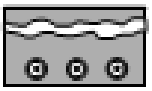
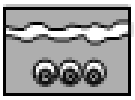
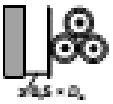
Table B.3 – Current ratings for single-core cables with XLPE insulation – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Aluminium conductor

Nominal area of conductor	Buried direct in the ground		In single-way ducts		In air		
	Trefoil	Flat spaced	Trefoil ducts	Flat touching ducts	Trefoil	Flat touching	Flat spaced
							
mm^2	A	A	A	A	A	A	A
16	84	88	80	81	97	99	116
25	108	112	102	103	127	130	153
35	129	134	122	123	154	157	185
50	152	157	144	146	184	189	222
70	186	192	176	178	230	236	278
95	221	229	210	213	280	287	338
120	252	260	240	242	324	332	391
150	281	288	267	271	368	376	440
185	317	324	303	307	424	432	504
240	367	373	351	356	502	511	593
300	414	419	397	402	577	586	677
400	470	466	451	457	673	676	769

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W
Screens bonded at both ends.	

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

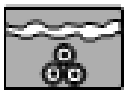
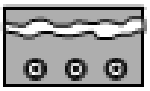
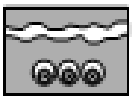
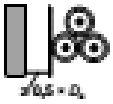
Table B.4 – Current ratings for single-core cables with EPR insulation – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Copper conductor

Nominal area of conductor	Buried direct in the ground		In single-way ducts		In air		
	Trefoil	Flat spaced	Trefoil ducts	Flat touching ducts	Trefoil	Flat touching	Flat spaced
							
mm²	A	A	A	A	A	A	A
16	106	109	99	100	116	119	138
25	136	140	128	129	153	156	181
35	162	167	153	154	186	190	221
50	192	198	181	183	224	229	266
70	234	242	222	224	280	287	334
95	280	289	266	269	343	352	409
120	319	329	303	306	398	407	474
150	357	369	341	344	454	465	540
185	403	417	386	390	522	534	621
240	467	484	449	454	619	634	736
300	526	545	509	515	712	728	843
400	597	618	580	588	825	843	977

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W
Screens bonded at both ends.	

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

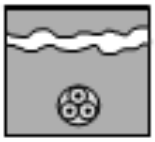
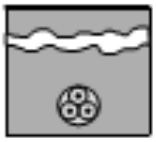
Table B.5 – Current ratings for single-core cables with EPR insulation – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Aluminium conductor

Nominal area of conductor	Buried direct in the ground		In single-way ducts		In air		
	Trefoil	Flat spaced	Trefoil ducts	Flat touching ducts	Trefoil	Flat touching	Flat spaced
							
mm^2	A	A	A	A	A	A	A
16	82	84	77	78	90	92	107
25	105	109	99	100	119	121	141
35	126	130	118	120	144	147	171
50	149	153	140	142	174	178	207
70	182	188	172	174	218	223	259
95	217	224	206	208	266	273	317
120	247	256	235	238	309	317	368
150	277	287	264	267	352	361	419
185	314	325	300	303	406	417	484
240	364	377	350	354	483	495	575
300	411	426	397	401	556	570	659
400	471	487	456	462	651	667	770

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W
Screens bonded at both ends.	

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

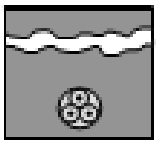
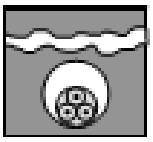
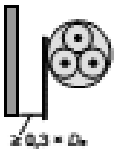
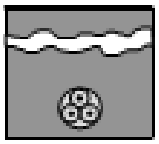
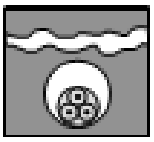
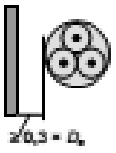
Table B.6 – Current rating for three-core XLPE insulated cables – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Copper conductor, armoured and unarmoured

Nominal area of conductor	Unarmoured			Armoured		
	Buried direct in ground	In a buried duct	In air	Buried direct in ground	In a buried duct	In air
						
mm^2	A	A	A	A	A	A
16	101	87	109	101	88	110
25	129	112	142	129	112	143
35	153	133	170	154	134	172
50	181	158	204	181	158	205
70	221	193	253	220	194	253
95	262	231	304	263	232	307
120	298	264	351	298	264	352
150	334	297	398	332	296	397
185	377	336	455	374	335	453
240	434	390	531	431	387	529
300	489	441	606	482	435	599
400	553	501	696	541	492	683

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

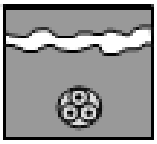
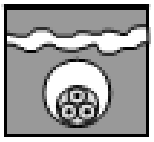
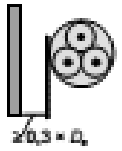
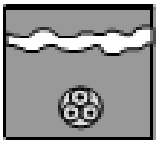
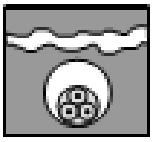
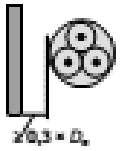
Table B.7 – Current rating for three-core XLPE insulated cables – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Aluminium conductor, armoured and unarmoured

Nominal area of conductor	Unarmoured			Armoured		
	Buried direct in ground	In a buried duct	In air	Buried direct in ground	In a buried duct	In air
						
mm^2	A	A	A	A	A	A
16	78	67	84	78	68	85
25	100	87	110	100	87	111
35	119	103	132	119	104	133
50	140	122	158	140	123	159
70	171	150	196	171	150	196
95	203	179	236	204	180	238
120	232	205	273	232	206	274
150	260	231	309	259	231	309
185	294	262	355	293	262	354
240	340	305	415	338	304	415
300	384	346	475	380	343	472
400	438	398	552	432	393	545

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

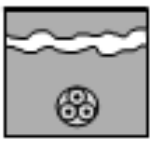
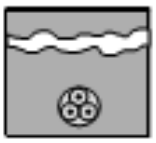
Table B.8 – Current rating for three-core EPR insulated cables – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Copper conductor, armoured and unarmoured

Nominal area of conductor	Unarmoured			Armoured		
	Buried direct in ground	In a buried duct	In air	Buried direct in ground	In a buried duct	In air
						
mm^2	A	A	A	A	A	A
16	98	84	104	98	85	104
25	125	109	135	125	109	136
35	150	130	164	150	131	164
50	176	154	195	177	155	197
70	216	189	243	216	190	244
95	258	227	296	257	227	296
120	292	258	339	292	259	339
150	328	291	385	327	291	385
185	371	330	441	368	328	439
240	429	384	519	424	381	513
300	482	434	590	475	429	583
400	545	494	678	534	485	666

Maximum conductor temperature	90 °C
Ambient air temperature	30 °C
Ground temperature	20 °C
Depth of laying	0,8 m
Thermal resistivity of soil	1,5 K·m/W
Thermal resistivity of earthenware ducts	1,2 K·m/W

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

Table B.9 – Current rating for three-core EPR insulated cables – Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * – Aluminium conductor, armoured and unarmoured

Nominal area of conductor	Unarmoured			Armoured		
	Buried direct in ground	In a buried duct	In air	Buried direct in ground	In a buried duct	In air
						
mm^2	A	A	A	A	A	A
16	76	65	80	76	66	81
25	97	84	105	97	85	105
35	116	101	127	116	101	127
50	137	119	151	137	120	153
70	167	147	189	168	147	190
95	200	176	229	200	176	230
120	227	201	263	227	201	264
150	255	226	299	254	226	300
185	289	257	343	288	257	343
240	335	300	406	332	299	402
300	378	340	462	374	338	459
400	432	392	538	426	387	530

Température maximale de l'âme	90 °C
Température ambiante	30 °C
Température du sol	20 °C
Profondeur de pose	0,8 m
Résistivité thermique du sol	1,5 K·m/W
Résistivité thermique du conduit en terre cuite	1,2 K·m/W

* Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV.

Table B.10 – Correction factors for ambient air temperatures other than 30 °C

Maximum conductor temperature °C	Ambient air temperature °C							
	20	25	35	40	45	50	55	60
90	1,08	1,04	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71

Table B.11 – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C

Maximum conductor temperature °C	Ambient ground temperature °C							
	10	15	25	30	35	40	45	50
90	1,07	1,04	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76

Table B.12 – Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for direct buried cables

Depth of laying m	Single-core cables		Three-core cables
	Nominal conductor size mm^2		
	≤185 mm^2	>185 mm^2	
0,5	1,04	1,06	1,04
0,6	1,02	1,04	1,03
1	0,98	0,97	0,98
1,25	0,96	0,95	0,96
1,5	0,95	0,93	0,95
1,75	0,94	0,91	0,94
2	0,93	0,90	0,93
2,5	0,91	0,88	0,91
3	0,90	0,86	0,90

Table B.13 – Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for cables in ducts

Depth of laying m	Single-core cables		Three-core cable
	Nominal conductor size mm²		
	≤185 mm²	>185 mm²	
0,5	1,04	1,05	1,03
0,6	1,02	1,03	1,02
1	0,98	0,97	0,99
1,25	0,96	0,95	0,97
1,5	0,95	0,93	0,96
1,75	0,94	0,92	0,95
2	0,93	0,91	0,94
2,5	0,91	0,89	0,93
3	0,90	0,88	0,92

Table B.14 – Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K·m/W for direct buried single-core cables

Nominal area of conductor mm²	Values of soil thermal resistivity K·m/W						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,29	1,24	1,19	1,15	0,89	0,82	0,75
25	1,30	1,25	1,20	1,16	0,89	0,81	0,75
35	1,30	1,25	1,21	1,16	0,89	0,81	0,75
50	1,32	1,26	1,21	1,16	0,89	0,81	0,74
70	1,33	1,27	1,22	1,17	0,89	0,81	0,74
95	1,34	1,28	1,22	1,18	0,89	0,80	0,74
120	1,34	1,28	1,22	1,18	0,88	0,80	0,74
150	1,35	1,28	1,23	1,18	0,88	0,80	0,74
185	1,35	1,29	1,23	1,18	0,88	0,80	0,74
240	1,36	1,29	1,23	1,18	0,88	0,80	0,73
300	1,36	1,30	1,24	1,19	0,88	0,80	0,73
400	1,37	1,30	1,24	1,19	0,88	0,79	0,73

Table B.15 – Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K·m/W single-core cables in buried ducts

Nominal area of conductor mm²	Values of soil thermal resistivity K·m/W						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,20	1,17	1,14	1,11	0,92	0,85	0,79
25	1,21	1,17	1,14	1,12	0,91	0,85	0,79
35	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,79
50	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
70	1,22	1,19	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
95	1,23	1,19	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
120	1,23	1,20	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
150	1,24	1,20	1,16	1,13	0,91	0,83	0,78
185	1,24	1,20	1,17	1,13	0,91	0,83	0,78
240	1,25	1,21	1,17	1,14	0,90	0,83	0,77
300	1,25	1,21	1,17	1,14	0,90	0,83	0,77
400	1,25	1,21	1,17	1,14	0,90	0,83	0,77

Table B.16 – Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K·m/W for direct buried three-core cables

Nominal area of conductor mm²	Values of soil thermal resistivity K•m/W						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,23	1,19	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
25	1,24	1,20	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
35	1,25	1,21	1,17	1,13	0,91	0,83	0,78
50	1,25	1,21	1,17	1,14	0,91	0,83	0,77
70	1,26	1,21	1,18	1,14	0,90	0,83	0,77
95	1,26	1,22	1,18	1,14	0,90	0,83	0,77
120	1,26	1,22	1,18	1,14	0,90	0,83	0,77
150	1,27	1,22	1,18	1,15	0,90	0,83	0,77
185	1,27	1,23	1,18	1,15	0,90	0,83	0,77
240	1,28	1,23	1,19	1,15	0,90	0,83	0,77
300	1,28	1,23	1,19	1,15	0,90	0,82	0,77
400	1,28	1,23	1,19	1,15	0,90	0,82	0,76

Table B.17 – Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K•m/W for three-core cables in ducts

Nominal area of conductor	Values of soil thermal resistivity K•m/W						
mm^2	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,12	1,11	1,09	1,08	0,94	0,89	0,84
25	1,14	1,12	1,10	1,08	0,94	0,89	0,84
35	1,14	1,12	1,10	1,08	0,94	0,88	0,84
50	1,14	1,12	1,10	1,08	0,94	0,88	0,84
70	1,15	1,13	1,11	1,09	0,94	0,88	0,83
95	1,15	1,13	1,11	1,09	0,94	0,88	0,83
120	1,15	1,13	1,11	1,09	0,93	0,88	0,83
150	1,16	1,13	1,11	1,09	0,93	0,88	0,83
185	1,16	1,14	1,11	1,09	0,93	0,87	0,83
240	1,16	1,14	1,12	1,10	0,93	0,87	0,82
300	1,17	1,14	1,12	1,10	0,93	0,87	0,82
400	1,17	1,14	1,12	1,10	0,92	0,86	0,81

Table B.18 – Correction factors for groups of three-core cables in horizontal formation laid direct in the ground

Number of cables in group	Spacing between cable centres mm				
	Touching	200	400	600	800
2	0,80	0,86	0,90	0,92	0,94
3	0,69	0,77	0,82	0,86	0,89
4	0,62	0,72	0,79	0,83	0,87
5	0,57	0,68	0,76	0,81	0,85
6	0,54	0,65	0,74	0,80	0,84
7	0,51	0,63	0,72	0,78	0,83
8	0,49	0,61	0,71	0,78	
9	0,47	0,60	0,70	0,77	-
10	0,46	0,59	0,69	-	-
11	0,45	0,57	0,69	-	-
12	0,43	0,56	0,68	-	-

Table B.19 – Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables laid direct in the ground

Number of cables in group	Spacing between group centres mm				
	Touching	200	400	600	800
2	0,73	0,83	0,88	0,90	0,92
3	0,60	0,73	0,79	0,83	0,86
4	0,54	0,68	0,75	0,80	0,84
5	0,49	0,63	0,72	0,78	0,82
6	0,46	0,61	0,70	0,76	0,81
7	0,43	0,58	0,68	0,75	0,80
8	0,41	0,57	0,67	0,74	-
9	0,39	0,55	0,66	0,73	-
10	0,37	0,54	0,65	-	-
11	0,36	0,53	0,64	-	-
12	0,35	0,52	0,64	-	-

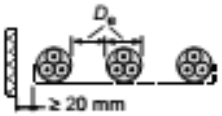
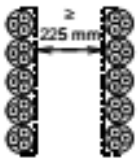
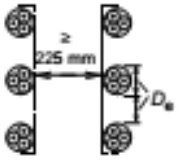
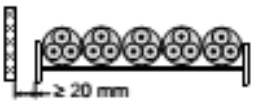
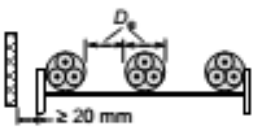
Table B.20 – Correction factors for groups of three-core cables in single way ducts in horizontal formation

Number of cables in group	Spacing between duct centres mm				
	Touching	200	400	600	800
2	0,85	0,88	0,92	0,94	0,95
3	0,75	0,80	0,85	0,88	0,91
4	0,69	0,75	0,82	0,86	0,89
5	0,65	0,72	0,79	0,84	0,87
6	0,62	0,69	0,77	0,83	0,87
7	0,59	0,67	0,76	0,82	0,86
8	0,57	0,65	0,75	0,81	-
9	0,55	0,64	0,74	0,80	-
10	0,54	0,63	0,73	-	-
11	0,52	0,62	0,73	-	-
12	0,51	0,61	0,72	-	-

Table B.21 – Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables in single-way ducts

Number of cables in group	Spacing between duct group centres mm				
	Touching	200	400	600	800
2	0,78	0,85	0,89	0,91	0,93
3	0,66	0,75	0,81	0,85	0,88
4	0,59	0,70	0,77	0,82	0,86
5	0,55	0,66	0,74	0,80	0,84
6	0,51	0,64	0,72	0,78	0,83
7	0,48	0,61	0,71	0,77	0,82
8	0,46	0,60	0,70	0,76	-
9	0,44	0,58	0,69	0,76	-
10	0,43	0,57	0,68	-	-
11	0,42	0,56	0,67	-	-
12	0,40	0,55	0,67	-	-

Table B.22 – Reduction factors for groups of more than one multi-core cable in air – To be applied to the current-carrying capacity for one multi-core cable in free air

Method of installation		Number of trays	Number of cables					
			1	2	3	4	6	9
Cables on perforated trays	Touching	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
	Spaced 	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-
Cables on vertical perforated trays	 Touching	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
	 Spaced	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
Cables on ladder supports, cleats, etc.	Touching 	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	Spaced 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-

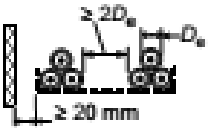
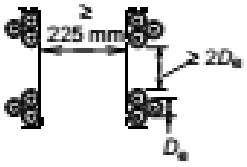
NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered. The spread of values is generally less than 5 %.

NOTE 2 Factors apply to single layer groups of cables as shown above and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and must be determined by an appropriate method.

NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm and at least 20 mm between trays and wall. For closer spacing, the factors should be reduced.

NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back. For closer spacing, the factors should be reduced.

Table B.23 – Reduction factors for groups of more than one circuit of single-core cables (Note 2) – To be applied to the current-carrying capacity for one circuit of single-core cables in free air

Method of installation		Number of trays	Number of three-phase circuits (Note 5)			Use as a multiplier to rating for
			1	2	3	
Perforated trays (Note 3)	Touching 	1	0,98	0,91	0,87	Three cables in horizontal formation
		2	0,96	0,87	0,81	
		3	0,95	0,85	0,78	
Ladder supports, cleats etc. (Note 3)	Touching 	1	1,00	0,97	0,96	Three cables in horizontal formation
		2	0,98	0,93	0,89	
		3	0,97	0,90	0,86	
Perforated trays (Note 3)		1	1,00	0,98	0,96	Three cables in trefoil formation
		2	0,97	0,93	0,89	
		3	0,96	0,92	0,86	
Vertical perforated trays (Note 4)		1	1,00	0,91	0,89	
		2	1,00	0,90	0,86	
Ladder supports, cleats, etc. (Note 3)		1	1,00	1,00	1,00	
		2	0,97	0,95	0,93	
		3	0,96	0,94	0,90	

NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered. The spread of values is generally less than 5 %.

NOTE 2 Factors are given for single layers of cables (or trefoil groups) as shown in the table and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and should be determined by an appropriate method.

NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm. For closer spacing, the factors should be reduced.

NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back. For closer spacing, the factors should be reduced.

NOTE 5 For circuits having more than one cable in parallel per phase, each three phase set of conductors should be considered as a circuit for the purpose of this table.

۴- مراجع

[1] IEC 60364-5-52:2001
[2] IEC 60502-2:2005(E)
[3] IPS-E-EL-100(1)/Feb.2012