

"CABLE"

TABLE OF CONTENTS

۱- محاسبه سطح مقطع کابل در سیستم L.V.

۱-۱- محاسبه جریان نامی مجاز

۱-۲- افت ولتاژ

۱-۳- حفاظت در برابر اتصال کوتاه

۲- محاسبه سطح مقطع کابل در سیستم M.V.

3- SELECTING CONDUCTOR CROSS SECTIONAL ARE

3-1- NORMAL OPERATING CONDITIONS

3-2- OPERATION UNDER FAULT CONDITIONS (SHORT CIRCUIT)

۱- محاسبه سطح مقطع کابل در سیستم L.V.

۱-۱- محاسبه جریان نامی مجاز

عوامل تاثیر گذار بر جریان نامی مجاز کابل:

- 1- Ambient temperature : f_1
- 2- Soil thermal resistivity : f_2
- 3- Groups & method of installation : f_3

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

I_r = جریان نامی کابل

I_z = جریان مجاز کابل

برای بدست آوردن ضرایب Derating به استاندارد 52-5-60364 مراجعه شود. جدول A.52-1 از Annex-A این استاندارد (صفحه ۵۹) به آدرس دهی جداول مرتبط (بسته به نوع کابل کشی) جهت تعیین ضرایب Derating، می پردازد. بعنوان مثال در یک سیستم سه فاز اگر کابل کشی داخل Duct Bank مدفون در خاک صورت بپذیرد جهت بدست آوردن جریان نامی کابلها به ستون هفتم جدول A.52-5 مراجعه می کنیم و برای تعیین ضرایب Derating مربوطه به جدول A.52-15 و A.52-19 مراجعه می نماییم. همانطور که در این استاندارد مشاهده می شود ضرایب Derating ارائه شده برای کابلهای مدفون براساس فرضیات زیر استوار است:

۱-۱-۱- عمق دفن Duct از سطح زمین 0.7 m می باشد که البته طبق اظهار نظر کتاب ELECTRICAL INSTALLATION HANDBOOK شرکت زیمنس این ضرایب از ارتفاع 0.7 m الی 1.2 m نسبتاً بدون تغییر باقی می ماند.

۱-۱-۲- مقاومت ویژه گرمایش خاک برای کابلهای که از داخل لوله های مدفون در خاک عبور می کنند، 2.5 k.m/W فرض شده است که جهت بدست آوردن ضرایب Derating مرتبط با مقادیر کوچکتر و بزرگتر از این مقدار به جدول A.52-16 مراجعه می شود.

لازم به ذکر است مقدار مقاومت گرمایشی مفروض (2.5k.m/W)، مربوط به شن خشک می باشد. مقاومت ویژه گرمایشی سایر خاکها در جدول زیر لحاظ شده اند:

| مقاومت ویژه گرمایشی خاک به Km/W در دوران بیشترین بارگیری | | | نوع خاک |
|--|--|---|--|
| در زمستان (از میانه آبان ماه تا اردیبهشت ماه) | در تابستان (تیر ماه تا آبان ماه) هر چند بیرون از دوران خشک نیز باشند، همچنین برای کابل‌های تغذیه کننده که تنها در دوران اضطراری به کار گرفته می شوند. | در تمام سال یکسان است حتی طی دوران خشک تابستان | |
| ۱/۰ (۰/۸) | ۱/۲ (۱/۰) | ۱/۵ (۱/۲) | همه خاکها به جز موارد زیرین |
| ۱/۰ (۰/۸) | ۱/۲ (۱/۰) | ۱/۲ (۱/۲) | باتلاق سیاه آب- خاک ، همراه با پس مانده های زغالی |
| ۰/۹ (۰/۸) | ۱/۲ (۱/۰) | ۱/۵ (۱/۲) | خاک رسدار |
| ۱/۲ (۱/۲) | ۱/۲ (۱/۰) | ۱/۲ (۱/۲) | خاک گچدار با سنگهای خرد شده به عنوان مواد بستر ساز |
| ۱/۲ | ۱/۳ | ۱/۵ | خاک پر سنگ یا سنگهای خرد و شکسته |
| ۱/۵ | ۲/۰ | ۲/۵ | شن خیلی خشک |
| ۱/۲ | ۱/۶ | ۱/۸ | خاک دستی |

۱-۲- افت ولتاژ:

$$\Delta U = \sqrt{3}IL(R\cos\phi + X\sin\phi)$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100\%$$

I : Load current (A)

L: Length of cable (km)

R: Resistance of cable (Ω/km)

X: Reactance of cable (Ω/km)

ΔU: Voltage drop (V)

U_n : Nominal system voltage (V)

ΔU: Percentage voltage drop

R_θ : $R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)]$

R_θ = dc Resistance of cable at θ °C

$\alpha_{20} = 0.00396$

۱-۳- حفاظت در برابر اتصال کوتاه

در سیستم های *Low Voltage* بدلیل استفاده از عناصر حفاظتی محدود کننده جریان (*current limiting devices*) حداکثر جریان اتصال کوتاه نقشی در تعیین سطح مقطع کابل ندارد. در مقابل حداقل جریان اتصال کوتاه (I''_{kmin}) در یک مدار عامل مهمی در تعیین سطح مقطع کابل می باشد. برای هر عنصر حفاظتی یک جریان *cut-off* (I_a) تعریف می شود که برابر است با حداقل جریان مورد نیاز جهت قطع آنی آن عنصر. لذا جهت عملکرد صحیح عنصر حفاظتی در زمان خطای یک فاز به زمین باید نامساوی زیر برقرار باشد:

$$I''_{kmin} \geq I_a$$

بنابراین اگر در یک مدار، نامساوی بالا برقرار نباشد، سطح مقطع کابل باید افزایش یابد تا مقاومت اهمی مسیر کمتر شود که به تبع آن I''_{kmin} افزایش یابد.

جریان I_a برای عناصر حفاظتی *Low Voltage* بصورت زیر تعریف می شود.

MCB type B : $I_a = 5 \cdot I_n$ ← (جریان نامی MCB)

MCB type C : $I_a = 10 \cdot I_n$

MCB type D : $I_a = 20 \cdot I_n$

MCCB : $I_a = 1.2 I_{mag}$ ← (جریان لازم جهت قطع آنی عنصر مغناطیسی MCCB)

FUSE: $I_a = 3.5 \cdot I_n$ برای کلیه فیوزهای زود ذوب و فیوزهای دیر ذوب کوچکتر یا مساوی ۵۰ آمپر

FUSE: $I_a = 5 \cdot I_n$ برای فیوزهای دیر ذوب بزرگتر یا مساوی ۶۳ آمپر

۲- محاسبه سطح مقطع کابل در سیستم M.V.

جهت تعیین سطح مقطع کابل های *Medium Voltage* بر خلاف *LV* از حداکثر جریان اتصال کوتاه مدار استفاده می شود.

براساس *IEC 60621-2* حداقل سطح مقطع مجاز کابل نباید از مقدار محاسبه شده توسط رابطه زیر کمتر باشد.

$$A = \frac{K_1 \sqrt{I^2 t}}{K}$$

که در این رابطه :

A : mm^2 سطح مقطع کابل بر حسب

I : حداکثر جریان اتصال کوتاه (آمپر)

t : زمان قطع عنصر حفاظتی (ثانیه)

ضریب K به عواملی نظیر جنس هادی، جنس عایق و دما بستگی دارد و مقدار آن برابر است با

$$K = \sqrt{116000 \text{ LOG} \left(\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right)}$$

$T_1 = (^\circ C)$ دمای اولیه کابل

$T_2 = (^\circ C)$ دمای نهایی کابل

$$K_1 = \begin{cases} 1 & \text{if } t \geq 0.2 \text{ sec} \\ 1.3 & \text{if } t < 0.2 \text{ sec} \end{cases}$$

ضریب K برای کابل‌های $XLPE$ به ازای $T_1 = 90^\circ C$ و $T_2 = 250^\circ C$ برابر است با $K=142$ و برای کابل‌های PVC

به ازای $T_1 = 70^\circ C$ و $T_2 = 160^\circ C$ برابر است با $K=114$. زمان مورد نیاز جهت قطع عنصر حفاظتی در سطوح

ولتاژ بالاتر از ۱۰۰۰ ولت طبق استاندارد IEC ، ۱ ثانیه است لذا $K_1 = 1$ می باشد. بنابراین رابطه بالا برای

کابل‌های $XLPE$ بصورت:

$$A = \frac{I}{142}$$

و برای کابل‌های PVC بصورت :

$$A = \frac{I}{114}$$

خلاصه می شود.

3. Selecting Conductor Cross Sectional Area

Selecting cables cross sectional areas must be done considering both following conditions:

- Normal operating conditions
- Operation under fault conditions (short circuit).

3.1. Normal Operating Conditions

The current – carrying capacity of cables must be determined under normal operating conditions, and check also must be done in low voltage systems in particular according to the specified voltage drop.

3.1.1. Current carrying capacity cables must always be dimensioned to ensure that, even when all relevant conversion factors "f" have been applied, the current- carrying capacity I_Z does not fall below the specified load I_r . The current – carrying capacity I_Z for the actual operating conditions is calculated by multiplying the rated value I_r (see tables 1&2) by the product of all the relevant conversion factors "f" (see tables 3 to 7) using the following equation:

$$I_b \geq I_Z = I_r \cdot \prod f$$

Hence:

$$I_r \geq \frac{I_b}{\prod f}$$

Table-1- Current – carrying capacities in amperes according to ALBORZ CABLE general catalogue (0.6/1 KV three loaded copper conductors, XLPE insulation, conductor temperature : 90°C , ambient temperature: 20°C , thermal resistivity of soil: 1.0 Km/W , No. of cables/ systems: 1 laying depth: 0.7 m)













| Conductor cross sectional area (mm ²) | DC resistance | | Installation type | | | | | | Short Circuit (1sec) |
|---|---------------|--------|---|---|---|--|---|---|----------------------|
| | 20°C | 90°C |  |  |  |  |  |  | |
| | Ω/Km | | Current – carrying capacity (A) | | | | | | |
| 1.5 | 12.1 | 15.43 | 30 | 32 | 39 | 24 | 25 | 32 | 0.215 |
| 2.5 | 7.41 | 9.45 | 40 | 43 | 51 | 32 | 34 | 42 | 0.359 |
| 4 | 4.61 | 5.88 | 52 | 55 | 66 | 42 | 44 | 56 | 0.573 |
| 6 | 3.08 | 3.93 | 64 | 68 | 82 | 53 | 57 | 71 | 0.859 |
| 10 | 1.83 | 2.33 | 86 | 90 | 109 | 73 | 77 | 96 | 1.43 |
| 16 | 1.15 | 1.47 | 111 | 115 | 139 | 96 | 102 | 128 | 2.29 |
| 25 | 0.727 | 0.927 | 143 | 149 | 179 | 130 | 139 | 173 | 3.57 |
| 35 | 0.524 | 0.668 | 173 | 178 | 213 | 160 | 170 | 212 | 5.00 |
| 50 | 0.387 | 0.493 | 205 | 211 | 251 | 195 | 208 | 258 | 7.15 |
| 70 | 0.268 | 0.342 | 252 | 259 | 307 | 247 | 265 | 328 | 10.0 |
| 95 | 0.123 | 0.246 | 303 | 310 | 366 | 305 | 326 | 404 | 13.6 |
| 120 | 0.153 | 0.195 | 346 | 352 | 416 | 355 | 381 | 471 | 17.2 |
| 150 | 0.124 | 0.158 | 390 | 396 | 465 | 407 | 438 | 541 | 21.4 |
| 185 | 0.0991 | 0.126 | 441 | 449 | 526 | 469 | 507 | 626 | 26.5 |
| 240 | 0.0754 | 0.0961 | 511 | 521 | 610 | 551 | 606 | 749 | 34.3 |
| 300 | 0.0601 | 0.0766 | 580 | 587 | 689 | 638 | 697 | 864 | 42.9 |
| 400 | 0.0470 | 0.0599 | 663 | 669 | 788 | 476 | 816 | 1018 | 57.2 |
| 500 | 0.0366 | 0.0467 | - | 748 | 889 | - | 933 | 1173 | 71.5 |

Table-2– Current – carrying capacities in amperes according to ALBORZ CABLE general catalogue (12/20 KV three loaded copper conductors, XLPE insulation, conductor temperature : 90°C, ambient temperature: 20°C , thermal resistivity of soil: 1.0 Km/W , No. of cables/ systems: 1 laying depth: 0.7 m)

| Conductor cross sectional area (mm ²) | DC resistance | | Installation type | | | | | | Short Circuit (1sec) KA |
|---|---------------|--------|---|---|---|---|---|---|----------------------------|
| | 20°C | 90°C |  |  |  |  |  |  | |
| | Ω/Km | | Current – carrying capacity (A) | | | | | | |
| 1.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 16 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 35 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.641 | 0.822 | - | 173 | 195 | - | 184 | 217 | 4.70 |
| 70 | 0.443 | 0.568 | - | 211 | 237 | - | 229 | 270 | 6.58 |
| 95 | 0.320 | 0.410 | - | 252 | 282 | - | 278 | 328 | 8.93 |
| 120 | 0.253 | 0.324 | - | 287 | 320 | - | 340 | 378 | 11.3 |
| 150 | 0.206 | 0.264 | - | 320 | 353 | - | 363 | 425 | 14.1 |
| 185 | 0.264 | 0.210 | - | 362 | 396 | - | 415 | 485 | 17.4 |
| 240 | 0.225 | 0.160 | - | 421 | 457 | - | 493 | 573 | 22.6 |
| 300 | 0.100 | 0.128 | - | 474 | 511 | - | 563 | 652 | 28.2 |
| 400 | 0.0778 | 0.0997 | - | 538 | 566 | - | 652 | 740 | 37.6 |
| 500 | 0.605 | 0.0775 | - | 606 | 630 | - | 746 | 838 | 46.0 |

The total conversion factor Πf for cables in the ground and free air has to be determined under following operating conditions:

Multicore cables in the ground:

- Permissible operating temperature: 90°C
- Cable in ground side by side clearance between cables: 7 cm
- Load factor : 0.7
- Soil- thermal resistivity : 1 Km/W
- Ambient temperature: 30°C

Conversion factors:

- f_1 to table-3 : 0.95
- f_2 to table-5 : 0.59

Total conversion factor Πf : 0.56

In the concrete trench (outdoor) :
Multicore cables

- Permissible operating temperature : 90°C
- Load factor : 0.7
- Ambient temperature : 45°C
- Cables on the perforated cable tray side by side with no clearance.

Conversion factors :

- f_1 to table-4 : 0.87
- f_2 to table-6 : 0.73

Total conversion factor Πf : 0.63

Single core cables in the free air (indoor)

- Permissible operating temperature : 90°C
- Load factor : 0.7
- Ambient temperature: 50°C
- Cables on the perforated cable tray side by side clearance between cables:
outer diameter of cable
- Load factor : 0.7

Conversion factors for L.V cable:

- f_1 to table-4 : 0.82
- f_2 to table-7 : 0.89

Total conversion factor Πf : 0.73

Conversion factors for M.V cables:

- f_1 to table-4 : 0.87
- f_2 to table-7 : 1

Total conversion factor Πf : 0.87

Table – 3 shows some examples:

| Cable tag No. | Voltage (V) | Load current I_b (A) | Conversion factor Πf | $\frac{I_b}{\Pi f}$ | Permissible cable size |
|---------------|-------------|------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| P-225 | 400 | 41.67 | 0.63 | 66.14 | 3×10 mm ² |
| P-228 | 400 | 21.5 | 0.63 | 34.22 | 3×4 mm ² |
| P-212 | 400 | 54 | 0.63 | 86 | 4×16 mm ² |
| P-216 | 400 | 37 | 0.56 | 66.7 | 4×10 mm ² |
| P-235 | 400 | 107 | 0.73 | 146.7 | 3×35/16 mm ² |

These values are to be checked in section 1.1.2, whether fulfill the requirements relating to the voltage drop.

3.1.2. In low- voltage system in particular, checks must be carried out to determine whether the conductor cross sectional area selected with regard to the current – carrying capacity fulfills the requirements relating to the voltage drop.

When a cable of length L is operated in a three-phase system with a current I_b , the resistance per unit length R and reactance per unit length X cause a longitudinal voltage drop ΔU at the end of the cable of :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L (R \cos\phi + X \sin\phi)$$

in which ϕ is the phase angle between the system voltage U_n and I_b . The percentage voltage drop relative to the nominal system voltage U_n is calculated as follows:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\%$$

Table - 4 shows calculation results of percentage voltage drops of cables

| Cable tag No. | Cable length (M) | Load current I_b (A) | $\cos\phi$ | Resistance per unit length of cable R (Ω /km) | Resistance per unit length of cable X (Ω /km) | Calculated $\Delta u\%$ | Permissible $\Delta u\%$ |
|---------------|------------------|------------------------|------------|---|---|-------------------------|--------------------------|
| P-225 | 300 | 41.67 | 0.84 | 2.333 | 0.0785 | 10.92 | 4 |
| P-228 | 300 | 21.5 | 0.83 | 5.878 | 0.0875 | 13.91 | 4 |
| P-212 | 300 | 54 | 0.8 | 1.466 | 0.0761 | 8.57 | 4 |
| P-216 | 300 | 37 | 0.85 | 2.333 | 0.0785 | 9.8 | 2 |
| P-235 | 50 | 107 | 0.86 | 0.668 | 0.0743 | 1.4 | 2 |

As it can be seen the voltage drops across the length of cables P-225, P-228, P-212 & P-216 are out of restricted value. Choosing cable with cross sectional areas 50 mm^2 , 25 mm^2 , 35 mm^2 & 70 mm^2 respectively results in meeting voltage drop criteria. Checking voltage dropped across length of cables feeding motors also must be carried out during starting.

Table-5 shows the voltage drops in motor circuits. The motors starting currents and power factors are taken from Iranian petroleum standard (IPS).

| Cable tag No. | Current at Starting condition (A) | Cos ϕ at starting condition | Calculated $\Delta u\%$ | Permissible $\Delta u\%$ |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| P-225 | 302.42 | 0.45 | 11.32 | 14 |
| P-228 | 141.3 | 0.5 | 9.73 | 14 |

It is obvious that selected cross sectional areas satisfy the permissible voltage drop.

3.2. Operation under fault conditions (short circuit)

Checks also should be carried out to ensure the minimum short circuit current (phase to ground fault at the end of a feeder circuit) exceeds the cut-off current “ I_a ” of the protective equipment (MCCB, MCB or FUSE).

Table-6 compares the calculated min. short circuit current I''_{kmin} of former cables with their feeder’s protection device cut-off current

| Cable tag No. | Cable size (mm^2) | Length (m) | I''_{kmin} | Load current (A) | Protective device | Cut-off Current (A) |
|---------------|------------------------------|------------|--------------|------------------|-------------------|---------------------|
| P-225 | 50 | 300 | 910 A | 42 | MCCB-125A | 937 |
| P-228 | 25 | 300 | 550 A | 21 | MCCB-40A | 300 |
| P-212 | 35 | 300 | 710 A | 54 | MCCB-80A | 600 |
| P-216 | 70 | 300 | 1300 A | 37 | MCCB-80A | 600 |
| P-235 | 35 | 50 | 3600 A | 107 | MCCB-250A | 1875 |

As it can be seen in one case (P-225) the cut-off current of MCCB is higher than minimum short circuit current ($I_a > I''_{kmin}$). So the cable size becomes 70 mm^2 to decrease the circuit impedance and consequently increasing the minimum short circuit current.

- ورودی به پست برق MV :
با توجه به جریان اتصال کوتاه تابلو بالا دست و زمان ۱ ثانیه تعیین می گردد.
 - ورودی به تابلو MV :
با توجه به جریان اتصال کوتاه تابلو MV و زمان ۱ ثانیه تعیین می گردد.
 - خروجی تابلو MV به ترانس MV/LV :
با توجه به جریان اتصال کوتاه تابلو MV و زمان ۱ ثانیه تعیین می گردد.
 - موتور بالای 1000 KW که با VCB حفاظت می شود:
با توجه به جریان اتصال کوتاه تابلو MV و زمان ۰/۱ ثانیه تعیین می گردد.
 - موتور زیر 1000 KW که با FUSE حفاظت می شود:
با توجه به جریان اتصال کوتاه تابلو MV و زمان ۰/۰۱ ثانیه تعیین می گردد.
- !!