

voltimum

DIMENSIONERING AV ISOLERADE KABLAR



1. ALLMÄNNA VILLKOR OCH BERÄKNINGSMETODER

1.1. DIMENSIONERINGSPRINCIPER

Arean hos **ledarna** i en *isolerad kabel* ska beräknas med hänsyn till **följande parametrar**, som fastställts i CENELEC *Standard HD¹ 603*:

- Maximal belastning/strömvärde för kabeln med hänsyn till den utrustning och/eller installation som ska anslutas.
- Maximalt tillåtet spänningsfall.
- Termiska påkänningar till följd av kortslutningar.

1.2. KABELNS STRÖMVÄRDE

Strömvärdet för *ledare och isolerade kablar* är beroende av **materialet i ledaren** (*koppar eller aluminium*) och **isoleringen** (vanligen XLPE² eller PVC³), **märkspänningen**, **antal ledare** och **typen av installation** (öppen eller dold förläggning eller markförläggning; för **enledarkablar** är det också nödvändigt att känna till hur *kabeln är disponerad* – i plan eller i triangelformation). Detta anges vanligen i *tillämpliga standarder och föreskrifter samt i tillverkarnas kataloger*.

Kablarnas strömvärden som anges i den ovan nämnda dokumentationen är **giltiga under angivna förhållanden** (vilket också framgår av dokumentationen). Om de aktuella *installationsförhållandena* skiljer sig därifrån, måste det verkliga strömvärdet fastställas med hjälp av **en reduktionsfaktor** (dessa faktorer anges också i de dokument vi har angett ovan). **Grundläggande förutsättningar**, som anges av *tillverkare, standarder och föreskrifter* är vanligen **följande** (andra villkor kan förekomma, beroende på **tillverkare och de standarder och föreskrifter som används**):

- **Jordens termiska resistivitet** (*nedgrävda kablar*) – vanligtvis **1 km/W**.
- **Jordtemperatur** (*nedgrävda kablar*) – vanligtvis **20 °C**.
- **Förläggningsdjup** (*nedgrävda kablar*) – vanligtvis **0,0-0,6 m**
- **Lufttemperatur** (*kablar i luften*) – vanligtvis **30 °C**.
- Typ och antal kabelkanaler, antal kablar i samma kabelkanal/ränna och avstånd mellan kablarna.

1.3. SPÄNNINGSFALL

Spänningsfallet får inte vara **högre än vad som anges i tillämpliga standarder och föreskrifter** och **värdena får inte vara så höga att de äventyrar nätets stabilitet eller driften av utrustningen** (om spänningsfallet under start av en motor är högre än 10 %, startar inte motorn):

I en **trefaskrets** beräknas spänningsfallet med hjälp av ekvationen:

$$\Delta U [V] = \sqrt{3} \times I \times (R_{20} \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad [1]$$

¹**HD**: CENELEC Standard; **CENELEC**: European Committee for Electrotechnical Standardization (European Standards).

²**XLPE**: Cross linked polyethylene.

³**PVC**: Polyvinyl chloride.

där:

- I : Installationens märkström.
- R_{20} : Kabelns resistans vid **20 °C**.
- X^4 : Kabelns reaktans:
- φ : Aktuell fasförskjutning.

Procentuella spänningsfallet:

$$\Delta U [\%] = (\Delta U [V] / U) \times 100 \quad [2]$$

Där **U** är installationens *märkspänning*.

1.4. KORTSLUTNING, TERMISK PÅKÄNNING

Minimalt kabeltvärsnitt som krävs med hänsyn till **den termiska påkänningen** vid **en kortslutning** beräknas med ekvationen:

$$s = I''_{k3} \times \sqrt{t/K} \quad [3]$$

där:

- I''_{k3} : trefasig kortslutningsström [A]
- t : felets varaktighet [s]
- K är en faktor som beror på materialet i ledare och isolering (Table 1).

Dirigent	Isolering	
	PVC	XLPE
Koppar	115	135
Aluminium	76	94

Tabell 1 – Faktor K

2. EXEMPEL – MEDELSPÄNNINGSKABEL FÖR EN MOTOR

Låt oss betrakta en trefas elektrisk motor med följande egenskaper:

- Märkspänning: **U = 6 kV**
- Effekt: **P_{elec} = 1000 kW**
- Märkfrekvens: **f = 50 Hz**
- Startström: **I_{start} = 4,5I_n** (I_n : motorns märkström)
- Effektfaktor under normal drift: **cosφ = 0,82⁵**
- Effektfaktor under motorstart: **cosφ = 0,59⁶**
- Trefas kortslutningsström: **I''_{k3} = 12 kA / 1,2 s**

⁴ $X = \omega L = 2\pi fL$, där ω är vinkelhastigheten (rad/s), f är frekvensen (Hz) och L är kabelns induktans (mH).

⁵ $\sin \varphi = 0,57$

⁶ $\sin \varphi = 0,81$

Data för den valda kabeln (vi kommer att beteckna denna kabel som **LXHIV**):

- Märkspänning: **3,6/6(10) kV**
- Enkel aluminiumledare
- Isolering: **XLPE**
- Metallmantel
- Yttermatel: **PVC**

Kablarna (**en kabel per fas**) ska **förläggas öppet**, i triangel, på kabelstege (lufttemperatur: $\theta_0 = 40\text{ °C}$), där ytterligare två kretsar med enledarkablar installeras i **triangelförläggning** (avståndet mellan varje triangel är lika med diametern på kabeln). Längden på varje kabel till motorn är **$l = 480\text{m}$** och den **högsta tillåtna temperaturen i ledaren, med motorn i kontinuerlig drift, är $\theta_p = 90\text{ °C}$** .

Dimensionering med hänsyn till den största tillåtna kontinuerliga strömmen

Märkström (I_n) för motorn är:

$$P_{\text{elec}} = \sqrt{3} \times U \times I_n \times \cos \varphi \quad \Leftrightarrow \quad I_n = P_{\text{elec}} / (\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi)$$

$$I_n = 1000 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 6 \times 10^3 \times 0,82) \approx 117\text{ A}$$

Reduktionsfaktorer som ska användas anges i tabellerna 2 och 3.

Lufttemperatur ($\theta_0 - \text{°C}$)	Tillåten temperatur i ledaren vid kontinuerlig drift					
	70	75	80	85	90	95
15	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11
20	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07
25	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96
40	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
45	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88
50	0,71	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83

• **$K1 = 0,91$**

Tabell 2 – Reduktionssfaktor för lufttemperaturer som avviker från 30 °C.

Typ av installation	Antal förlagda kablar				
	1	2	3	4	5
I tak	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66
I kabekanal med luftcirkulation	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75
Med väggfästen	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80

• **$K2 = 0,82$**

Tabell 3 – Reduktionssfaktor med hänsyn till antalet kablar
(var för sig arrangerade i plan eller i triangelform) förlagda i samma kabelväg.

Permanent tillåten ström (IC) är:

$$I_c = I_n / (K1 \times K2) \Leftrightarrow I_c = 117 / (0,91 \times 0,82) \approx 157 \text{ A}$$

Ledarnas minsta area, vid **kontinuerlig ström**, för den valda kabeln anges i tabell 4, där **egenskaperna visas för enkelledarkabeln LXHIV 3,6/6(10) kV**

Area (mm²)	Tillåten kontinuerlig ström för kabel installerad i öppen förläggning i triangelarrangemang (A)	Impedans vid 90 °C (Ω/km)	Induktans – L (mH/km)
35	154	1,113	0,419
50	184	0,822	0,403
70	230	0,568	0,378
95	280	0,410	0,361
120	324	0,324	0,346
150	368	0,264	0,337
185	424	0,210	0,324
240	502	0,160	0,313
300	577	0,128	0,304
400	673	0,100	0,295

Tabell 4 – Data för enkelledarkabel LXHIV 3,6/6(10) kV.

Med hänsyn till den **högsta tillåtna kontinuerliga strömmen** blir **kabelns area**:

$$s = 50 \text{ mm}^2$$

Dimensionering m.h.t. kortslutningsströmmen

Enligt ekvation [3] och tabell 1 är emellertid minsta **kabelarean (s)** för termiskt klara kortslutningar:

$$s = 12.000 \times \sqrt{1,2 / 94} \approx 140 \text{ mm}^2$$

Med hänsyn till tillverkarnas standardisering av kabelareor måste man för att uppfylla **kortslutningskravet** här välja arean **150 mm²**.

Och val av area blir då:

$$150 \text{ mm}^2 > 50 \text{ mm}^2$$

Dimensionering m.h.t. spänningsfall

För en motor anses vanligen det största **acceptabla spänningsfallet under normal drift** vara ca **5%**.

Med hänsyn till **ovanstående beräkningar** gör vi nu en **kontroll av arean med hänsyn till spänningsfallet** för **s = 150 mm²**.

Enligt ekvationerna [1] och [2] och Tabell 4 får vi följande värden:

a) *Spänningsfall under normal drift*

$$\Delta U [\text{V}] = \sqrt{3} \times 117 \times (0,264 \times 0,48 \times 0,82 + 2 \times \pi \times 50 \times 0,337 \times 10^{-3} \times 0,48 \times 0,57) \approx 27 \text{ V}$$

$$\Delta U [\%] = 27/6000 \times 100 \approx 0,45\% \ll 5\%$$

b) Spänningsfall under motorstart

$$\Delta U [V] = \sqrt{3} \times 117 \times 4,5 \times (0,264 \times 0,48 \times 0,59 + 2 \times \pi \times 50 \times 0,337 \times 10^{-3} \times 0,48 \times 0,81) \approx 106 \text{ V}$$

$$\Delta U [\%] = 106/6000 \times 100 \approx 1,77\% \ll 10\%$$

Uifrån de erhållna värdena **kan vi fastställa** att *arean*, vad gäller termiska kravet vid kortslutning, ($s = 150 \text{ mm}^2$) även uppfyller kraven vad gäller spänningsfall.

voltimum

www.voltimum.se