

Scelta della sezione dei conduttori

In questa sezione si studiano i principali criteri per scegliere la sezione di un conduttore: resistività, caduta di tensione, fattore di potenza, rendimento, posa del cavo e verifica della portata.

Nel linguaggio comune si dice spesso “filo” per indicare qualsiasi elemento elettrico che porta corrente. Tecnicamente, però, il conduttore è la parte metallica che porta corrente. Una cordina unipolare è un conduttore isolato flessibile, formato da più fili sottili. Un cavo, nel linguaggio impiantistico più comune, è formato da più conduttori isolati raccolti dentro una guaina di protezione comune.

ρ (rho)

È la resistività di un materiale e indica quanto un materiale si oppone al passaggio della corrente elettrica.

Unità nel Sistema Internazionale: $\Omega \cdot m$

Nei calcoli impiantistici si usa spesso: $\Omega \cdot mm^2/m$

Per il rame si può usare: $\rho = 0,0175 \Omega \cdot mm^2/m$; questo valore è riferito a circa 20 °C.

La resistività aumenta con la temperatura di circa: 0,4 % per ogni °C

Per calcoli più prudentiali si può usare un valore maggiore, in base alla temperatura di esercizio del conduttore.

La resistenza di un conduttore dipende dalla resistività del materiale, dalla lunghezza e dalla sezione:

$$R = \rho \cdot L / S$$

dove:

R = resistenza del conduttore, in Ω

ρ = resistività, in $\Omega \cdot mm^2/m$

L = lunghezza del conduttore, in m

S = sezione del conduttore, in mm^2

Esercizio

Un conduttore di rame ha:

$$\rho = 0,0175 \Omega \cdot mm^2/m$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$S = 2,5 \text{ mm}^2$$

Calcola la resistenza del conduttore.

Formula:

$$R = \rho \cdot L / S$$

Sostituzione:

$$R = 0,0175 \cdot 20 / 2,5$$

$$R = 0,35 / 2,5$$

$$R = 0,14 \, \Omega$$

Risposta:

La resistenza del conduttore è 0,14 Ω .

Resistenza totale di una linea monofase

Quando, invece, si calcola la resistenza di un cavo bisogna fare attenzione alla lunghezza da considerare. La corrente deve sempre fare un percorso completo. In un circuito monofase ci sono due conduttori: fase e neutro. La corrente arriva al carico attraverso la fase e ritorna attraverso il neutro. Per questo, nei calcoli della resistenza totale del cavo, la lunghezza va considerata doppia:

$$L_{\text{totale}} = 2 \cdot L$$

dove:

L = lunghezza reale della linea, in m

$2 \cdot L$ = lunghezza totale dei due conduttori, andata e ritorno

La formula diventa:

$$R = \rho \cdot 2L / S$$

Questa formula si usa per una linea monofase con fase e neutro della stessa sezione.

Esercizio

Una linea monofase in rame alimenta un carico distante 20 m.

Dati:

$$\rho = 0,0175 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$L = 20 \, \text{m}$$

$$S = 2,5 \, \text{mm}^2$$

Calcola la resistenza totale dei due conduttori.

Formula:

$$R = \rho \cdot 2L / S$$

Sostituzione:

$$R = 0,0175 \cdot 2 \cdot 20 / 2,5$$

$$R = 0,0175 \cdot 40 / 2,5$$

$$R = 0,70 / 2,5$$

$$R = 0,28 \, \Omega$$

Risposta:

La resistenza totale del cavo, considerando fase e neutro, è 0,28 Ω .

Potenze

Nei circuiti in corrente alternata si usano tre potenze principali:

potenza attiva: è la potenza utile. Produce lavoro, calore, luce o movimento.

Si indica con P e si misura in watt (W).

potenza reattiva: non produce lavoro utile, ma serve nei carichi come motori e trasformatori per creare i campi magnetici necessari al funzionamento.

Si indica con Q e si misura in var, cioè voltampere reattivi.

potenza apparente: è la potenza totale che l'impianto deve fornire al carico. Tiene conto sia della potenza attiva sia della potenza reattiva.

Si indica con S e si misura in voltampere (VA).

$\cos\varphi$ (cos fi)

$\cos\varphi$ è il fattore di potenza. Serve a capire quanta della potenza assorbita viene usata davvero dal carico. Il fattore di potenza indica il rapporto tra potenza attiva e potenza apparente:

$$\cos\varphi = \text{potenza attiva} / \text{potenza apparente}$$

Se $\cos\varphi$ è vicino a 1, il carico usa bene la potenza assorbita.

Se $\cos\varphi$ è basso, a parità di potenza attiva serve più corrente.

Più corrente significa maggiori perdite e maggiore riscaldamento dei cavi.

Valore indicativo per motori: $\cos\varphi \approx 0,8$

Esercizio

Un carico ha:

potenza attiva = 800 W

potenza apparente = 1000 VA

Calcola il fattore di potenza.

Formula:

$\cos\varphi = \text{potenza attiva} / \text{potenza apparente}$

Sostituzione:

$\cos\varphi = 800 / 1000$

$\cos\varphi = 0,8$

Risposta:

Il fattore di potenza del carico è:

$\cos\varphi = 0,8$

 η (eta)

η è il rendimento della macchina. Serve a capire quanta della potenza assorbita viene trasformata in potenza utile. Nessuna macchina trasforma tutta la potenza assorbita in potenza utile. Una parte si perde, soprattutto sotto forma di calore, attrito, rumore o vibrazioni.

Per un motore elettrico:

la potenza assorbita è la potenza elettrica che entra nel motore;

la potenza utile è la potenza meccanica disponibile sull'albero del motore.

Il rendimento indica il rapporto tra queste due potenze:

$\eta = \text{potenza utile} / \text{potenza assorbita}$

Per un motore:

$\eta = P_2 / P_1$

dove:

P_2 = potenza meccanica utile all'albero

P_1 = potenza elettrica assorbita

Più η è vicino a 1, migliore è il rendimento della macchina.

η si trascura quando il dato di partenza è già la potenza assorbita oppure direttamente la corrente.

Esercizio

Un motore elettrico assorbe dalla rete:

$$P_1 = 2000 \text{ W}$$

La potenza meccanica utile disponibile sull'albero è:

$$P_2 = 1600 \text{ W}$$

Calcola il rendimento del motore.

Formula:

$$\eta = P_2 / P_1$$

Sostituzione:

$$\eta = 1600 / 2000$$

$$\eta = 0,8$$

Risposta:

Il rendimento del motore è:

$$\eta = 0,8$$

cioè:

$$\eta = 80 \%$$

 X_L - reattanza induttiva

È l'opposizione che una linea o una bobina offre alla corrente alternata a causa del campo magnetico.

Unità: Ω

Per i cavi, nei calcoli pratici si può usare un valore medio:

$$X_L \approx 0,00008 \Omega/\text{m}$$

Questo valore dipende da:

- tipo di posa
- distanza tra i conduttori
- disposizione dei conduttori
- cavi vicini, separati o in fascio

La reattanza diventa importante soprattutto con:

- linee lunghe
- correnti elevate
- $\cos\phi$ basso
- cavi di grossa sezione

FORMULA BASE PER LINEA TRIFASE

Per una linea trifase con carichi resistivi, oppure con $\cos\varphi = 1$, si può usare:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L) / \Delta V$$

dove:

S = sezione del conduttore, in mm^2

I = corrente, in ampere (A)

ρ = resistività, in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L = lunghezza della linea, in metri

ΔV = caduta di tensione ammessa, in volt

In trifase la lunghezza L è solo quella di andata. Non si raddoppia.

Esercizio

Una linea trifase in rame alimenta un carico resistivo.

Dati:

$$I = 20 \text{ A}$$

$$\rho = 0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\Delta V = 5 \text{ V}$$

Calcola la sezione del conduttore.

Formula:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L) / \Delta V$$

Sostituzione:

$$S = (1,732 \cdot 20 \cdot 0,0175 \cdot 40) / 5$$

$$S = 24,248 / 5$$

$$S = 4,85 \text{ mm}^2$$

Risposta:

La sezione calcolata è:

$$S = 4,85 \text{ mm}^2$$

Si sceglie la sezione commerciale superiore:

$$S = 6 \text{ mm}^2$$

FORMULA CON FATTORE DI POTENZA

Se il carico ha un fattore di potenza diverso da 1 e la reattanza della linea è trascurabile, si può usare:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L \cdot \cos\varphi) / \Delta V$$

Attenzione: la corrente I deve essere già stata calcolata tenendo conto del carico.

Se si parte dalla potenza attiva, prima si calcola la corrente, poi si usa la formula della sezione.

Esercizio

Una linea trifase in rame alimenta un carico con fattore di potenza diverso da 1.

Dati:

$$I = 20 \text{ A}$$

$$\rho = 0,0175 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\cos\varphi = 0,8$$

$$\Delta V = 5 \text{ V}$$

Calcola la sezione del conduttore.

Formula:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L \cdot \cos\varphi) / \Delta V$$

Sostituzione:

$$S = (1,732 \cdot 20 \cdot 0,0175 \cdot 40 \cdot 0,8) / 5$$

$$S = 19,3984 / 5$$

$$S = 3,88 \text{ mm}^2$$

Risposta:

La sezione calcolata è:

$$S = 3,88 \text{ mm}^2$$

Si sceglie la sezione commerciale superiore:

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

FORMULA CON REATTANZA DELLA LINEA

Per linee lunghe o carichi molto induttivi, si può considerare anche la reattanza della linea:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L \cdot \cos\varphi) / (\Delta V - \sqrt{3} \cdot I \cdot X_l \cdot L \cdot \sin\varphi)$$

dove:

X_l = reattanza della linea, in Ω/m

L = lunghezza della linea, in metri

$\sin\varphi$ = seno dell'angolo di sfasamento

Il valore di $\sin\varphi$ si ricava da $\cos\varphi$:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$$

Il denominatore deve essere maggiore di zero. Se il denominatore diventa troppo piccolo o negativo, la formula non è utilizzabile in modo pratico.

Esercizio

Una linea trifase in rame alimenta un carico induttivo.

Dati:

$$I = 20 \text{ A}$$

$$\rho = 0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\cos\varphi = 0,8$$

$$X_l = 0,00008 \Omega/\text{m}$$

$$\Delta V = 5 \text{ V}$$

Calcola la sezione del conduttore considerando anche la reattanza della linea.

Formula:

$$S = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot L \cdot \cos\varphi) / (\Delta V - \sqrt{3} \cdot I \cdot X_l \cdot L \cdot \sin\varphi)$$

Calcolo di $\sin\varphi$:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - 0,8^2}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - 0,64}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{0,36}$$

$$\sin\varphi = 0,6$$

Sostituzione:

$$S = (1,732 \cdot 20 \cdot 0,0175 \cdot 40 \cdot 0,8) / (5 - 1,732 \cdot 20 \cdot 0,00008 \cdot 40 \cdot 0,6)$$

$$S = 19,3984 / (5 - 0,0665)$$

$$S = 19,3984 / 4,9335$$

$$S = 3,93 \text{ mm}^2$$

Risposta:

La sezione calcolata è:

$$S = 3,93 \text{ mm}^2$$

Si sceglie la sezione commerciale superiore:

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

CONDIZIONI DI POSA

La sezione trovata con la formula della caduta di tensione deve essere verificata anche in base alla posa reale del cavo.

Un cavo dissipa calore in modo diverso se è:

- in tubo
- in canalina
- interrato
- in aria
- vicino ad altri cavi
- in ambiente caldo

Per questo la sezione calcolata non basta da sola.

VERIFICA DELLA PORTATA

La corrente di impiego deve essere minore o uguale alla portata corretta del cavo: $I_b \leq I_z \text{ corretta}$
dove:

I_b = corrente di impiego del circuito

I_z = portata del cavo ricavata dalle tabelle

$I_z \text{ corretta}$ = portata corretta in base alle condizioni reali

La portata può essere corretta con fattori come:

k_T = fattore per temperatura ambiente

k_G = fattore per raggruppamento cavi

Il tipo di posa di solito è già considerato nella tabella da cui si prende I_z . Se la verifica non è rispettata, si sceglie la sezione commerciale superiore.

Esercizio

Un circuito ha una corrente di impiego:

$$I_b = 18 \text{ A}$$

Dalla tabella, per il cavo scelto, si ricava:

$$I_z = 24 \text{ A}$$

La portata deve essere corretta perché il cavo lavora in condizioni reali.

Dati:

$$k_T = 0,87$$

$$k_G = 0,80$$

Calcola la portata corretta e verifica se il cavo è adatto.

Formula:

$$I_z \text{ corretta} = I_z \cdot k_T \cdot k_G$$

Sostituzione:

$$I_z \text{ corretta} = 24 \cdot 0,87 \cdot 0,80$$

$$I_z \text{ corretta} = 16,70 \text{ A}$$

Verifica:

$$I_b \leq I_z \text{ corretta}$$

$$18 \text{ A} \leq 16,70 \text{ A}$$

La verifica non è rispettata.

Risposta:

Il cavo non è adatto.

Bisogna scegliere una sezione commerciale superiore.

NOTA FINALE

La sezione del conduttore non si sceglie solo con la formula della caduta di tensione.

Bisogna verificare almeno:

- caduta di tensione
- portata del cavo
- tipo di posa
- temperatura ambiente
- raggruppamento dei cavi

- protezione magnetotermica
- corrente di cortocircuito

IEC 60364-5-52:2009 + AMD1:2024 Scelta e posa dei sistemi di cablaggio. IEC 60364-4-43:2023 Protezione contro le sovracorrenti. IEC 60228:2023 Conduttori dei cavi isolati. IEC 60287-1-1:2023 Calcolo della portata dei cavi in regime permanente. Schneider Electric Electrical Installation Guide Guida tecnica pratica per impianti elettrici, caduta di tensione, portata, protezioni e dimensionamento.