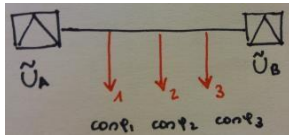


Applicazione del calcolo delle c.d.t. e determinazione della sezione di un conduttore assegnate le condizioni di carico

Lezione del 10/05/2018

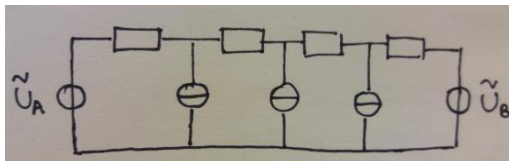


- Abbiamo studiato il caso in cui la tensione di partenza è esattamente uguale alla tensione di arrivo, cioè quello in cui i due punti di consegna alimentano la linea alla stessa identica tensione: si procedeva determinando la sezione di taglio in corrispondenza della quale si separa l'impianto, quindi si quantifica la massima caduta di tensione U_{MAX} procedendo o dal punto di partenza A verso la sezione di taglio o dal punto di consegna B verso la sezione di taglio. **NB** Nella sezione di taglio si ha tensione unica pari a U_{MAX} .

$$U_a \neq U_b$$

Eliminiamo il vincolo dell'uguaglianza tra le tensioni: abbiamo che U_a può anche essere diverso da U_b . Come si procede?
Dobbiamo ricondurci al caso già visto, che sappiamo risolvere, cioè quello in cui $U_a=U_b$.
 Per far questo, dobbiamo introdurre delle informazioni addizionali.

Consideriamo il circuito elettrico equivalente analogo a quello del caso $U_a=U_b$:

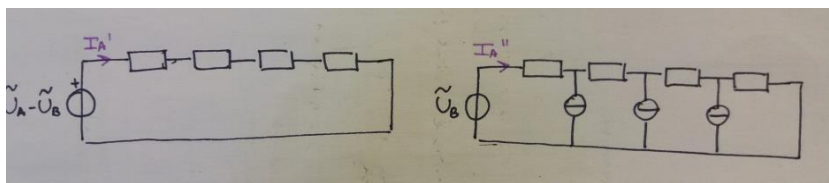


- Possiamo vedere U_a come la serie di 2 generatori:

Il primo esattamente uguale a U_b
 Il secondo pari a U_a+U_b .



(Introducendo questa sostituzione non andiamo ad alterare il valore della tensione, poiché essendo in serie, le tensioni dei due generatori si sommano. La tensione risultante quindi è proprio quella relativa al generatore di partenza.)



Così facendo posso studiare la restante parte del circuito applicando il Principio di sovrapposizione degli effetti, in cui nel primo caso agisce solo U_a-U_b e tutte le altre sorgenti sono azzerate, nel secondo agisce U_b e tutte le altre sorgenti sono 0.

Quindi studio 2 circuiti che mi danno 2 componenti della corrente così definite:

$$\tilde{I}_{A'} = \frac{\tilde{U}_a - \tilde{U}_b}{\tilde{Z} \cdot l_{AB}} \quad \tilde{I}_{A''} = \frac{1}{l_{AB}} \sum l_{AB} \cdot \tilde{J}_i \quad \text{e} \quad \tilde{I}_{A'} + \tilde{I}_{A''} = \tilde{I}_A$$

Impedenza per unità di lunghezza

Commentato [da1]:

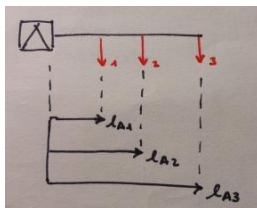
Conoscendo la corrente I_A (erogata dalla cabina A), posso determinare la sezione di taglio con la formula.

NB. Posso calcolare anche la corrente I_B erogata dall'altra cabina (B) applicando il secondo principio di Kirchoff, scrivendo cioè

$$\tilde{I}_A + \tilde{I}_B = \sum \tilde{J}_i$$



Analizziamo un semplice caso di dimensionamento su cui introdurre una nuova tecnica di rappresentazione: Caso già noto da cui partiamo:



In cui i carichi sono definiti tramite il fattore di potenza e la potenza attiva; l_{A1} , l_{A2} , l_{A3} sono le distanze dai 3 carichi al punto di consegna dell'energia della linea monofase rappresentata.

★ **Ripasso**

Nelle reti BT

$$\Delta U_{MAX} \% = 4 \%$$

$$\Delta U_{MAX} \% = 4 \% = \Delta E_{MAX}$$

Quando è espressa in termini percentuali la c.d.t. massima ammissibile coincide con la ΔE massima percentuale.

ΔU_{MAX} si riferisce alla tensione concatenata del sistema trifase;
 ΔE_{MAX} è la tensione stellata o di fase.

I valori assoluti massimi ammissibili in impianti di BT sono:

$$|\Delta U_{MAX}| = 16V$$

$$|\Delta E_{MAX}| = 9,2V$$

Si noti che esse differiscono, come ci aspettavamo, per il fattore $9,2V \cdot \sqrt{3} = 16V$

- **MODO 1** -> Quando abbiamo affrontato lo studio di questa membratura aperta con carichi derivati, essendo i fattori di potenza tutti diversi fra loro abbiamo visto che il calcolo della caduta di tensione ΔE può essere effettuato come somma di due termini:

$$\Delta E = E_Q + E_R = r \cdot \sum_i l_{A_i} \cdot I_{A_i} + x \cdot \sum_i l_{A_i} \cdot I_{R_i}$$

Dove

E_Q ed E_R sono rispettivamente la componente in fase e in quadratura con la tensione;
 r è la resistenza per unità di lunghezza;
 x è la reattanza per unità di lunghezza;
 le correnti sono rispettivamente

$$I_{A_i} = I \cos \varphi \quad \text{Componente della corrente in fase con U}$$

$$I_{R_i} = I \sin \varphi \quad \text{Componente della corrente in quadratura con U}$$

Possiamo utilizzare la formula precedente anche per avere un dimensionamento indicativo della **sezione** del conduttore da utilizzare, cioè stimarne il valore, che confronterò con i data sheet forniti dal costruttore. Inoltre abbiamo osservato che la reattanza x è piuttosto stabile al variare della sezione.

Per i cavi si è assunto $x = 0,1 \frac{\Omega}{km}$

NB. Usare grandezze che sono già direttamente disponibili in fase di progettazione

Per calcolare la componente della corrente in quadratura, ho bisogno del $\sin(\varphi)$ che non è un dato direttamente disponibile, come invece è $\cos(\varphi)$.

Allora riscrivo il ΔE come

$$\Delta E = E_a + E_r = \frac{r \cdot \sum_i l_{A_i} \cdot P_i}{E_n} + \frac{x \cdot \sum_i l_{A_i} \cdot Q_i}{E_n}$$

In questo modo tutti i termini sono già disponibili e non devo fare ulteriori operazioni. Calcolo solamente

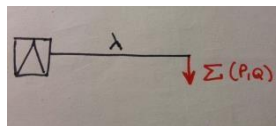
$$r = \frac{\rho}{S}$$

che ha per incognita S:

$$S \geq \frac{\rho \sum_i l_{A_i} \cdot I_{A_i}}{\Delta E_{MAX} - \Delta E_r} \quad (**)$$

dove ΔE_{MAX} è pari a 9,2V nei nostri impianti.

? **DOMANDA:** "ma se tutti e 3 i carichi fossero concentrati in un solo punto, come in figura, quale dovrebbe essere la distanza dal punto di consegna affinché la caduta di tensione sia la stessa, e quindi affinché non vari nemmeno la sezione?"



Risposta:

è sufficiente che il **momento amperometrico** del carico concentrato sia pari alla somma dei singoli momenti amperometrici, cioè che sia verificata:

$$\lambda \cdot \tilde{J}_t = \sum_i l_{A_i} \cdot \tilde{J}_i$$

Imponendo la lunghezza della linea pari a λ , calcolata con quella formula, ottengo la stessa caduta di tensione che avrei nel caso di carichi distribuiti.

La λ non è unica (poiché quel rapporto contiene anche numeri immaginari). In realtà quella relazione dev'essere divisa in componenti in fase e in quadratura, quindi ottengo **due valori di λ** : una legata alla componente della corrente in fase con la tensione e l'altra legata alla componente della corrente in quadratura con la tensione.

Una mi dà luogo a un numero, perché ho assunto la x nota e assegnata; l'altra mi consente di determinare la sezione del conduttore.

Tutto ciò per dire, in buona sostanza, che quando ho uno sistema più o meno complesso, con diversi carichi distribuiti, allora posso **riconducimi al caso in cui ho un solo carico totale a un'estremità (carico equivalente concentrato)** -> **MODO 2**

Per far questo determino la λ della corrente **in fase** con la tensione come: $\lambda_a = \frac{\sum I_{ai} I_{ai}}{I_{ri}}$
 poi la λ della componente **in quadratura**: $\lambda_r = \frac{\sum I_{ai} I_{ri}}{I_{ri}}$

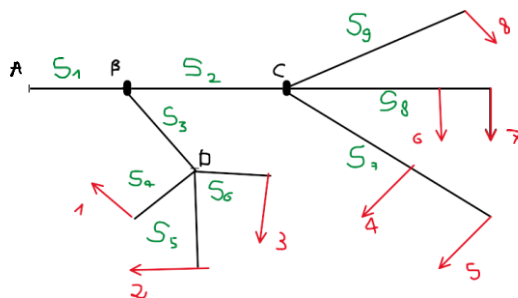
così la mia formula della sezione (***) si modifica nel modo seguente, andando a fare le opportune sostituzioni:

$$S \geq \frac{\rho \lambda_a I_{ai}}{9,2 - x \lambda_r I_{ri}}$$

- Quindi il secondo approccio (modo 2) consiste nel rappresentare lo stesso sistema però con un carico concentrato all'estremità, determinando in maniera opportuna la distanza λ in cui devo collocare il carico (distanza che varia per la componente in fase e per la componente in quadratura della corrente rispetto alla tensione).
- In conclusione abbiamo due modi per stabilire la dimensione della sezione di un conduttore, e sono **MODO 1** e **MODO 2**.
- Il **MODO 2** si applica quando abbiamo a che fare con carichi che hanno **fattori di potenza diversi**, perché siamo costretti a separare le due componenti.
- λ è una distanza **fittizia**, che introduciamo solo per svolgere questi calcoli.
- J e I sono la stessa cosa, ovvero sono le correnti richiamate dai carichi, che sono dati noti.

Esempio realistico di una rete tipica in BT/MT: calcolo teorico

Struttura:

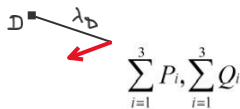


- 9 sezioni
- 8 carichi

- Normalmente la distribuzione di MT viene fatta tramite un feeder (alimentatore) e diverse laterali, che alimentano i carichi.
- Abbiamo visto come il carico equivalente concentrato dia luogo alla stessa caduta di tensione e quindi stessa sezione, **se** è verificata l'equivalenza tra i momenti amperometrici (cioè quando il momento amperometrico del carico concentrato eguaglia la somma dei momenti amperometrici dei singoli carichi). Allora si tratterà di applicare sistematicamente questo concetto.

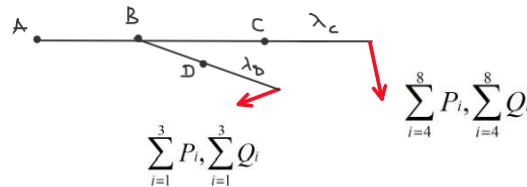
Partiamo ad esempio dal nodo D (che rappresenta uno stesso sottoquadro/sbarra), al quale sono collegati i tre carichi 1,2,3.

Impongo che il momento amperometrico di tali carichi sia uguale al momento amperometrico di un carico concentrato (in rosso) dato dalla loro somma:

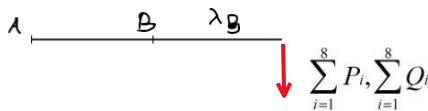


Con tale imposizione, determino la distanza fittizia λ_D , attraverso il calcolo delle componenti λ_{Da} e λ_{Dr} .

Svolgo la stessa operazione con il nodo C, e determino la distanza λ_C .



equivalente visto da B dove vado a mettere la sommatoria di tutti i carichi



di cui so calcolare la sezione, attraverso il calcolo delle componenti di λ .

$$S \geq \frac{\rho \lambda_a I_{ar}}{9,2 - x \lambda_r I_r}$$

Il processo logico allora è questo:

ricompongo tutti i carichi imponendo la condizione di equivalenza dei momenti amperometrici fino a ricondurmi all'*equivalente*, di cui so calcolare banalmente la sezione.

! **Attenzione:** la sezione che determino è **S1**! poiché ciò che c'è a valle di B è l'equivalente complessivo di tutta la rete.

Una volta determinata S1 vedremo come ricavare le altre sezioni.

Sulla base di questo procedimento teorico, ora facciamo i calcoli! ye!

Suggerimento: costruire preliminarmente una tabella numerata con tutte le grandezze da calcolare e inserire man mano i valori trovati, in modo da rendere il lavoro più sistematico possibile.

- Il punto di partenza (sia per il dimensionamento che per la verifica) è sempre: $\Delta E = \Delta E_a + \Delta E_r$

Nel dimensionamento ΔE_r è un numero, perché partiamo dall' assunto che la reattanza per unità di lunghezza della linea sia sempre nota. Ad esempio $x=0,1$ ohm/km.

Segue che la prima cosa da fare è determinare ΔE_r , ragionando quindi con le componenti in quadratura con la tensione.

di lunghezza della linea sia sempre nota. Ad esempio $x=0,1$ ohm/km.

Segue che la prima cosa da fare è determinare ΔE_r , ragionando quindi con le componenti in quadratura con la tensione.

- Calcolo la λ_{Dr} come

$$\lambda_{Dr} = \frac{\sum_{i=4}^8 I_{Di} \cdot I_{ri}}{\sum_{i=4}^8 I_{ri}}$$

- Allo stesso modo calcolo la λ_{Cr}

$$\lambda_{Cr} = \frac{\sum_{i=4}^8 I_{Ci} \cdot I_{ri}}{\sum_{i=4}^8 I_{ri}}$$

- Per arrivare all'equivalente vado a ridurre ulteriormente la rete, determinando la λ_{Br} , data dalla somma dei momenti amperometrici di tutti i carichi presenti dopo il nodo B diviso la somma di tutti i carichi della rete:

$$\lambda_{Br} = \frac{[(I_{BC} + \lambda_C) \sum_{i=4}^8 I_{ri}] + [(I_{BD} + \lambda_D) \sum_{i=1}^3 I_{ri}]}{\sum_{i=1}^8 I_{ri}}$$

Così facendo possiamo calcolare la componente della tensione in quadratura

$$\Delta E_r = x \cdot (I_{AB} + \lambda_{Br}) \cdot \sum_{i=1}^8 I_{ri}$$

che rappresenta la caduta di tensione che ho nella rete causata dalla componente della corrente in quadratura rispetto alla tensione.

- Faccio gli stessi calcoli dei punti precedenti per determinare la componente in fase ΔE_a (che il prof non svolge).

- La formula finale della sezione sarà:

$$S \geq \frac{\rho \lambda_a I_a}{9,2 - x \lambda_r I_r} \rightarrow S_1 \geq \frac{\rho \cdot (I_{AB} + \lambda_{Ba}) \cdot \sum_{i=1}^8 I_{ai}}{9,2 - \Delta E_r}$$

dove assumo per semplicità

$$\rho = 0,02 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \rightarrow \gamma = 50 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$$

- Calcolata la S_1 , come determiniamo le altre sezioni? Con delle **proporzioni**. ES. per calcolare S_2 scrivo:

$$S_2 : S_1 = (I_{Ca} + I_{BC}) \cdot I_{Ca} : (\lambda_{aTOT} + I_{TOT}) \cdot I_{aTOT}$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{(I_{BC} + \lambda_{Ca}) \cdot \sum_{i=4}^8 I_{ai}}{(I_{BC} + \lambda_{Ca}) \cdot \sum_{i=4}^8 I_{ai} + (I_{BD} + \lambda_{Da}) \cdot \sum_{i=1}^3 I_{ai}}$$

ES. per calcolare S_9 : $S_9 : S_2 = l_{C8} \cdot I_{8a} : (\lambda_{Ca} + l_{BC}) \cdot I_{Ca}$

$$\frac{S_9}{S_2} = \frac{l_{C8} \cdot I_{8a}}{(\lambda_{Ca} + l_{BC}) \cdot I_{Ca}}$$

- Ottenuto il valore della sezione, devo andare a consultare le tabelle del dimensionamento dei conduttori. Sceglierò il valore della sezione immediatamente superiore al valore che ho calcolato io.
- Faccio questo per tutte le sezioni da determinare.

Ci sono metodi alternativi? Sì, ad esempio:

conoscendo le correnti d'impiego di tutte le linee

1. Se partiamo dal basso verso l'alto, non posso sommare i valori efficaci delle correnti, ma devo sommare le componenti, cioè devo sommarle FASORIALMENTE.
2. Se invece procedo dall'alto verso il basso è molto più semplice: sommo rispetto al nodo che mi interessa tutte le potenze attive e tutte le potenze reattive. Da lì calcolo la corrente d'impiego che volevo determinare.

Una volta che ho tutte le correnti, dimensiono in base alla portata. Vado sul data sheet del costruttore e scelgo il cavo la cui portata nominale è superiore alla corrente d'impiego calcolata. Leggo r e x e le metto da parte, lo faccio per tutti i tratti ho una prima stima dei parametri r e x . verifica delle cadute di tensione: tutte le cdt, in ogni tratto, devono essere inferiori al 4%.

Un'ulteriore alternativa può consistere nell'essere noi ad attribuire le varie cadute di tensione ai diversi tratti di linea. È il metodo più semplice ma il più rischioso, poiché richiede una certa esperienza e dimestichezza.