

Dimensionarea electrică a liniilor electrice

Curs 9

10/06/2007

PTDEE - Curs 9 - prof. R.
TIRNOVAN

9.1. Criterii generale

Aceste criterii iau în calcul la funcția liniilor electrice în sistemul electroenergetic, și reprezintă ipotezele principale pentru calculul secțiunilor conductoarelor electrice. Astfel:

- pentru liniile de transport (evacuare) în FIT și IT (400 kV), secțiunea conductoarelor este determinată de de pierderile prin efect Corona și de valoarea „economică” a intensității curentului;
- pentru liniile de transport (interconectare) în FIT și IT (220 kV), secțiunea conductoarelor este determinată de de pierderile prin efect Corona și de valoarea admisibilă a intensității curentului;
- în cazul liniilor de repartiție în IT (110 kV) principalul criteriu are la bază curentul admisibil;
- dimensionarea liniilor de distribuție în MT și JT ține cont de de intensitatea curentului admisibil dar și de căderea de tensiune admisibilă.

9.1.1. Curentul admisibil

În conductoarele electrice, prin efect Joule au loc fenomene de producere de energie calorică. Aceasta duce la creșterea temperaturii conductorului. În același timp o parte din energia calorică este evacuată în exterior, în principal prin convecție.

Temperatura maximă atinsă de conductoare nu trebuie să depășească limita admisibilă, pentru care se consideră că nu au loc deteriorări ale stabilității mecanice, ale construcțiilor izolante etc.

Aceste considerente (prezentate în cursul de *Echipamente electrice*) conduc la definirea următoarelor valori ale curentului admisibil:

- intensitatea maximă admisibilă în regim permanent – valoare la care se atinge echilibrul termic la temperatura admisibilă în regim de funcționare de lungă durată (regim normal de funcționare);
- intensitatea maximă admisibilă în regim de suprasarcină de scurtă durată – fiind vorba de un regim de suprasarcină care poate să apară pentru o scurtă durată în timp ce deja linia a funcționat într-un regim permanent.

Determinarea încălzirii conductoarelor în regim permanent se bazează pe relația bilanțului termic scrisă la echilibru. Se poate scrie că suma dintre puterea calorică, produsă prin efect Joule, și aportul adus de încălzirea prin radiație solară, este egală cu suma puterii disipate prin convecție și radiație termică:

$$I^2 R_{20[1+k(T_2-293)]} + \alpha W_s \Phi = 8,55(T_2 - T_1)(\nu \Phi)^{0,449} + \varepsilon \sigma \pi \Phi (T_2^4 - T_1^4) \quad (9.1)$$

cu:

T_2 (K) - temperatura la suprafața conductorului;

T_1 (K) – temperatura mediului ambiant;

I (A)- intensitatea curentului din conductor;

R_{20} (Ω/m) – rezistivitatea conductorului în curent continuu, la temperatura de 20 °C;

k (K^{-1}) – coeficientul de variație cu temperatura a rezistenței electrice (0,0040 K^{-1} pentru aluminiu, sau 0,0036 K^{-1} pentru almelec);

Φ (m) – diametrul conductorului;

W_s (W/m²) – energia de radiație solară;

α - coeficient de absorbție;

v (m/s) – viteza transversală a vântului;
 ε – puterea de emisie în raport cu corpul absolut negru;
 $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

9.1.2. Pierderi prin efect corona

Sunt pierderi care apar datorită descărcărilor din jurul conductoarelor liniilor de FIT. Intensitatea fenomenului depinde de:

- nivelul de câmpului electric superficial la suprafața conductorului;
- starea suprafeței cablurilor;
- condițiile atmosferice.

De exemplu, în cazul a două conductoare jumelate pe fază de 600 mm^2 , pentru o tensiune de 400 kV, pierderile prin efect corona pot atinge 50 MWh/km.

Secțiunea trebuie astfel aleasă, încât să fie satisfăcute următoarele condiții:

- încălzirea conductoarelor să nu depășească limitele admise, deoarece determină distrugerea izolației, producerea de scurtcircuite și întreruperea liniei;
- pierderile de tensiune să nu depășească valorile admisibile, corespunzător fiecărui tip de linie, pentru a asigura calitatea energiei furnizate consumatorului;
- pierderea de putere sau de energie în conductoare să se mențină în anumite limite impuse de calculele economice.

Indicații:

- pentru liniile de joasă tensiune de lungime redusă, pierderile de tensiune și de energie sunt neînsemnate și de aceea dimensionarea se face pe baza încălzirii conductoarelor; în acest caz este necesar să se facă o verificare a pierderilor de tensiune;
- pentru liniile de joasă tensiune și medie tensiune relativ întinse (linii electrice de distribuție), secțiunea conductoarelor se alege pe baza criteriului pierderii de tensiune admisibile. Se va face o verificare la încălzire;
- pentru liniile de înaltă tensiune (linii de transport) secțiunea conductoarelor se alege pe baza considerentelor economice – cu ajutorul unui calcul tehnico-economic se va determina secțiunea economică a conductoarelor, luând în considerație costul pierderilor de energie electrică și costul liniei.

9.2. Alegerea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii admisibile

Este necesar ca curentul de exploatare să fie mai mic sau cel mult egal cu curentul admisibil:

$$I_e \leq I_{ad} \quad (9.2)$$

Producatorii de conducte electrice pun la dispozitie tabele cu valorile curentului (incarcarii) admisibil, calculate sau măsurate, ținând seama de temperatura limită de încălzire, de caracteristicile fizice și de dimensiunile geometrice ale acestora.

Alegerea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii admisibile se simplifică mult, dacă se utilizează tabelele cu intensitățile admisibile de curent.

9.3. Alegerea secțiunii conductorilor pe baza pierderilor de tensiune

Secțiunea conductoarelor se determină pe baza criteriului pierderilor de tensiune punând condiția ca aceasta să fie cel mult egală cu pierderea de tensiune sensibilă, adică:

$$\Delta U \leq \Delta U_{adm} \quad (9.3)$$

9.3.1. Ipoteza secțiunii constante

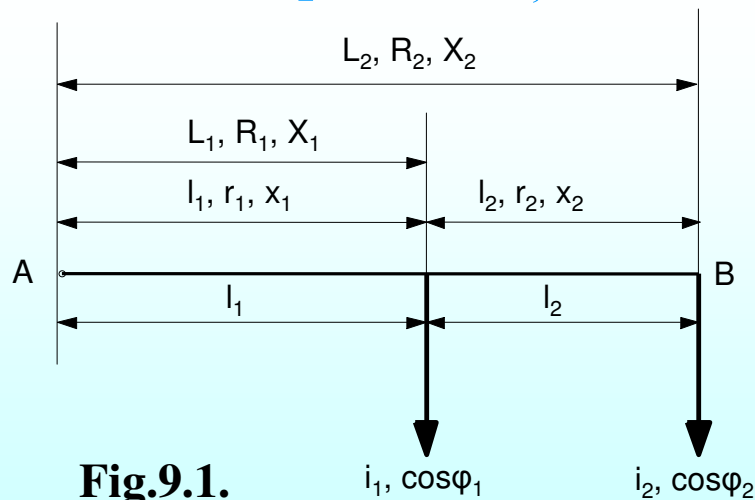


Fig.9.1.

Pentru cele n tronsoane ale liniei:

$$s_1 = s_2 = \dots = s_n = s \quad (9.4)$$

$$\Delta U \leq \frac{\varepsilon}{100} U_n \quad (9.5)$$

Căderea de tensiune procentuală admisibilă:

$$\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_r = \sum_{k=1}^{k=n} R_k i_{ka} + \sum_{k=1}^{k=n} X_k i_{kr} \quad (9.6)$$

Reactanța X_0 variază foarte puțin cu secțiunea și este considerată cunoscută:

$$\sum_{k=1}^{k=n} R_k i_{ka} = \frac{\varepsilon_a}{100} U_n = \frac{\varepsilon}{100} U_n - \sum_{k=1}^{k=n} X_k i_{kr} \Rightarrow \varepsilon_a = \varepsilon - \frac{100}{U_n} \sum_{k=1}^{k=n} X_0 l_k i_{kr} \quad (9.7)$$

$$s = c \frac{100\rho}{\varepsilon_a} \sum_{k=1}^{k=n} L_k i_{ka} = c \frac{100\rho}{\varepsilon_a} \sum_{k=1}^{k=n} l_k I_{ka} \quad (9.8)$$

$$s = c \frac{100\rho}{\varepsilon_a} \sum_{k=1}^{k=n} L_k p_k = c \frac{100\rho}{\varepsilon_a} \sum_{k=1}^{k=n} l_k P_k \quad (9.9)$$

cu
 $c = 2 \text{ pt. } \text{circuite monofazate}$
 $c = \sqrt{3} \text{ pt. } \text{circuite trifazate.}$

7.3.2. Ipoteza densității de curent constante

Secțiunile conductoarelor sunt diferite iar densitățile constante:

$$\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_n = \delta \quad (9.9)$$

$$I_{ka} = \delta \cdot s_k \cdot \cos \varphi_k \Rightarrow \sum_{k=1}^{k=n} r_k I_{ka} = \sum_{k=1}^{k=n} \rho_k l_k \delta \cos \varphi_k = \frac{\varepsilon_a}{100} U_n \quad (9.10)$$

Pentru un tronson oarecare:

$$s_j = \frac{I_j}{\delta} = 100 \frac{\rho I_j \cos \varphi_j \sum_{k=1}^{k=n} \frac{l_k \cos \varphi_k}{\cos \varphi_j}}{\varepsilon_a U_n} \quad (9.11)$$

7.3.3. Ipoteza volumului minim de material

Se consideră o linie fără ramificații pentru care se calculează secțiunile conductoarelor astfel încât volumul de material să fie minim:

$$V = \sum_{k=1}^{k=n} l_k s_k \quad (9.12)$$

$$\Delta U_a = \sum_{k=1}^{k=n} \rho \frac{l_k I_{ka}}{s_k} \quad (9.13)$$

Cu s_k secțiunea trosonului k , l_k lungimea aceluiasi tronson și I_{ka} componenta activă a curentului prin trosonul k al liniei luată electrică în considerare.

Se construiește funcția de minimizat F , utilizând multiplicatorul μ al lui Lagrange:

$$F(s_1, s_2, \dots, s_n) = \sum_{k=1}^{k=n} \rho \frac{l_k I_{ka}}{s_k} + \mu \sum_{k=1}^{k=n} l_k s_k \quad (9.14)$$

Se derivează F în raport cu secțiunile s_k , iar derivatele parțiale se efaează cu zero pentru determinarea extremelor:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial s_1} &= -\rho \frac{l_1}{s_1^2} I_{1a} + \mu l_1 = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial s_2} &= -\rho \frac{l_2}{s_2^2} I_{2a} + \mu l_2 = 0 \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\partial F}{\partial s_n} &= -\rho \frac{l_n}{s_n^2} I_{na} + \mu l_n = 0 \end{aligned} \quad (9.15)$$

Din sistemul de ecuații (9.15), prin împărțirea fiecărei ecuații cu lungimea corespunzătoare tronsonului respectiv, l_k , se obțin următoarele egalități:

$$\frac{\sqrt{I_{1a}}}{s_1} = \frac{\sqrt{I_{2a}}}{s_2} = \dots = \frac{\sqrt{I_{na}}}{s_n} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \text{ cu } \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \frac{\Delta U_a}{\rho \sum_{k=1}^{k=n} l_k \sqrt{I_{ka}}} \quad (9.16)$$

Rezultă:

$$s_j = c \frac{\rho \sqrt{I_{ja}}}{\Delta U_a} \sum_{k=1}^{k=n} l_k \sqrt{I_{ka}} \quad (9.17)$$

9.4. Determinarea secțiunii economice a conductoarelor

9.4.1. Determinarea cheltuielilor de exploatare a rețelelor electrice

Cheltuielile anuale de exploatare legate de transportul și distribuția energiei electrice se compun din:

- **cota anuală de amortizare a echipamentului rețelei:** se exprimă în procente din costul total al obiectului, are drept scop crearea unui fond din care să se acopere cheltuielile efectuate pentru înlocuirea echipamentului. Se ține seama de uzura fizică și morală a echipamentului;
- **cheltuielile anuale pentru reparații curente:** se evaluează în procente din costul total al rețelei. Au drept scop menținerea rețelei în bună stare de funcționare;
- **cheltuielile anuale pentru deservirea rețelei:** se efectuează pentru supravegherea continuă și administrarea gospodăririi rețelei;
- **costul energiei electrice pierdute în rețea.**

Tabelul 9.1. Cheltuieli anuale de exploatare a rețelelor electrice.

Denumirea obiectului	Cota de amortizare %	Cheltuieli pentru reparații curente, întreținere și deservire, în %
L.E.A. pe stâlpi de lemn	7	3
L.E.A. pe stâlpi metalici și din beton armat	3	1
L.E.S.	3	2
Stații de transformare și de conexiuni	6	2~4

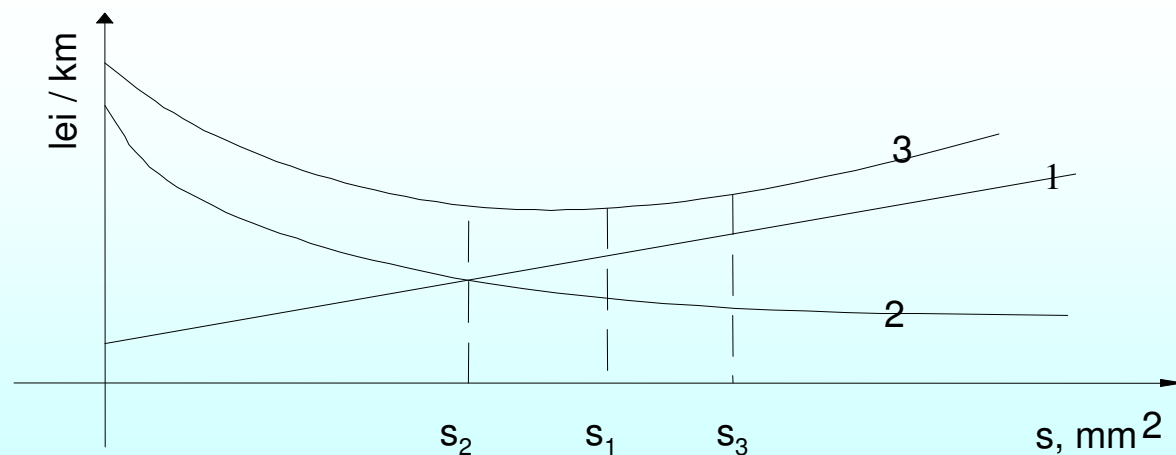


Fig. 9.2. Variația cheltuielilor anuale de exploatare și a componentelor sale cu secțiunea conductoarelor liniei: 1 - cheltuieli de investiții (cota de amortizare), 2 - pierderi de energie electrică, 3 - cheltuieli totale.

9.4.2. Calculul secțiunii economice a conductoarelor liniei

Cheltuielile anuale de exploatare se determină cu următoarea relație:

$$C = \frac{p_a}{100} \cdot I + \frac{p_r}{100} \cdot I + D + \beta \cdot \Delta W, \quad (9.18)$$

- I reprezintă cheltuielile de investiții pentru construirea liniei;
- p_a, p_r – cota de amortizare, respectiv de reparații curente;
- D - cheltuielile pentru deservirea rețelei;
- β costul unui kWh pierdut;
- ΔW – pierderile anuale de energie, în kWh, cu:

$$\beta \cdot \Delta W = \beta \cdot 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot R \cdot \tau = \beta \cdot 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot \frac{L}{\chi \cdot s} \cdot \tau \quad (9.19)$$

cheltuieli invers proporționale cu secțiunea conductorului, unde τ este durata de utilizare a sarcinii maxime. Dar creșterea secțiunii conduce la o creștere a investiției. Se pune problema de a determina o secțiune optimă pentru care cheltuielile sunt minime.

Cheltuielile pentru construirea liniei se pot determina cu relația:

$$I = (a + bs) \cdot L \quad (9.20)$$

- a reprezintă cheltuielile care nu depind de secțiunea conductoarelor, în lei/km;
- b – cheltuielile care depind de secțiunea conductoarelor, în lei/(mm².km);
- s – secțiunea conductoarelor, în mm²;
- L – lungimea liniei, în km.

În aceste condiții:

$$C = \frac{P_a + P_r}{100} (a + bs) \cdot L + 3I_{\max}^2 \cdot \frac{L}{\chi \cdot s} \cdot \tau \cdot \beta + D, \quad (9.21)$$

$$C_1 = \frac{P_a + P_r}{100} (a + bs) \cdot L + 3I_{\max}^2 \cdot \frac{L}{\chi \cdot s} \cdot \tau \cdot \beta \quad (9.22)$$

Din figura 7.2, se observă că există o secțiune pentru care cheltuielile de exploatare sunt minime; aceasta se numește *secțiunea economică*. Valoarea secțiunii economice se determină, prin derivarea relației (9.22) și egalarea acesteia cu zero:

$$\frac{dC_1}{ds} \Big|_{s=\text{sec}} = 0 = \frac{b(p_a + p_r) \cdot L}{100} - \frac{3I_{\max}^2 \cdot L \cdot \tau \cdot \beta}{100 \cdot \chi \cdot s_{ec}^2} = 0, \quad (9.23)$$

Soluția ecuației (9.23) este:

$$s_{ec} = I_{\max} \sqrt{\frac{3 \cdot \tau \cdot \chi}{10b(p_a + p_r) \cdot \chi}} \quad (9.24)$$