

ANALIZA CIRCUITELOR ELECTRICE CU PARAMETRII DISTRIBUIȚI (LINIA LUNGĂ) ÎN REGIM TRANZITORIU

Ion Badaneu, Costantin Musteață

Arhip Potâng – conducător

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: Ideea de bază constă în analiza procedurii calculului mărimilor circuitului cu parametrii distribuiți. Procedura de calcul se efectuează pentru circuitul constituit dintr-o linie-cablu și o linie aeriană legate-n serie, iar punctul de joncțiune al liniilor poate fi element activ, element inductiv. Liniile se consideră linii fără pierderi ceea ce ne permite să simplificăm analiza lor în regim tranzitoriu. Procedura de bază constă în alcătuirea schemei echivalente de substituție. Schema echivalentă ne permite să trecem de la analiza circuitelor cu parametrii distribuiți în regim tranzitoriu la analiza circuitelor electrice cu parametrii concentrați în regim tranzitoriu prin aplicarea metodei clasice sau operaționale.

Având legile pentru $u(t)$ și $i(t)$ și luând în considerație că $u(t) = u_i + u_r$, și $i(t) = i_i + i_r$, se determină mărimile undei reflectate, adică $u_r = u(t) - u_i$, $i_r = i(t) - i_i$ sau $i_r = -\frac{u_r(t)}{Z_c}$.

Cuvinte cheie: Circuit cu parametrii concentrați, cu parametrii distribuiți, impedanță caracteristică, metoda clasică, metoda operațională, undă electromagnetică incidentă, undă electromagnetică reflectată, rădăcina ecuației caracteristice.

Analiza circuitelor electrice cu parametrii distribuiți este o problemă importantă din punct de vedere practic, deoarece la procesul de tranziție pe unele porțiuni ale circuitului pot să apară supratensiuni sau supracurenți. Acest proces duce la deteriorarea izolației instalației sau la supraîncălzire. Procesele tranzitorii în linia de transport a energiei electrice, ca rezultat al descărcării atmosferice, duce la perturbații în linie. Durata procesului tranzitoriu în circuitele electrice cu parametrii distribuiți, asemănător cu circuitele electrice cu parametrii concentrate, reprezintă timp infinit de lung din punct de vedere teoretic, iar din punct de vedere practic durata procesului alcătuiește sute de secundă. Necătfind la durata foarte mică de parcurgere a proceselor tranzitorii este foarte important de stabilit care sunt supratensiunile eventuale și care sunt supracurenții în unele porțiuni ale circuitului. Studiul proceselor tranzitorii în linia fără pierderi permite de a face concluzia necesară din punct de vedere calitativ asupra fenomenelor ce au loc în linia lungă cu pierderi.

La baza studiului proceselor tranzitorii în linia lungă se află ecuațiile:

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 \cdot i + L_0 \cdot \frac{\partial i}{\partial t} & (1) \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 \cdot u + C_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial t} & (2) \end{cases}$$

Pentru linia fără pierderi ($R_0 = G_0 = 0$), avem

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = L_0 \cdot \frac{\partial i}{\partial t} & (3) \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = C_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial t} & (4) \end{cases}$$

În rezultatul transformărilor, se obține

$$\begin{cases} \frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{1}{V^2} \cdot \frac{d^2 u}{dt^2} & (5) \\ \frac{d^2 i}{dx^2} = \frac{1}{V^2} \cdot \frac{d^2 i}{dt^2} & (6) \end{cases} \text{ unde } V = \frac{1}{\sqrt{L_0 \cdot C_0}}$$

Soluțiile ecuațiilor (5) și (6) prezintă suma a două componente: componenta incidentă și componenta

$$\text{reflectată: } \begin{cases} u = f_1\left(t - \frac{x}{V}\right) + f_2\left(t + \frac{x}{V}\right) \\ i = \varphi_1\left(t - \frac{x}{V}\right) + \varphi_2\left(t + \frac{x}{V}\right) \end{cases}, \text{ sau } \begin{cases} u(t) = u_i + u_r \\ i(t) = i_i + i_r \end{cases} \quad \text{unde: } \begin{cases} i_i = \frac{u_i(t)}{Z_c} \\ i_r = -\frac{u_r(t)}{Z_c} \end{cases}.$$

În cazul cînd unda electromagnetică deplasîndu-se atinge capătul liniei, la care este conectată o sarcină sau o altă linie, o parte din unda electromagnetică trece în sarcină sau linie și altă parte se reflectă și apare unda reflectată. În acest caz apare problema: care este forma undei ce trece în sarcină și care este forma undei reflectată și cum se vor deforma în timp. Pentru a răspunde la aceste întrebări se aplică schema echivalentă de substituție ce ne permite studierea proceselor tranzitorii în circuitele cu parametrii distribuiți. Schema echivalentă se alcătuiește reeșind din condiția că unda electromagnetică deplasîndu-se atinge capătul liniei și deci, avem:

$$\begin{cases} u(t) = u_i + u_r \\ i(t) = i_i + i_r \end{cases} \quad \text{unde } \begin{cases} i_i = \frac{u_i(t)}{Z_c} \\ i_r = -\frac{u_r(t)}{Z_c} \end{cases} \text{ sau } \begin{cases} u(t) = u_i + u_r \\ i \cdot Z_c = u_i - u_r \end{cases} \Rightarrow \{2 \cdot u_i = i \cdot Z_c + u(t)\} \quad (7).$$

Ecuția (7) ne permite să alcătuim schema echivalentă pentru linia lungă în regim mers în gol

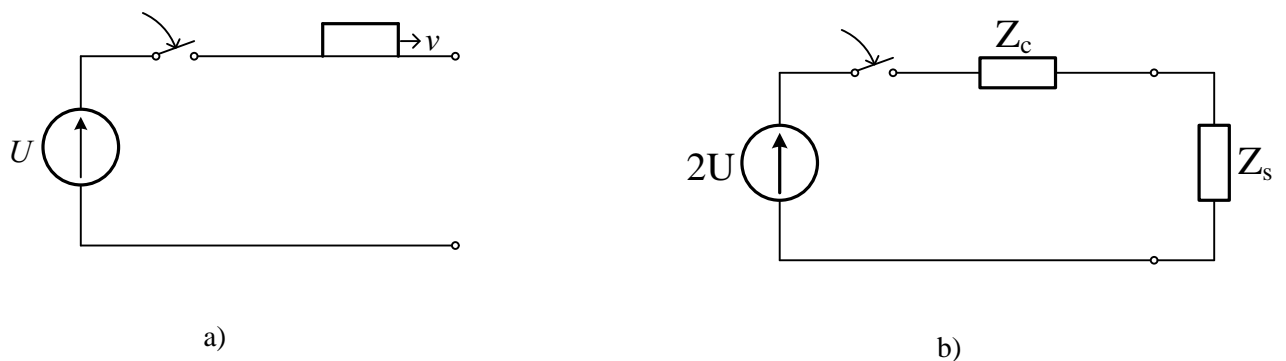


Fig.1

Studiul proceselor tranzitorii în lucrarea de față s-a efectuat prin analiza problemei constituită din două linii: linia-cablu și linia-aeriană. În punctul de joncțiune se află o bobină cu inductivitatea „L”, iar în calitate de sarcină un condensator cu capacitatea „C”, (fig.2)

Se dă:

$$\begin{aligned} U &= 10 \text{ kV} & v_2 &= 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ Z_{c1} &= 300 \Omega & l_2 &= 80 \text{ km} \\ v_1 &= 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} & L &= 0,1 \text{ H} \\ l_1 &= 20 \text{ km} & C &= 2,76 \mu\text{F} \\ Z_{c2} &= 400 \Omega & & \end{aligned}$$

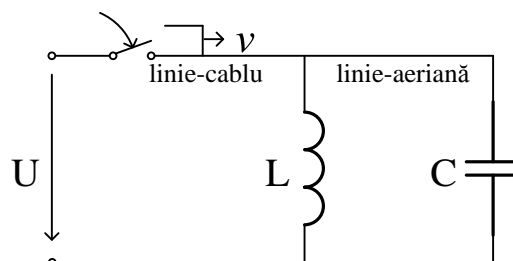


Fig.2

Calculul mărimilor respective s-a efectuat în două etape. La prima etapă s-a considerat că unda electromagnetică deplasîndu-se atinge punctual de joncțiune. Calculul mărimilor s-a efectuat prin aplicarea schemei din fig.3

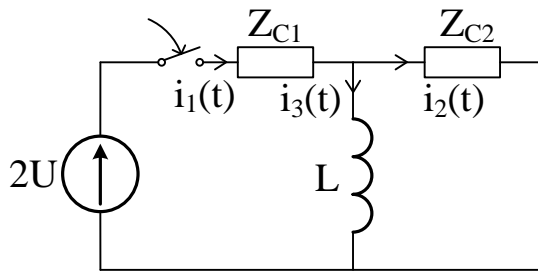


Fig.3

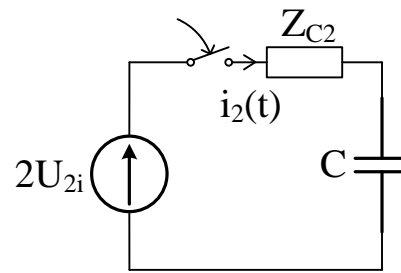


Fig.4

La a doua etapă se consideră că unda electromagnetică deplasându-se atinge capătul liniei aeriene. Calculul mărimilor s-a efectuat prin aplicarea schemei din fig.4. Aplicînd procedura descrisă mai sus în rezultatul calculelor s-a obținut:

$$u_{1i} = 10^4 \text{ V}$$

$$i_{1i} = \frac{u_{1i}}{Z_{C1}} = \frac{10^4}{300} = 33,4 \text{ A}$$

$$u_{1r} = 2781 \text{ V}$$

$$i_{1r} = -9,279 \text{ A}$$

$$u_{2i} = 11428 \cdot e^{-1714t} \text{ V}$$

$$i_{2i} = 28,57 \cdot e^{-1714t} \text{ A}$$

$$u_{2r} = 8011 \cdot e^{-444,84t} - 19439 \cdot e^{-1714t} \text{ V}$$

$$i_{2r} = 20,03 \cdot e^{-1714t} - 68,3 \cdot e^{-444,84t} \text{ A}$$

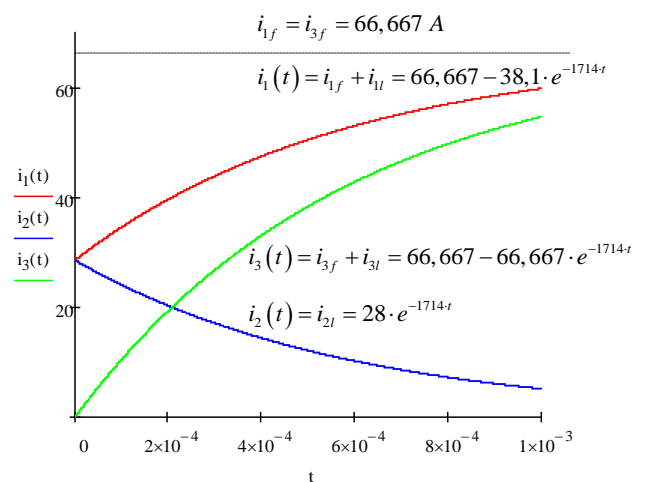


Fig.5

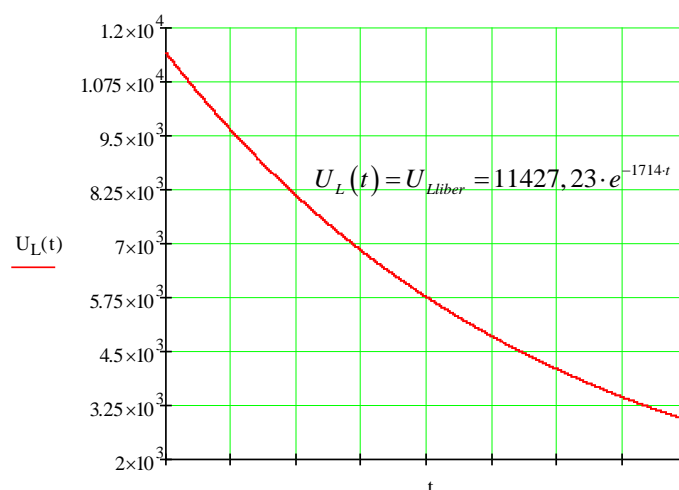


Fig.6

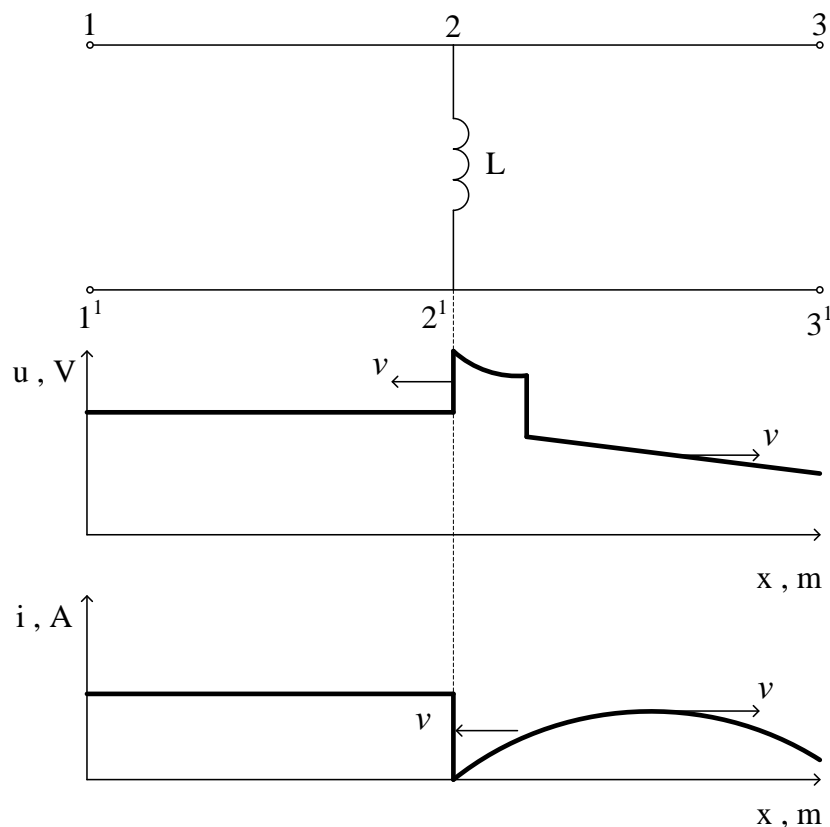


Fig.7

Concluzii:

1. Calculul mărimilor în căutare la regim tranzitoriu pentru linia lungă fără pierderi poate fi efectuat urmărind etapele enumerate.
2. Prima etapă ne permite să determinăm mărimile u_{1inc} ; i_{1inc} ; u_{1r} ; i_{1r} ; u_{2inc} ; i_{2inc} prin aplicarea schemei din fig.3.
3. Etapa a doua ne permite să determinăm $u_{r2} = u(t) - u_{2i}$, $i_{r2} = -\frac{u_{2r}}{Z_{C2}}$ prin aplicarea schemei din fig.4.
4. Procedura propusă ne permite să facem concluziile necesare privitor la analiza proceselor tranzitorii într-un circuit electric cu parametri distribuți fără pierderi ce conține două elemente reactive.
5. Procedura propusă poate fi aplicată pentru cazurile când sarcina are caracter activ-inductiv, activ-capacitiv sau pur inductiv.

Bibliografie:

1. G. V. Zeveche „Teoreticeskie osnovî electrotehnike” Moskva 1985
2. G. I. Atabecov „Teoreticeskie osnovî electrotehnike” Moskva 1980
3. C. Șora „Bazele electrotehnicii” București 1980
4. C. Șimoni „Electrotehnica teoretică” București 1980.