

# STUDIUL PROPAGĂRII UNDELOR DE IMPULS PE LINII ELECTRICE CU AJUTORUL MODELELOR FIZICE

## 1. Baze teoretice

Tensiunile și curenții de impuls pot să apară pe liniile electrice datorită loviturilor de trăsnet sau datorită unor fenomene de comutație. Aceste unde au durate mici în raport cu timpul de parcurgere a liniilor de lungime medie sau mare, motiv pentru care sunt numite unde călătoare. Studiul teoretic al propagării undelor de impuls folosește o schemă cu parametri uniform distribuiți pentru linia electrică, schemă descrisă cu ajutorul unor ecuații diferențiale, pe baza legilor lui Kirchoff. Ca rezultat general, tensiunea și curentul în orice punct al unei linii se obține prin însumarea unei unde directe și a unei unde reflectate, care se propagă cu viteze egale, dar în sensuri contrare. Legătura între intensitatea curentului și tensiune este dată de legea lui Ohm, în care parametrul de material se numește **impedanță caracteristică**, o mărime specifică fenomenelor de propagare a undelor de impuls.

Orice linie care nu produce la capătul ei fenomenul de reflexie este asimilată cu o linie infinit lungă și pe ea nu se propagă decât o undă directă.

Undele de impuls care se propagă pe liniile electrice sunt, în general, supratensiuni capabile să determine apariția descărcării corona în cazul liniilor aeriene. Descărcarea corona modifică în sens crescător capacitatea și conductanța conductorului față de pământ, ceea ce are ca urmare reducerea mărimii impedanței caracteristice și a vitezei de propagare. În consecință, durata de front a undelor crește, iar amplitudinea scade proporțional cu distanța de propagare a undelor pe linie.

Pentru studiul experimental al propagării undelor de impuls pe linii se poate utiliza un model fizic în care linia de lungime finită, cu parametrii uniform distribuiți se înlocuiește printr-un număr de cuadripoli conectați în serie.

## 2. Propagarea undelor de tensiune în cazul a trei linii înseriate

O situație generală de propagare a unei de supratensiune, din care prin particularizări se pot obține multe alte situații, este cea a succesiunii a trei linii cu impedanțe caracteristice

diferite  $Z_1, Z_0, Z_2$  (fig. 1).

Mai multe configurații posibile ale rețelelor din sistemele electroenergetice se pot reprezenta printr-o astfel de succesiune a 3 linii, de exemplu: linie aeriană – cablu – linie aeriană; două circuite aeriene legate printr-o stație cu izolație de SF<sub>6</sub>; succesiunea linie simplu circuit – linie dublu circuit – linie simplu circuit; linie aeriană – cablu – generator (sau transformator).

Pentru determinarea amplitudinii undelor de tensiune care se propagă pe liniile schemei se aplică metoda Bewley, conform căreia undele reflectate și refractate se determină cu ajutorul coeficienților de reflexie și de refracție în punctele nodale (puncte în care impedanța caracteristică a liniei se modifică). Între două puncte nodale vecine se admite că undele se propagă fără deformare, timpul de propagare fiind dat de raportul dintre distanță și viteza de propagare (în lipsa descărcării corona se poate considera aceeași ca viteza luminii, respectiv 300m/μs).

Pentru simplificarea studiului, se va presupune că liniile cu impedanțe caracteristice  $Z_1$  și respectiv  $Z_2$ , au lungimea infinită, astfel că nu apar unde reflectate de la extremitățile opuse punctelor A și B.

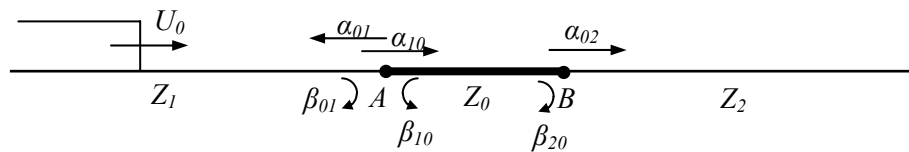


Fig. 1. Reflexia și refracția undelor de tensiune în punctele nodale ale trei linii înseriate

În punctele nodale A și B au loc procese de reflexie și refracție, caracterizate prin coeficienții cuprinși în tabelul 1.

**Tabelul 1- Expresiile de calcul pentru coeficienții de reflexie și de refracție**

Sensul propagării undei	Coeficienți de refracție	Coeficienți de reflexie
$Z_1 \rightarrow Z_0$	$\alpha_{10} = \frac{2Z_0}{Z_1 + Z_0}$	$\beta_{01} = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1 + Z_0}$
$Z_0 \rightarrow Z_2$	$\alpha_{02} = \frac{2Z_2}{Z_0 + Z_2}$	$\beta_{20} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_0 + Z_2}$
$Z_0 \rightarrow Z_1$	$\alpha_{01} = \frac{2Z_1}{Z_0 + Z_1}$	$\beta_{10} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0}$

Se va considera o undă incidentă de formă treaptă, cu amplitudinea  $U_0$ . Datorită lungimii finite a liniei cu impedanța caracteristică  $Z_0$  trebuie luate în considerare reflexiile și refracțiile succesive ale undelor în punctele A și B. Astfel, tensiunile care se propagă în liniile adiacente se formează prin suprapunerea unor componente decalate în timp cu dublul duratei de propagare,  $\tau$ , pe linia de impedanță caracteristică  $Z_0$ , așa cum se arată în fig. 2.

$$\tau = \frac{l_{AB}}{v} \quad (1)$$

Alegând drept origine de timp momentul impactului unei incidente  $U_0$  în punctul A, expresiile tensiunilor  $U_1$  și  $U_2$  în punctele A și B la diferite momente de timp vor fi acelea din tabelul 2.

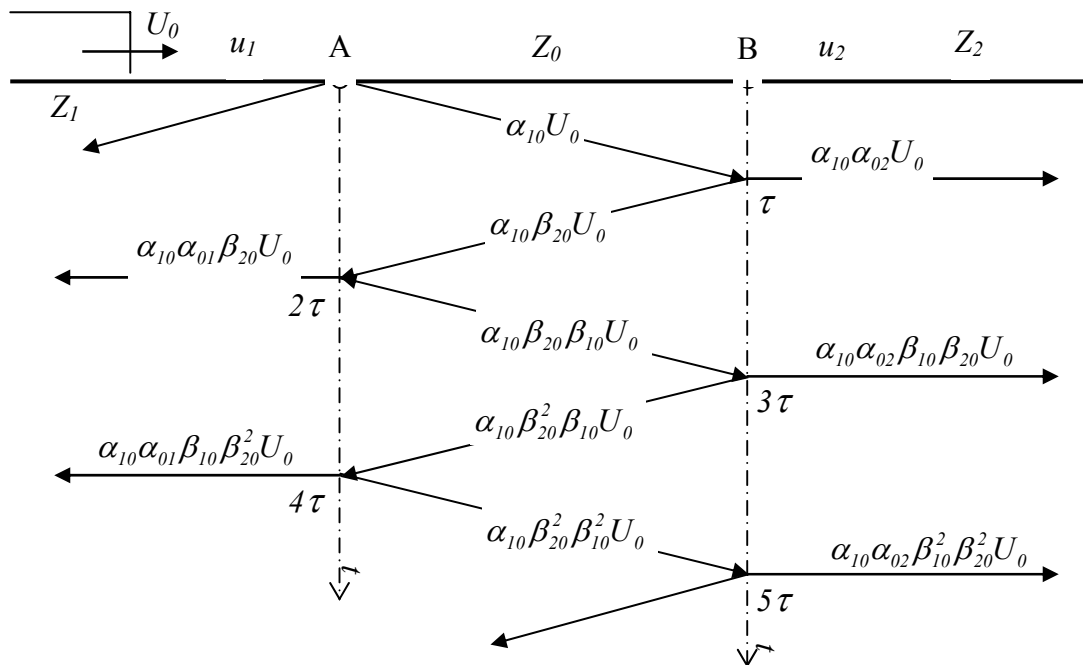


Fig. 2. Procesul de reflexii repetate ale undelor de tensiune la extremitățile liniei scurte

După trecerea unui timp suficient de lung, în comparație cu durata de propagare  $\tau$ , deci după producerea unui mare număr de reflexii repetate pe linia cu impedanța  $Z_0$  (între punctele A și B) tensiunile care se propagă pe cele două linii lungi ating aceeași valoare

$$\left(\frac{U_1}{U_0}\right)_{\infty} = \left(\frac{U_2}{U_0}\right)_{\infty} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \alpha_{12}. \quad (2)$$

Rezultă că, după terminarea procesului tranzitoriu datorat reflexiilor repetate pe linia scurtă, aceasta nu mai exercită nici o influență asupra procesului de propagare. Aceasta se datorează formei de undă incidente considerată: treaptă cu lungime infinită.

Pe durata procesului de reflexii repetate, tensiunile  $U_1$  și  $U_2$  pot avea forme aperiodice sau oscilante, în funcție de mărimile impedanțelor caracteristice ale celor trei linii din schemă.

**În lucrare se vor studia patru cazuri tipice.**

**Cazul 1:**  $Z_1 > Z_0 < Z_2$

În acest caz  $\beta_{10} > 0$ ,  $\beta_{20} > 0$ , deci toți termenii componenți ai relațiilor de calcul a tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  din tabelul 2 sunt pozitivi. Tensiunile  $u_1$  și  $u_2$  cresc treptat tinzând spre

Tabelul 2 – Expresiile de calcul ale tensiunilor la extremitățile liniei scurte

Intervalul de timp	$u_1/U_0$	$u_2/U_0$
$0 < t < \tau$	$\left(\frac{u_1}{U_0}\right)_1 = 1 + \beta_{01} = \alpha_{10}$	$0$
$\tau < t < 2\tau$		$\left(\frac{u_2}{U_0}\right)_1 = \alpha_{10}\alpha_{02}$
$2\tau < t < 3\tau$	$\left(\frac{u_1}{U_0}\right)_2 = \left(\frac{u_1}{U_0}\right)_1 + \alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20}$	$\left(\frac{u_2}{U_0}\right)_2 = \left(\frac{u_2}{U_0}\right)_1 + \alpha_{10}\alpha_{02}\beta_{10}\beta_{20}$
$3\tau < t < 4\tau$		
$4\tau < t < 5\tau$	$\left(\frac{u_1}{U_0}\right)_3 = \left(\frac{u_1}{U_0}\right)_2 + \alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20}\beta_{10}\beta_{20}$	$\left(\frac{u_2}{U_0}\right)_3 = \left(\frac{u_2}{U_0}\right)_2 + \alpha_{10}\alpha_{02}(\beta_{10}\beta_{20})^2$
$5\tau < t < 6\tau$		
$6\tau < t < 7\tau$	$\left(\frac{u_1}{U_0}\right)_4 = \left(\frac{u_1}{U_0}\right)_3 + \alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{20}(\beta_{10}\beta_{20})^2$	$\left(\frac{u_2}{U_0}\right)_4 = \left(\frac{u_2}{U_0}\right)_3 + \alpha_{10}\alpha_{02}(\beta_{10}\beta_{20})^3$
$7\tau < t < 8\tau$		
·	·	·
·	·	·
$t \rightarrow \infty$	$\left(\frac{u_1}{U_0}\right)_\infty = \left(\frac{u_2}{U_0}\right)_\infty = \frac{\alpha_{10}\alpha_{02}}{1 - \beta_{10}\beta_{20}} = \alpha_{12}$	

valoarea de regim staționar, determinată de expresia (2). Grafic, evoluția acestor tensiuni este reprezentată în fig. 3, a.

**Cazul 2:**  $Z_1 < Z_0 > Z_2$

Rezultă  $\beta_{10} < 0$ ,  $\beta_{20} < 0$ ,  $\beta_{01} > 0$ . Din acest motiv, prima valoare a tensiunii  $U_1$  este mai mare decât  $U_0$ , iar componentelor ulterioare au semn negativ, ceea ce provoacă scăderea treptată a tensiunii până la valoarea de regim staționar. Tensiunea  $u_2$  crește treptat, deoarece toate componentele care o formează conțin produse de forma  $\beta_{10}\beta_{20} > 0$ . Reprezentarea grafică a acestui caz este dată în fig. 3,b.

**Cazul 3:**  $Z_1 < Z_0 < Z_2$

În această situație  $\beta_{10} < 0$ ,  $\beta_{20} > 0$ , iar polaritățile componentelor de tensiune, care sosesc la intervalele de timp  $2\tau$  în punctele A și B, alternează, iar amplitudinile acestora descreșc,

astfel că în regim tranzitoriu tensiunile  $u_1$  și  $u_2$  au forme oscilant amortizate, tinzând către valorile de regim staționar (2).

Întrucât  $\alpha_{10} > 1$ ,  $\alpha_{02} > 1$  și  $\alpha_{02} > \alpha_{10}$ , tensiunea  $u_2$  are prima valoare mult mai mare față de prima valoare a tensiunii  $u_1$ .

Variația tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  din fig.3,c se referă la cazul în care  $Z_2 \gg Z_1$ , astfel încât  $\alpha_{12}$  tinde spre valoarea 2.

**Cazul 4:**  $Z_1 > Z_0 > Z_2$

Și în această situație  $\beta_{10} > 0$ ,  $\beta_{20} < 0$ . În consecință, tensiunile  $u_1$  și  $u_2$  vor avea tot forme oscilant amortizate (fig. 3,d).

Deoarece  $\alpha_{10} < 1$ ,  $\alpha_{02} < 1$ , prima valoare a tensiunii  $u_1$  este mai mare decât prima valoare a tensiunii  $u_2$ . Situația din fig. 6,d se referă la cazul în care  $Z_2 \ll Z_1$  încât  $\alpha_{12}$  are o valoare apropiată de zero.

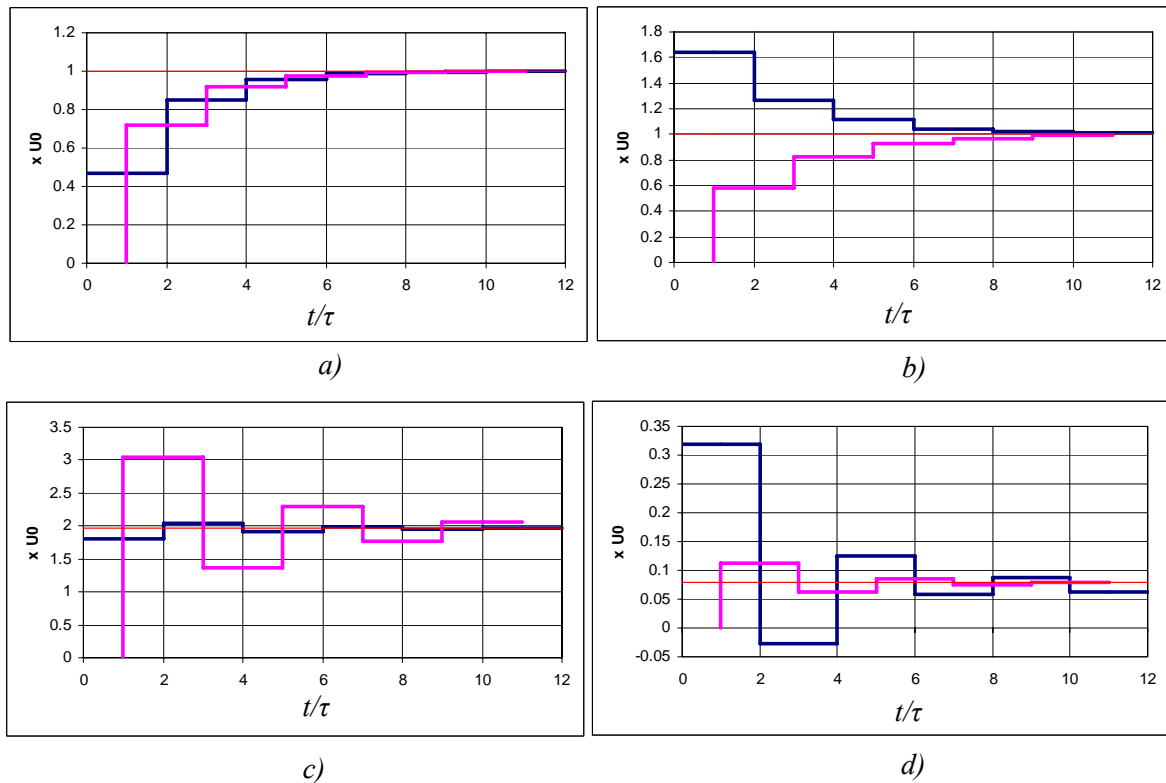


Fig. 3. Variația tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  în regimul tranzitoriu de reflexii repetate

**3. Modelul fizic pentru studiul propagării undelor de impuls pe linii**

Sucesiunea celor trei linii, conform cazurilor 1 .. 4 analizate mai sus poate fi obținută în laborator folosind pentru linia scurtă de impedanță caracteristică  $Z_0$  două modele realizate dintr-un număr suficient de cuadripoli în II înseriați. Parametrii liniilor reale și ale modelelor corespunzătoare sunt dați în tabelul 3. Pentru liniile de lungime infinită, se folosește modela-

rea prin rezistențe concentrate egale cu impedanțele caracteristice  $Z_1$  și  $Z_2$  ale liniilor.

O altă posibilitate de modelare este de a înlocui linia scurtă printr-un singur cuadripol în  $\Pi$  (fig.4) ai cărui parametri corespund întregii lungimi ai liniei scurte. Parametrii acestei scheme pot fi determinați cu relațiile:

Tabelul 3 – Parametrii liniilor scurte reale și modelate

Caracteristici	Linia reală		Scările de modelare		Modelul		Nr. cuadripoli
	Parametri				Parametrii unui cuadripol în $\Pi$		
LEC, 110kV, 400 m	$L_0$ ( $\mu\text{H}/\text{m}$ )	0,165	$p_L$	10	$L_{0m}$ ( $\mu\text{H}$ )	82,5	8
	$C_0$ ( $\text{pF}/\text{m}$ )	269,2	$p_C$	$10^{-1}$	$C_{0m}/2$ ( $\text{pF}$ )	673	
	$Z_0$ ( $\Omega$ )	24,76	$p_Z$	10	$Z_{0m}$ ( $\Omega$ )	247,6	
			$p_t$	1			
LEA, 110 kV, 800 m	$L_0$ ( $\mu\text{H}/\text{m}$ )	1,27	$p_L$	10	$L_{0m}$ ( $\mu\text{H}$ )	635	16
	$C_0$ ( $\text{pF}/\text{m}$ )	8,8	$p_C$	$10^{-1}$	$C_{0m}/2$ ( $\text{pF}$ )	22	
	$Z_0$ ( $\Omega$ )	380	$p_Z$	10	$Z_{0m}$ ( $\Omega$ )	3800	
			$p_t$	1			
LEA, 220 kV, 5 km	$L_0$ ( $\mu\text{H}/\text{m}$ )	1,3	$p_L$	1	$L_{0m}$ ( $\mu\text{H}$ )	6500	10
	$C_0$ ( $\text{pF}/\text{m}$ )	8,56	$p_C$	1	$C_{0m}/2$ ( $\text{pF}$ )	21400	
	$Z_0$ ( $\Omega$ )	390	$p_Z$	1	$Z_{0m}$ ( $\Omega$ )	390	
			$p_t$	1			

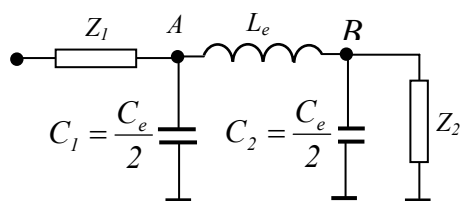


Fig. 4. Schema echivalentă în care linia scurtă este înlocuită printr-un cuadripol în  $\Pi$

$$L_e = K_L L_0 l = K_L \frac{Z_0}{v} l; C_e = K_C C_0 l = K_C \frac{l}{Z_0 v}.$$

$L_0$  și  $C_0$  sunt parametrii pe unitatea de lungime ai liniei cu lungimea  $l$  și impedanța caracteristică  $Z_0$ , iar  $v$  este viteza de propagare a undei pe linia respectivă (diferită la LEA și LEC). Coeficienții de corecție  $K_L$  și  $K_C$  rezultă din condiția egalității perioadelor de oscilație

și a impedanțelor de undă în circuitul oscilant cu parametri concentrați și circuitul cu parametri repartizați.

În funcție de inegalitățile dintre impedanțele caracteristice ale celor trei linii, conform celor 4 cazuri prezentate mai sus, cuadripolul în  $\Pi$  poate fi degenerat prin neglijarea unora dintre componente.

De exemplu, în cazul 1 deoarece  $Z_1 > Z_0 < Z_2$ , rezultă că inductanța lineică a liniei scurte este mai mică decât a liniilor lungi adiacente, astfel că poate fi neglijată, iar linia scurtă va fi înlocuită numai prin capacitatea sa echivalentă. În cazul 3, unde  $Z_1 < Z_0 < Z_2$ , se va putea neglija numai capacitatea  $C_1$ , dinspre linia cu impedanța caracteristică  $Z_1$ .

Schemele echivalente cu elemente concentrate corespunzătoare celor 4 cazuri tipice de

propagare analizate la punctul 2, ca și expresiile de calcul și curbele de variație ale tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  sunt prezentate în tabelul 4.

Pentru observarea efectului descărcării corona asupra formei undei de supratensiune, s-a realizat modelul unei linii aeriene de 220 kV cu lungimea de 5 km, format din 10 cuadripoli

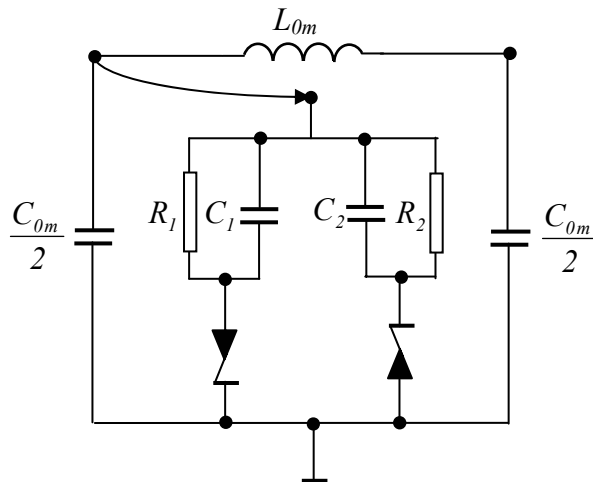


Fig.5 – Circuitul pentru modelarea descărcării corona

rezistențele  $R_1$  și  $R_2$ .

Folosind un număr mai mare de ramuri în această schemă, se poate obține o reproducere mai fidelă a caracteristicii  $Q(u)$  a conductorului liniei reale.

Amplitudinea undei de tensiune care se aplică modelului este:

$$U_m^m = \frac{U_m}{U_{cr}} \cdot U_{cr}^m$$

Pentru linia de 220 kV modelată, amplitudinea undei de tensiune maximă care poate să apară pe linie este  $U_m = 1177$  kV (egală cu nivelul de ținere la impuls de trăsnet a izolației liniei), iar tensiunea critică de amorsare a descărcării corona  $U_{cr} = 320$  kV (pentru conductor Ol-Al cu secțiunea de  $400 \text{ mm}^2$ ). Pe model  $U_{cr}^m = 10$  V (tensiunea de deschidere a diodei DZ<sub>1</sub>). Rezultă că amplitudinea undei de impuls pe model nu trebuie să depășească 37 V.

#### 4. Modul de lucru

A. Studiul propagării undei de supratensiune în cazul succesiunii a trei linii (fig. 1) se va efectua cu ajutorul unui montaj în care linia cu impedanță caracteristică  $Z_0$ , instalată între cele două linii infinit lungi se modelează printr-un lanț de cuadripoli.

Elementele necesare realizării montajelor corespunzătoare celor 4 cazuri de inegalitate

(tabelul 3). La fiecare cuadripol este atașat un circuit cu diode Zener, care modelează creșterea capacității față de pământ și a conductanței liniei coronate (fig. 5). Schema permite modelarea caracteristicii tensiune – sarcină a descărcării corona prin liniarizare pe porțiuni. Prin deschiderea diodelor Zener se realizează o creștere a capacității în două trepte și anume:

$$C_{cor 1} = C_{om} + C_1; \quad C_{cor 2} = C_{om} + C_1 + C_2,$$

precum și a conductanțelor modelate prin

între impedanțele caracteristice ale liniilor se găsesc reunite într-un panou, pe a cărei placă frontală sunt specificate principalele caracteristici ale acestor elemente (fig.6).

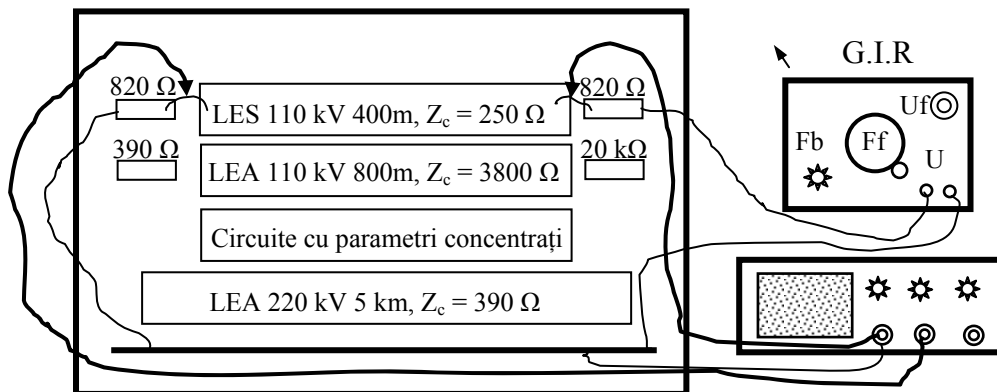


Fig.6 – Schema de montaj pentru studiul reflexiilor repetate

Astfel impedanțele caracteristice ale liniilor lungi se vor modela prin rezistențe de valoare corespunzătoare. Pentru linia scurtă există două modele, realizate din câte 8 cuadripoli LC în  $\Pi$ , având parametrii indicați în tabelul 3.

Pentru înlocuirea liniei scurte printr-un circuit cu parametri concentrați, se vor folosi cele 4 asemenea circuite, ale căror scheme și parametri sunt acelea din tabelul 4.

În partea inferioară a panoului se află modelul, realizat din 10 cuadripoli LC în  $\Pi$ , pentru o linie electrică aeriană de 220 kV cu lungimea de 5 km, la fiecare cuadripol fiind atașat un circuit pentru modelarea descărcării corona.

Montajele corespunzătoare fiecăruia dintre cele 4 cazuri de inegalitate între impedanțele caracteristice, analizate mai sus, se vor realiza folosind componentele de pe panou după cum urmează (tabelul 5):

Tabelul 5 – Componentele montajelor pentru cele 4 cazuri de studiat

Cazul de studiat	modelul liniei scurte ( $Z_0$ )	
	Lanț de cuadripoli	Eelemente concentrate
1. $Z_1 > Z_0 < Z_2$	$Z_1 = Z_2 = 820\Omega,$ $Z_0 = 250 \Omega.$	$Z_1 = Z_2 = 820\Omega,$ $C_e = 10,77nF.$
2. $Z_1 < Z_0 > Z_2$	$Z_1 = Z_2 = 820\Omega,$ $Z_0 = 3800 \Omega.$	$Z_1 = Z_2 = 820\Omega$ $L_e = 10,2 mH.$
3. $Z_1 < Z_0 < Z_2$	$Z_1 = 390 \Omega; Z_2 = 20000 \Omega;$ $Z_0 = 3800 \Omega.$	$Z_1 = 390 \Omega; Z_2 = 20000 \Omega;$ $L_e = 6,45 mH; \frac{C_e}{2} = 446 pF$
4. $Z_1 > Z_0 > Z_2$	$Z_1 = 20000 \Omega; Z_2 = 820 \Omega;$ $Z_0 = 3800 \Omega$	$Z_1 = 20000 \Omega; Z_2 = 820 \Omega$ $L_e = 6,45 mH; \frac{C_e}{2} = 446 pF.;$



Pentru fiecare caz studiat, se vor realiza montajele adecvate conform fig.6. De la generatorul de impulsuri repetate se va aplica montajului o tensiune de forma impuls dreptunghiular, alegând frecvența de repetiție suficient de mare pentru a obține o imagine destul de luminoasă pe ecranul osciloscopului, dar totodată suficient de mică pentru ca procesul tranzitoriu de propagare să se încheie pe durata unui impuls.

Se vor observa la osciloscop formele tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  la extremitățile liniei scurte, făcând comparația cu reprezentările grafice corespunzătoare din fig.3. Se vor reprezenta grafic, în unități relative, tensiunile obținute experimental pentru situațiile modelării liniei scurte prin lanțuri de cuadripoli respectiv prin circuite cu parametri concentrați.

Folosind relațiile de calcul din tabelele 1 și 2, se vor calcula tensiunile  $u_1$  și  $u_2$  pentru atâtea trepte câte pot fi observate pe ecranul osciloscopului. Rezultatele calculelor se compară cu rezultatele măsurătorilor.

**B.** Se realizează montajele corespunzătoare celor 4 cazuri de la punctul A, folosind pentru linia scurtă schema echivalentă cu parametri concentrați corespunzătoare, conform cu tabelul 4.

Tabelul 4 – Schemele echivalente și formele tensiunilor în cazul modelării liniei scurte printr-un circuit cu parametri concentrați

	$Z_1 > Z_0 < Z_2$	$Z_1 < Z_0 > Z_2$	$Z_1 < Z_0 < Z_2, Z_1 \ll Z_2$	$Z_1 > Z_0 > Z_2, Z_1 \gg Z_2$
Schema echivalentă				
Tensiunea în punctele nodale	$\frac{u_C}{U_0} = \alpha_{12} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_c}} \right)$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left( 1 + \frac{Z_1}{Z_2} e^{-\frac{t}{T_L}} \right)$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_L}} \right)$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left[ 1 + \frac{Z_1}{Z_C} \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \times \cos(\omega t + \beta) \right]$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left[ 1 - \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \times \cos(\omega t - \alpha) \right]$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left[ 1 + \frac{Z_C}{Z_2} \frac{\omega_0}{\omega_1} e^{-\delta t} \times \cos(\omega_1 t + \beta_1) \right]$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left[ 1 - \frac{\omega_0}{\omega_1} e^{-\delta t} \times \cos(\omega_1 t - \alpha_1) \right]$
Formele tensiunilor				

Semnificațiile mărimilor din formule	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_e C_e}}$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_e C_e}}$
	$T_C = C_e \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$	$T_L = \frac{L_e}{Z_1 + Z_2}$	$Z_C = \sqrt{\frac{L_e}{C_e}}, \delta = \frac{Z_1 Z_2 + Z_C^2}{2Z_2 L_e}$	$Z_C = \sqrt{\frac{L_e}{C_e}}, \delta_1 = \frac{Z_1 Z_2 + Z_C^2}{2Z_1 L_e}$
	$k_L = k_C = 1$	$k_L = k_C = 1$	$\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$	$\omega_1^2 = \omega_0^2 - \delta_1^2$
			$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\omega}$	$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{\delta_1}{\omega_1}$
			$\beta \approx \operatorname{arctg} \frac{Z_2}{L_e}$	$\beta \approx \operatorname{arctg} \frac{Z_C^2}{Z_2 L_e}$
			$k_L = \frac{2}{\pi}, k_C = \frac{4}{\pi}$	$k_L = \frac{2}{\pi}, k_C = \frac{4}{\pi}$

Se observă la osciloscop formele tensiunilor  $u_1$  și  $u_2$  și se compară cu formele din tabelul 4. Folosind relațiile din tabelul 4, se calculează  $u_1(t)$  și  $u_2(t)$ . Se reprezintă pe același sistem de coordonate, în unități relative, funcțiile  $u_1(t)$  și  $u_2(t)$  măsurate și calculate.

C. Pentru studiul influenței descărcării corona de impuls asupra formei unei de supratensiune se realizează schema din fig. 7. Datorită adaptărilor de la cele două extremități ale modelului (prin  $R = Z_{om}$ ), pe model se propagă numai unda directă obținută de la generatorul de impulsuri repetate (GIR) prin intermediul divizorului de tensiune DT.

De la generatorul de impulsuri repetate se aplică modelului impulsuri cu amplitudinea corespunzătoare apariției descărcării corona pe linia reală,  $10V < U_m^m < 36V$ .

Se observă, pe ecranul osciloscopului, formele undelor de impuls la începutul, mijlocul și sfârșitul liniei, în lipsa și în prezența celulelor care modelează efectul descărcării corona de impuls. Se reprezintă grafic, pe același sistem de coordonate, formele tensiunilor în prezența și în lipsa descărcării corona.

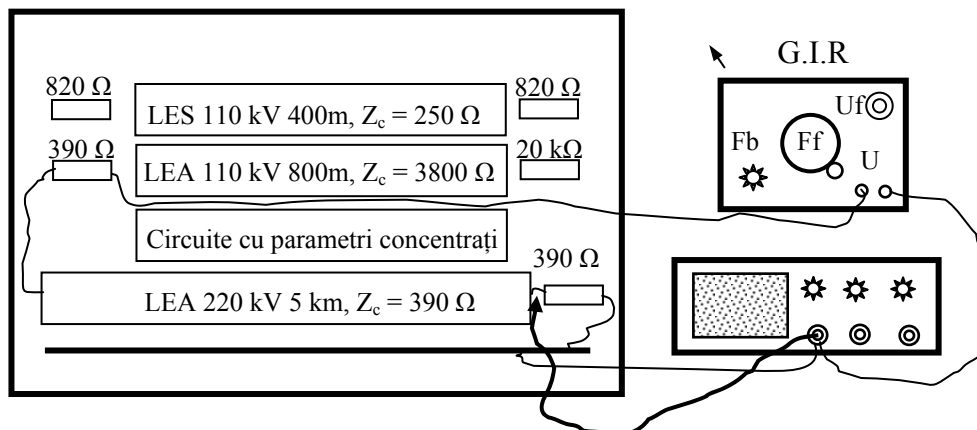


Fig. 7 – Schema montajului pentru studiul influenței descărcării corona asupra propagării undelor de impuls de tensiune