

Lucrarea 11 – STUDIUL PROPAGĂRII UNDELOR DE IMPULS PE LINII ELECTRICE CU AJUTORUL MODELELOR FIZICE

1. Noțiuni teoretice

Tensiunile și curenții de impuls pot să apară pe liniile electrice datorită loviturilor de trăsnet sau datorită unor procese 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 soluție generală a sistemului de ecuații, 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.

1.1. 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 mai multe cazuri întâlnite în rețelele reale, este succesiunea a trei linii cu impedanțe caracteristice diferite Z_1, Z_0, Z_2 , așa cum este prezentat și în figura 1.

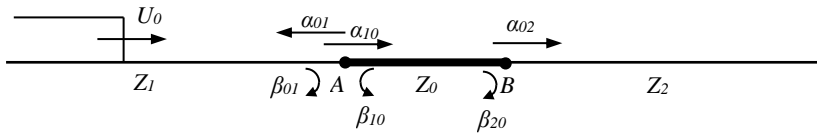


Fig. 1 – Reflexia și refracția undelor de tensiune în punctele nodale ale trei linii înseriate

O astfel de succesiune a trei linii cu impedanțe diferite se poate regăsi în rețelele din sistemele electroenergetice sub forma următoarelor configurații:

- linie aeriană – cablu – linie aeriană;
- două circuite aeriene legate printr-o stație cu izolație de SF₆;
- 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 folosește metoda diagramei-rețea propusă de 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). Expresiile de calcul ale coeficienților sunt prezentate în tabelul 1, de mai jos:

Tabelul 1. Expresiile de calcul pentru coeficienții de reflexie și de refracție

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

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.

Se va considera o undă incidentă de formă treaptă, cu amplitudinea U_0 . În punctele nodale A și B au loc procese de reflexie și refracție, caracterizate prin coeficienții ce au fost prezentați în tabelul 1. 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, τ , pe linia de impedanță caracteristică Z_0 , așa cum se arată în figura 2.

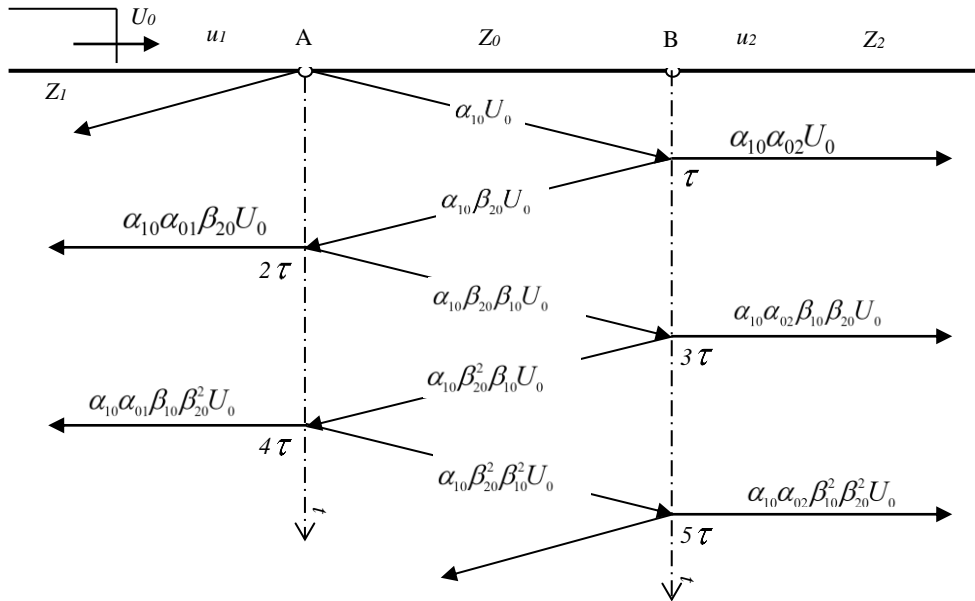


Fig. 2 – Procesul de reflexii repetate ale undelor de tensiune la extremitățile liniei scurte

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 viteza luminii, respectiv $300\text{m}/\mu\text{s}$). Astfel, durata de propagare, τ , se determină conform expresiei:

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

Alegând drept origine de timp momentul impactului undei 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.

După trecerea unui timp suficient de lung, în comparație cu durata de propagare τ , 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.

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

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.

Pentru a analiza forma tensiunilor u_1 și u_2 , precum și amplitudinea acestora, în continuare se vor studia următoarele cazuri:

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

Cazul 2: $Z_1 < Z_0 > Z_2$

Rezultă $\beta_{10} < 0$, $\beta_{20} < 0$, $\beta_{01} > 0$. Ca urmare, 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 figura 3, b).

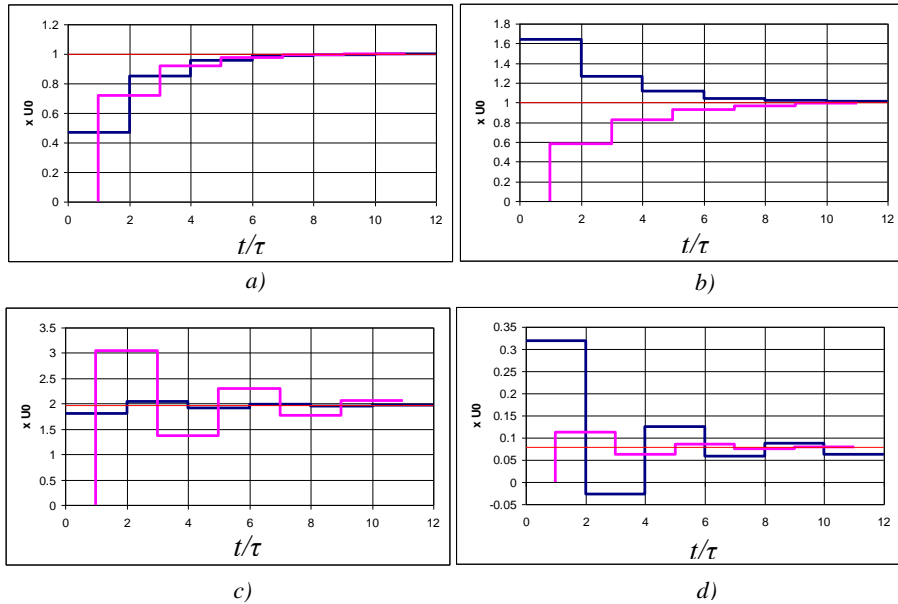


Fig. 3 – Tensiunile în nodurile A și B regimul tranzitoriu de reflexii repetate

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 2τ în punctele A și B, alternează, dar amplitudinile acestora descresc, 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 figura 3, c) se referă la cazul în care $Z_2 \gg Z_1$, astfel încât α_{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 (figura 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 figura 3, d) se referă la cazul în care $Z_2 \ll Z_1$ încât α_{12} are o valoare apropiată de zero.

2. Determinări analitice și experimentale

Lucrarea de laborator vizează, așadar, înțelegerea modului de propagare a undelor de impuls de tensiune pe liniile electrice, în acest scop fiind considerat cazul unei succesiuni de trei linii cu impedanțe diferite. Analiza nivelului supratensiunilor care apar în punctele nodale, precum și a formei tensiunii, se va realiza considerând un model fizic la scară, ce va fi prezentat în detaliu în paragraful următor.

2.1. Modelul fizic utilizat pentru studiul propagării undelor de impuls pe linii

Modelul fizic la scară, disponibil în cadrul laboratorului, este prezentat în figura 4 și permite realizarea unei succesiuni de trei linii înseriate, acestea fiind modelate diferit, după cum urmează:

- liniile de lungime infinită sunt modelate prin rezistențe concentrate egale cu impedanțele caracteristice Z_1 și Z_2 ale liniilor;
- linia scurtă, de impedanță caracteristică Z_0 , este modelată fie prin *mai mulți cuadripoli în II înseriați*, fie printr-un *singur cuadripol în II* ai cărui parametri corespund întregii lungimi ai liniei scurte.

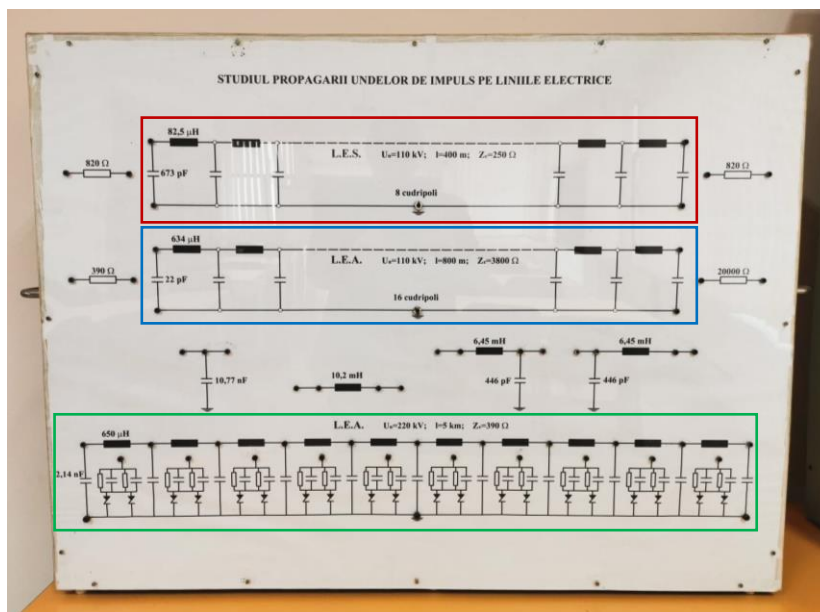


Fig. 4 – Modelul fizic pentru analiza propagării undelor de impuls din cadrul laboratorului

Așa cum se poate observa din figura 4, pentru tronsonul de linie scurtă poate fi aleasă una din următoarele variante:

- linie în cablu, LEC, de 110 kV, cu o lungime de 400 m – *modelată prin 8 cuadripoli în II înseriați* – marcată cu contur roșu;

- linie aeriană, LEA, de 110 kV, cu o lungime de 800 m – *modelată prin 16 cuadripoli în II înseriați - marcată cu contur albastru;*
- linie aeriană, LEA, de 220 kV, cu o lungime de 5 km – *modelată prin 10 cuadripoli în II înseriați - marcată cu contur verde.*

Parametrii liniilor reale, respectiv ai unui cuadripol în II din modelul de laborator, sunt prezentați în tabelul 3.

Tabelul 3. Parametrii liniilor scurte reale și modelate

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

Pentru modelarea liniei scurte printr-un singur cuadripol în II se va considera schema echivalentă prezentată în figura 5.

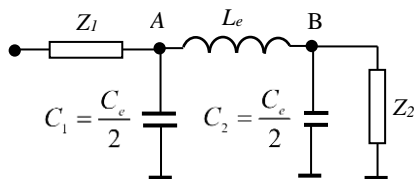


Fig. 5 – Schema echivalentă în care linia scurtă este înlocuită printr-un cuadripol în II

Parametrii schemei echivalente din figura 5 pot fi determinați cu relațiile:

$$L_e = K_L L_0 l = K_L \frac{Z_0}{v} l; C_e = K_C C_0 l = K_C \frac{l}{Z_0 v} \quad (3)$$

în care: 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 în circuitul cu parametri uniform repartizați.

În funcție de inegalitățile dintre impedanțele caracteristice ale celor trei linii, conform celor 4 cazuri prezentate mai sus, cuadripolul în Π 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 supra-tensiune, s-a realizat modelul unei linii aeriene de 220 kV cu lungimea de 5 km, format din 10 cuadripoli. La fiecare cuadripol este atașat un circuit cu diode Zenner, care

modelează creșterea capacității față de pământ și a conductanței liniei coronate.

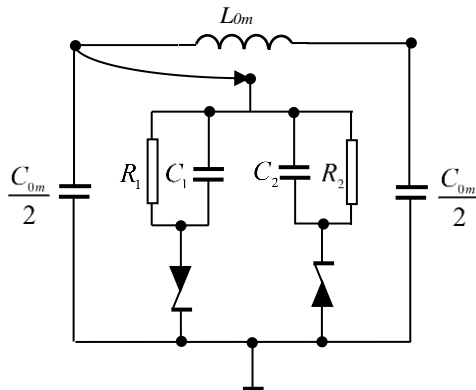


Fig. 6 – Circuitul pentru modelarea descărcării corona

Schema din figura 6 permite modelarea caracteristicii tensiune – sarcină a descărcării corona prin liniarizare pe porțiuni. Prin deschiderea diodelor Zenner se realizează o creștere a capacității în două trepte:

$$C_{cor 1} = C_{om} + C_1; C_{cor 2} = C_{om} + C_1 + C_2, \quad (4)$$

precum și a conductanțelor modelate prin 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.

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

	$Z_1 > Z_0 < Z_2$	$Z_1 < Z_0 > Z_2$	$Z_1 < Z_0 < Z_2, Z_1 < Z_2$	$Z_1 > Z_0 > Z_2, Z_1 > Z_2$
Schema echivalentă				
Tensiunea în punctele nodale	$\frac{u_c}{U_0} = \alpha_{12} \left(l - e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left(l + \frac{Z_1 e^{-\frac{t}{T_1}}}{Z_2} \right)$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left(l - e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left[l + \frac{Z_1 \omega_0 e^{-\delta t}}{Z_c \omega} \times \cos(\omega t + \beta) \right]$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left[l - \frac{\omega_0 e^{-\delta t}}{\omega} \times \cos(\omega t - \alpha) \right]$	$\frac{u_1}{U_0} = \alpha_{12} \left[l + \frac{Z_c \omega_0 e^{-\delta t}}{Z_2 \omega_1} \times \cos(\omega_1 t + \beta_1) \right]$ $\frac{u_2}{U_0} = \alpha_{12} \left[l - \frac{\omega_0 e^{-\delta t}}{\omega_1} \times \cos(\omega_1 t - \alpha_1) \right]$
Formele tensiunilor				
Semnificații	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$ $T_c = C_e \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$ $k_L = k_C = 1$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$ $T_L = \frac{L_e}{Z_1 + Z_2}$ $k_L = k_C = 1$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \omega_0 = \sqrt{\frac{L_e C_e}{Z_1 Z_2 + Z_c^2}}$ $Z_c = \sqrt{\frac{L_e}{C_e}}, \delta = \frac{Z_1 Z_2 + Z_c^2}{2Z_2 L_e}$ $\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2; \alpha = \arctg \frac{\delta}{\omega}$ $\beta \approx \arctg \frac{Z_2}{L_e}; k_L = \frac{2}{\pi}, k_C = \frac{4}{\pi}$	$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \omega_0 = \sqrt{\frac{L_e C_e}{Z_1 Z_2 + Z_c^2}}$ $Z_c = \sqrt{\frac{L_e}{C_e}}, \delta_1 = \frac{Z_1 Z_2 + Z_c^2}{2Z_1 L_e}$ $\omega_1^2 = \omega_0^2 - \delta_1^2; \alpha_1 = \arctg \frac{\delta_1}{\omega_1}$ $\beta \approx \arctg \frac{Z_c^2}{Z_2 L_e}; k_L = \frac{2}{\pi}, k_C = \frac{4}{\pi}$

Amplitudinea undei de tensiune care se aplică modelului este:

$$U_m^m = \frac{U_m}{U_{cr}} \cdot U_{cr}^m \quad (5)$$

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 mm^2). Pe model $U_{cr}^m = 10$ V (tensiunea de deschidere a diodei DZ₁). Rezultă că amplitudinea undei de impuls pe model nu trebuie să depășească 37 V.

2.2. Modul de lucru

Partea aplicativă a prezentei lucrări de laborator are următoarele obiective:

- determinarea pe cale *analitică*, respectiv *experimentală*, a tensiunilor la capetele liniei scurte, rezultate ca urmare a proceselor de propagare a undei de impuls;
- analiza influenței descărcării corona de impuls asupra formei undei de supratensiune.

a. Determinarea pe cale analitică a tensiunilor la capetele liniilor scurte

Determinările se vor efectua doar pentru cazul în care linia scurtă este modelată prin lanțuri de cuadripoli. Etapele de calcul sunt următoarele:

- se vor determina, în prima fază, valorile coeficienților de reflexie și refracție folosind expresiile din tabelul 1. Valorile impedanțelor celor trei linii electrice sunt prezentate în tabelul 5;

Tabelul 5. Valorile componentele montajelor pentru cele 4 cazuri de studiat

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

- utilizând valorile coeficienților de propagare calculate anterior, se vor determina, folosind expresiile din tabelul 2, tensiunile la capetele liniei scurte, u_1/U_0 , respectiv u_2/U_0 pentru primele 3 momente de timp în care unda de impuls ajunge la fiecare capăt al liniei.

Calcululele vor fi realizate pentru toate cele patru cazuri de inegalitate între impedanțele caracteristice ale liniilor considerate, ce pot fi replicate și pe modelul fizic din laborator. Rezultatele obținute se trec într-un tabel centralizator, de genul celui prezentat mai jos:

Tabelul 6. Rezultatele determinărilor analitice

Cazul analizat	Coeficienții de propagare						Nivelul tensiunilor						
							u_1/U_0			u_2/U_0			
	α_{10}	α_{02}	α_{01}	β_{10}	β_{02}	β_{01}	1	2	3	1	2	3	
1. $Z_1 > Z_0 < Z_2$													
2. $Z_1 < Z_0 > Z_2$													
3. $Z_1 < Z_0 < Z_2$													
4. $Z_1 > Z_0 > Z_2$													

b. Determinarea experimentală a tensiunilor la capetele liniilor scurte

Studiul propagării undei de supratensiune în cazul succesiunii a trei linii se va efectua utilizând modelul fizic de laborator prezentat în figura 4, din paragraful 2.1 al lucrării.

Schema de principiu a montajului experimental este prezentată în figura 7 și mai include, pe lângă modelul fizic propriu-zis, și un generator de impulsuri repetate – G.I.R., precum și un osciloscop analog, model Hameg HMG 303-6.

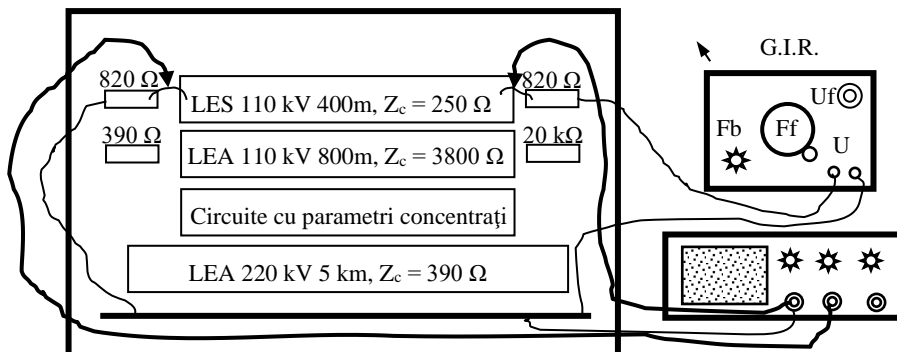


Fig. 7 – Schema de montaj pentru studiul reflexiilor repetate (exemplu pentru cazul 1)

În figura 8 sunt prezentate detaliile surprinse în timpul efectuării determinărilor experimentale.

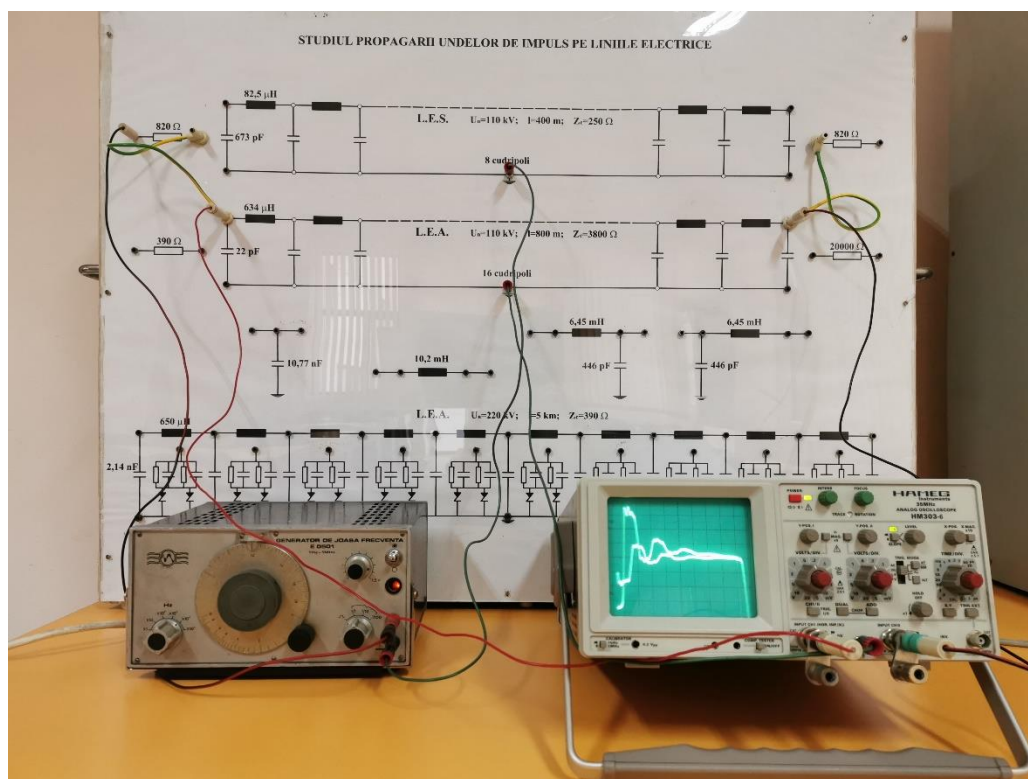


Fig. 8 – Detalii din timpul efectuării determinărilor experimentale

Pentru prelevarea datelor experimentale se vor parcurge următoarele etape:

- pentru fiecare din cele patru cazuri studiate, se vor realiza montajele adecvate conform exemplurilor din figurile 7 și 8;
- 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 figura 3;
- se vor nota tensiunile u_1 și u_2 pentru atâtea trepte câte pot fi observate pe ecranul osciloscopului. Rezultatele experimentale se compară cu cele determinate anterior, pe cale analitică.

c. Analiza influenței descărcării corona de impuls asupra formei undei de supratensiune

Pentru studiul influenței descărcării corona de impuls asupra formei undei de supratensiune se vor avea în vedere următorii pași:

- se realizează montajul experimental conform schemei din figura 9. 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.

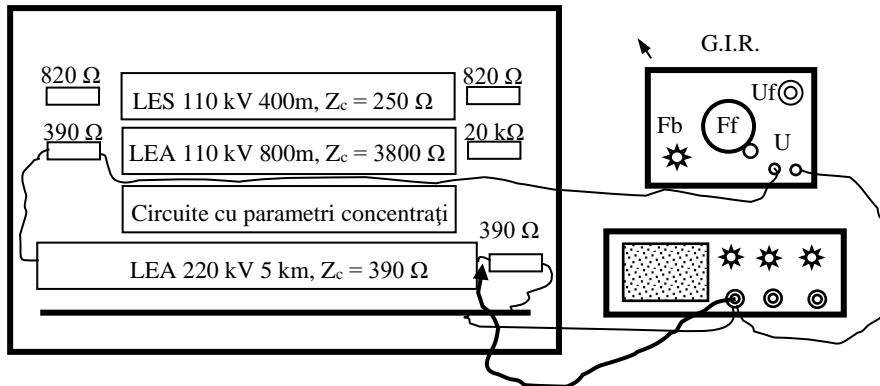


Fig. 9 – Schema montajului pentru studiul influenței descărcării corona asupra propagării undelor de impuls de tensiune

- 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.