

## REGIMURILE DE MERS ÎN GOL ȘI DE SCURTCIRCUIT ALE LINIILOR ELECTRICE LUNGI DE TRANSPORT

### 1. Obiectivele lucrării

În cadrul acestei lucrări se analizează două regimuri particulare ale liniilor electrice lungi de transport: funcționarea la gol de sarcină și, respectiv, la scurtcircuit. Ulterior prezentării unor aspecte teoretice legate de cele două regimuri, o verificare experimentală a fenomenelor caracteristice lor urmează a fi realizată cu ajutorul modelului fizic de linie electrică lungă existent în laborator.

### 2. Considerații de ordin teoretic

Atât pentru regimul de mers în gol, cât și pentru cel de scurtcircuit trebuie prezentate formele particulare pe care le iau ecuațiile ce descriu funcționarea liniilor electrice lungi. Pe baza acestor ecuații se realizează identificarea și interpretarea modului de variație a mărimilor electrice (tensiune și curent), de-a lungul liniei.

#### 2.1. Regimul de mers în gol

În cazul acestui regim sunt, evident, valabile relațiile:  $\underline{I}_2 = 0$  sau  $\underline{Z}_2 = \infty$  ( $\underline{I}_2, \underline{Z}_2$  reprezentând curentul absorbit de consumatorul racordat la capătul liniei și, respectiv, impedanța ce modelează acest consumator). Ecuațiile ce descriu funcționarea liniilor lungi, în mărimi complexe, capătă următoarea formă particulară la gol de sarcină:

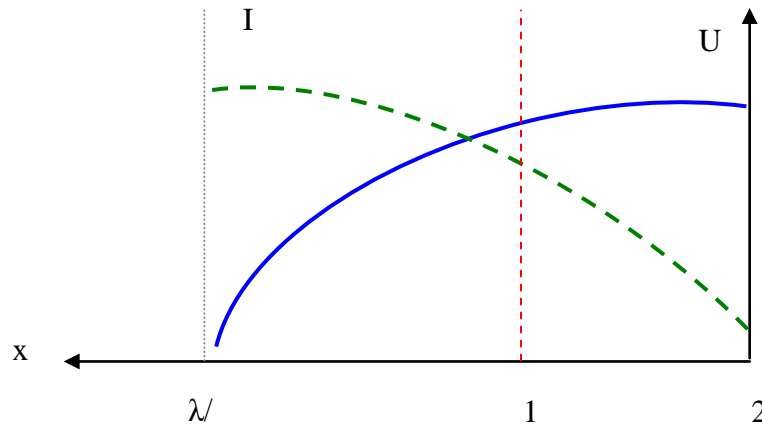
$$\begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l + \underline{I}_2 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \underline{\gamma} l \\ \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \underline{\gamma} l + \underline{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l \\ \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \underline{\gamma} l \end{array} \quad (1)$$

În cazul liniilor fără pierderi ( $r_0 = 0$  și  $g_0 = 0$ ), rezultă următoarele ecuații simplificate:

$$\begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l \\ \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \underline{\gamma} l \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cos \frac{2\pi l}{\lambda} \\ \underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \end{array} \quad (2)$$

Pentru analiza acestui regim de mers în gol, prezintă interes variația tensiunii și a curentului de-a lungul liniei. Variația acestor două mărimi electrice, în cazul liniei fără pierderi, este prezentată în Figura 1.

De asemenea, interesant pentru acest regim este și raportul dintre tensiunea de la începutul liniei și cea de la sfârșitul ei. Modulul acestui raport este egal cu raportul dintre valorile absolute ale celor doi fazori de tensiune, iar argumentul raportului ( $\delta$ ) este egal cu unghiul de defazaj dintre cei doi fazori.



**Figura 1** Variația tensiunii și curentului în lungul liniei fără pierderi, la mers în gol

Matematic, aceste observații sunt descrise de relațiile:

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = ch\gamma l = \frac{U_1}{U_2} e^{j\delta} \quad - \text{pentru linia cu pierderi} \quad (3)$$

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \cos \frac{2\pi l}{\lambda} = \frac{U_1}{U_2} e^{j0} \quad - \text{pentru linia fără pierderi.} \quad (4)$$

Valoarea modulului acestui raport depinde, așa cum reiese și din expresia sa de calcul pentru liniile fără pierderi, de lungimea liniei. Mai exact, cu cât lungimea unei linii se apropie mai mult de  $\lambda/4$ , cu atât valoarea acestui raport crește, în cazul liniei sfert de undă înregistrându-se, teoretic, o valoare infinită. Practic, ținându-se cont de pierderile reale înregistrate pe linie ( $r_0 \neq 0$ ,  $g_0 \neq 0$ ), există o valoare limită maximă ce poate fi atinsă în acest regim.

Dacă se analizează ecuațiile corespunzătoare liniilor lungi fără pierderi, expresia raportului dintre tensiunile de la capetele liniei și curbele de variație din Figura 1, se constată următoarele aspecte:

- a) tensiunea de la începutul liniei, la fel ca tensiunea din orice alt punct de pe linie, este în fază cu tensiunea de la ieșire;
- b) raportul dintre tensiunea de la începutul liniei și cea de la sfârșitul ei variază după o lege cosinusoidală (fenomenul de creștere a valorii tensiunii de-a lungul liniei este cunoscut sub numele de *efect Ferranti*);
- c) curentul de la începutul liniei, la fel ca și curentul din orice alt punct de pe linie, este defazat înaintea tensiunii din punctul respectiv cu  $\pi/2$ , deci are un caracter pur capacitiv;
- d) variația valorii curentului de-a lungul liniei este exprimată de o lege sinusoidală.

## 2.2. Regimul de scurtcircuit

Acest regim particular de funcționare al liniilor electrice lungi se concretizează prin:  $\underline{U}_2 = 0$  ( $\underline{U}_2$  reprezintă fazonul corespunzător tensiunii de la capătul liniei la care este racordat consumatorul).

Ecuțiile generale ce descriu funcționarea liniilor electrice lungi, în regim de scurtcircuit, au următoarea formă particulară:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 = \underline{U}_2 \underline{ch}\gamma l + \underline{I}_2 \underline{Z}_c \underline{sh}\gamma l & \longrightarrow \underline{U}_1 = \underline{I}_2 \underline{Z}_c \underline{sh}\gamma l \\ \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \underline{sh}\gamma l + \underline{I}_2 \underline{ch}\gamma l & \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \underline{ch}\gamma l \end{aligned} \quad (5)$$

În cazul liniilor fără pierderi ( $r_0 = 0$  și  $g_0 = 0$ ), ecuațiile pentru regimul de scurtcircuit se reduc la următoarele expresii:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 = \underline{I}_2 \underline{Z}_c \underline{sh}\gamma l & \longrightarrow \underline{U}_1 = j \underline{I}_2 \underline{Z}_c \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \\ \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \underline{ch}\gamma l & \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cos \frac{2\pi l}{\lambda} \end{aligned} \quad (6)$$

Variația tensiunii și a curentului de-a lungul liniei, în regim de scurtcircuit, este reprezentată în Figura 2.

Analizând ecuațiile ce descriu regimul particular de scurtcircuit al liniilor electrice lungi de transport, fără luarea în considerare a pierderilor, se observă următoarele caracteristici de bază:

- a) curentul de la începutul liniei, la fel ca și curentul din oricare alt punct de pe linie, este în fază cu cel de la sfârșitul liniei;
- b) raportul  $I_1/I_2$  variază de-a lungul liniei după o lege cosinusoidală;
- c) curentul în oricare punct al liniei are un caracter inductiv, tensiunea corespunzătoare punctului respectiv fiind defazată cu  $\pi/2$  în fața curentului;

- d) faptul că la sfârșitul liniei curentul are o valoare mai mare decât cel de la începutul liniei se datorează curenților capacitivi transversali naturali ai liniei.

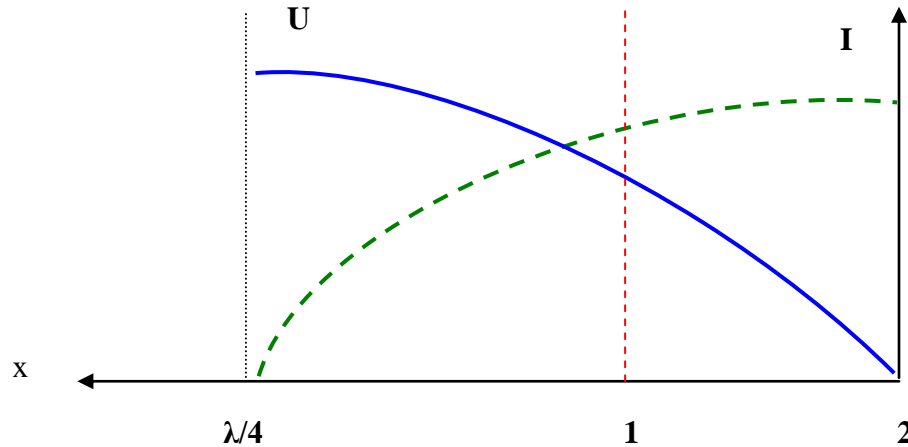


Figura 2. Variația tensiunii și curentului în lungul liniei, în regim de scurtcircuit

### 3. Modul de desfășurare a lucrării și prelucrarea finală a rezultatelor experimentale

- ✓ În cadrul lucrării se analizează experimental cele două regimuri particulare de funcționare a liniilor electrice lungi, la gol de sarcină și, respectiv, la scurtcircuit, pentru diverse lungimi: 500 km, 1000 km, 1500 km și 3000 km.
- ✓ Liniile electrice lungi de transport sunt modelate prin scheme electrice echivalente (alcătuite din lanțuri de cuadripoli) realizate la scară prin intermediul modelului fizic de linie lungă existent în laborator.
- ✓ Rezultatele experimentale ce trebuie urmărite constau în valorile curentului și ale tensiunii în diverse puncte ale liniei (mai exact, în punctele de legătură dintre cuadripoli). Aceste măsurători se realizează cu ajutorul aparatelor de pe pupitrul de măsurări, aparate conectabile în orice punct de pe model, prin intermediul unei claviaturi (instalația de modelare este prezentată în cadrul lucrării de laborator *Modelarea liniilor lungi de transport al energiei electrice prin intermediul schemelor echivalente*).
- ✓ După obținerea informațiilor privind variația tensiunii și curentului de-a lungul liniei, pentru cele două regimuri analizate și pentru valori diferite ale lungimii liniei, acestea se sintetizează într-un tabel de următoarea formă:

L (km)	Regim de funcționare	$U_1$		$I_1$		$U_x$		$I_x$		...	$U_2$		$I_2$	
		m*	r*	m	r	m	r	m	r		m	r	m	r
500	gol													
	scurtc.													
...	gol.													
	scurtc.													

\*m – valoarea măsurată de aparatele de măsură conectate la model (kV);

\*r – valoarea reală măsurată (kV).

- ✓ În final, se reprezintă grafic variațiile curentului și, respectiv, a tensiunii în lungul liniei ( $U(x), I(x), x = [0,L]$ ).

### Bibliografie

1. **Georgescu Gh.**, *Sisteme de distribuție a energiei electrice*, Editura Politehniun, Iași, 2007.
2. **Georgescu Gh., Neagu B.**, *Proiectarea și exploatarea asistată de calculator a sistemelor publice de repartiție și distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea I-a, Editura Fundației Academice AXIS, Iași, 2010.
3. **Georgescu Gh., Neagu B., Ciobanu R.**, *Proiectarea și exploatarea asistată de calculator a sistemelor publice de repartiție și distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea I-a, Editura Fundației Academice AXIS, Iași, 2010.
4. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice. Lucrări practice de laborator*, Editura Politehniun, Iași, 2005.
5. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice. Produse software specializate*, Editura Politehniun, Iași, 2005.
6. **Georgescu Gh.**, *Elemente ale liniilor electrice în cablu*, Editura Venus, Iași, 2005.
7. **Georgescu Gh.**, *Linii electrice aeriene*, Editura Venus, Iași, 2005.
8. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice*, Litografia Universității Tehnice “Gh. Asachi” Iași, 1989.
9. **Georgescu Gh.**, *Sisteme de distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea a II-a, Editura Politehniun, Iași, 2007.
10. **Georgescu Gh., Rădășanu D.**, *Transportul și distribuția energiei electrice*, vol. 1, Editura “Gh. Asachi”, Iași, 2000.
11. \*\*\* **PE 104/93** *Normativ pentru construcția liniilor aeriene de energie electrică cu tensiuni peste 1000 V*, ICEMENERG, București, 1993.