

DEPENDENȚA PUTERII GENERATE ȘI PIERDERILOR DE PUTERE DE IMPEDANȚA SARCINEI LINIEI DE TENSIUNE ÎNALTĂ

Autor: Radu BARONCEA

Conducător științific: profesor universitar d.h.ș.t. Mihail CHIORSAC

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare este efectuat un studiu de caz privind dependența puterii generate, transmise, pierderilor de putere și a randamentului de impedanța sarcinei liniei de 400 kV cu lungimea de 850 km.

Cuvinte cheie: impedanța caracteristică, undă incidentă, undă reflectată, regim adaptat, putere naturală, constanta de propagare, impedanța de intrare, putere generată, putere transmisă, randamentul.

În studiul proceselor electromagnetice ce au loc în liniile de transport ale energiei electrice (în electroenergetică) de tensiune înaltă se ia în vedere, că câmpurile magnetice și electrice legate de aceste linii sunt repartizate de-a lungul întregii linii și transformarea energiei electromagnetice în căldură sub formă de pierderi are loc, de asemenea, de-a lungul întregii linii. Calculul circuitelor electrice de acest gen se deosebesc de calculul circuitelor electrice cu parametri concentrați.

La studiul regimurilor de funcționare a liniilor cu parametri distribuți se ține cont atât de rezistența conductoarelor liniei, cât și de faptul, că de această linie este legat câmpul magnetic și, prin urmare, linia are o inductanță. De asemenea, trebuie să se ia în vedere că între conductoarele liniei și pământ există un câmp electric și că, prin urmare, linia reprezintă un condensator gigantic. Datorită efectului „corona” și izolației imperfecte, conductanța între conductoarele liniei și pământ nu este nulă.

Schema echivalentă de substituire a unei linii electrice aeriene (LEA) parametri distribuți este reprezentată în fig. 1.

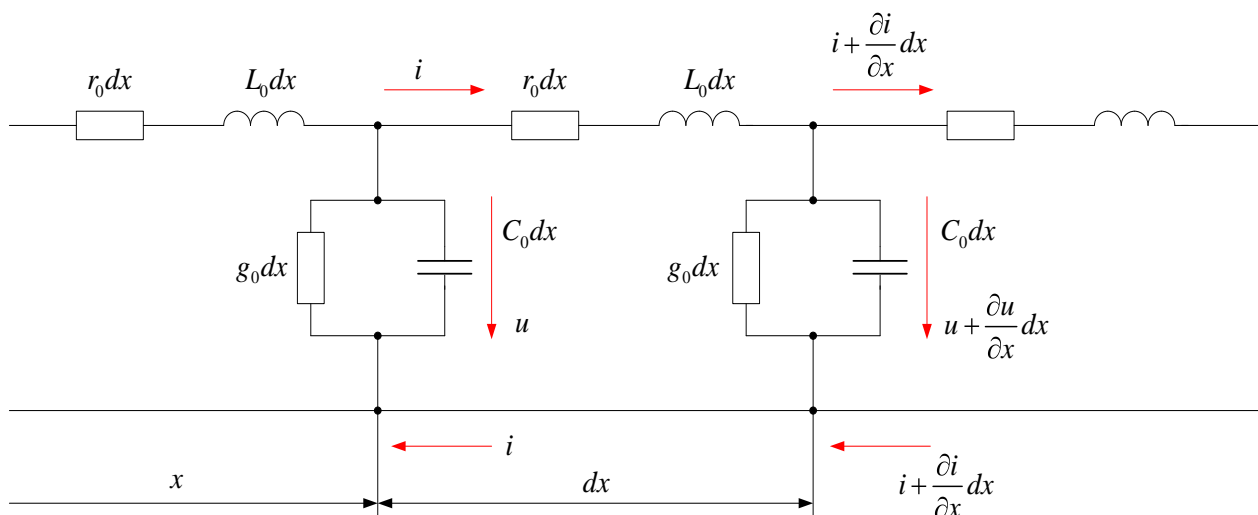


Figura 1 – Schema de substituire a unei porțiuni de linie cu parametri distribuți

Aici:

r_0 - rezistența activă a LEA raportată la unitatea de lungime a liniei $\left[\frac{\Omega}{m} \right]$;

L_0 - inductanța LEA raportată la unitatea de lungime a liniei $\left[\frac{H}{m} \right]$;

C_0 - capacitatea LEA pe unitatea de lungime a liniei $\left[\frac{F}{m} \right]$;

g_0 - conductanța ce prezintă indirect pierderile „corona” și în izolația LEA $\left[\frac{S}{m} \right]$.

Ecuțiile ce determină tensiunea și curentul în orice punct al liniei prin tensiunea și curentul de la intrare în linie sunt următoarele:

$$\underline{U}_x = \underline{U}_1 \operatorname{ch} \gamma x - \underline{I}_1 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma x, \quad (1)$$

$$\underline{I}_x = \underline{I}_1 \operatorname{ch} \gamma x - \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma x, \quad (2)$$

unde:

$\underline{U}_1, \underline{I}_1$ - tensiunea și curentul la intrarea în linie,

$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}}$ - impedanța caracteristică complexă,

$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$ - constanta de propagare,

x - distanța de la începutul liniei.

Unul din regimurile de funcționare a LEA îl constituie cazul când impedanța sarcinii este egală cu impedanța caracteristică a liniei, așa-numitul regim adaptat, ce se caracterizează prin faptul, că în orice secțiune a liniei, raportul dintre tensiunea complexă și curentul complex este egal cu impedanța caracteristică ($\frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \underline{Z}_c$). Schema simplificată de substituție pentru acest caz este prezentată în fig. 2.

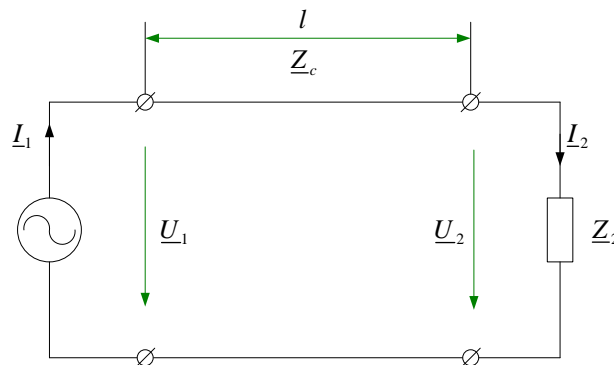


Figura 2 - Schema simplificată de substituție a unei linii în regim adaptat

Expresia impedanței de intrare a liniei \underline{Z}_{intr} pentru impedanța de sarcină \underline{Z}_2 conectată la sfârșitul liniei ($\underline{Z}_2 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}$), este:

$$\underline{Z}_{intr} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{Z}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma l + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma l} = \underline{Z}_c \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_c \operatorname{th} \gamma l}{\underline{Z}_c + \underline{Z}_2 \operatorname{th} \gamma l}. \quad (3)$$

Pentru a demonstra dependența mărimilor: puterea generată, puterea transmisă, pierderile de putere și randamentul de impedanța sarcinii, se analizează o linie electrică trifazată de tensiune înaltă 400 kV, căreia îi corespunde următorii parametrii: $r_0 = 0.085 \text{ m}\Omega/\text{km}$; $g_0 = 3.97 \cdot 10^{-8}$

nSm/km ; $L_0 = 1.415 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$; $C_0 = 9.1 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$. Linia are lungimea $l = 850 \text{ km}$ și frecvența nominală $f = 50 \text{ Hz}$.

Pentru calculul mărimilor se utilizează programul Mathcad:

$$\omega = 2\pi f - \text{frecvența unghiulară } [rad \cdot s^{-1}],$$

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}} = 396.342 - j34.778 - \text{impedanța caracteristică (de undă) a liniei } \Omega,$$

$$\gamma = \sqrt{(r_0 + j\omega L_0)(g_0 + j\omega C_0)} = 1.152 \cdot 10^{-4} + j \cdot 1.132 \cdot 10^{-3} - \text{constanta de propagare.}$$

$$U_{nf} = \frac{1.05 \cdot U_n}{\sqrt{3}} = \frac{1.05 \cdot 400}{\sqrt{3}} = 242.487 - \text{tensiunea nominală a unei faze } kV,$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{nf} - \text{tensiunea la intrarea în linie este egală cu tensiunea nominală a unei faze.}$$

Curentul la intrare în linie se determină după expresia $\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_{intr}}$, unde:

$$\underline{Z}_{intr.} = \underline{Z}_c \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_c th\gamma l}{\underline{Z}_c + \underline{Z}_2 th\gamma l} - \text{impedanța de intrare a liniei, ea este funcție impedanța sarcinii.}$$

Curentul și tensiunea la capătul liniei se obțin din formulele:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 ch\gamma l - \underline{I}_1 \underline{Z}_c sh\gamma l,$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 ch\gamma l - \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_c} sh\gamma l.$$

Cunoscând tensiunile și curenții, se calculează puterea generată, transmisă și randamentul:

$$P_1 = Re(\underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^*) - \text{puterea generată,}$$

$$P_2 = Re(\underline{U}_2 \cdot \underline{I}_2^*) - \text{puterea transmisă,}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% - \text{randamentul.}$$

Variind impedanța sarcinii \underline{Z}_2 , pot fi obținute dependențele sus-numite. Inițial se dă valoarea $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_c$, ceea ce corespunde regimului adaptat, iar calculele obținute vor servi ca calcul de referință. În continuare se aleg astfel de valori, încît modulul impedanței sarcinii să fie mai mare sau mai mic decît modulul impedanței caracteristice, păstrînd, în același timp, raportul dintre rezistența și reactanța sarcinii constant. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

\underline{Z}_c	\underline{Z}_2	$ \underline{Z}_2 $	P_1, MW	P_2, MW	$\eta, \%$
$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_c$					
$396.342 - j34.778$	$396.342 - j34.778$	397.865	147.223	121.047	82.22
$ \underline{Z}_2 > \underline{Z}_c $					
$396.342 - j34.778$	$435.976 - j38.256$	437.651	149.877	123.939	82.697
$396.342 - j34.778$	$475.61 - j41.734$	477.438	151.578	125.85	83.026
$396.342 - j34.778$	$634.147 - j55.645$	636.584	151.776	126.662	83.453
$396.342 - j34.778$	$673.781 - j59.123$	676.37	150.74	125.734	83.412
$396.342 - j34.778$	$792.684 - j69.556$	795.73	146.258	121.501	83.074
$396.342 - j34.778$	$832.318 - j73.034$	835.516	144.473	119.779	82.908
$396.342 - j34.778$	$990.855 - j86.945$	994.662	136.747	112.23	82.071

Continuare (Tabelul 1)

396.342 – j34.778	1110 – j97.378	1110	130.848	106.409	81.322
$ Z_2 < Z_c $					
396.342 – j34.778	356.708-j31.3	358.078	143.435	116.992	81.564
396.342 – j34.778	317.074-j27.822	318.292	138.316	111.572	80.665
396.342 – j34.778	277.439-j24.345	278.505	131.658	104.581	79.434
396.342 – j34.778	237.805-j20.867	238.719	123.256	95.813	77.735
396.342 – j34.778	198.171-j17.389	198.932	112.923	85.08	75.344
396.342 – j34.778	118.903-j10.433	119.359	85.941	57.217	66.577

Concluzie: Pînă în prezent se considera, că randamentul maxim pentru linia cu parametrii distribuiți se obține în regim adaptat, deoarece în acest regim nu există unde reflectate. Calculele efectuate au demonstrat, că această afirmație este corectă, în cazul cînd linia se consideră ideală ($r_0 = 0, g_0 = 0$), însă nu și în cazul unei linii reale ($r_0 = 0, g_0 = 0$). Analizând rezultatele din tabel, se poate observa că randamentul maxim pentru linia respectivă se obține la valoarea sarcinei $Z_2 = 634.147 - j55.645 \Omega$, ceea ce de fapt nu corespunde regimului adaptat.

Bibliografie

1. V. C. Rimskii, V. P. Berzan, V. I. Pațiuț, G. A. Rîbakova, T. G. Capcelea Volnovie iavlenia v neodnorodnih strukturah, Chișinău, Tipografia academiei de științe, 2008.-664p.
2. Zeveche G. V., P. A. Ionchin, A. V. Netușil, S. V. Strahov Osnovi teorii țepeı, 1989.- 528 p.