



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

MODELAREA FIZICĂ A EFECTULUI CORONA LA TENSIUNE ALTERNATIVĂ

Nicoleta GILLICH

CORONA PHISICAL MODEL IN ALTENATIVE VOLTAGE

Corona discharge around power lines leads to line parameter alternation as an electric charge is formed around the wires. In transient states, such alternations result in faster damping of oscillations while in steady regime lead to additional energy losses. The paper treats the physical Corona modelling and the analytical transients process of voltages and currents on the proposed model.

Keywords: model, Corona, electronic scheme

Cuvinte cheie: model, efect Corona, schemă electronică

1. Introducere

Efectul Corona la tensiune alternativă, determină modificări cunoscute ale parametrilor liniilor electrice aeriene (LEA), urmare a formării unei sarcini electrice spațiale în jurul conductoarelor de fază. Aceste modificări conduc la amortizarea relativ accentuată a oscilațiilor în timpul proceselor tranzitorii iar în regim staționar la pierderi suplimentare de energie.

Sub aspectul evoluției în timp a tratării problemei modelării efectului Corona, se disting, în funcție de dezvoltările studiilor în domeniu, soluții de modelare fizică, analogică, respectiv matematică.

În lucrare se tratează modelarea fizică a efectului Corona, cu ajutorul schemelor electronice cu diode în condițiile reproducerii cât mai exacte a caracteristicilor dinamice ale liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune (LEA).

2. Considerații teoretice privind metoda elementelor echivalente

În cele ce urmează ne vom opri asupra unor considerații privind modelarea fizică a fenomenului. Schema adoptată pentru model este cea din figura 1.

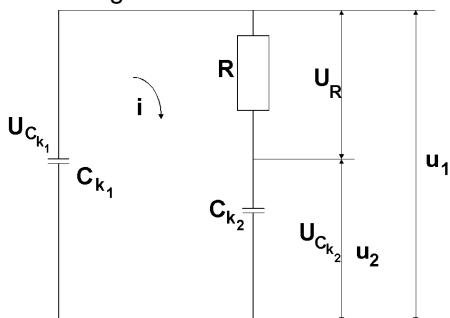


Fig. 1 Modelarea fizică a fenomenului

Tensiunea de lucru a liniei (u) și tensiunea critică de apariție a efectului Corona (U_k) sunt date de relațiile :

$$u = U_{fmax} \sin(\omega t + \phi)$$

$$U_k = E = U_{fmax} \sin \phi$$

Considerăm că inițial capacitățile C_{k1} și C_{k2} sunt încărcate la un anumit potențial U_{C0} , valoare ce se stabilește din momentul în care diodele nu mai conduc și are loc fenomenul de încărcare și descărcare a capacității C_{k1} peste C_{k2} și invers.

$$u = u_{C_{k1}} \pm (E - U_{C0})$$

$$u_{C_{k1}} = u \mp (E - U_{C0}) \quad (1)$$

$$u_{C_{k1}} = U_{fmax} \sin(\omega t + \phi) \pm (E - U_{C0})$$

Iar expresia curentului va fi :

$$i_1 = C_{k1} \frac{du_{C_{k1}}}{dt} = C_{k1} \omega U_{fmax} \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

Ținând seama de relația:

$$i_1(p) \frac{1}{pC_{k1}} = i_2(p) \left(R + \frac{1}{pC_{k2}} \right) = \frac{1 + pRC_{k2}}{pC_{k2}} i_2(p) \quad (3)$$

rezultă:

$$\begin{aligned} i_2(p) &= \frac{C_{k2} i_1(p)}{C_{k1} (1 + pRC_{k2})} = \\ &= \frac{U_{fmax} p (\omega \cos \phi + p \sin \phi) \pm (E - U_{C0}) (p^2 + \omega^2)}{(p^2 + \omega^2) (1 + pRC_{k2})} C_{k2} \end{aligned} \quad (4)$$

În urma calculelor se obține pentru i_2 următoarea relație :

$$i_2 = I_2 \sin(\omega t - \psi) - I'_2 e^{-\frac{t}{RC_{k_2}}} \quad (5)$$

unde:
$$I'_2 = -\frac{U_{fmax}(\omega RC_{k_2} \cos \phi - \sin \phi)}{(1 + \omega^2 R^2 C_{k_2}^2)R} \pm \frac{E - U_{C_0}}{R} \quad (6)$$

$$\psi = \arctg \frac{\cos \phi + \omega RC_{k_2} \sin \phi}{\sin \phi - \omega RC_{k_2} \cos \phi} \quad I_2 = \frac{\omega C_{k_2} U_{fmax}}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C_{k_2}^2}}$$

Curentul de efect Corona i_k este dat de suma curenților de pe cele două ramuri:

$$i_k = C_{k_1} \omega U_{fmax} \cos(\omega t + \phi) + I_2 \sin(\omega t - \psi) - I'_2 e^{-\frac{t}{RC_{k_2}}} \quad (7)$$

Variația tensiunii pe capacitatea C_{k_2} se obține pornind de asemeni de la transformata Laplace și anume:

$$u_{C_{k_2}}(p) = \frac{i_2}{pC_{k_2}} = \frac{U_{fmax} p (\omega \cos \phi + p \sin \phi) \pm (E - U_{C_0})(p^2 + \omega^2)}{p(p^2 + \omega^2)(1 + pRC_{k_2})} \quad (8)$$

Pentru rădăcinile : $p_1 = 0$, $p_2 = -\frac{1}{RC_{k_2}}$, $p_{3,4} = \pm j\omega$ variația în timp a tensiunii $u_{C_{k_2}}$, cu luarea în considerare a încărcării sale inițiale U_{C_0} după o serie de calcule, este dată de relația:

$$u_{C_{k_2}}(t) = - + E + \left[\frac{U_{fmax}(\omega RC_{k_2} \cos \phi - \sin \phi)}{1 + \omega^2 R^2 C_{k_2}^2} \pm (E - U_{C_0}) \right] e^{-\frac{t}{RC_{k_2}}} + \frac{U_{fmax}}{1 + \omega^2 R^2 C_{k_2}^2} [(\cos \phi + \omega RC_{k_2} \sin \phi) \sin \omega t + (\sin \phi - \omega RC_{k_2} \cos \phi) \cos \omega t] \quad (9)$$

Dacă se notează cu $U_2 \sin(\omega t - \theta)$ termenul al patrulea din membrul drept al relației (9) rezultă pentru θ și U_2 expresiile:

$$\theta = \arctg \frac{\omega RC_{k_2} \cos \phi - \sin \phi}{\omega RC_{k_2} \sin \phi + \cos \phi} \quad U_2 = \frac{U_{fmax}}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C_{k_2}^2}} \quad (10)$$

iar pentru $u_{ck2}(t)$ relația:

$$u_{C_{k2}}(t) = \pm E + U_{2'} e^{-\frac{t}{RC_{k2}}} + U_2 \sin(\omega t - \theta) \quad (11)$$

$$\text{unde: } U_{2'} = \left[\frac{U_{fmax} (\omega RC_{k2} \cos \phi - \sin \phi)}{1 + \omega^2 R^2 C_{k2}^2} \pm (E - U_{C_0}) \right] \quad (12)$$

Variația în timp a tensiunii pe rezistența R este dată de expresia:

$$u_R(t) = i_2(t)R = - \left[\frac{U_{fmax} (\omega RC_{k2} \cos \phi - \sin \phi)}{1 + \omega^2 R^2 C_{k2}^2} \pm (E - U_{C_0}) \right] e^{-\frac{t}{RC_{k2}}} + \quad (13)$$

$$+ \frac{\omega RC_{k2} U_{fmax}}{1 + \omega^2 R^2 C_{k2}^2} [(\cos \phi + \omega RC_{k2} \sin \phi) \cos \omega t - (\sin \phi - \omega RC_{k2} \cos \phi) \sin \omega t]$$

Notând cu $U_R \sin(\omega t - \psi)$ termenul al doilea din membrul drept al relației (13) rezultă pentru ψ și U_R expresiile:

$$\psi = \arctg \frac{\cos \phi + \omega RC_{k2} \sin \phi}{\sin \phi \omega RC_{k2} \cos \phi} ; U_R = \frac{\omega RC_{k2} U_{fmax}}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C_{k2}^2}} \quad (14)$$

$$\text{Respectiv } u_R = U_{R'} e^{-\frac{t}{RC_{k2}}} + U_R \sin(\omega t - \psi) \quad (15)$$

$$\text{unde: } U_{R'} = - \left[\frac{U_{fmax} (\omega RC_{k2} \cos \phi - \sin \phi)}{1 + \omega^2 R^2 C_{k2}^2} \pm (E - U_{C_0}) \right] \quad (16)$$

Datorită ramurii RC_{k2} curentul prin modelul Corona nu se stinge în momentul trecerii curbei tensiunii u prin valoarea maximă ci se menține o anumită perioadă de timp t_0 , până când derivata du/dt nu depășește (în mărime absolută) derivata $du_{C_{k1}}/dt$.

Corespunzător cu procesul real pe linia coronată după trecerea sarcinii totale prin valoarea maximă se continuă disiparea energiei acumulate de capacitatea C_{k1} în rezistența R, scăzând treptat ca urmare a diferenței tensiunilor.

În conformitate cu cele precizate la începutul paragrafului, după trecerea curbei tensiunii $u(t)$ prin maxim, urmează procesul tranzitoriu de încărcare-descărcare a condensatoarelor din bucla prezentată în figura 1. Notând cu $U_{C_{k1}}$, $U_{C_{k2}}$ valorile tensiunii pe cele două capacități în momentul trecerii prin maxim a tensiunii de alimentare ($U_{C_{k1}} > U_{C_{k2}}$), se poate scrie :

$$u_1(p) = \frac{U_{C_{k1}}}{p} - i(p) \frac{1}{pC_{k1}} = \frac{U_{C_{k2}}}{p} + i(p) \left(R + \frac{1}{pC_{k2}} \right) \quad (17)$$

Din relația (18) rezultă pentru $i(p)$ expresia:

$$i(p) = C_{k_1} C_{k_2} \frac{U_{C_{k_1}} - U_{C_{k_2}}}{p R C_{k_1} C_{k_2} + C_{k_1} + C_{k_2}} \quad (18)$$

Înlocuind pe $i(p)$ în relația (18), se obține după o serie de calcule:

$$u_1(p) = \frac{C_{k_1} U_{C_{k_1}}}{p} \cdot \frac{p R C_{k_2} + 1 + \frac{U_{C_{k_2}}}{U_{C_{k_1}}} \cdot \frac{C_{k_2}}{C_{k_1}}}{p R C_{k_1} C_{k_2} + C_{k_1} + C_{k_2}} \quad (19)$$

Pentru determinarea variației în timp a tensiunii u_2 se pornește de la relația :

$$u_2(p) = \frac{U_{C_{k_2}}}{p} + \frac{i(p)}{p C_{k_2}} \quad (20)$$

În figura 2 este reprezentată variația în timp a tensiunilor u_1 și u_2 .

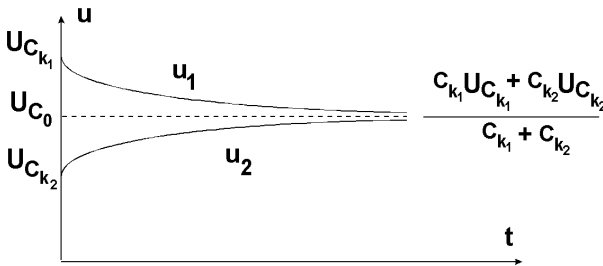


Fig. 2
Variația în timp a tensiunilor u_1 și u_2

Determinarea momentului în care se anulează curentul de efect Corona în modelul

considerat, luând ca referință trecerea prin maxim a tensiunii de alimentare se face pornind de la relațiile :

$$\frac{du}{dt} \leq \frac{du_1}{dt} \quad ; \quad u = U_{fmax} \sin(\omega t + \phi) \quad ; \quad (21)$$

$$u_1 = \frac{U_{C_{k_1}} C_{k_1} + U_{C_{k_2}} C_{k_2}}{C_{k_1} + C_{k_2}} + C_{k_2} \frac{U_{C_{k_1}} - U_{C_{k_2}}}{C_{k_1} + C_{k_2}} e^{-\frac{t}{T}} \quad (22)$$

În consecință, momentul t_0 al anulării curentului de efect Corona este determinabil cu relația:

$$\omega U_{fmax} \cos(\omega t + \phi) \leq - \frac{C_{k_2} (U_{C_{k_1}} - U_{C_{k_2}})}{T (C_{k_1} + C_{k_2})} e^{-\frac{t}{T}} \quad (23)$$

Admițând $t_0/T \approx 3$ rezultă; $e^{t_0/T} = \frac{1}{e^3} \cong 0$ și deci: $\omega t_0 + \phi = \frac{\pi}{2} \div \pi$,

astfel încât valorile limită pentru t_0 se vor putea calcula cu relațiile :

$$t_0 = \frac{\pi / 2\phi}{\omega} ; t_0 = \frac{\pi\phi}{\omega}$$

În tabelul 1 sunt prezentate valorile raportate ale lui t_0 , la perioada T_{50} a tensiunii de frecvență industrială, de unde se constată că durata de existență a efectului Corona, după trecerea tensiunii sursei prin maxim, și deci valoarea pierderilor, poate fi controlată prin alegerea corespunzătoare a constantei de timp T.

Tabelul 1

| U_{\max} / U_k | | 1 | 1,25 | 1,5 | 2 | 3 |
|------------------|------|---------|--------|---------|---------|---------|
| v [rad] | | 1 | 0,9723 | 0,734 | 0,5236 | 0,3398 |
| t_0/T_{50} | Min. | 0,09089 | 0,0953 | 0,13318 | 0,16677 | 0,19602 |
| | Max. | 0,341 | 0,3454 | 0,38337 | 0,41688 | 0,44615 |

3. Concluzii

Schema adoptată pentru model corespunde cu procesul real pe linia coronată, respectiv după trecerea sarcinii totale prin valoarea maximă se continuă disiparea energiei acumulate de capacitatea C_{k1} în rezistența R, scăzând treptat ca urmare a diferenței tensiunilor.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Drăgan, G., ș.a., *Tehnica tensiunilor înalte*, Volumul I, Editura Tehnică, București, 1996.
- [2] Negru, V., *Tehnica tensiunilor înalte*, Lito UT Timișoara, 1995.
- [3] Gillich, N., *Aplicații ale modelării fizice în electroenergetică*, Editura "Eftimie Murgu", Reșița, 1998.
- [4] Tușaliu, P., *Genie des hautes tensions*, Editura Universitaria, Craiova, 1998.
- [5] Gillich, N., *Consideration about calculation of Corona power losses*, International conference on applied and theoretical electricity, ICATE 2000, Craiova, pag.160-163.

Prof.Univ.Dr.Ing. Nicoleta GILLICH,
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița,
membru AGIR
e-mail: n.gillich@uem.ro