



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

ANALIZA EFECTULUI CORONA ÎN REGIM TRANZITORIU DE SUPRATENSIUNE

Nicoleta GILLICH, Cristian Paul CHIONCEL

CORONA EFFECT IN TRANSIENT REGIME OF OVERVOLTAGES

The paper treats the quantitative and qualitative influence of Corona discharge on waveform in transient regime of over voltages propagation on electric aerial lines. The theoretical consideration given in the paper was compare with some measurements on real distribution line and results a satisfactory validity.

Keywords: Corona, overvoltage transient

Cuvinte cheie: efect Corona, supratensiuni, regim tranzitoriu

1. Introducere

În lucrare se tratează influența cantitativă și calitativă a efectului Corona asupra supratensiunilor propagate pe liniile electrice aeriene în timpul proceselor tranzitorii. Influența fenomenului Corona asupra formei undei, atât calitativ, cât și cantitativ. În timpul proceselor tranzitorii de propagare a supratensiunilor de-a lungul liniilor electrice, complexitatea aspectelor fizice care îl caracterizează, a constituit și constituie un câmp deschis cercetării în acest domeniu.

2. Considerații teoretice

Analiza influenței fenomenului Corona asupra proceselor tranzitorii, în schemele cu pierderi minime (cele care iau în considerare pierderile în

conductoare, sol, generatoare, transformatoare și prin efect Corona), pornește de la expresia tensiunii:

$$U(l) = A_{st} \cdot \cos \omega t + \sum A_k \cdot e^{-\delta_k t} \cdot \cos \omega_k t \quad (1)$$

Expresia este similară celei aferente cazului neglijării pierderilor ($r = 0$, $g = 0$) cu deosebirea că, în cazul componentei tranzitorii apare coeficientul $e^{-\delta_k t}$, iar rădăcinile ecuației caracteristice au forma :

$$p_k = -\delta_k \pm j\omega_k \quad (2)$$

Pentru determinarea coeficientului de amortizare se pornește de la exprimarea în complex a tensiunii la sfârșitul liniei $\underline{U}(l)$:

$$\underline{U}(l) = \frac{\underline{E}}{ch \underline{\gamma} l + \frac{r_i + p \cdot L_i}{Z_c} \cdot sh \underline{\gamma} l} = \frac{\underline{E}}{f_r(p)} \quad (3)$$

unde E este tensiunea sursei ;

$$f_r(p) = ch \underline{\gamma} l + \frac{r_i + p \cdot L_i}{Z_c} \cdot sh \underline{\gamma} l \quad (4)$$

$$\underline{\gamma} l = \sqrt{(r + pL) \cdot (g + pC)} \cdot l \approx (p + \delta_r + \delta_g) \tau = (p + \delta) \cdot \tau \quad (5)$$

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{r + p \cdot L}{g + p \cdot C}} = \left(1 + \frac{\delta_r - \delta_g}{p + \delta_g}\right) \cdot Z_c \approx Z_c \cdot \left(1 + \frac{\delta_r - \delta_g}{p}\right) = Z_c \cdot \left(1 + \frac{\Delta\delta}{p}\right) \quad (6)$$

unde r_i este rezistența sursei și L_i este inductivitatea sursei.

Având în vedere expresiile lui δ , $\Delta\delta$ și δ_i , avem

$$\delta_r = \frac{r}{2L}; \delta_g = \frac{g}{2C};$$

$$\delta = \delta_r + \delta_g; \Delta\delta = \delta_r - \delta_g;$$

$$\delta_i = \frac{r_i}{2L_i}$$

$$f_r(p) = ch(p + \delta) \cdot \tau + \frac{p \cdot L_i}{Z_c} \cdot \frac{1 + 2 \frac{\delta_i}{p}}{1 + \frac{\Delta\delta}{p}} \cdot sh(p + \delta) \cdot \tau \quad (7)$$

Considerând că $\omega\delta \ll 1$:

$$\frac{1}{1 + \frac{\Delta\delta}{p}} \approx 1 - \frac{\Delta\delta}{p}; T_L = \frac{L_i}{Z_c}$$

și neglijând produsul mărimilor ce conțin δ^2 se obține :

$$f_r(p) = ch p\tau + pT_L sh p\tau + \delta\tau(sh p\tau + pT_L ch p\tau) + \frac{2\delta_i - \Delta\delta}{p} pT_L sh p\tau = f(p) + \Delta f(p) \quad (8)$$

unde $f(p) = ch p\tau + pT_L sh p\tau$ corespunde schemei fără pierderi, pentru care se obțin rădăcinile complexe $p = p_k$. În schema cu pierderi minime, rădăcinile ecuației caracteristice obțin o creștere mică Δp_k , iar ecuația caracteristică ia forma:

$$f_r(p_k + \Delta p_k) = 0 \quad (9)$$

Descompunând funcția $f_r(p_k + \Delta p_k)$ în serie Taylor și luând prima valoare pentru Δp_k , se obține :

$$f_r(p_k + \Delta p_k) = f_r(p_k) + \Delta p_k \cdot f'_r(p_k) \quad (10)$$

și ținând cont de (8) și (9) :

$$\Delta p_k = - \frac{f_r(p_k)}{f'_r(p_k)} = - \frac{f(p_k) + \Delta f(p_k)}{f'(p_k) + \Delta f'(p_k)} \quad (11)$$

Întrucât $f(p_k) = 0$ și $\Delta f'(p_k) \ll f'(p_k)$ rezultă:

$$\Delta p_k = - \frac{\Delta f(p_k)}{f'(p_k)} = \frac{\delta p_k \tau (sh p_k \tau + pT_L ch p_k \tau) + (2\delta_i - \Delta\delta) pT_L sh p_k \tau}{p_k f'(p_k)} \quad (12)$$

Înlocuind în (12) expresiile lui $p_k f'(p_k)$ și $p_k T_L$ obținute în cazul schemei fără pierderi și notând $\delta = \delta_r + \delta_g$ rezultă:

$$\delta_k = \delta_r \frac{\frac{\omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} - \cos \omega_k \tau}{\frac{\omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} + \cos \omega_k \tau} + \delta_g + \delta_i \frac{2 \cos \omega_k \tau}{\frac{\omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} + \cos \omega_k \tau} \quad (13)$$

Relația (13) semnifică faptul că amortizarea datorită pierderilor mici este reprezentată prin coeficientul δ_k , format din trei componente. Prima

componentă se datorează rezistențelor active, iar a doua conductivității active (Corona). A treia componentă este determinată de pierderile în rezistența sursei.

Un studiu al acestui coeficient fără a lua în seamă efectul Corona ($\delta_g=0$) conduce la :

$$\delta_k = \delta_r K_{rk} + \delta_i (1 - K_{rk}) \quad (14)$$

Variația coeficientului K_{rk} funcție de raportul $L/L-l$ este cunoscută din literatura de specialitate iar curbele sunt duse pentru determinarea cotei părți de amortizare, care este introdusă de rezistența liniei, pentru pulsațiile $\omega_1, \omega_2, \omega_3$.

$$k_{rk} = \frac{\frac{\omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} - \cos \omega_k \tau}{\frac{\cos \omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} + \cos \omega_k \tau}$$

$$k_i = \frac{2 \cos \omega_k \tau}{\frac{\omega_k \tau}{\sin \omega_k \tau} + \cos \omega_k \tau} = 1 - k_{rk}$$

$k_{rk}; k_{ri}$ coeficienții lui δ_r și δ_i .

În cazul când $\delta_r = \delta_i$, atunci $\delta_k = \delta_r = \delta_i$. Dacă δ_r și δ_i nu depind de frecvență, atunci coeficientul de amortizare pe toate armonicile este identic. Pentru liniile de foarte înaltă tensiune (cu conductoare separate).

$$\delta_r = \frac{r}{2L} = \frac{\alpha}{\beta} = 0.06 - 0.02 \text{ u.r. } \text{ respectiv } (18-6)1 / \text{sec}$$

Aceste cifre nu corespund cu rezultatele măsurătorilor pe teren, pe baza cărora δ_r se evaluează la 30 1/sec (0,095 1/rad). Această creștere a coeficientului de amortizare în condiții reale, comparativ cu cel calculat, funcție de rezistența activă a conductorului și sursei, pentru tensiune de frecvență industrială, se datorează:

- mării rezistenței datorată efectului pelicular în conductoarele liniei și înfășurătorilor transformatorului, respectiv mașinilor ;
- prezenței sarcinii active pe barele de medie tensiune ;
- efectului Corona.

De asemenea în cazul unei conectări nesincrone a fazelor, în tensiuni și curenți apare o componentă de succesiune omopolară care se caracterizează printr-un coeficient de amortizare mai mare.

Valoarea coeficientului de șoc (k_{soc}) în cazul neglijării pierderilor este de 2,3. Dacă se iau în considerare pierderile, acesta scade la 2,15 (pentru $\delta=0,04$ 1/rad) respectiv 1,78 atunci când nu se neglijează cota parte de pierderi datorate sarcinii.

Componenta δ_g determinată de pierderile prin Corona ($\delta_g=g/2C$), dificil de evaluat în procesele tranzitorii - depinde atât de valoarea maximă a tensiunii într-un punct dat al liniei cât și de momentul de timp și de forma curbei. Este de precizat totodată că distribuția tensiunii de-a lungul liniei într-un proces tranzitoriu este mult mai neuniformă decât pentru un proces staționar.

Prezența unui proces tranzitoriu „propriu”, caracteristic pentru apariția efectului Corona și a distribuției neuniforme a tensiunii în lungul liniei, reduce pierderile prin efect Corona în procesul tranzitoriu comparativ cu regimul staționar. De efectul Corona trebuie să se țină seama, dacă maximul apare pentru a doua și a treia semiperioadă, ceea ce este caracteristic pentru frecvența oscilațiilor libere cu $\delta_k < 2$.

Conform datelor din literatura de specialitate, pierderile prin efect Corona în proces tranzitoriu pentru liniile de foarte înaltă tensiune, de lungime foarte mare, constituie aproximativ 50% din pierderi pentru tensiunea de frecvență industrială. În sistemul de unități relative $\delta_g=g/2C$ este egal cu :

$$\frac{\beta_k}{\alpha_k} = \frac{g}{2\omega_k C} \quad (\omega_k = 1)$$

3. Concluzii

- Tensiunea limită pe linie nu poate depăși nivelul de izolație ceea ce înseamnă, spre exemplu, că pentru $U_{nom} = 400$ kV la $2,5U$ sau un multiplu de doi al tensiunii de apariție a efectului Corona ($2U_{cr}$) raportul β_k/δ_k va fi 0,14.

- Ținând cont de variația tensiunii în lungul liniei, valoarea echivalentă a raportului β_k/δ_k (medie pe toata linia) va trebui redusă cu 10÷20 % pentru un regim staționar, iar pentru un proces tranzitoriu va trebui redusă încă de două ori, ceea ce conduce la o valoare orientativă $\delta_g=0,006$ 1/rad.

- Pentru $U_{nom} = 750$ kV, analog se evaluează $\delta_g = 0,05$. Luând pentru liniile de 400 kV și 750 kV, $\delta_r = \delta_i = 0,06 \div 0,02$ (în lipsa sarcinii) se obține un coeficient însumat $\delta_g + \delta_r = 0,12$ și $0,08$ sau în unități normale cu rotunjiri 36 și 25 (1/sec).

■ Astfel valorile δ de ordinul 30 (1/sec), urmărite în exploatare pot fi explicate de factori ca :

- influența sarcinii și a efectului Corona, respectiv influența pământului pentru o conectare nesimetrică a fazelor. Considerarea lor și diferențierea pentru fiecare caz în parte sunt complicate. De obicei se operează cu valori medii (25÷30) 1/sec sau (0,08÷0,1) 1/rad.

■ Cu toată evaluarea grosieră a efectului Corona, valorile obținute pentru coeficienții de amortizare sunt apropiate de rezultatele măsurătorilor pe liniile reale de distribuție, cu tensiune până la 400 kV inclusiv [1], fapt ce conduce la validarea considerațiilor teoretice prezentate.

BIBLIOGRAFIE

[1] Negru, V., *Tehnica tensiunilor înalte*, Lito UT Timișoara, 1995.

[2] Gillich, N., *Aplicații ale modelării fizice în electroenergetică*, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 1998.

[3] Gillich, N., *Calculul pierderilor de putere datorate efectului Corona*, Revista "Știință și inginerie", Editura AGIR, București, 2015, Nr.27, pag. 263-268.

[4] Chioncel, C.P., Gillich, N., Tirian, G.O., Ntakpe, J.L., *Limits of the Discrete Fourier Transform in exact identifying of the vibrations frequency*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, 2015, 12 (1), 16.

[5] Chioncel, C.P., Chioncel, P., Gillich, N., Tirian, G.O., *Wigner Ville Distribution in Signal Processing, using Scilab Environment*, Analele Universității "Eftimie Murgu" din Reșița – Fascicula de Inginerie, 2, 2011, pag. 101-106.

[6] Chioncel, P., Raduca, E., Chioncel, C.P., Gillich, N., *Calculation of Digital Control Circuits using Scilab Environment*, Analele Universității "Eftimie Murgu" din Reșița – Fascicula de Inginerie, 2, 2015, pag. 77-82.

[7] Gillich, N., *Modelarea fizică a efectului Corona la tensiune alternativă*, Revista "Știință și inginerie", Editura AGIR, București, 2015, Nr.27, pag.269-274.

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

Conf.Univ.Dr.Ing. Cristian Paul CHIONCEL
Prorector, Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR
e-mail: c.chioncel@uem.ro