

CZU 621. 311. 014. 019. 3.

ANALIZA REGIMURILOR NESIMETRICE ÎN CIRCUITELE ELECTRICE ÎNSOȚITE DE ARCUL VOLTAIC

F. ERHAN¹, I.U. VÎLCOV¹, V. POPESCU¹, ELENA LUKIANENCO²

¹ Universitatea Agrară de Stat din Moldova

² Institutul de Energetică al AȘM

Abstract. The paper investigates the functions of the power electrical system and installed electrical equipment which are influenced by different transaction processes, which are accompanied by the electric arc. These transaction processes are able to describe the system of differential equations provided in the article.

Both connecting transaction processes and electric arc have a negative influence on the functional reliability of the installed electrical equipment.

Key words: Distribution system, Electric arc, Electrical power systems, Nonsymmetrical regimes, Transaction processes.

INTRODUCERE

Regimurile nesimetrice în sistemele trifazate (circuitele electrice), de regulă, pot fi de diferită origine și anume:

a) dacă sarcina este ne echilibrată ori se îndeplinesc una din cele câteva condiții cunoscute conform (Л. Бессонов, 1973).

b) în rezultatul apariției diferitor tipuri de scurtcircuite (mono, bi sau trifazate), ca rezultat al cărora echipamentele electrice conectate în zona respectivă, indiferent de locul și timpul scurtcircuitului sunt supuse acțiunilor curentului de scurtcircuit.

MATERIAL ȘI METODĂ

Conform (Л. Бессонов, 1973) orice sistem trifazat nesimetric poate fi grupat în trei consecutivități simetrice (consecutivitatea directă, indirectă și cea nulă). În așa caz pentru efectuarea calculului analitic apare necesitatea ca pentru toate consecutivitățile respective să fie cunoscute impedanțele respective. Pentru efectuarea calculului analitic a sistemelor trifazate (circuitelor electrice), în regim nesimetric, e necesar de efectuat calculul pentru fiecare consecutivitate în parte folosind metodele descrise (Л. Бессонов, 1973). Dacă sunt cunoscute valorile calculate analitic pentru fiecare consecutivitate în parte, valoarea echivalentă sumară se determină ca suma algebrică a valorilor consecutivităților respective (Л. Бессонов, 1973).

Dacă regimul nesimetric studiat apare ca rezultat al unor fenomene ce caracterizează diferite tipuri de scurtcircuite, apoi valoarea sumară a curentului de scurtcircuit constă din câteva componente, care schematic sunt prezentate în fig.1. și dispun de următoarele componente:

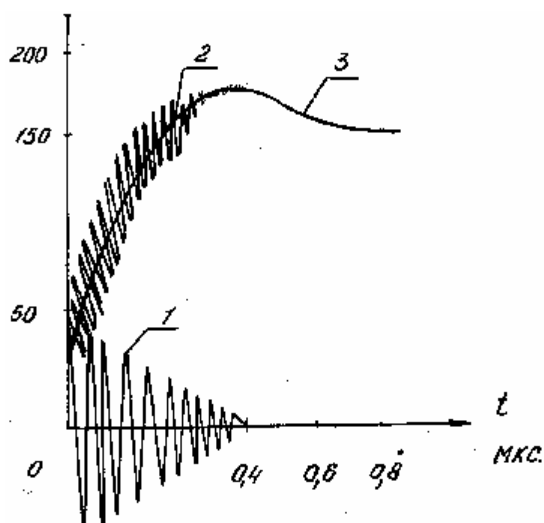
- componenta curentului de scurtcircuit ce apare din partea sursei de alimentare a circuitului respectiv, în funcție de viteza de schimb a curentului în timp ($di_{s.c.}/dt$)_s;

- componenta curentului de scurtcircuit ce apare din partea rețelei unde are loc scurtcircuitul care este în funcție de viteza de schimb a curentului în timp ($di_{s.c.}/dt$)_R;

- componenta rezultantă a curentului de scurtcircuit în nodul studiat care este suma algebrică a valorilor mai sus prezentate.

E cunoscut fenomenul că cea mai dificilă fază și acțiune la echipamentele electroenergetice de dirijare și protecție apare la declanșarea regimurilor nesimetrice tranzitorii, care de cele mai dese ori sunt însoțite de fenomenul de scurtcircuit și arcul voltaic (Ф. Ерхан, Б. Неклпаев, 1985).

Se poate constata că în nodurile sistemelor electroenergetice de distribuție, care pot fi analizate ca circuite electrice unde apar regimurile nesimetrice, acțiunea curenților în regim tranzitoriu o suportă echipamentele de protecție și dirijare automată (întrerupătoarele etc), fiabilitatea de funcționare a cărora depinde nu numai de valoarea așteptată a curenților de scurtcircuit respectivi, dar și de viteza de variație a tensiunii tranzitorii (du/dt) la barele echipamentelor de protecție respective, de durata procesului tranzitoriu și modul de schimbare în timp, care totdeauna practic sunt însoțiți de apariția și dezvoltarea



- 1 - modul de schimbare a tensiunii tranzitorii ce apare din partea sursei ;
 2 - modul de schimbare a tensiunii tranzitorii ce apare din partea de rețea unde are loc procesul respectiv;
 3 - modul de schimbare a tensiunii tranzitorii sumare în nodul de rețea respectiv.

Fig.1. Modul de schimbare a componentelor proceselor tranzitorii însoțite de arcul voltaic.

arcului voltaic (T. Erhan, S. Melnic, 1988).

Viteza de variație a tensiunii tranzitorii (du/dt) la barele echipamentelor de protecție și dirijare, precum și apariția arcului voltaic și durata acestuia (dt), au o dependență pătrată în funcție de schimbarea valorii curentului tranzitoriu în timp (T. Erhan, 2002). Analogic curentului tranzitoriu, valoarea sumară a tensiunii tranzitorii în nodul de apariție al procesului tranzitoriu dispune de câteva componente și anume:

- componenta tensiunii tranzitorii din partea sursei de alimentare ($(du_t/dt)_s$), care se determină din expresia (1).

$$(du_t/dt)_s = \left(\frac{Z}{n-1} \right) \frac{di_{s.c.}}{dt} \quad (1)$$

- componenta tensiunii tranzitorii din partea circuitului electric unde are loc scurtcircuitul ($(du_t/dt)_R$), care se determină din expresia (2).

$$(du_t/dt)_R = Z \frac{di_{s.c.}}{dt}; \quad (2)$$

unde: n este numărul de bucle electrice (rețele electrice) conectate în nodul electric al sistemului unde are loc apariția procesului nesimetric; Z – impedanța ondulatorie a conturului electrice închis obținut respectiv, unde are loc procesul nesimetric și foarte des însoțit de apariția arcului voltaic.

Valoarea sumară a tensiunii în nodul unde se petrece procesul nesimetric (scurtcircuitul) se poate determina analitic din expresia:

$$du_t/dt = (du_t/dt)_s + (du_t/dt)_R = \frac{n}{n+1} Z \frac{di_{s.c.}}{dt} \quad (3)$$

Este cunoscut fenomenul, că fiabilitatea de funcționare a echipamentelor de protecție și dirijare (și îndeosebi a întrerupătoarelor) se schimbă invers proporțional pătratului curentului de scurtcircuit deconectat ($i_{s.c.}^2$), iar capacitatea de deconectare a scurtcircuitului de către echipamentele de protecție și dirijare respective (întrerupător) se determină de valoarea curentului de scurtcircuit întrerupt și de variația tensiunii tranzitorii în nodul respectiv (la barele întrerupătorului (I. Erhan, S. Melnic, 1988).

Dacă $di_{s.c.}/dt < 10$ A/msec., atunci durata de existență a arcului voltaic la barele echipamentelor de protecție și dirijare este minimală, iar echipamentele respective dispun de capacitatea de a deconecta orice scurtcircuit.

Dacă $di_{s.c.}/dt > 30$ A/msec., atunci arcul voltaic are o durată (dt) destul de îndelungată la barele echipamentelor de protecție și dirijare (întrerupătoarelor) și deconectarea devine destul de dificilă (Erhan T., 2006). Ca rezultat se poate constata că nu toate echipamentele de protecție și dirijare

(întrerupătoarele) sunt în stare să deconecteze scurtcircuitul respectiv (îndeosebi întrerupătoarele cu ulei). În funcție de valorile așteptate ale curenților de scurtcircuit, locul de apariție a scurtcircuitului față de echipamentele de protecție și dirijare (întrerupătoarele, sistemul de bare etc) tipul de scurtcircuit și durata lui (dt), modul de schimb a procesului tranzitoriu, de cele mai dese ori, poartă un caracter neliniar care poate avea forma curbelor prezentate în fig.1.

Astfel, duritatea procesului tranzitoriu respectiv și deconectarea lui, deseori poate fi caracterizat prin factorul de duritate deconectare (K_D) (T. Erhan, S. Melnic, 1988).

Acest factor caracterizează numărul de cicluri depline efectuate de echipamentele de protecție și dirijare (întrerupătoarele respective) până la următoarea revizie tehnică sau reparație a lor. Pentru a determina modul de influență a proceselor tranzitorii însoțite de arcul voltaic asupra elementelor sistemului electroenergetic apare necesitatea de a elabora un model matematic ce va descrie modul de decurgere a acestui proces și curba neliniară a acestui fenomen poate fi înlocuită cu segmente liniare echivalente (Erhan T., 2002).

La baza modelului matematic, elaborat în lucrarea dată, stau principiile de analiză a proceselor tranzitorii însoțite de arcul voltaic prin intermediul ecuațiilor diferențiale ce descriu procesul de conservare a impulsului și a energiei, indisolubilității acestora și legea lui Ohm. Astfel, pentru a descrie analitic arcul voltaic, se reiese din premiza, că el dispune de simetrie axială (Frind G., Rich J., 1974). În așa caz procesele tranzitorii pot fi descrise mai detaliat prin intermediul ecuațiilor diferențiale ce descriu următoarele fenomene:

a) ecuația ce descrie principiul de conservare a impulsului pe proiecția axială are forma:

$$\rho \partial v_z / \partial t + \rho v_z \partial v_z / \partial v_z + \rho v_r \partial v_z / \partial v_r = -\partial \rho / \partial z + \partial [(\eta + \eta_r) r \partial v_z / \partial r] / r \partial r \quad (4)$$

b) ecuația ce descrie principiul de indisolubilitate a impulsului arcului voltaic are forma:

$$\partial \rho / \partial t + \partial v_z (\rho v_z) / \partial z + \partial v_r (\rho v_r) / r \partial r = 0 \quad (5)$$

c) ecuația ce descrie principiul de conservare a energiei arcului voltaic are forma:

$$r \partial h_0 / \partial t + r v_z \partial h_0 / \partial z + r v_r \partial h_0 / \partial r = s E^2 - U + \partial [(k + k_T) r \partial T / \partial r] / r \partial r \quad (6)$$

d) ecuația ce descrie legea lui Ohm pentru arcul voltaic are forma:

$$I = E \int_0^{r_1} 2\pi \sigma r dr = 2\pi E \int_0^{r_1} \sigma r dr \quad (7)$$

În ecuațiile (4-7) r - reprezintă densitatea mediului unde are loc apariția arcului voltaic;

V_z , - componenta axială, iar V_r - cea radială a vitezei de schimbare a mediului respectiv;

p - presiunea mediului; h - viscozitatea mediului; h_T - viscozitatea turbulentă a mediului, care se determină din expresia (8).

$$h_T = r n_T \quad (8)$$

n_T - viscozitatea turbulentă cinematică a mediului; E - intensitatea câmpului electromagnetic; s - electro-conductibilitatea; U - coeficientul efectiv de iradiere; h_0 - entalpia deplină al mediului respectiv; k - coeficientul de conductibilitate termică; k_T - conductibilitatea termică turbulentă; r - raza arcului voltaic; c_p - căldura specifică la presiunea constantă a mediului; a_T - termoconductibilitatea turbulentă a mediului.

Conductibilitatea termică turbulentă ce se determină din expresia (9).

$$k_T = r c_p a_T \quad (9)$$

În rezultatul integrării ecuațiilor (4-6) după valoarea razei arcului voltaic în limitele de integrare la a până la b, se vor obține ecuația ce descrie principiul de conservare al impulsului de energie pe proiecția axială și are forma:

$$\begin{aligned} & \partial \int_a^b 2\pi \rho h_0 r dr / \partial t + \partial \int_a^b 2\pi \rho v_r^2 r dr / \partial z - \Phi(b) + \Phi(a) + q(b) v_z(b) - q(a) v_z(a) = \\ & = \partial \rho \pi^2 (b^2 - a^2) / \partial z - 2\pi [bS(b) - aS(a)] \end{aligned} \quad (10)$$

Ca rezultat al integrării ecuația ce descrie principiul de indisolubilitate al impulsului de energie al arcului voltaic capătă forma:

$$\partial \int_a^b 2\pi\rho v_z r dr / \partial t + \partial \int_a^b 2\pi\rho v_r r dr / \partial z + q(b) - q(a) - \lambda(b) + \lambda(a) = 0 \quad (11)$$

Ecuația ce descrie principiul de conservare a energiei arcului voltaic capătă forma expresiei:

$$\begin{aligned} & \partial \int_a^b 2\pi\rho v_z r dr / \partial t + \partial \int_a^b 2\pi\rho v_r h_0 r dr / \partial z - \Psi(b) + \Psi(a) + q(b)h_0(b) - q(a)h_0(a) = \\ & = \int_a^b 2\pi\rho [\sigma E^2 - U] dr - 2\pi [W(a) - W(b)] \end{aligned} \quad (12)$$

În ecuațiile date fluxurile de masă și energie ce se mișcă în direcția radială ce ating limitele de hotare respective a și b vor fi desemnate respectiv prin valorile $q(a)$ și $q(b)$; valorile $-I, F, Y, g$ - reprezintă funcțiile valorilor variabile exprimate prin derivatele parțiale $\partial r / \partial t$; $\partial r / \partial z$; $\partial v_z / \partial t$; $v_h / \partial t$ la hotarul de deviere determinat.

Funcția $S(b)$ caracterizează fluxul radial al impulsului la hotarul de deviere dacă $r=b$.

Funcția $W(b)$ caracterizează fluxul radial al energiei la hotarul de deviere dacă $r=b$.

Valorile funcțiilor $S(b)$ și $W(b)$ se determină din expresiile (13 și 14).

$$S(b) = [(h + h_r) \partial v_z / \partial r]_{r=b} \quad (13)$$

$$W(b) = [(k + k_r) \partial T / \partial r]_{r=b} \quad (14)$$

În mod asemănător se determină valorile funcțiilor respective la hotarul de deviere dacă $r=a$, în așa caz valorile respective $S(a)$ și $W(a)$ vor avea forma expresiilor (15 și 16).

$$S(a) = [(h + h_r) \partial v_z / \partial r]_{r=a} \quad (15)$$

$$W(a) = [(k + k_r) \partial T / \partial r]_{r=a} \quad (16)$$

Prin urmare regimurile nesimetrice ce pot apărea în circuitele electrice indiferent de locul unde se petrec, de cele mai dese ori sunt însoțite de procesele tranzitorii.

Arcul voltaic poate fi descris analitic prin intermediul ecuațiilor diferențiale ce oglindesc viteza de variație a procesului tranzitoriu studiat, durata și modul de desfășurare a proceselor respective în dependență de mai mulți factori (Erhan, 2006).

CONCLUZII

În procesul de funcționare a sistemelor electroenergetice dese ori apar procese tranzitorii, care de cele mai dese ori sunt însoțite de arcul voltaic. La analiza influenței diferitor regimuri de funcționare a echipamentelor electrice și în deosebi a întrerupătoarelor e necesar de ținut cont de influența negativă a curenților de scurtcircuit și a arcului voltaic ce aduc la micșorarea nivelului de fiabilitate de funcționare a echipamentelor electroenergetice.

BIBLIOGRAFIE

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники, 1973, М.: Высшая Школа, 736 с.
2. Ерхан, Ф.М., Неклпаев Б.Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем, Кишинев, Штиинца, 1985, 217 с.
3. Erchan, T., Melnic, S. Short-circuit current level effect on the electric power systems reliability. The 3-International Symposium "Short-circuit currents in power system" Poland, Sulejow, 1988, Vol. I, p.81-89.
4. Erhan, T. Major factors, which influence on levels value of short circuit currents in electrical power systems. Bulletin of the Politechnical Institute of Iassy, Romania, 2002, Tom XLVIII (LII) Fasc.5A.p.303-311.
5. Frind, G., Rich, J.- IEEE, Trans., PAS., 1974. 1675 p.
6. Erchan, F. The problem of the reliability of the on electric power equipment and the factors which influence it. 1st International Conferece on Modern Power System MPS 2006, Cluj-Napoca, Romania, p.51-54.

Data prezentării articolului - 17.04.07