A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

PROIECTAREA SESIZORULUI CAPACITIV DE ÎNTRERUPERE A UNEI FAZE, A SISTEMULUI TRIFAZAT DE ALIMENTARE CU ENERGIE A MOTOARELOR ELECTRICE

Iosif POPA, Gabriel Nicolae POPA, Sorin Ioan DEACONU

DESIGN OF CAPACITIVE SESIZORULUI CANCELLATION OF A THREE-PHASE SYSTEM, THE POWER OF ELECTRIC MOTORS

In this paper presents the design of capacitive sensor used for phase brake of a three phase system, for electronic protection relay of three-phase induction motors. The electronic protection depends on the load current amplitude, which does not allow starting the motor in two phases.

Cuvinte cheie: sesizor capacitiv, protecţii, motoare electrice
Keywords: capacitive sensing, protection, electric motors

1. Introducere

Protecţia antibifazică completă se asigură în timpul funcţionării numai cu instalaţia cu trei relee minimale de curent [3]. Releele de curent sesizează atât întreruperile din instalaţia electrică de forţă, cât şi cele din înfăşurările motorului.

Un dezavantaj al acestei instalaţii este că permite pornirea motorului când o fază din instalaţie sau din motor este întreruptă, dar după comanda de pornire, motorul este scos din funcţie de releul de curent de pe faza respectivă.

Din analiza releelor şi dispozitivelor electronice, folosite la protecţia motoarelor electrice de joasă tensiune, se pot stabili următoarele concluzii:

- Dispozitivul electronic cu termistoare de protecţie a motoarelor electrice, cu avertizare la apropierea de temperatură limită [1, 3, 5], este simplu, acţionează rapid când temperatura se apropie de cea critică (situaţie când realizează avertizare optică) şi determină declanşarea contactorului principal sau a întreruptorului, dacă temperatura atinge valoarea critică. După declanşarea contactorului, pornirea motorului nu mai este posibilă până când temperatura înfăşurărilor nu scade sub valoarea critică. Ca dezavantaje care le prezintă, utilizarea în scopul protecţiei la suprasarcină a acestui dispozitiv se menţionează: montare dificilă de către utilizator a termistoarelor în înfăşurările motorului, posibilitatea funcţionării motorului în cazul întreruperii circuitelor de protecţie, nu asigură la scurtcircuite, iar protecţia antibifazică este temporizată (declanşarea contactorului principal are loc numai când temperatura se apropie de valoarea critică).

- Releul electronic de protecţie a motoarelor trifazate la supraîncălzire şi împotriva funcţionării în două faze [2, 5], realizează declanşarea contactorului principal la întreruperea unei faze, sau pentru un anumit grad de dezechilibru a curenţilor, numai pentru motoare asincrone cu înfăşurările legate în stea. Asigură protecţia împotriva regimului de suprasarcină prin controlul direct, cu termistor, a temperaturii înfăşurărilor. La motoarele cu conexiunea stea, în cazul scurtcircuitelor nesimetrice (bifazate sau monofazate), protecţia antibifazică acţionează şi în felul acesta, este asigurată şi protecţia împotriva unor astfel de regimuri de avarie. Această protecţie nu acţionează la scurtcircuite simetrice. Pentru motoare asincrone trifazate cu înfăşurările conectate în triunghi, acest releu electronic asigură numai protecţia împotriva supraîncălzirii bobinelor. Pentru protecţia împotriva scurtcircuitelor se impune, folosirea siguranţelor fuzibile.

Se pot realiza protecţii electronice care să înlăture dezavantajele aparatelor şi dispozitivelor de protecţie a motoarelor electrice de joasă tensiune, utilizate în prezent. S-a propus şi s-a realizat o protecţie electronică complexă a motoarelor electrice trifazate, cu caracteristică dependentă de curentul de sarcină [3], care pe lângă protecţia împotriva scurtcircuitelor şi la suprasarcină, asigură protecţia antibifazică complexă şi anume: nu permite pornirea în două faze şi asigură o protecţie completă antibifazică pe durata funcţionării cu acţionare rapidă.

2. Sesizorul capacitiv de întrerupere a unei faze

Sesizorul capacitiv de întrerupere a unei faze a sistemului de alimentare cu energie a motoarelor electrice trifazate (figura 1.), face parte din releul electronic de protecţie a motoarelor asincrone trifazate de joasă tensiune, cu caracteristică dependentă de curentul de sarcină.

Funcţionarea acestui dispozitiv se bazează pe controlul tensiunilor pe cele trei faze, prin sesizarea tensiunii de deplasare a nulului, dintre neutrul O_1 al transformatorului T_1 şi neutrul artificial O_2, realizat prin legarea în stea a condensatoarelor C (figura 1.). Când se întrerupe o fază, între nodurile O_1 şi O_2 apare o tensiune de deplasare a nulului aplicată divizorului capacitiv C_1 - C_2. Căderea de tensiune pe condensatorul C_2 este redresată, filtrată şi convertită într-un semnal de nivel logic "1" care determină blocarea posibilităţii de anclanşare a contactorului K_1. În continuare se determină valorile condensatoarelor C, C_1 şi C_2 şi căderile maxime de tensiune pe aceste condensatoare, astfel încât tensiunea de intrare în redresorul de precizie să se încadreze în domeniul normal de lucru al amplificatoarelor operaţionale. În cele ce urmează, se consideră contactorul K_1 declanşat.

Tensiunea de deplasare a nulului este [4]:

$$\underline{U}_0 = \frac{\dfrac{\underline{U}_{10}}{\underline{Z}_R} + \dfrac{\underline{U}_{20}}{\underline{Z}_S} + \dfrac{\underline{U}_{30}}{\underline{Z}_T}}{\dfrac{1}{\underline{Z}_R} + \dfrac{1}{\underline{Z}_S} + \dfrac{1}{\underline{Z}_T} + \dfrac{1}{\underline{Z}_{oe}}} \tag{1}$$

în care $\underline{U}_{10}$, $\underline{U}_{20}$ şi $\underline{U}_{30}$ sunt tensiunile de fază ale sistemului trifazat de alimentare:

$$\underline{U}_{10} = U_f; \underline{U}_{20} = a^2 \cdot U_f; \underline{U}_{30} = a \cdot U_f \tag{2}$$

$\underline{Z}_R$, $\underline{Z}_S$ şi $\underline{Z}_T$, sunt impedanţele echivalente ale celor trei faze între nodurile O_1 şi O_2, iar $\underline{Z}_{oe}$,impedanţa echivalentă pe conductorul de nul:

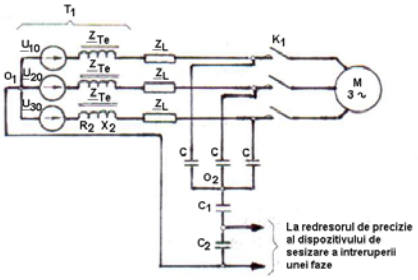

Fig.1

Sesizor capacitiv de întrerupere a unei faze între transformatorul de alimentare cu energie electrică, din postul de transformare şi contactorul K_1

$$\underline{Z_{oe}} = \underline{Z_0} + \underline{Z_{C1}} + \underline{Z_{C2}} \quad (3)$$

$$\underline{Z_{C1}} = -j \cdot X_{C1}; \underline{Z_{C2}} = -j \cdot X_{C2} \quad (4)$$

$$\underline{Z_0} = R_0 + j \cdot X_0 \quad (5)$$

Cu acestea, rezultă:

$$\underline{Z_{0e}} = R_0 + j \cdot \left[X_0 - \left(X_{C1} + X_{C2}\right)\right] \quad (6)$$

Dar:

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1}; X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2}; X_0 = \omega \cdot L_0 \quad (7)$$

În aceste relaţii R_0 şi L_0, sunt rezistenţa şi reactanţa conductorului de nul, iar f ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$) frecvenţa tensiunii de alimentare. Când nu este întreruptă nici o fază între O_1 şi O_2 impedanţele pe cele trei faze sunt egale:

$$\underline{Z_R} = \underline{Z_S} = \underline{Z_T} = \underline{Z_f}; \underline{Z_f} = \underline{Z_{Te}} + \underline{Z_L} + \underline{Z_C} \quad (8)$$

şi $\underline{\Delta U_0} = 0V$. În relaţia (8) $\underline{Z_{Te}}$ este impedanţa echivalentă pe fază a transformatorului din postul de transformare, $\underline{Z_L}$ - impedanţa liniei, iar $\underline{Z_C}$ - impedanţa unui condensator din grupul de condensatoare legate în stea. Impedanţa echivalentă pe fază a transformatorului se determină cu:

$$\underline{Z_{Te}} = \left(R_2 + \frac{1}{k_u^2} \cdot R_1\right) + j \cdot \left(X_2 + \frac{1}{k_u^2} \cdot X_1\right) \quad (9)$$

unde R_1 şi R_2 sunt rezistenţele pe fază ale înfăşurărilor transformatorului, iar X_1 şi X_2 - reactanţele acestor înfăşurări. Raportul de transformare k_u este relativ mare (k_u=15, 25 şi 50 pentru transformatoare de 6kV/0,4kV, 10kV/0,4kV şi 20kV/0,4kV) de aceea:

$$\underline{Z_{Te}} \approx R_2 + j \cdot X_2 \quad (10)$$

Impedanţa pe fază a liniei dintre transformator şi contactorul K_1, dacă acesta are “n” tronsoane se calculează cu:

$$\underline{Z_L} = \sum_{i=1}^{n} R_{Li} + j \cdot \sum_{i=1}^{n} X_{Li} \quad (11)$$

în care:

$$R_{Li} = R_{L0i} \cdot l_i; X_{Li} = X_{L0i} \cdot l_i; i = 1,...,n \quad (12)$$

Aici R_{L0i} şi X_{L0i} sunt rezistenţele şi reactanţele specifice ale celor “n” tronsoane iar l_i - lungimile acestora.

Impedanţele condensatoarelor C se determină cu:

$$\underline{Z_C} = -j \cdot X_C; \underline{Z_C} = -j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (13)$$

În continuare, se calculează tensiunea de deplasare a nulului şi căderile de tensiune pe condensatoarele C legate în stea şi C_1-C_2 ale divizorului capacitiv, pentru situaţiile în care sunt întrerupte fazele R, S şi T. După aceste calcule se stabilesc valorile capacităţilor condensatoarelor C, C_1 şi C_2.

3. Determinarea căderilor de tensiune pe condensatoarele sesizorului capacitiv, la întreruperea fazei R

În acest caz $\underline{Z}_R=\infty$ şi cu (1) şi (8) se obţine:

$$\underline{U}_{0R}=\frac{\left(\underline{U}_{20}+\underline{U}_{30}\right)}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\cdot\underline{Z}_{0e};\underline{U}_{0R}=\frac{\underline{U}_{10}\cdot\left(a^2+a\right)}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\cdot\underline{Z}_{0e} \tag{14}$$

Cum:

$$a^2+a=-1 \tag{15}$$

rezultă:

$$\underline{U}_{0R}=-\frac{\underline{U}_{10}}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\cdot\underline{Z}_{0e} \tag{16}$$

Curenţii care străbat linia electrică sunt:

$$\underline{I}_{RR}=\frac{\underline{U}_{10}-\underline{U}_{0R}}{\underline{Z}_{RR}};\underline{I}_{RR}=0 \tag{17}$$

$$\underline{I}_{SR}=\frac{\underline{U}_{20}-\underline{U}_{0R}}{\underline{Z}_{SR}};\underline{I}_{SR}=\frac{\underline{U}_{10}}{\underline{Z}_f}\cdot\left(a^2+\frac{\underline{Z}_{0e}}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\right) \tag{18}$$

$$\underline{I}_{TR}=\frac{\underline{U}_{30}-\underline{U}_{0R}}{\underline{Z}_{TR}};\underline{I}_{TR}=\frac{\underline{U}_{10}}{\underline{Z}_f}\cdot\left(a+\frac{\underline{Z}_{0e}}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\right) \tag{19}$$

În aceste relaţii $\underline{I}_{RR}$, $\underline{I}_{SR}$ şi $\underline{I}_{TR}$ sunt curenţii iar $\underline{Z}_{RR}$, $\underline{Z}_{SR}$ şi $\underline{Z}_{TR}$ sunt impedanţele echivalente între nodurile O_1-O_2, când este întreruptă faza R. În acest caz:

$$\underline{Z}_{RR}=\infty;\underline{Z}_{SR}=\underline{Z}_{TR}=\underline{Z}_f \tag{20}$$

Căderile de tensiune $\underline{U}_{CRR}$, $\underline{U}_{CSR}$ şi $\underline{U}_{CTR}$ pe condensatoarele legate în stea, sunt:

$$\underline{U}_{CRR}=\underline{I}_{RR}\cdot\underline{Z}_C;\underline{U}_{CRR}=0 \tag{21}$$

$$\underline{U}_{CSR}=\underline{I}_{SR}\cdot\underline{Z}_C;\underline{U}_{CSR}=\frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_f}\cdot\left(a^2+\frac{\underline{Z}_{0e}}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\right)\cdot\underline{U}_{10} \tag{22}$$

$$\underline{U}_{CTR}=\underline{I}_{TR}\cdot\underline{Z}_C;\underline{U}_{CTR}=\frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}_f}\cdot\left(a+\frac{\underline{Z}_{0e}}{2\cdot\underline{Z}_{0e}+\underline{Z}_f}\right)\cdot\underline{U}_{10} \tag{23}$$

Curentul care trece prin conductorul de nul, cu faza R întreruptă este:

$$\underline{I_{0R}} = \underline{I_{RR}} + \underline{I_{SR}} + \underline{I_{TR}}; \underline{I_{0R}} = -\frac{\underline{U_{10}}}{2 \cdot \underline{Z_{0e}} + \underline{Z_f}} \tag{24}$$

Căderile de tensiune pe C_1 şi C_2 sunt:

$$\underline{U_{C1R}} = \underline{I_{0R}} \cdot \underline{Z_{C1}}; \underline{U_{C1R}} = -\frac{\underline{Z_{C1}}}{2 \cdot \underline{Z_{0e}} + \underline{Z_f}} \cdot \underline{U_{10}} \tag{25}$$

$$\underline{U_{C2R}} = \underline{I_{0R}} \cdot \underline{Z_{C2}}; \underline{U_{C2R}} = -\frac{\underline{Z_{C2}}}{2 \cdot \underline{Z_{0e}} + \underline{Z_f}} \cdot \underline{U_{10}} \tag{26}$$

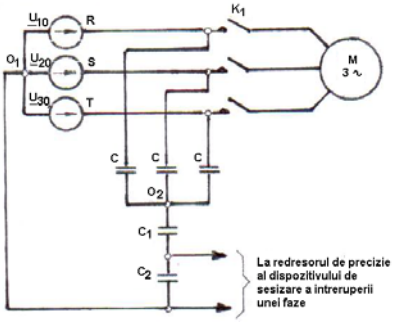

Fig. 2 Schema simplificată, pentru determinarea valorilor C, C_1 şi C_2

Dacă se neglijează impedanţele $\underline{Z_L}$, $\underline{Z_{Te}}$ şi $\underline{Z_0}$, în comparaţie cu $\underline{Z_C}$, $\underline{Z_{C1}}$ şi $\underline{Z_{C2}}$, schema electrică din fig.1. se simplifică (figura 2) şi în cazul întreruperii fazei R, tensiunea de deplasare a nulului este:

$$\underline{U_{0R}} = -\frac{\underline{U_{10}}}{2 + \frac{\underline{Z_C}}{\underline{Z_0}}} \tag{27}$$

în care:

$$\underline{Z_0} = \underline{Z_{C1}} + \underline{Z_{C2}}; \underline{Z_0} = -\frac{j}{\omega} \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \tag{28}$$

Cu (27), (13) şi (2), rezultă:

$$\underline{U_{0R}} = -\frac{C \cdot (C_1 + C_2)}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{29}$$

În modul, tensiunea de deplasare a nulului este:

$$U_{0R} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2)}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot U_f \tag{30}$$

Curentul care trece prin conductorul neutru este:

$$\underline{I_{0R}} = \frac{\underline{U_{0R}}}{\underline{Z_0}}; \underline{I_{0R}} = \frac{\underline{U_{0R}}}{\underline{Z_{C1}} + \underline{Z_{C2}}} \tag{31}$$

Rezultă:

$$\underline{I_{0R}} = -j \cdot \omega \cdot C \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{32}$$

În continuare se calculează căderile de tensiune pe condensatoarele C_1 şi C_2. Căderea de tensiune pe condensatorul C_1, la întreruperea fazei R este:

$$\underline{U_{C1R}} = \underline{I_{0R}} \cdot \underline{Z_{C1}}; \underline{U_{C1R}} = -\frac{C_2 \cdot C}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{33}$$

Deci:

$$U_{C1R} = -\frac{C_2 \cdot C}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot U_f \tag{34}$$

Căderile de tensiune pe condensatorul C_2, în acest caz, se calculează cu:

$$\underline{U_{C2R}} = \underline{I_{0R}} \cdot \underline{Z_{C2}}; \underline{U_{C2R}} = -\frac{C_1 \cdot C}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{35}$$

În modul această tensiune este:

$$U_{C2R} = \frac{C_1 \cdot C}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot U_f \tag{36}$$

Căderile de tensiune U_{C1R}, U_{C2R} şi U_{0R} sunt în fază şi de aceea:

$$U_{0R} = U_{C1R} + U_{C2R} \tag{37}$$

Se impune ca la ieşirea divizorului capacitiv să se obţină o tensiune de k_u ori mai mică decât căderea de tensiune pe reactanţa X_{C1}:

$$U_{C2R} = \frac{1}{k_u} \cdot U_{C1R} \tag{38}$$

Cu (38) şi (37) se obţine:

$$U_{C2R} = \frac{U_{0R}}{k_u + 1} \tag{39}$$

Înlocuind în (39), relaţiile (30) şi (36) după simplificări, se obţine relaţia dintre valorile capacităţilor divizorului capacitiv C_1-C_2:

$$C_2 = k_u \cdot C_1 \tag{40}$$

Când se întrerupe faza R, înainte de contactorul K_1, căderile de tensiune pe condensatoarele C sunt:

$$\underline{U_{CRR}} = \underline{Z_C} \cdot \underline{I_{RR}}; \Delta U_{CRR} = 0V \tag{41}$$

$$\underline{U_{CSR}} = \underline{U_{20}} - \underline{U_{0R}}; \underline{U_{CSR}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (a - 1) + C_1 \cdot C_2 \cdot a}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot a \cdot \underline{U_{10}} \tag{42}$$

$$\underline{U_{CTR}} = \underline{U_{30}} - \underline{U_{0R}}; \underline{U_{CTR}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (1 - a) + C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot a \cdot \underline{U_{10}} \tag{43}$$

4. Determinarea căderilor de tensiune pe condensatoarele sesizorului capacitiv, la întreruperea fazei S

În cazul schemei simplificate din figura 2, dacă se întrerupe faza S, procedând în acelaşi mod se obţine tensiunea de deplasare a nulului:

$$\underline{U_{0S}} = -\frac{a^2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2)}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{44}$$

$$U_{0S} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2)}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot U_f \tag{45}$$

şi căderile de tensiune pe condensatoarele C_1, C_2 şi C:

$$\underline{U_{C1S}} = -\frac{C_2 \cdot C \cdot a^2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{46}$$

$$\underline{U_{C2S}} = -\frac{C_1 \cdot C \cdot a^2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{47}$$

$$\underline{U_{CRS}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (1 - a) + C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{48}$$

$$\underline{U_{CSC}} = 0V$$

$$\underline{U_{CTS}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (1 - a^2) + C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot a \cdot \underline{U_{10}} \tag{49}$$

5. Determinarea căderilor de tensiune pe condensatoarele sesizorului capacitiv, la întreruperea fazei T

În acest caz tensiunea de deplasare a nulului se determină cu:

$$\underline{U_{0T}} = -\frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot a}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{50}$$

Căderile de tensiune pe condensatoarele C_1 şi C_2 sunt:

$$\underline{U_{C1T}} = -\frac{C_2 \cdot C \cdot a}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{51}$$

$$\underline{U_{C2T}} = -\frac{C_1 \cdot C \cdot a}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{52}$$

Căderile de tensiune pe condensatoarele legate în stea se calculează cu:

$$\underline{U_{CRT}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (1 - a^2) + C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot \underline{U_{10}} \tag{53}$$

$$\underline{U_{CST}} = \frac{C \cdot (C_1 + C_2) \cdot (1 - a) + C_1 \cdot C_2}{2 \cdot C \cdot (C_1 + C_2) + C_1 \cdot C_2} \cdot a^2 \cdot \underline{U_{10}} \tag{54}$$

6. Determinarea valorilor capacităţilor condensatoarelor C, C_1 și C_2

Din cele prezentate anterior, rezultă că între tensiunile de deplasare a nulului, la întreruperea pe rând, a fazelor R, S şi T, sunt adevărate relaţiile:

$$\underline{U_{0S}} = a^2 \cdot \underline{U_{0R}} \tag{55}$$

$$\underline{U_{0T}} = a \cdot \underline{U_{0R}} \tag{56}$$

Tensiunea de depasare a nulului $\underline{U_{0R}}$ se determină cu (30). Deci pentru cele trei situaţii, tensiunile de deplasare a nulului sunt egale în modul:

$$U_{0R} = U_{0S} = U_{0T} \tag{57}$$

Şi între căderile de tensiune pe condensatoarele C_1 şi C_2, pentru cele trei cazuri, avem:

$$\underline{U_{C1S}} = a^2 \cdot \underline{U_{C1R}} \tag{58}$$

$$\underline{U_{C1T}} = a \cdot \underline{U_{C1R}} \tag{59}$$

$$\underline{U_{C2S}} = a^2 \cdot \underline{U_{C2R}} \tag{60}$$

$$\underline{U_{C2T}} = a \cdot \underline{U_{C2R}} \tag{61}$$

Căderile de tensiune $\underline{U_{C1R}}$ şi $\underline{U_{C2R}}$, se calculează cu expresiile (32) şi (34). Căderile de tensiune pe condensatorul C_1 respectiv, pe C_2, la întreruperea fazelor R, S şi T, sunt egale în modul:

$$U_{C1R} = U_{C1S} = U_{C1T} \tag{62}$$

$$U_{C2R} = U_{C2S} = U_{C2T} \tag{63}$$

Pentru determinarea valorilor capacităţilor condensatoarelor C, C_1 şi C_2, prima dată se impun valorile capacităţilor C (C = 10 nF) legate în stea în scopul realizării neutrului artificial.

De asemenea se impun: căderea de tensiune pe condensatorul C_2 (U_{C2R} = 6 V), valoarea condensatorului C_2 (C_2 = 220 nF) şi raportul k_u dintre tensiunile U_{C1R} şi U_{C2R} (k_u = 5), considerând că este întreruptă faza R. Deci U_{C1R} = 30 V. Utilizând relaţia (37) rezultă U_{0R} = 36 V.
Cu formulele (30) şi (40) se obţine valoarea condensatorului C_1:

$$C_1 = \frac{C \cdot (1 + k_u) \cdot (U_f - 2 \cdot U_{0R})}{k_u \cdot U_{0R}} \tag{64}$$

Rezultă: C_1 = 49,3 nF. Se alege valoarea normalizată C_1 = 47 nF. Cu valorile normalizate ale condensatoarelor C_1 şi C_2 utilizând relaţia (40), se obţine k_u = 4,68. Cu aceste date rezultă tensiunea de deplasare a

nulului (U_{0R} = 37,46 V) şi căderile de tensiune pe divizorul capacitiv (U_{C1R} = 30,87 V, U_{C2R} = 6,59 V).

7. Concluzii

■ În lucrare se concepe şi se realizează sesizorul capacitiv de întrerupere a unei faze între sursă şi bornele de intrare în contactorul K_1 (figura 1.), prin controlul tensiunilor de fază care este operativ numai când sursa are fir neutru.

■ S-au stabilit relaţiile (29), (44) şi (50) de calcul a tensiunii de deplasare a nulului, când sunt întrerupte pe rând fazele R, S şi T. Pentru aceleaşi deranjamente, s-au determinat căderile de tensiune (33), (46) şi (51) pe condensatorul C_1 şi (35), (47) şi (52) pe condensatorul C_2. Aceste condensatoare formează divizorul capacitiv al sesizorului de absenţă a tensiunii pe una dintre fazele tensiunii de alimentare.

■ De asemenea s-a stabilit procedeul de dimensionare a divizorului capacitiv şi modul de calcul a capacităţii condensatorului C_1 (relaţia (64)).

BIBLIOGRAFIE

[1] Gudumac, M., *Releu de protecţie pentru maşini şi transformatoare electrice*, Brevet de invenţie RO 91343, 1987.

[2] Patriche, D., *Releu electronic de protecţie a electromotoarelor*, Brevet de invenţie, RO 91681, 1987.

[3] Popa, I., *Contribuţii la protecţia motoarelor electrice de joasă tensiune*, Teză de doctorat, Universitatea “Politehnica” Timişoara, 1998.

[4] Saimac, A., Cruceru, C., *Electrotehnica*, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1981.

[5] Teodorescu, D., *Maşini electrice. Soluţii noi, tendinţe, orientări*, Editura Facla, Timişoara, 1981.

Conf.Dr.Ing. Iosif POPA
membru AGIR, iosif.popa@fih.upt.ro
Şef lucr.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA
membru AGIR, membru IEEE
Conf.Dr.Ing. Sorin Ioan DEACONU
membru AGIR, membru IEEE
Universitatea „Politehnica” Timişoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara