

ANALIZA REGIMULUI DE FUNCȚIONARE A GENERATORULUI ASINCRON CU AUTOECITAȚIE CAPACITIVĂ

S.Postoronca, V.Berzan, Iu. Ermurachi

Rezumat. În baza metodei simbolice de calcul a circuitelor electrice se analizează particularitățile de funcționare a generatorului asincron cu trei faze cu excitare capacitivă și cu două înfășurări pe stator. Sunt prezentate rezultatele analizei variației unghiului decalajului de fază dintre curenții în înfășurarea de excitație și tensiunea electromotoare la schimbarea sarcinii generatorului de la regimul de mers în gol până la regimul de scurtcircuit. Sunt formulate recomandări privind procedeul de stabilizare a tensiunii generatorului la varierea sarcinii lui.

Cuvinte cheie: generator asincron, excitație capacitivă, factor de calitate.

Анализ режима работы асинхронного генератора с емкостным возбуждением

С. Посторонка, В.Берзан, Ю.Ермураки

Аннотация. На основе символического метода расчета электрических цепей выполнен анализ особенностей работы трехфазного асинхронного генератора с двумя обмотками на статоре и емкостным возбуждением. Представлены результаты анализа влияния на фазовый угол тока и ЭДС обмотки возбуждения генератора при изменении его нагрузки от режима холостого хода до режима короткого замыкания. Сформулированы рекомендации по стабилизации выходного напряжения генератора при изменении его нагрузки.

Ключевые слова: асинхронный генератор, емкостное возбуждение, добротность.

The analysis of an operating mode of the asynchronous generator with capacitor excitation

S.Postoronca, V.Berzan, Iu. Ermurachi

Abstract. On the basis of a symbolical method of calculation of electric circuits the analysis of features of work of the three-phase asynchronous generator with two windings on stator and capacitor excitation is executed. Results of the analysis of influence on a phase angle of a current and voltage of windings of excitation of the generator are presented at the change of its load from a regime of idling up to regime of short circuit. Recommendations on stabilization of a target voltage of the generator are formulated at the change of its load.

Key words: asynchronous generator, capacitor excitation, quality factor.

1.Introducere

Mașina asincronă cu rotorul în scurtcircuit poate funcționa în mai multe regimuri: motor asincron, generator asincron, frână electromagnetică [1]. În calitate de sursă de putere reactivă pentru generatorul asincron se folosește de obicei o baterie de condensatoare electrice sau rețeaua electrică de distribuție centralizată.

Problema asigurării funcționării stabile a generatorului asincron utilizat ca sursă de curent electric într-o rețea electrică autonomă este foarte dificilă și până în prezent nu are o soluție cât de cât satisfăcătoare pentru sistemele autonome eoliene de generare a energiei electrice.

Scopul acestei lucrări constă în analiză regimurilor de autoexcitație și funcționare a generatorului asincron cu două înfășurări pe stator, studiarea caracterului evoluției curenților în înfășurări și în sarcină.

Metodologia studiului se bazează pe utilizarea teoriei clasice a electrotehnicii teoretice de analiză a circuitelor cu metoda simbolică de calcul a circuitelor electrice. Mașina asincronă se prezintă prin scheme echivalente de circuite electrice, care țin cont de modalitățile de conexiune ale înfășurărilor statorului și a bateriei de condensatoare.

2.Generator asincron trifazat cu două înfășurări pe stator

Vom examina un generator cu trei faze, care include două înfășurări amplasate în creștăturile statorului. Fazele înfășurărilor sunt conectate în schemă de autotransformator. Una

din înfășurări o vom numi înfășurarea de excitație, iar înfășurarea a doua a statorului - de lucru.

Fie că fluxul magnetic fundamental al mașinii străbate circuitele înfășurărilor statorului și ca urmare în fazele înfășurărilor statorului și rotorului apar tensiunile electromotoare respective: de excitație ℓ_e - (înfășurarea de excitație), generatorului ℓ_g - (înfășurarea de lucru), a fazei rotorului ℓ_r - (înfășurarea rotorului). Sub acțiunea acestor tensiuni electromotoare în circuitele mașinii asincrone apar curenții corespunzători. Deoarece înfășurările statorului sunt realizate ca înfășurări trifazate și sunt absolut simetrice, reiese că tensiunile electromotoare în faze se descriu de relațiile:

a) Înfășurarea generatorului

$$\begin{aligned}\ell_{gA} &= E_{mg} \sin \omega t \\ \ell_{gB} &= E_{mg} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \ell_{gC} &= E_{mg} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)\end{aligned}\tag{1}$$

b) Înfășurarea de excitație:

$$\begin{aligned}\ell_{eA} &= E_{e.A} \sin \omega t \\ \ell_{eB} &= E_{e.A} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \ell_{eC} &= E_{e.A} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)\end{aligned}\tag{2}$$

Deoarece mașina asincronă trifazată este o mașină simetrică se poate trece la examinarea raportului dintre curenți și tensiuni pentru o singură fază. Această ipoteză simplifică modelul matematic și procedura de analiză, dar totodată păstrând toate particularitățile caracteristice ale proceselor din mașină.

Sa menționăm următoarea ipoteză. Mașina asincronă se prezintă ca un obiect liniar și deci, parametrii în schemele echivalente care se vor examina au valori constante. Valorile parametrilor nu depind de curenți și tensiuni.

2.1. Mașina trifazată fără pierderi la conexiunea racordată a fazelor înfășurărilor de excitație și generare

Schema echivalentă este prezentată de fig.1. Înfășurările sunt amplasate în aceleași creștături ale statorului. La faza dată de analiză nu vom ține cont de pierderi și deci vom examina un circuit ideal.

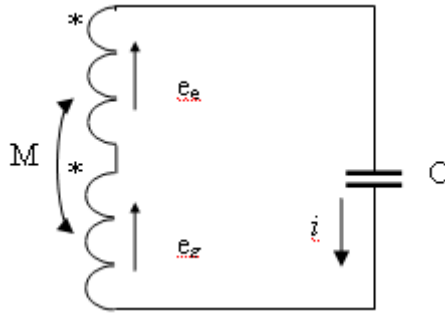


Fig.1. Schema echivalentă a fazei generatorului asincron cu excitație capacitivă

Fluxul magnetic al mașinii induce în înfășurări tensiuni electromotoare:

$$\begin{aligned} \ell_g &= E_g \sin \omega t, \\ \ell_e &= E_e \sin \omega t, \end{aligned} \quad (3)$$

unde: ℓ_g, ℓ_e - valorile instantanee induse ale tensiunilor electromotoare în înfășurarea generatorului și în înfășurarea de excitație;

E_g, E_e - amplitudinile tensiunilor electromotoare induse în înfășurări;

C - capacitatea unei faze a bateriei de condensatoare;

ω - frecvența curentului generatorului asincron.

Pentru circuitul prezentat de schema fig.1 se pot întocmi relațiile:

$$\begin{aligned} \ell &= \ell_g + \ell_e \\ i(z_g + z_e + 2z_M + z_C) &= \ell \end{aligned} \quad (4)$$

unde:

i - curentul în circuit;

z_g - impedanța fazei înfășurării generatorului;

z_e - impedanța fazei înfășurării de excitație;

z_M - impedanța mutuală dintre înfășurările de excitație și de generare;

z_C - impedanța fazei bateriei de condensatoare;

ℓ - tensiunea electromotoare instantanee echivalentă a circuitului.

Pentru metoda simbolică de calcul, relațiile (4) se pot prezenta în forma clasică:

$$\dot{i}(Z_g + Z_e + 2Z_M + Z_C) = \dot{E} = \dot{E}_g + \dot{E}_e \quad (5)$$

unde: $Z_g = j\omega L_g$, $Z_e = j\omega L_e$, $Z_M = j\omega M$, $Z_C = -j\frac{1}{\omega C}$;

Din ecuația (5) se determină relația de calcul al curentului din circuit:

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_g + \dot{E}_e}{j\left(\omega L_g + \omega L_e + 2\omega M - \frac{1}{\omega C}\right)}; \quad (6)$$

Condiția de excitare a generatorului asincron cu excitare capacitivă este următoarea:

$$b = 0, \text{ deci} \\ b = \omega L_g + \omega L_e + 2\omega M - \frac{1}{\omega C}; \quad (7)$$

Pentru o mașină ideală, curentul în circuitul statorului în regim de excitare la mers în gol tinde spre infinit.

2.2. Mașina trifazată cu pierderi în miezul de fier și în cuprul înfășurărilor.

Dacă ținem cont de pierderi (mașina reală), atunci creșterea curentului în regim de rezonanță este limitată. În schema echivalentă a fazelor, la conexiunea lor racordată, apare un element nou-rezistența activă (vezi schema fig.1). Valoarea rezistenței este echivalentă pierderilor totale de energie în mașină.

La funcționarea în regim de generare la un flux constant de magnetizare, valoarea curentului în circuitul fazelor și condensatoarelor de excitație se determină din relația:

$$\dot{I}_f = \frac{\dot{E}_g + \dot{E}_e}{R_{cir} + j\left[\omega(L_g + L_e + 2M) - \frac{1}{\omega C}\right]} \quad (8)$$

și în acest caz condițiile de excitare constau în bilanțul puterii reactive din circuitul exterior (condensatoarele) și a elementelor inductive din circuitul mașinii asincrone.

În regim de rezonanță valoarea maximă a curentului se limitează de rezistența activă echivalentă a circuitului R_{cir} , și se calculează conform expresiei:

$$I_f = \frac{\dot{E}_g + \dot{E}_e}{R_{cir}} \quad (9)$$

Deoarece în circuitul analizat avem procesul de schimb a energiei acumulată consecutiv în câmpul magnetic al mașinii și în câmpul electric al condensatorului, se pot caracteriza proprietățile acestui circuit prin factorul de calitate Q_{cir} . [3, 35]:

$$Q_{cir} = \frac{\omega(L_g + L_e + 2M)}{R_{cir}} = \frac{1}{\omega C R_{cir}} \quad (10)$$

La mersul în gol, spirele înfășurării de excitație și a înfășurării de lucru a generatorului sunt circulate de același curent. Deoarece forța de magnetizare a mașinii este proporțională

produsului $I(W_e + K_F W_g)$, reiese că și valoarea fluxului magnetic va fi proporțională curentului în circuit, unde W_e, W_g - numărul de spire al înfășurării de excitație și al înfășurării de lucru a generatorului, K_F - coeficientul care ține cont de decalajul de fază.

Să menționăm, că conform teoremei sau legii inducției electromagnetice tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea de lucru a generatorului va fi proporțională valorii fluxului magnetic și a vitezei lui de variație. Viteza de variație este proporțională numărului de turații a generatorului. La rândul său, aceste turații sunt determinate de numărul de poli ai mașinii și de valoarea frecvenței curentului pe care îl produce generatorul. Deoarece există cerințele standardelor privind frecvența curentului sau tensiunii generate, care trebuie să aibă o valoare constantă, reiese că pentru a asigura o valoare stabilă a tensiunii generatorului trebuie să menținem constant fluxul magnetic fundamental al mașinii la diferite sarcini. Este cunoscut faptul, că la încărcarea mașinii electrice există fenomenul de dezmagetizare și micșorare a fluxului echivalent al mașinii. Micșorarea fluxului conduce la căderea tensiunii de ieșire și micșorarea calității energiei produse.

Se poate menționa de asemenea, că la utilizarea mașinii asincrone în calitate de generator fluxul magnetic depinde și de alunecarea rotorului față de câmpul electromagnetic produs de înfășurările statorului. Regimul de funcționare a generatorului asincron în componența instalației electrooliene se caracterizează de un cuplu variabil al forțelor la axul generatorului și deci, a variației alunecării rotorului pentru cazul valorii constante a frecvenței. Varierea alunecării rotorului la schimbarea vitezei vântului conduce la pulsația fluxului magnetic și la varierea tensiunii de ieșire a generatorului. În acest caz apare problema de supraveghere permanentă a fluctuațiilor fluxului și reglarea ultimului cu scopul stabilizării tensiunii.

Intervenția de reglare a fluxului este realizabilă numai prin schimbarea curentului în înfășurarea generatorului. Deoarece numărul de spire și geometria sunt parametri constanți pentru mașina dată, iar schimbarea capacității bateriei de condensatoare conduce la varierea frecvenței curentului și tensiunii, din relația (10) reiese, că unica posibilitate de a comanda cu valorile fluxului magnetic în generatorul asincron cu excitație capacitivă este reglarea factorului de calitate $Q_{cir.}$. Menținerea valorii factorului de calitate constant în varianta $L_g, L_e, M, \omega, C = cont$ se poate realiza prin reglarea rezistenței active echivalente $R_{cir.}$ a circuitului oscilatoriu.

În condițiile descrise de funcționare a generatorului, stabilizarea curentului în circuitul înfășurării de excitație asigură automat stabilizarea tensiunii de ieșire a generatorului la varierea sarcinii sau cuplului de forțe aplicate la axul generatorului (alunecarea rotorului).

3. Influența sarcinii asupra regimului de funcționare a generatorului. Conexiunea racordată a fazelor înfășurărilor statorului

În fig. 2 este prezentată schema echivalentă a circuitului format din fazele înfășurărilor la o conexiune fără decalaj de fază a vectorilor tensiunilor electromotoare induse în aceste înfășurări.

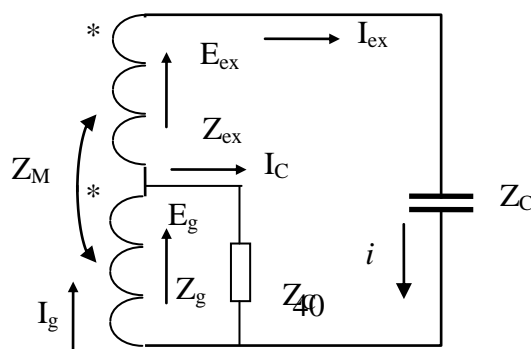


Fig.2. Schema echivalentă a unei faze a generatorului sub sarcină.

În corespundere cu teoremele Kirhhgoff obținem relațiile:

$$\begin{aligned} \dot{I}_g &= \dot{I}_{ex} + \dot{I}_s \\ \dot{I}_g Z_g + \dot{I}_{ex} Z_m + \dot{I}_{ex} Z_{ex} + \dot{I}_g Z_m + \dot{I}_{ex} Z_e &= \dot{E}_g + \dot{E}_{ex} \\ \dot{I}_g Z_g + \dot{I}_{ex} Z_m + \dot{I}_s Z_H &= \dot{E}_g \end{aligned} \quad (11)$$

Sistemul de ecuații (11) ne permite să determinăm curenții circuitului. Curentul \dot{I}_s se determină din relația următoare:

$$\dot{I}_s = \frac{\dot{E}_g + \dot{E}_{ex}}{Z_g + Z_m - \frac{Z_g + Z_s}{Z_g + Z_m} (Z_g + Z_{ex} + 2Z_m + Z_C)}, \quad (12)$$

iar curentul în faza înfășurării de excitație din expresia:

$$\dot{I}_{ex} = \frac{\dot{E}_g + \dot{E}_{ex}}{(Z_g + Z_{ex} + 2Z_m + Z_C) - \frac{(Z_g + Z_s)^2}{Z_g + Z_s}}, \quad (13)$$

Expresiile (12) și (13) ne permit să determinăm unghiul decalajului de fază al curenților \dot{I}_{ex} și \dot{I}_s și a tensiunii electromotoare a circuitului.

Vom modifica relația (13):

$$\frac{\dot{E}_g + \dot{E}_{ex}}{\dot{I}_{ex}} = \frac{\dot{E}_f}{\dot{I}_{ex}} = (Z_g + Z_{ex} + 2Z_m + Z_C) - \frac{(Z_g + Z_s)^2}{Z_g + Z_s}. \quad (13a)$$

Raportul $\frac{\dot{E}_f}{\dot{I}_{ex}} = Z_f$ prezintă o impendanță. Vom nota $\frac{(Z_g + Z_s)^2}{Z_g + Z_s} = Z'_K$ și impendanța

Z_K se poate prezenta în formă algebrică. Vom descifra componentele Z'_K și Z''_K :

$$\begin{aligned} \frac{(Z_g + Z_s)^2}{Z_g + Z_s} &= \frac{(R_g + R_s) [R_g^2 + (X_g + X_m)^2] + (X_g + X_m) \cdot 2R_g (X_g + X_m)}{(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_m)^2} - \\ &- j \frac{[2R_g (R_g + R_s)] (X_m + X_g) - [R_g^2 (X_g + X_m)^2] (X_m + X_g)}{(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2} = R'_K - jX'_K \end{aligned}$$

Corespunzător avem pentru componentele următoarea componentă relația:

$$Z_K'' = Z_g + Z_{ex} + 2Z_m + Z_C = R_g + R_{ex} + R_C + j(X_g + X_{ex} + 2X_m - X_C) = R_K'' + jX_K'' \text{ și}$$

$$\text{impedanța } Z_f = R_K' + R_K'' + j(X_K'' - X_K').$$

Partea reală a impedanței Z_f :

$$R_K = \frac{R_K'' \left[(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2 \right] - (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right] - 2R_g (X_g + X_m)(X_g + X_m)}{(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_m)^2}$$

Partea imaginară a impedanței Z_f :

$$X_K = \frac{X_K'' \left[(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2 \right] - (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right] - 2R_g (X_g + X_s)(X_g + X_m)}{(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_m)^2}$$

În acest caz tangenta unghiului decalajului de fază a curentului \dot{I}_{ex} și tensiunii electromotoare în înfășurarea de excitație se determină din raportul:

$$tg\varphi_{ex} = \frac{X_K}{R_K} = \frac{X_K'' \left[(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2 \right] - (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right] - 2R_g (X_g + X_s)(X_g + X_m)}{R_K'' \left[(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2 \right] - (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right] - 2R_g (X_g + X_m)(X_g + X_m)}$$

Din condiția de excitare a generatorului asincron reiese că componenta $X_K'' = 0$. În acest caz relația obținută se simplifică:

$$tg\varphi_{ex} = \frac{-2R_g (X_g + X_s)(X_g + X_m) + (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right]}{R_K'' \left[(R_g + R_s)^2 + (X_g + X_s)^2 \right] - 2R_g (X_g + X_m)(X_g + X_m) - (R_g + R_s) \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right]} \quad (14)$$

Din (14) avem pentru $R_s = \infty$ (mers în gol) $tg\varphi_{ex} = 0$ și deci, decalajul de fază dintre curentul \dot{I}_{ex} și tensiunea electromotoare este egală cu zero.

La un scurtcircuit a generatorului $R_s = 0$ și $X_s = 0$ tangenta unghiului decalajului de fază se determină din expresia:

$$tg\varphi_{ex} = \frac{2R_g X_g (X_g + X_m) + R_g \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right]}{R_K'' \left[R_g^2 + X_g^2 \right] - 2R_g X_g (X_g + X_m) - R_g \left[R_g^2 + (X_g + X_m)^2 \right]} \quad (15)$$

Relația (15) după simplificări se reduce la următoarea expresie:

$$tg\varphi_{ex.} = \frac{X_g^2 - X_m^2 - R_g^2}{R_K'' R_g + X_g^2 \left(\frac{R_K''}{R_g} - 3 \right) - X_m (4X_g + X_m) - R_g^2} \quad (16)$$

Dacă vom ține cont de raportul real al parametrilor din relația (16), reieșind din aceea, că $X_g > X_m$ și $X_g > R_g$, $X_m > R_g$, obținem:

$$tg\varphi_{ex.} \approx \frac{X_g^2 - X_m^2}{X_g^2 \left(\frac{R_K''}{R_g} - 3 \right) - X_m (4X_g + X_m)}$$

Vom presupune, că $X_g \gg X_m$, aceea ce poate avea loc în mașina asincronă, și relația obținută mai sus se mai simplifică:

$$tg\varphi_{ex.} \cong \frac{X_g}{X_g \left(\frac{R_K''}{R_g} - 3 \right) - 4X_m}$$

Să analizăm varianta $L_g = M$, ceea ce se poate ușor realiza, dacă este în vigoare condiția $W_{ex} > W_g$, unde W_{ex} și W_g - numărul de spire în fazele înfășurărilor de excitație și de lucru a generatorului.

Din (14) obținem:

$$tg\varphi_{ex.} \approx \frac{-R_g^2}{X_g^2 \left(\frac{R_K''}{R_g} - 8 \right)} \quad (17)$$

Deoarece $R_K'' = R_g + R_{ex} + R_C$, și dacă numărul de spire a înfășurărilor nu diferă foarte mult se poate estima, că mărimea $R_K'' \approx (2 \div 3)R_g$, sau $\frac{R_K''}{R_g} \approx (2 \div 3)$. Ținând cont de această observație expresia (17) se transformă în următoarea relație:

$$tg\varphi_{ex.} \approx \frac{1}{(5 \div 6)Q_g^2}, \text{ unde } Q_g = \frac{X_g}{R_g} - \text{factorul de calitate al înfășurării la frecvența de}$$

50Hz. Ținând cont de pierderile din fierul mașinii asincrone, valoarea factorului de calitate constituie 5-7 unități la frecvența de 50 Hz. La faza preliminară a analizei se poate defini următoarea ipoteză: factorul de calitate al electromotorului asincron cu rotorul în scurtcircuit este egal cu raportul curentului de demarare și a curentului în regim nominal.

Pentru mașinile cu puterea de zeci de kW acest raport este limitat și de obicei constituie 6÷7 unități. Pentru varianta de realizare constructivă analizată ($L_g = M$), și $Q_o \approx 7$, ușor se poate de evaluat valoarea tangentei decalajului de fază a curentului și tensiunii în înfășurarea de excitație:

$$\operatorname{tg} \varphi_{ex} \approx \frac{1}{(5 \div 6) Q_g^2} = \frac{1}{(5 \div 6) \cdot 7^2} \approx \frac{1}{250} = 0,004 .$$

Valoarea obținută corespunde unui unghi de decalaj foarte mic și confirmă, ca circuitul analizat se află în regim de rezonanță a tensiunii.

Vom examina varianta, când pierderile în mașina asincronă și în circuitul cu condensatoare sunt egale, deci, $R_g + R_{ex} = R_C$, și sunt mult sub valorile componentelor reactive X_g , X_m și X_C . În baza acestei ipoteze obținem următoarele relații:
 $Z_g \approx jX_g$; $Z_{ex} = jX_{ex}$; $Z_m = jX_m$,
 $(Z_g + Z_m)^2 = j^2(X_g + X_m)^2 = -(X_g + X_m)^2$,

iar în forma algebrică:

$$Z_f = R_C + \frac{(X_g + X_m)^2 R_s}{R_s^2 + (X_g - X_s)^2} + j \left[X_K'' - \frac{(X_g + X_m)^2 (X_g - X_s)}{R_s + (X_g - X_s)^2} \right] \quad (18)$$

În regim autoexcitat pentru generator este valabilă condiția $X_K'' = 0$ și relația (18) se simplifică:

$$Z_f = \frac{R_C (R_s^2 + X_g^2)^2 + (X_g + X_m)^2 R_s - j (X_g + X_m)^2 X_g}{R_s^2 + X_g^2}, \quad (19)$$

și din (19) obținem expresia

$$\operatorname{tg} \varphi_{ex} = - \frac{(X_g + X_m)^2 X_g}{R_C (R_s^2 + X_g^2)^2 + (X_g + X_m)^2 R_s}$$

Este mai comod să analizăm funcția inversă a $\operatorname{tg} \varphi_{ex}$. În acest caz obținem relația:

$$ctg \varphi_{ex} = -\frac{R_s}{X_g} \left[1 + \frac{R_C}{R_s} \frac{1 + \frac{R_s^2}{X_g^2}}{\left(1 + \frac{X_m}{X_g}\right)^2} \right] \quad (20)$$

Să ținem cont de ipotezele formulate anterior, și deci, să notăm că $R_C = R_K$ și include toate pierderile din circuitul analizat. Vom analiza două extreme – regimul de scurtcircuit $R_s = 0$ și de mers în gol $R_s = \infty$ pentru înfășurarea generatorului. Pentru varianta $R_s = 0$ funcția $ctg \varphi_{ex}$ este descrisă de relația:

$$ctg \varphi_{ex} = -\frac{R_k}{X_g} \frac{1}{\left(1 + \frac{X_m}{X_g}\right)^2}$$

și pentru $R_s = \infty$ este valabilă expresia $ctg \varphi_{ex} = \infty$.

Reiese, că la varierea sarcinii, unghiul decalajului de fază dintre curentul înfășurării de excitație și tensiunea electromotoare indusă de fluxul magnetic al mașinii variază în limitele

$$-\frac{R_k}{X_g} \frac{1}{\left(1 + \frac{X_m}{X_g}\right)^2} < \varphi_{ex} < -\frac{\pi}{2}$$

Pentru mașina asincronă reală, raportul $0 < \left(\frac{X_m}{X_g}\right) < K_m$, unde $K_m < 2$.

Deoarece raportul $\frac{X_g}{R_K}$ se poate prezenta ca parametru echivalent, care caracterizează

factorul de calitate al înfășurării generatorului $Q_g = \frac{X_g}{R_K}$, care de asemenea are o valoare

limitată, reiese că diapazonul de evoluție al unghiului decalajului de fază se poate estima conform expresiei:

$$-\frac{1}{Q_g (1 + K_m)^2} < \varphi_{ex} < -\frac{\pi}{2}$$

Pentru $Q_g \approx 5 - 7$, și $K_m \approx 1$ obținem că:

$$-\frac{\pi}{3,14} < \varphi_{ex} < -\frac{\pi}{2}$$

4. Concluzii

Rezultatele analizei evoluției unghiului decalajului de fază pentru schema de conexiune a fazelor înfășurărilor prezentată în fig.2 conduc la următoarele concluzii:

1. La mersul în gol unghiul decalajului de fază dintre fazorul curentului prin înfășurarea de excitație este mic și este determinat de pierderile de energie în circuitul examinat. În acest circuit avem regimul de rezonanță a tensiunilor.
2. La un scurtcircuit al înfășurării de lucru al generatorului decalajului de fază tinde spre $-\frac{\pi}{2}$ și deci curentul rămâne în urma fazorului tensiunii electromotoare.
3. Componenta din cuadratură conduce la micșorarea forței de magnetizare și la dezmagetizarea mașinii asincrone, care funcționează în regim autonom cu excitație capacitivă.
4. Tensiunea generatorului cade, chiar și la creșterea alunecării rotorului ca urmare a majorării sarcinii active a generatorului.

5. Bibliografia

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Л., Энергия, 1974, 840 с.
2. Berzan V., Ermurachi Iu. About a stable running of an asynchronous generator in a structure of the wind power installation/ Conferința de Energetică Industrială cu participare internațională CEI. Ediția IV-a. Bacău 24-25 octombrie 2003.
3. Афанасьев Б.П., Гольдин О.Е., Кляцкин И.Г. и др. Теория линейных электрических цепей. М.: Высшая школа, 1973. -592с.

Lucrarea este îndeplinită în cadrul proiectului „*Elaborarea și încercarea generatorului asincron trifazat cu turații joase și cu excitație capacitivă*”, cifrul 44.001P, Hotărârea CSSDT nr. 2 din 28.01.05, Programul de stat „*Asigurarea competitivității produselor industriale în construcția de mașini în baza inovațiilor Know-How, materialelor noi și a tehnologiilor avansate*”

Informații despre autori.

S. Postoronca. Cercetător științific la institutul de Energetică al AȘM. Domeniul intereselor științifice. Diagnoza echipamentului energetic cu metode indistructive de control, sisteme a electronicii de putere pentru conversia energiei electrice, valorificarea surselor regenerabile de energie. Autor a cca. 18 publicații științifice, menționat cu medalii de bronz a Expoziției Internaționale IFOINVENT (Chișinău).

V.Berzan. Dr. hab. în tehnică, director adjunct pe probleme de știință a Institutului de Energetică al AȘM. Domeniul intereselor științifice. Diagnoza indistructivă a echipamentului electroenergetic, procese nestaționare în circuite electrice neomogene, modelarea matematică, transportul energiei electrice la distanțe mari, surse regenerabile de energie. Autor a peste 160 lucrări științifice, inclusiv monografii 10.

Iu. Ermurachi. Inginer coordonator al institutului de Energetică al AȘM. Domeniul intereselor științifice: electromecanica și sisteme electromecanice de conversie a energiei, electronica de putere. Autor a 35 de lucrări științifice.