

## ZONELE DE EXCITAȚIE CAPACITIVĂ STABILĂ A MAȘINILOR ASINCRONE TIPICE ÎN REGIM DE GENERARE

**Postoronca Sv., Bârladeanu A., Berzan V., Tîrșu V., Ermurachi Iu.**

**Institutul de Energetică al AȘM**

**E-mail: berzan@ie.asm.md**

**Rezumat.** În lucrare sunt examinate unele particularități ale regimurilor de excitație capacitivă a motoarelor electrice asincrone industriale și a generatoarelor executate în baza lor, care pot fi utilizate în instalații eoliene de putere mică. S-au determinat hotarele zonelor stabile de excitație capacitivă a motoarelor electrice asincrone cu puterea de 0,25-22 kW și a generatoarelor executate în baza lor, precum și caracterul influenței pierderilor proprii de energie în mașină și a puterii active a sarcinii raportate la parametrii schemei echivalente a ei. S-au formulat unele recomandări privind asigurarea excitației capacitive stabile a mașinilor asincrone la utilizarea lor pentru generarea energiei electrice.

Cuvinte-cheie: mașina asincronă, excitație capacitivă, generator.

## ЗОНЫ УСТОЙЧИВОГО ЕМКОСТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ТИПОВЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН

**Посторонка С., Бырладеану А., Берзан В., Тыршу В., Ермураки Ю.**

**Институт энергетики АНМ**

**E-mail: berzan@ie.asm.md**

**Аннотация.** В работе рассмотрены некоторые особенности режима емкостного возбуждения промышленных асинхронных электродвигателей, а также изготовленных на их базе генераторов, которые могут быть использованы в ветровых установках малой мощности. Были определены границы зон устойчивого емкостного возбуждения асинхронных электродвигателей номинальной мощностью 0,25-22,0 кВт и генераторов, изготовленных на их базе, а также характер влияния собственных потерь и активной мощности нагрузки, приведенной к параметрам схемы замещения асинхронной машины. Даны некоторые рекомендации по обеспечению устойчивости емкостного возбуждения асинхронных машин для работы в режиме генерации электрической энергии.

**Ключевые слова:** асинхронная машина, емкостное возбуждение, генератор.

## ZONES OF STEADY CAPACITOR EXCITATION IN A MODE OF GENERATION OF TYPICAL ASYNCHRONOUS MACHINES

**Postoronca Sv., Bârladeanu A., Berzan V., Tîrșu V., Ermurachi Iu.**

**Institute of Power Engineering ASM**

**E-mail: berzan@ie.asm.md**

**Abstract.** In work some features of a mode of capacitor excitation of industrial asynchronous electric motors, and also generators made on their base which can be used in wind installations of low power are considered. Borders of zones of steady capacitor excitation of asynchronous electric motors in rated power of 0,25-22,0 kW and generators made on their base, and also character of influence of own losses and active capacity of loading of the equivalent circuit of the asynchronous machine resulted in parameters have been determined. Some recommendations after maintenance of stability of capacitor excitation of asynchronous machines for work in a mode of generation of electric energy are given.

**Key words:** induction machine, capacitive excitation, generator.

### 1. Introducere

Energia electrică ocupă un loc deosebit în structura economiei contemporane, iar electroenergetica, care include producerea transportul și distribuția ei este considerată în calitatea unei ramuri de bază în structura economiei. Cu excluderea instalațiilor fotovoltaice și a celulelor de combustie, energia electrică este preponderent produsă de către convertoarele electromecanice, ce transformă energia mecanică aplicată la rotorul mașinii electrice rotative în energie electrică prin intermediul unui câmp magnetic. Vom menționa faptul, că indiferent de

genul resurselor energetice primare utilizate pentru producerea energiei electrice, convertorul electromecanic rămâne până în prezent cel mai eficient echipament de producere a energiei electrice.

Tendențele actuale de sporire a volumului de producere a energiei electrice în baza surselor regenerabile de energie se confruntă cu mai multe probleme tehnice și tehnologice, inclusiv privind conversia energiei cinetice a fluxurilor de vânt în energie electrică.

Energia eoliană, împreună cu energia solară, astăzi are cele mai evidente creșteri anuale de cca. 25%, grație faptului, că în prezent s-a format o industrie modernă în acest segment al energiei.

Cea mai extinsă utilizare în tehnologiile de conversie a energiei vântului o au până în prezent generatoarele sincrone. Neajunsul lor principal constă în existența inelelor și a sistemului de perii necesare pentru alimentarea înfășurării rotorului cu curent continuu. Acest neajuns în prezent se poate exclude prin utilizarea magneților permanenți [1-3], dar frecvența și tensiunea la bornele de ieșire a generatoarelor asincrone depinde de viteza vântului.

Conversia energiei cinetice a vântului este posibilă și la utilizarea în calitate de convertor electromecanic a mașinii electrice asincrone, dar și aceste generatoare cu excitație capacitivă sunt influențate de instabilitatea vitezei vântului și a sarcinii lor [4,5].

Simplitatea constructivă, indicii de fiabilitate ridicați, tehnologiile de producție puse bine la punct, precum și accesibilitatea mașinilor asincrone de orice putere pentru consumator se prezintă ca un avantaj esențial, privind utilizarea lor în instalațiile eoliene pentru producerea energiei electrice.

Comun pentru toate generatoarele, fie de tip sincron sau asincron, rămâne problema excitării lor și determinarea zonelor de excitație stabilă. Deci, pentru a utiliza mașina asincronă în calitate de generator este necesar de avut informația credibilă privind zona de excitație stabilă a mașinii la diferite viteze a rotorului și a frecvențelor curentului alternativ produs de acest generator.

Scopul acestei lucrări constă în determinarea zonelor de excitație stabilă a mașinilor asincrone produse de industrie în serii mari, care pot fi utilizate în regim de generare a energiei electrice în instalații eoliene autonome de mică putere sau în microhidrocentrale.

## **2. Particularitățile procesului de excitație a mașinii asincrone.**

Generatorul asincron cu excitație capacitivă prezintă un obiect cu capacități ale unui circuit RLC cu legături de reacție inversă. Generatorul asincron se poate prezenta ca un sistem de reglare automată, care are circuitul de trecere directă și circuitul buclei reacției inverse. Fizic, bucla de reacție inversă este prezentată de procesele de interacțiune ale componentelor câmpului magnetic, formate de înfășurările statorului și rotorului la scurgerea curenților prin aceste circuite. Fluxul magnetic fundamental al mașinii, care influențează asupra tuturor elementelor funcționale, inclusiv și asupra valorilor parametrilor acestor subsansambluri funcționale se poate prezenta ca un mediu integral de derulare a proceselor complexe în mașină.

La dotarea mașinii asincrone cu condensatoare electrice și vitezei unghiulare de mișcare a rotorului apropiate de viteza sincronă a câmpului învârtitor este posibil fenomenul de autoexcitație în circuitul RLC, deci formarea regimului de generare a curenților cu frecvența determinată de parametrii circuitului LC.

Este cunoscut faptul [6], că pentru menținerea regimului de oscilație în schema RLC este necesar de acoperit pierderile de energie în acest circuit de la o sursă exterioară. În mașina asincronă, care funcționează în regim de generare această sursă poate fi de genuri diferite, inclusiv ca urmare a conversiei energiei mecanice aduse la rotor în energie electrică. În teoria

generatoarelor de semnale electrice sinusoidale sunt formulate condițiile de obținere a regimului de generare. Aceste condiții constau în menținerea balanțelor fazei și a amplitudinilor în circuitul de tipul RLC..

În teoria clasică este descris mecanismul de excitație a circuitelor de tipul RLC [7,8]. Conform acestei teorii este necesar ca, caracteristica volt-amper a condensatorului să aibă o derivată mai mică ca caracteristica de magnetizare a mașini asincrone. Este necesar de menționat, că curba de magnetizare a mașinii electrice rotative la tensiuni și curenți mici poate avea o neliniaritate la valori mici a tensiunii electromotoare și condiția privind coraportul derivatelor ramurilor circuitului RLC necesar pentru apariția regimului de autooscilație poate să nu se îndeplinească pentru aceste condiții.

În circuitul RLC al mașinii electrice în regim oscilatoriu (de generare) sunt acoperite pierderile de energie de forța exterioară. În regim de repaus (frânare) prin înfășurarea rotorului va circula un curent a cărui valoare este determinată din relația [6]:

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{(r_r)^2 + (x_r)^2}}, \quad (1)$$

unde  $I_r$  - curentul rotorului;

$r_r$  - rezistența activă a fazei înfășurării rotorului;

$x_r$  - rezistența reactivă a fazei înfășurării rotorului.

Tensiunea electromotoare, impedanța circuitului înfășurării statorului și curentul în acest circuit sunt funcții de alunecare a rotorului față de câmpul magnetic învârtitor al mașinii. La apropierea vitezei unghiulare a rotorului de viteza sincronă a câmpului magnetic valorile acestor mărimi se micșorează și totodată se micșorează și pierderile în rotor, atât magnetice, cât și cele condiționate de curentul electric. Deoarece mașina asincronă este un transformator specific, reiese că parametrii rotorului se pot raporta la parametrii înfășurării statorului și schema echivalentă devine asemănătoare cu aceea a aparatului electromagnetic static - a transformatorului[7 2].

Valoarea curentului rotorului raportat la primarul mașinii se determină din cunoscuta relație:

$$I_r' = \frac{E_r' s}{\sqrt{(r_r')^2 + (x_r')^2 s^2}} = \frac{E_r'}{\sqrt{[r_r' + \frac{r_r'(1-s)}{s}]^2 + (x_r')^2}}, \quad (2)$$

unde  $I_r', E_r'$  - curentul și tensiunea electromotoare a fazei circuitului rotorului raportați la înfășurarea statorului;

$r_r', x_r'$  - rezistența activă și reactivă a fazei înfășurării rotorului raportate la înfășurarea statorului;

$s$  - alunecarea rotorului față de câmpul învârtitor al mașinii asincron.

În regim de generare viteza de mișcare a rotorului depășește viteza câmpului învârtitor și componenta rezistenței active  $r_r' \frac{1-s}{s}$  în schema echivalentă devine negativă. Fizic obținem, că rotorul din consumator de energie devine sursă și aceasta corespunde puterii mecanice absorbite

de la axul antrenat de o forță exterioară  $P_2 = m_2 I_r^2 r_2 \frac{1-s}{s}$ , unde  $m_2$  numărul de faze a circuitului rotorului mașinii asincrone. La îndeplinirea condiției sus menționate avem o schimbare a direcțiilor curenților în circuitele înfășurărilor rotorului și statorului și a fluxului de putere în mașină. În comparație cu regimul de motor puterea  $P_2$  obține o valoare negativă.

Vectorul tensiunii  $E_r'$  și în regim de generare își păstrează direcția tensiunii de echilibru electric în circuitul rotorului, pe când curentul își schimbă direcția. Această stare corespunde cerinței, ca în circuitul RLC în regim de generator elementul secundar să aibă o valoare negativă a rezistenței[6].

Pentru a asigura un proces oscilatoriu fără amorsare în timp este necesar ca pentru circuitul RLC să fie valabilă condiția[1] :

$$\frac{Li^2}{2} > \frac{1}{4} Ri^2 T, \quad (3)$$

unde  $L, R, T$  – inductanța și rezistența circuitului și perioada procesului de oscilație;  $i$  - valoarea instantanee a curentului în circuitul RLC.

La funcționarea mașinii asincrone în regim de generare cu excitație capacitivă din punct de vedere a automatizării se pot evidenția următoarele blocuri funcționale: sursa de energie – motor de antrenare, oscilatorul- circuitul format din capacități și inductivitatea mașinii și circuitul de reacție inversă între circuitele rotorului și statorului prin fluxul magnetic fundamental al mașinii [6]. Rolul supapei în această schemă îi revine rotorului. Aceasta reiese din faptul, că la alunecări mici ale rotorului apare un curent aproape în fază cu curentul din faza statorului și fluxurile formate de acești curenți se sumează, asigurând creșterea fluxului total al mașinii. La altă poziționare a statorului curentul în faza lui atinge valoarea zero și nu mai are loc injecția puterii din rotor în stator. Injecția energiei din rotor în stator are loc practic prin porțiuni în momente bine stabilite de poziționare a rotorului în spațiu față de înfășurarea statorului. Acest regim de interacțiune a rotorului cu statorul corespunde mecanismului de menținere a oscilațiilor într-un circuit pasiv LC cu pierderi, care este bine cunoscut în radiotehnică. În schema echivalentă a

mașinii asincrone componenta  $-\frac{r_r'}{s}$  reprezintă influența circuitului rotorului asupra regimului de funcționare a mașinii și energia externă conversată de rotor este unica sursă de acoperire a disipării energiei în mașină. De aceea este evident faptul menținerii regimului de oscilație în mașină: în orice moment de timp puterea activă introdusă din circuitul rotorului să depășească valoarea puterii asimilate de mașină și sarcină. Acest regim este posibil începând cu o valoare oarecare a alunecării. În alt caz nu mai avem sursa necesară de acoperire a pierderilor, și deci și de asigurare a regimului de autoexcitație stabilă. Ultima observație ne sugerează ipoteza, că există o valoare critică a vitezei mașinii la care este posibilă excitația ei. Deoarece avem o legătură dură dintre numărul de poli a mașinii, viteza sincronă a câmpului învârtitor și frecvența proprie de rezonanță a circuitului RLC, apare posibilitatea de a asigura excitația mașinii asincrone la diferite viteze unghiulare a rotorului. Aceasta se poate face prin majorarea sau micșorarea capacității bateriei de condensatoare utilizată ca sursă de putere reactivă pentru mașina asincronă.

În afară de acest factor mai există o condiție care este necesar de luat în considerație la examinarea regimurilor de autooscilație în mașina asincronă. În funcție de valoarea fluxului magnetic remanent al mașinii și micșorarea lui sub influența diferitor factori interni și externi se va modifica și tensiunea electromotoare generată de acest flux în funcție de frecvența proprie de

oscilație a circuitului cu atingerea fazei de cădere a procesului oscilator în circuit. Deci există o valoare critică a capacității de excitație pentru mașina dată pentru care este posibil existența regimului oscilator la numărul dat de turații a rotorului. Aceasta este o urmare a imposibilității de acoperire a pierderilor de energie în mașină în aceste condiții. În schema echivalentă aceste pierderi sunt determinate de valoarea rezistenței active a conturului RLC. La micșorarea acestei rezistențe se va micșora și valoarea marginală a limitei de jos privind numărul de turații a rotorului la care va avea loc excitația stabilă.

Dacă valoarea inductanței circuitului RLC este determinată de starea magnetică a mașinii și se asigură o valoare oarecare a curentului în circuitul RLC cu îndeplinirea condiției  $E I_L > U_c I_C$ , reiese, că mașina funcționează cu proprietăți de amplificator și se asigură creșterea fluxului fundamental a mașinii în timp până la stabilirea regimului. Regimul staționar al oscilațiilor este posibil de atins în mod natural sau forțat la îndeplinirea condiției  $E I_L = U_c I_C$ , unde  $I_L, I_C$  - curenții prin inductanță și capacitatea condensatoarelor blocului de excitație capacitivă. Stabilizarea naturală a regimului oscilatoriu are loc ca urmare a neliniarității caracteristicii mașinii asincrone  $E = f(I_L)$ . Atingerea forțată a regimului staționar se poate face prin redistribuirea puterii active pe parcursul unei perioade a oscilației; de exemplu prin conectarea sau deconectarea pe o durată determinată de timp a unei rezistențe active suplimentare la circuitul RLC.

La creșterea alunecării are loc o deplasare în spațiu a axei fazei înfășurării rotorului față de axa fazei înfășurării statorului și prin aceasta se micșorează legătura mutuală între aceste înfășurări. Valoarea unghiului decalajului de fază poate atinge și  $90^0$  electrice și în acest caz nu se va pompa energie din rotor în stator pentru acoperirea pierderilor în circuitul oscilator.

Problema excitării mașinii asincrone detaliat a fost studiată experimental în lucrarea [1]. Zona de autoexcitație este prezentată ca funcția  $\omega = f(\Omega)$ , unde  $\omega$  - viteza unghiulară a câmpului învârtitor și  $\Omega$  - viteza unghiulară de rotație a rotorului. Acest studiu s-a executat pentru  $C = \text{var}$ . În caz dacă numărul de perechi de poli  $p=1$  această caracteristică prezintă o linie dreaptă înclinată sub un unghi de  $45^0$ . Concluzia în acest caz constă în aceea, că pentru limita marginală de jos a zonei de excitație a mașinii asincrone valorile mărimilor  $\omega$  și  $\Omega$  sunt apropiate. Totodată autorii au depistat faptul existenței unui fenomen de histerezis după frecvență pentru fenomenul de excitație a mașinii asincrone în regim de generator. Experimental s-a demonstrat existența unei frecvențe critice marginale de sus pentru valoarea dată a capacității la care este posibilă o excitație stabilă a generatorului.

Calcularea valorilor frecvențelor critice pentru oscilațiile în conturul RLC și vitezele critice ale rotorului se poate face în baza relațiilor [1]:

$$\omega_{c.j.} = \frac{1}{\sqrt{L_\mu C}}; \quad \omega_{c.s.} = \frac{1}{\sqrt{(L_\mu + L'_{rs})C}};$$

$$|s_{c.j.}| = \frac{r_1 r_2' C}{L_\mu}; \quad |s_{c.s.}| = \frac{r_2'}{r_1}; \quad (4)$$

$$\Omega_{c.j.} = \frac{1}{p\sqrt{L_\mu C}} \left(1 + \frac{r_1 r_2' C}{L_\mu}\right); \quad \Omega_{c.s.} = \frac{r_1 + r_2'}{p r_1} \sqrt{\frac{1}{(L_{1s} + L'_{rs})C}};$$

unde:  $\omega_{c.j.}; \omega_{c.s.}$  - frecvența unghiulară marginală a limitei de jos și a limitei de sus a curentului în circuitul oscilator în zona de excitație stabilă;  $L_{\mu}$  - inductanța circuitului de magnetizare a mașinii; C- capacitatea condensatorului de excitație;  $|s_{c.j.}|; |s_{c.s.}|$  - alunecarea la valorile limită de jos și sus a frecvenței de excitație;  $r_1; r_r'$  - rezistența activă a înfășurării statorului și rezistența rotorului raportată la înfășurarea statorului;  $\Omega_{c.j.}; \Omega_{c.s.}$  - frecvența unghiulară a rotorului;  $L_{1s}; L_{rs}$  - inductanța fluxului de scăpări a înfășurării statorului și inductanța fluxului de dispersie a rotorului raportat la primarul mașinii; p- numărul de perechi de poli ai mașinii.

Relațiile (4) ne permit să calculăm valorile marginale de limită pentru zona stabilă de excitație a mașinilor asincrone pentru diferite viteze de mișcare a rotorului și la diferite valori ale capacității condensatoarelor de excitație.

### 3. Rezultate ale analizei zonelor de excitație a mașinilor asincrone de construcție tipică

În baza relațiilor (4) și valorilor parametrilor mașinilor asincrone tipice s-au efectuat calcule ale bandei zonei de excitație stabilă a mașinilor asincrone de diferită putere nominală în regim de generare, care pot să fie utilizate în instalații eoliene de mică putere. Calculele s-au efectuat pentru diferite viteze de rotație, reieșind din ipoteza, că a varierea numărului de rotații a rotorului devierile valorilor parametrilor mașinii în schema echivalentă se pot neglija. Ca viteze de bază s-au selectat valorile de 500 și 375 rot/min a rotorului mașinilor tip produse pe cale industrială.

Rezultatele acestor calcule sunt prezentate în fig. 1-5.

Observăm (fig.1) că există două grupări de mașini pentru care evoluția bandei de excitație în funcție de frecvența de rezonanță a statorului și vitezei unghiulare a rotorului diferă: grupul de mașini cu puterea până la 7,5 kW și cu o putere mai mare. Pentru aceste grupări frecvența de rezonanță a tensiunii este mai ridicată pentru mașinile cu puterea mai mică și se micșorează pentru cele care au o putere nominală mai mare. Totodată această bandă de excitație stabilă este mai îngustă pentru mașinile cu putere mai mare, deci zona dintre curbele care prezintă valorile limită a frecvențelor de excitație pentru regimul de rezonanță a curenților (frecvența  $\omega_{c.j.}$ ) și regimul de rezonanță al tensiunilor (frecvența  $\omega_{c.s.}$ )

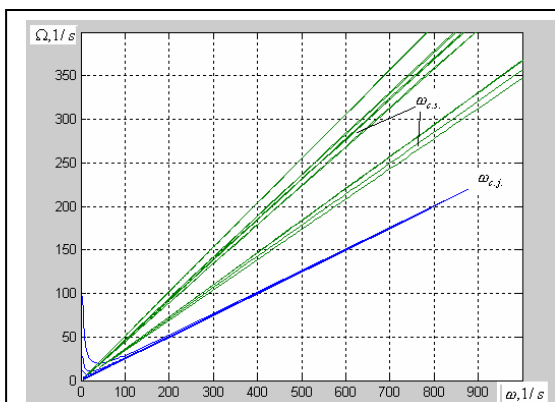


Fig. 1a Zona de excitație stabilă a mașinilor cu p=4 și puterea  $P_2= 0,25-22$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$ .

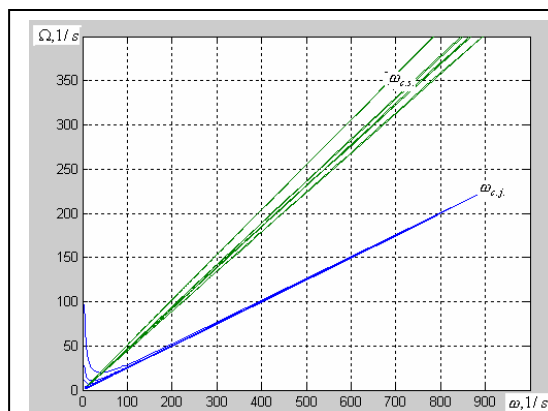


Fig. 1b Zona de excitație stabilă a mașinilor cu p=4 și puterea  $P_2= 0,25-7,5$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$ .

La frecvențe mici are loc o limitare a zonei de excitație a mașinilor cu puterea mică (fig.1b). Aceasta corelează cu caracteristicile obținute experimental pentru mașina asincronă cu frecvența curentului de 1000Hz [1].

Pentru a obține o informație, fie și relativă, despre influența numărului de poli privind parametrii zonelor de excitație stabilă s-a efectuat calculele respective pentru o mașină cu viteza sincronă de 375 rot/min ( numărul de poli  $p=12$ ). Caracteristicile obținute pentru aceste mașini sunt prezentate în fig.2.

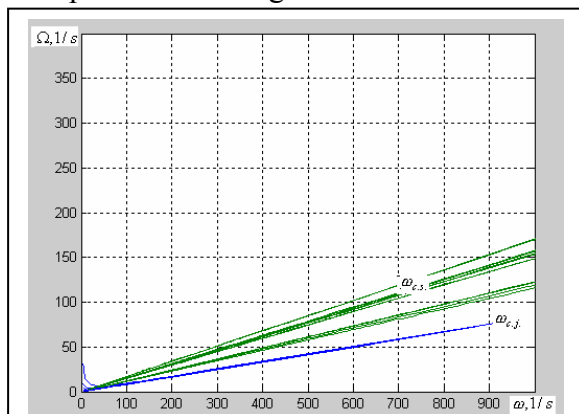


Fig.2a. Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=12$  și puterea  $P_2= 0,25-22$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$ .

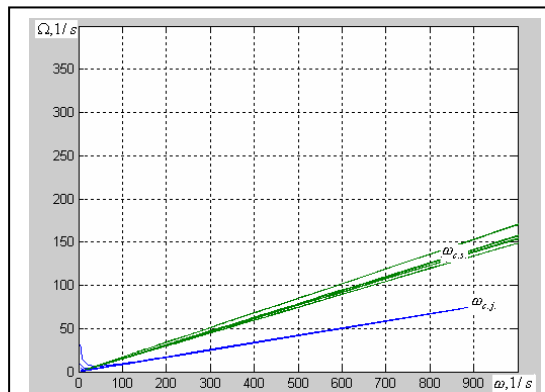


Fig.2b. Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=12$  și puterea  $P_2= 0,25-7,5$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$ .

În baza datelor din fig.2, reiese, că micșorarea vitezei sincronă a rotorului mașinii are ca consecințe diminuarea lățimii zonei stabile de excitație capacitivă. Totodată mai pronunțat se evidențiază plasarea limitei zonei spre frecvențe mai ridicate și la viteze mai ridicate a limitei de jos a frecvenței de excitație, mai ales pentru mașinile cu puterea nominală mică. Se poate menționa, că pentru mașina cu  $p=12$  s-a considerat, că este valoarea puterii nominale a generatorului coincide cu puterea generatorului cu numărul de perechi de poli  $p=4$ .

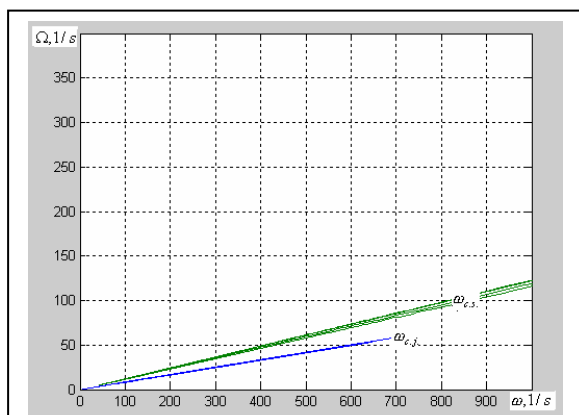


Fig.2c Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=12$  și puterea  $P_2= 11,0-22,0$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$ .

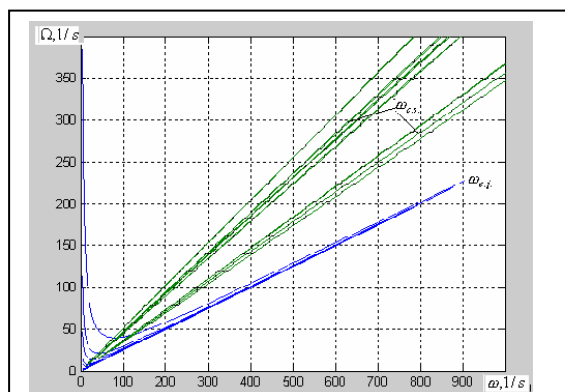


Fig.3a. Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=4$  și puterea  $P_2= 0,25-22$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$  și rezistențele active majorate de 2 ori

Dacă vom ține cont de faptul, că generatorul asincron, în comparație cu motorul asincron are o micșorare de putere de circa 25% în gabaritele date, atunci se poate admite că și rezistența activă a înfășurărilor statorului și a rotorului la generator vor fi mai ridicate în comparație cu valorile caracteristice pentru electromotorul asincron în gabaritul căruia s-a executat generatorul. Din această cauză este natural de așteptat, că pentru generatorul asincron rebobinat condițiile de excitație vor fi mai puțin favorabile. În baza metodologiei date se poate studia cantitativ semnificația influenței rezistenței active asupra caracteristicii zonei de excitație stabilă doar majorând valorile rezistențelor active a mașinii în schema echivalentă. În fig.3 sunt prezentate evoluțiile valorilor marginale de limită a zonei de excitație capacitivă ale mașinii asincrone cu viteza sincronă  $N= 750$  rot/min la creșterea rezistenței active. Această creștere este echivalentă regimului de încărcare a mașinii și excitația ei sub sarcină.

Zona de excitație capacitivă stabilă a generatorului asincron este influențată de cota pierderilor mașinii și de componenta activă a sarcinii alimentate de generator (fig.3). Mașinile de putere mică sunt mai sensibile la schimbările valorii rezistenței echivalente active totale, care include atât pierderile proprii, cât și puterea activă absorbită de sarcina ei. Ca urmare hotarele zonei stabile de excitație capacitivă a acestor generatoare se plasează spre valori mai ridicate a vitezelor unghiulare. La creșterea valorii rezistenței active echivalente a mașinii, ie ca urmare a sporirii pierderilor proprii sau a creșterii sarcinii se formează un fascicul de caracteristici a hotarelor zonei de excitație pentru frecvența critică de jos, care corespunde regimului de rezonanță a curenților în circuitul paralel LC. Vom menționa, că acest regim constituie regimul normal de funcționare a generatoarelor asincrone cu excitație capacitivă.

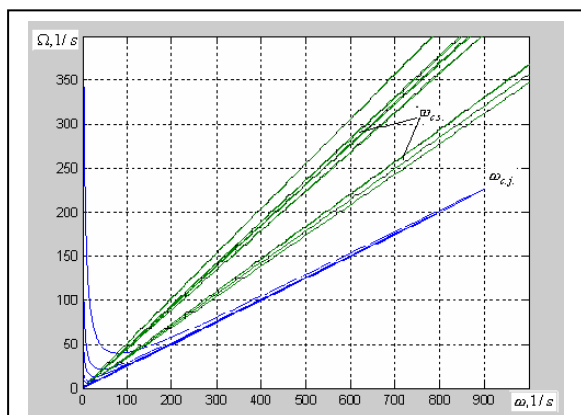


Fig.3b. Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=4$  și puterea  $P_2= 0,25-22$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$  și rezistențele active majorate de 4 ori în comparație cu valoarea lor nominală

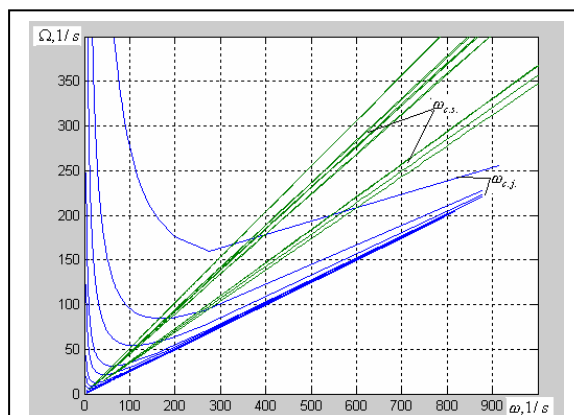


Fig.3c. Zona de excitație stabilă a mașinilor cu  $p=4$  și puterea  $P_2= 0,25-22$  kW la parametrii nominali și  $C= 1-50000 \mu F$  și rezistențele active majorate de 4 ori în comparație cu valoarea lor nominală

La creșterea pierderilor ieșim din zona de excitație și mașina își pierde funcția de generator, chiar dacă avem posibilitate să ridicăm viteza unghiulară a rotorului cu trecerea la regimul de excitație bazat pe fenomenul de rezonanță a tensiunilor în mașină. Punctului de



intersecție a caracteristicilor hotarelor limită a zonei de excitație ( $\omega_{c.j.}$  - regimul de rezonanță a curenților și  $\omega_{c.s.}$  - a tensiunilor) i se poate atribui denumirea de regim critic pentru funcționarea mașinii asincrone în regim de generare.

În anexa A.1 sunt prezentate date privitor la parametrii mașinilor asincrone produse pe cale industrială cu viteza sincronă  $n=750$  rot./min.

În baza rezultatelor analizei zonelor de excitație stabilă se pot determina și particularitățile de evoluție a caracteristicilor zonelor de excitație capacitivă și în funcție de numărul de poli ai mașinii. Dacă vom lua ca bază frecvența de 50Hz a curentului produs de generator atunci se pot determina valorile limită a frecvenței unghiulare a rotorului în limitele cărora se poate asigura regimul de excitație capacitivă a stabilă a generatoarelor asincrone.

În tabelul 1 sunt prezentate datele generalizate despre zona stabilă de excitație a generatoarelor confecționate în baza mașinilor asincrone cu viteza sincronă  $n=750$  rot/min. De menționat că aceste date sunt o generalizare și se bazează pe ansamblul standard de date a mașinilor asincrone culese din îndrumar. Totuși aceste datele aceste ne indică posibilitățile confecționării generatorului asincron robust la turații joase.

Tabelul 1.

Zona generalizată a excitației stabile a generatoarelor asincrone la turații joase pentru  $\omega = 314,1/s$ .

Numărul de perechi de poli p	4	6	8	12
Frecvența unghiulară de jos, $\Omega_j, 1/s$	75	50	35	25
Frecvența unghiulară de sus (putere mică), $\Omega_{s1}, 1/s$	150	100	60	50
Frecvența unghiulară de sus (putere mică), $\Omega_{s2}, 1/s$	110	70	52	35

#### 4. Concluzii

- Mașina asincronă poate funcționa ca generator atât în regim de rezonanță a curenților, cât și de rezonanță a tensiunilor la excitația ei capacitivă.
- Mașinile asincrone de putere mică (0,25-22kW) după caracteristicile zonelor de excitație capacitivă stabilă se pot diviza în două grupe: cu puterea nominală sub 7,5 kW și cele de putere mai ridicată. Mașinile cu puterea mai mare se pot excita în regimul de rezonanță a tensiunii la frecvențe mai joase. Totodată zona de excitație capacitivă a acestor mașini este mai îngustă în comparație cu parametrii zonei de excitație a mașinile de putere mică.
- La creșterea numărului de perechi de poli zona de excitație capacitivă stabilă a generatoarelor asincrone devine mai îngustă, deoarece crește cota fluxului de dispersie a mașinii.
- Pierderile proprii și puterea activă absorbită de către sarcină influențează asupra stabilității excitației capacitive a generatorului. Pentru generatorul asincron există un regim critic al raportului vitezei de mișcare a rotorului și vitezei unghiulare a câmpului învârtitor la

atingerea căruia este imposibil de asigurat regimul de excitație capacitivă și funcționarea mașinii asincrone ca generator.

## 5. Bibliografia

1. Китаев А.В., Орлов И.Н. О физическом механизме самовозбуждения асинхронной машины. Электричество № 4, 1974г. СС. 47-15.
2. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник/ Кравчик А.Э., Шлаф М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. М.: Энергоатомиздат 1982. -504с.
3. Проектирование электрических машин./ под общей редакцией П.С. Сергеева.М.-Л.: ГЭИ, 1956г.- 504с.
4. Автономный источник электроэнергии. / Атрощенко В.А. и др., Патент РФ №93052095, H02M5/16, 1996.06.27.
5. Устройство для автоматического регулирования напряжения асинхронного генератора / Богатырь П.И. и др., Патент РФ №2145764, H02P9/46, 2000.02.20
6. Радиотехнические цепи и сигналы. Под ред. К.А.Самойло.М.: Радио и связь, 1982г.- 527с.
7. Tudor S. Ambros. Mașini electrice . Vol.1. Chișinău: Univers, 1992.- 479p.
8. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Л.: Энергия. – 648с.

**Анеха 1.**  
Tabelul A.1.

Parametrii mașinilor asincrone de tip 4A cu viteza sincronă de rotire  $n=750$  rot/min.

$P_2, kW$	$L_\mu, H$	$L_{s1}, H$	$r_1, Ohm$	$L'_r, H$	$r'_r, Ohm$	$L_{s1}/L_\mu$
0.25	0.8079	0.1212	46.5105	0.1885	48.6246	0,15
0.37	0.6495	0.0799	29.8062	0.1449	25.1000	0,123
0.55	0.4547	0.0560	18.6701	0.1014	16.4736	0,123
0.75	0.3379	0.0390	11.4270	0.0754	8.9784	0,115
1.1	0.2801	0.0300	8.1682	0.0600	6.9115	0,107
1.5	0.2224	0.0237	5.1217	0.0475	4.3302	0,106
2.2	0.1712	0.0126	3.3339	0.0194	2.9754	0,074
3.0	0.1451	0.0100	2.2779	0.0154	2.3633	0,069
4.0	0.1075	0.0067	1.4341	0.0114	1.2232	0,062
5.5	0.0930	0.0057	1.2485	0.0098	0.9891	0,061
7.5	0.0795	0.0056	0.9365	0.0072	0.3996	0,0704
11.0	0.0549	0.0041	0.5685	0.0049	0.2670	0,102
15.0	0.0528	0.0029	0.4420	0.0037	0.2072	0,053
18.5	0.0483	0.0024	0.3909	0.0030	0.1517	0,05
22.0	0.0484	0.0022	0.3042	0.0028	0.1423	0,046

**S. Postoronca.** Cercetător științific la 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).

**A.Bârladeanu.** Cercetător științific la Institutul de Energetică al AȘM. Domeniul intereselor științifice. Diagnoza echipamentului energetic cu metode indistructive, energeti ca eoliană, sisteme electromecanice de conversie, inclusiv generatoarele asincrone. Autor a cca. 60 publicații științifice, menționat cu medalii de bronz a Expoziției Internaționale :Eureka( Belgia),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.

**V.Tîrșu.** Inginer programator la Institutul de Energetică al AȘM. Autor a 8 publicații științifice

**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.