

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI



Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 621.314.26(043)

CALOȘIN DANILA

**STUDIUL INTERCONEXIUNII FLEXIBILE DINTRE SISTE-
MELE ENERGETICE IN BAZA TRANSFORMATOARELOR
CU CONVERSIE DE FRECVENȚĂ**

221.01 – SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Chișinău, 2021

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului „**Electroenergetică și Electrotehnică**”, a **Universității Tehnice a Moldovei (UTM)**, Școala doctorală „**Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică**”

Conducători științifici:

POSTOLATI Vitalii

doctor habilitat în științe tehnice, academician, IE

TIRȘU Mihail

doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, IE

Referenți oficiali:

AMBROS Tudor

doctor habilitat în științe tehnice, prof. univ., UTM

ZAIȚEV Dmitrii

doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, IE

POPESCU Victor

doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, UASM

Membrii ai Comisiei de Doctorat (CD):

CHIORSAC Mihail

doctor habilitat în științe tehnice, prof. univ., UTM, președinte

GUTU-CHESTRUȘCA Corina

doctor în științe tehnice, lector universitar, UTM, secretar

STRATAN Ion

doctor în științe tehnice, prof. univ., UTM

Susținerea tezei va avea loc la **9 septembrie 2021, ora 10⁰⁰** în ședința Comisiei de Doctorat ad-hoc din cadrul Școlii doctorale „Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică” a Universității Tehnice a Moldovei (aprobată prin decizia Comisii de Doctorat (CD) 221.01 din 09.06.2021 nr. 01), MD-2012, Republica Moldova, or. Chișinău, str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-211.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Tehnico-Științifică a Universității Tehnice a Moldovei și la pagina web a C.N.A.A. (www.cnaa.md).

Rezumatul a fost expedit la 29 iunie 2021.

Secretar științific

al Comisiei de Doctorat,

doctor în științe tehnice,

lector universitar,

GUTU-CHESTRUȘCA Corina

Conducători științifici:

doctor habilitat în științe tehnice,

academician,

doctor în științe tehnice,

conferențiar universitar,

POSTOLATI Vitalii

TIRȘU Mihail

Autor:

CALOȘIN Danila

© CALOȘIN DANILA, 2021

Actualitatea cercetării

Procesul de integrare a sistemelor energetice și formarea interconexiunilor rețelelor între state (IRS) și a interconexiunilor dintre rețelele integrate intercontinentale (IRII) este o tendință globală. Sunt formate, se formează și studiate perspectivele dezvoltării (IRS) și IRII în diferite regiuni ale lumii. Astăzi în Europa există deja un singur system electroenergetic integrat «ENTSO-E», care reunește peste 40 de operatori de rețea și sisteme din 36 de țări europene.

Odată cu formarea IRS și IRII în sistemele energetice, crește influența perturbațiilor apărute în regimurile de avarie cauzate de deconectarea sarcinii, a liniilor electrice și a surselor de energie într-un system asupra întregului system integrat. Procesele tranzitorii ce rezultă din aceasta în sistemele energetice nu pot fi întotdeauna eficient excluse sau ameliorate din cauza lipsei posibilităților controlului în regim "on line" sau măcar manual cu regimul de funcționare a elementelor principale ale rețelei și sistemul energetic în întregime. Un rol deosebit îl are problema dirijării regimurilor de funcționare a liniilor de interconexiune.

În prezent, sunt propuse și se implementează un șir de soluții și instalații tehnice speciale, ce permite soluționarea problemei creșterii controlabilității rețelelor electrice. Una dintre soluțiile complexe a problemei interconexiunilor electrice este crearea și implementarea interconexiunilor dirijate sau controlate între sistemele energetice (LCS).

Astfel, pare relevant dezvoltarea și implementarea convertoarelor statice de frecvență, bazate pe transformatoare speciale pentru organizarea LCS de curent alternativ, care posedă avantaje față de tipurile de convertoare existente.

Obiectivele și scopul cercetării:

Scopul lucrării este de a efectua studii teoretice și de calcul și a cercetărilor experimentale ale LCS de curent alternativ în baza convertoarelor statice de frecvență și a transformatoarelor speciale.

Pentru atingerea acestui obiectiv, se rezolvă următoarele sarcini:

1. Elaborarea modelelor matematice a dispozitivelor bazate pe sursele de curent continuu și transformatoare statice speciale cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire;
2. Elaborarea schemelor principiale bazate pe sursele de curent continuu și transformatoare statice speciale cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire;
3. Elaborarea modelului structural de simulare la calculator și sinteza legilor de control ale modurilor de funcționare a transformatorului static cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire;

4. Cercetarea modurilor de funcționare statice și dinamice a transformatorului static cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire;
5. Studiarea modurilor de operare caracteristice convertoarelor la realizarea LCS (Legături controlate între sisteme) de curent alternativ;
6. Estimarea fezabilității unor cercetări anterioare în domeniul realizării LCS de curent alternativ în baza convertoarelor statice de frecvență bazate pe transformatoare speciale.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute este următoarea:

1. A fost elaborat modelul matematic al convertorului static de frecvență bazat pe surse de curent continuu, ceea ce face posibilă determinarea limitelor regiunilor existenței modurilor de transmisie a puterii prin LCS și caracteristicile statice ale elementelor componente;
2. A fost elaborat modelul matematic al convertorului static de frecvență, bazat pe transformator special, care confirmă posibilitatea utilizării lui ca convertor de frecvență la organizarea LCS;
3. Au fost elaborate schemele electrice principale ale convertoarelor statice bazate pe surse de curent continuu și convertor static de frecvență cu transformator special, realizat după schemele „zig-zag” și „hexagon”;
4. Au fost elaborate legile de control ale regimurilor de funcționare ale convertoarelor bazate pe surse de curent continuu și transformatoare statice cu reglarea circulară a fazei tensiunii de ieșire pentru organizarea LCS

Valoarea teoretică și practică a rezultatelor lucrării este următoarea:

1. A fost elaborat modelul matematic al convertorului static de frecvență, care permite modelarea adecvată a regimurilor de funcționare și a caracteristicilor elementelor componente și posibilitatea analizei teoretice și practice ample a caracteristicilor statice ale convertoarelor de acest tip;
2. Rezultatele obținute în cercetarea convertoarelor statice de frecvență cu transformatoare pot servi drept bază pentru un studiu mai profund și mai detaliat al LCS de curent alternativ pentru optimizarea schemelor și a legilor de control pentru dispozitive de acest tip.

Metodologia și metodele de cercetare:

În procesul de cercetare, pentru rezolvarea sarcinilor stabilite, s-au utilizat metode științifice generale de cercetare a echipamentelor electromagnetice de forță cu decalaj de fază,

metode de modelare matematică și de simulare la calculator, tehnica logicii generale, metoda de prelucrare și stematizare a rezultatelor și cunoștințelor științifice,

Modelele matematice și de simulare ale obiectelor de cercetare au fost utilizate ca metode fundamentale de cercetare. La simulare, sistemul cercetat este înlocuit cu un model care descrie cu precizie înaltă sistemul real, cu care sunt efectuate experimente de calcul pentru a obține informații despre acest sistem. Ca instrument de modelare este utilizat setul aplicativ pentru modelarea dinamică interdisciplinară a sistemelor tehnice complexe ce include algoritmi de integrare cu un pas variabil, care permite modelarea cu precizie înaltă a elementelor reale ale sistemelor energetice.

Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere:

1. Modele matematice a convertoarelor bazate pe surse de curent continuu și transformatoare statice cu reglarea circulară a fazei tensiunii de ieșire;
2. Legile de control a convertoarelor statice de frecvență bazate pe principiul sursei de curent;
3. Strategiile de conducere a convertoarelor statice de frecvență bazate pe transformatoarele statice cu reglare circulară a fazei tensiunii de ieșire pentru a asigura procesul de conformare a frecvenței sistemelor care funcționează în paralel cu diferite standarde de frecvență;
4. Variante de scheme principiale ale convertoarelor de frecvență elaborate pentru organizarea LCS de curent alternativ;
5. Modurile de îmbunătățirii a calității conversiei la organizarea LCS de curent alternativ;
6. Justificarea oportunității utilizării convertoarelor statice de frecvență bazate pe transformatoarele statice cu reglare circulară a fazei tensiunii de ieșire ca instalații pentru LCS de curent alternativ.

Nivelul de validare și aprobarea rezultatelor

Veridicitatea și fiabilitatea rezultatelor obținute este confirmată de corectitudinea calculului efectuate cu ajutorul modelului matematic elaborat și verificat prin simularea la calculator în mediul setului modelării interdisciplinare dinamice la calculator a sistemelor tehnice complexe.

Principalele postulate și rezultatele elaborate și incluse în teză au fost raportate și discutate în cadrul:

1. Ședințelor și seminarelor tehnico-științifice în incinta Institutului de Energetică din Moldova.

2. A 7-a Conferință internațională a sistemelor energetice moderne, MPS 2017 Cluj-Napoca, 06-09 iunie 2017
3. A 10-a conferință internațională „Modelarea matematică în educație, știință și producție”, Tiraspol, 28-30 septembrie 2017
4. A 8-a Conferință internațională privind energia și mediul, CIEM 2017 București, 19-20 octombrie 2017
5. WEC CENTRAL & EASTERN EUROPE ENERGY FORUM – FOREN 2020, Energy Transition in South East Europe: Opportunities, Challenges, Perspectives Costinești, Romania, 7-10 September 2020

Pe baza tezei au fost publicate 6 articole și prezentate 4 rapoarte la conferințe internaționale.

Structura și volumul tezei. Teza este prezentată pe 169 de pagini cu text tapat, conține cinci capitole, concluzii generale, încheiere și 8 anexe. Lista bibliografică a literaturii utilizate include 137 de surse, inclusiv 107 străine. Lucrarea conține 6 tabele și 100 figuri grafice.

Cuvinte cheie: convertor electromotor de frecvență, interconexiune dirijată între sisteme energetice, Interphase Power Controller (IPC), conversie a frecvenței, convertor de frecvență multi-modular, convertor static de frecvență bazat pe transformator cu reglare a tensiunii.

CONȚINUTUL PRINCIPAL AL LUCRĂRII

În introducere se fundamentează actualitatea cercetării, sunt formulate obiectivele cercetării, este dezvăluită noutatea științifică, semnificația teoretică și practică a cercetării, sunt identificate metodele de cercetare, formulate principalele scopuri și rezultatele înaintate spre susținere a tezei. Informații despre gradul de fiabilitate și testare a rezultatelor.

Primul capitol oferă o imagine de ansamblu asupra mijloacelor existente de interconectare a sistemelor energetice.

În prezent, pentru a rezolva problema organizării LCS, ca reulă, se aplică transportul energiei electrice prin linii electrice de tensiune înaltă de curent continuu sau alternativ, dotate cu echipamente speciale. În ultimii șaizeci de ani, peste 200 de proiecte au fost derulate în lume pentru organizarea LCS la curentul continuu. Problemele cheie ale transmiterii energiei electrice de curent continuu au fost studiate detaliat atât teoretic cât și în practică și sunt rezolvate cu succes, însă multe soluții propuse până în prezent sunt foarte costisitoare pentru a fi implementate.

Transformatoarele rotative propuse sunt o alternativă a liniilor de curent continuu. În lume există un prototip a instalației ”transformator de frecvență electromagnetic asincron (TEMAS)” - AC

ЭМИТ (Rusia) și un transformator cu frecvența variabilă de rotații a companiei General Electric, denumit “Variable frequency transformer” (VFT).

În momentul de față, trei proiecte VFT au fost implementate. Primele două proiecte au fost realizate cu o capacitate de 100 MW la stațiile Langlois Hydro - Québec (Canada, 2004) și Laredo (SUA, Texas, 2007). Ambele proiecte vizează unirea sistemelor energetice asincrone din Mexic și Canada cu sistemul energetic din SUA. Al treilea proiect Linden este primul VFT multicanal cu o capacitate totală de 300 MW pentru unirea sistemelor energetice din New Jersey și New York (SUA, 2009).

A fost cercetată posibilitatea utilizării VFT pentru legătura sistemelor energetice, a căror frecvență de alunecare este mai mare $\pm 3\text{ Hz}$. Rezultatele cercetării au arătat posibilitatea teoretică de a elabora și implementa LCS de curent alternativ la o gamă mai largă de variație a frecvenței de alunecare dintre sistemele energetice interconectate, dar dispozitivele de acest tip vor avea un sistem de control excesiv de complex și necesită utilizarea dispozitivelor de compensare pentru a menține nivelul de tensiune necesar pe borne, a căror putere va fi de două ori mai mare decât puterea instalată a transformatorului rotativ.

Al doilea capitol prezintă aparatul metodologic de cercetare și modelele matematice ale instalațiilor propuse bazate pe sursă de curent și transformator static.

Sunt prezentate metodele științifice generale de bază și tehnicile logice generale utilizate în lucrare, care permit rezolvarea sarcinilor și atingerea obiectivului de cercetare. Pentru desfășurarea acestui studiu sunt acceptate ca fundamentale metodele de modelare matematică și de simulare la calculator. Ca instrument de modelare în aceasta lucrare s-a folosit seturile specializate pentru modelarea interdisciplinară dinamică a sistemelor tehnice complexe MatLAB - Simulink - SimPowerSystems.

A fost elaborată schema principială a convertorului static cu șase perechi de module trifazate constând din două surse de curent echipate cu patru chei de putere (Fig. 1) și a fost creat un model matematic al instalației.

Pe baza legii combinatoricii, au fost obținute 4.096 de combinații nerepetitive de pornire a cheilor, ceea ce face posibilă obținerea a 361 de niveluri de putere transmisă, prezentate în fig. 2, unde direcția pozitivă este considerată de la sistemul de transmisie(S) către sistemul de recepție (R).

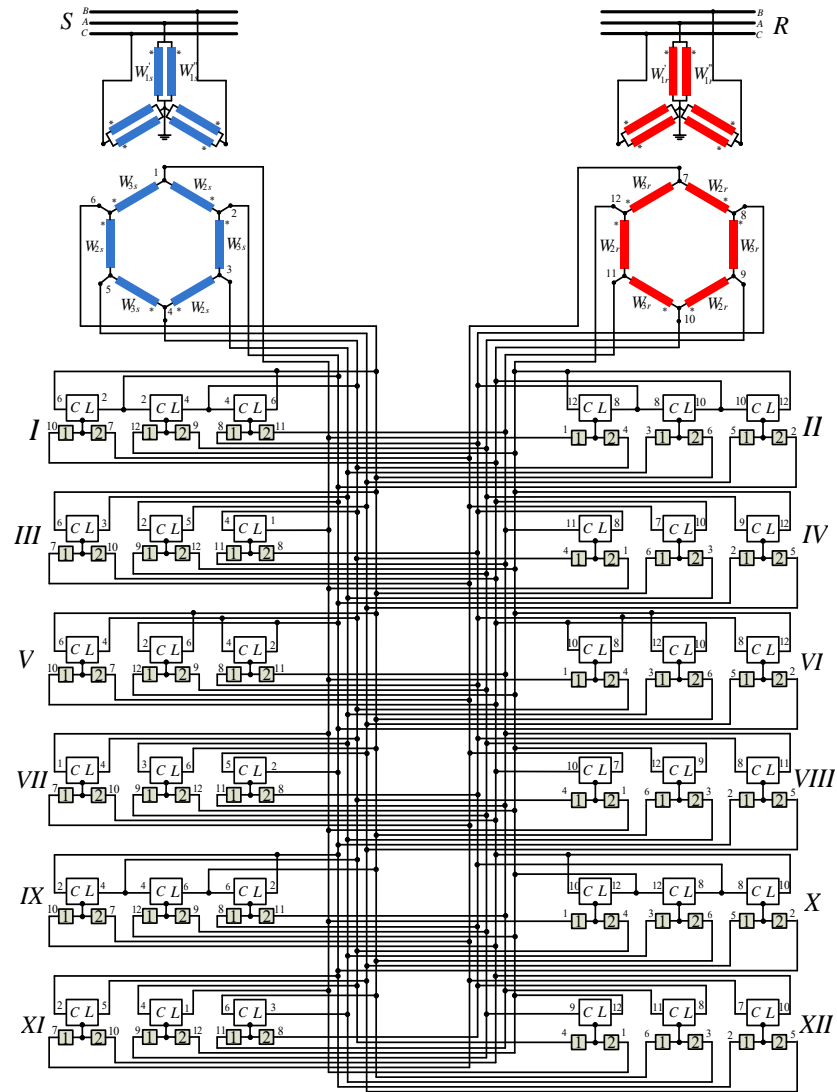


Figura 1 Schema electrică a unui convertor static de frecvență bazat pe surse de curent

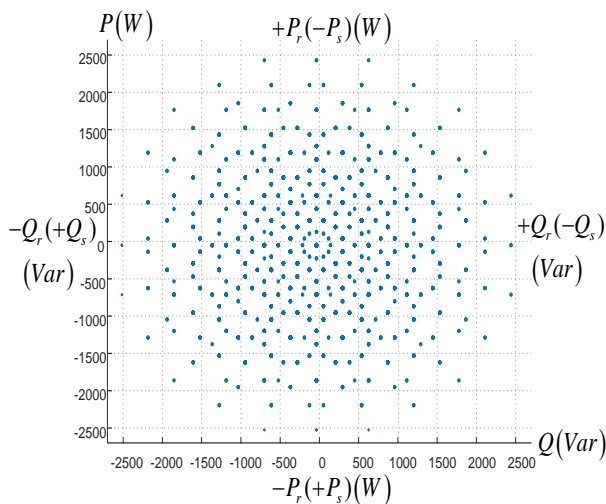


Figura 2 Mulțimea valorilor complexe a puterilor de intrare și ieșire a instalației.

Mărimea și direcția puterii active și reactive transmise a instalațiilor, în funcție de combinația de pornire a cheilor pe modulele pare și unghiul δ_{sr} dintre sistemele de transmisie (S) și cele de recepție (R), sunt determinate de următoarele formule:

$$P_m = P_n^{I,II} + P_n^{III,IV} + P_n^{V,VI} + P_n^{VII,VIII} + P_n^{IX,X} + P_n^{XI,XII} + P_0$$

$$Q_m = Q_n^{I,II} + Q_n^{III,IV} + Q_n^{V,VI} + Q_n^{VII,VIII} + Q_n^{IX,X} + Q_n^{XI,XII} + Q_0$$

unde: m - numărul de combinații de includere a cheilor pe modulele pare ale in-

stalației, de la 1 la 4096; $P_n^{I,II}, P_n^{III,IV}, P_n^{V,VI}, P_n^{VII,VIII}, P_n^{IX,X}, P_n^{XI,XII}$ - valoarea instantanee a puterii active transmise de o pereche de module, în funcție de combinația de chei pe modulul par (tabelul 1); $Q_n^{I,II}, Q_n^{III,IV}, Q_n^{V,VI}, Q_n^{VII,VIII}, Q_n^{IX,X}, Q_n^{XI,XII}$ - valoarea instantanee a puterii reactive transmise de o pereche de module, în funcție de combinația de chei incluse pe modulul par, (tabelul 2); - poziția cheilor pe modulele pare (1-1, 2-2, 1-2, 2-1); P_0, Q_0 - pierderi de putere activă și reactivă în dispozitiv.

Tabelul 1 Valoarea instantanee a componentei active în funcție de poziția cheilor și a unghiul δ_{sr} .

Nr.	Moduli pari	Poziția cheilor pe modulii pari, n			
		1 - 1	2 - 2	1 - 2	2 - 1
1	<i>I, II</i>	$P \cdot \cos \delta_{sr}$	$-P \cdot \cos \delta_{sr}$	0	0
2	<i>III, IV</i>	$P \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$P \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
3	<i>V, VI</i>	$P \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$P \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
4	<i>VII, VIII</i>	$P \cdot \sin \delta_{sr}$	$-P \cdot \sin \delta_{sr}$	0	0
5	<i>IX, X</i>	$P \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$P \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
6	<i>XI, XII</i>	$P \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$P \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0

Tabelul 2 Valoarea instantanee a componentei reactive în funcție de poziția cheilor și a unghiul δ_{sr}

Nr.	Moduli pari	Poziția cheilor pe modulii pari, n			
		1 - 1	2 - 2	1 - 2	2 - 1
1	<i>I, II</i>	$Q \cdot \sin \delta_{sr}$	$-Q \cdot \sin \delta_{sr}$	0	0
2	<i>III, IV</i>	$Q \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$Q \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
3	<i>V, VI</i>	$Q \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$Q \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
4	<i>VII, VIII</i>	$-Q \cdot \cos \delta_{sr}$	$Q \cdot \cos \delta_{sr}$	0	0
5	<i>IX, X</i>	$Q \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$Q \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{1}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0
6	<i>XI, XII</i>	$Q \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	$Q \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos \delta_{sr} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin \delta_{sr}\right)$	0	0

Analiza datelor obținute a făcut posibilă identificarea unui ciclu din 71 de variante unice de valori ale puterii active și reactive transmise în conformitate cu strategia de control propusă în

procesul de conformare a frecvenței. În figura 3 se prezintă modul nivelului maxim de transmisie a componentei active a puterii în procesul de organizare a AMC a două sisteme energetice ce funcționează sincron cu diferite standarde pentru menținerea frecvenței.

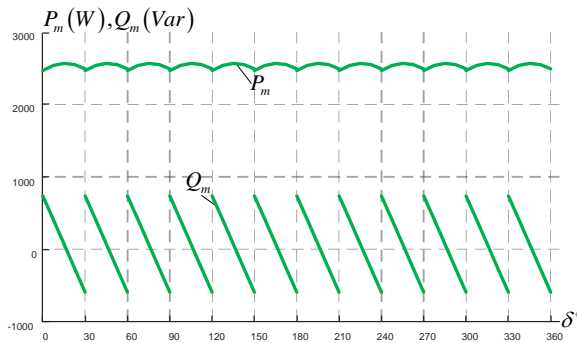


Figura 3 Suma valorilor calculate a puterii modurilor la starea statică a instalației.

primare sunt conectate cu stea. Un sistem de înfășurări secundare este conectat într-un triunghi, la vîrfurile cărora sunt conectate fazele corespunzătoare ale înfășurărilor secundare ale unui alt sistem. În acest caz, fiecare fază a sistemului de tensiune de ieșire este sintetizată prin însumarea geometrică a tensiunilor fazelor corespunzătoare ale înfășurărilor secundare (Fig. 5).

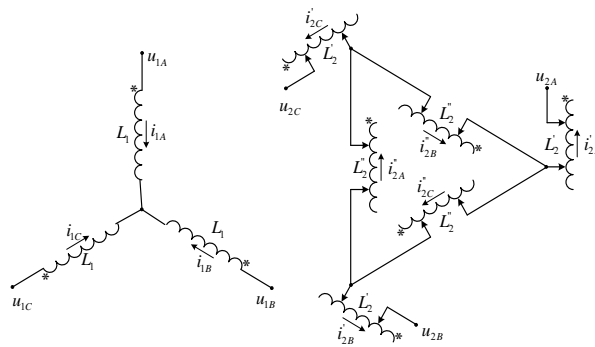


Figura 4 Schema instalației

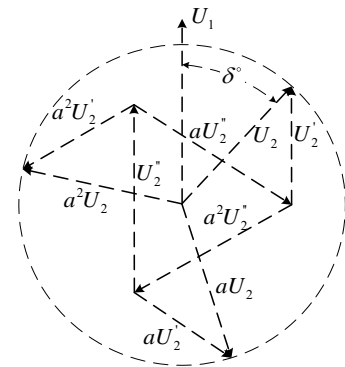


Figura 5 Diagrama vectorială a tensiunilor instalației

Pentru versiunea considerată a instalației, a fost elaborat un sistem de ecuații pentru în baza echilibrul FEM (forța electromotoare) pentru înfășurările primare:

$$u_{1A} - r_1 i_{1A} - p(L_1 i_{1A} - M'_{12} i'_{2A} - M''_{12} i''_{2A}) = 0$$

$$u_{1B} - r_1 i_{1B} - p(L_1 i_{1B} - M'_{12} i'_{2B} - M''_{12} i''_{2B}) = 0$$

$$u_{1C} - r_1 i_{1C} - p(L_1 i_{1C} - M'_{12} i'_{2C} - M''_{12} i''_{2C}) = 0$$

După transformarea acestui sistem de ecuații, s-au obținut expresiile, care caracterizează valorile instantanee ale tensiunilor de ieșire ale fazelor u_{2A}, u_{2B}, u_{2C} :

$$u_{2A} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} U_1 \sin \omega_2 t - \frac{1-k^2}{k} \omega_1 \sqrt{L_1 L_2} \cdot I_1 \cos(\omega_2 t - \varphi)$$

$$u_{2B} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} U_1 \sin\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{1-k^2}{k} \omega_1 \cdot \sqrt{L_1 L_2} I_1 \cos\left(\omega_2 t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_{2C} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} U_1 \sin\left(\omega_2 t + \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{1-k^2}{k} \omega_1 \cdot \sqrt{L_1 L_2} I_1 \cos\left(\omega_2 t - \varphi + \frac{2\pi}{3}\right)$$

unde: k - coeficientul legăturilor electromagnetice a înfășurărilor; ω_1, ω_2 - frecvența ciclică a sistemului de transmisie și recepție; L_1, L_2 - inductanțe proprii ale înfășurărilor primare și secundare.

Expresiile obținute conțin caracteristicile de frecvență ale sistemului de transmisie și recepție, ceea ce demonstrează fezabilitatea principiului de rotație a fazei tensiunii de ieșire relative ceiei de intrare pe baza instalației statice bazat pe transformatoare.

În capitolul al treilea, sunt efectuate cercetările unui convertor static de frecvență bazat pe surse de curent.

În timpul cercetării, s-a confirmat că modelul structural - similar și matematic ilustrează în mod real caracteristicile de funcționare ale instalației și elementele acestuia (Fig. 6).

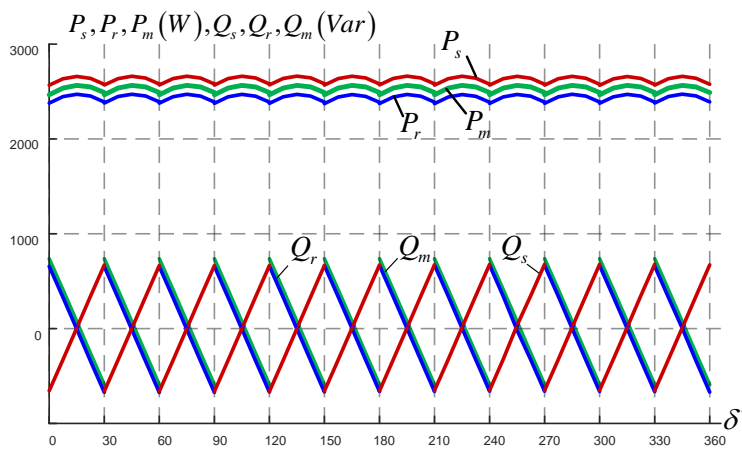


Figura 6 Valorile puterilor active și reactive la intrarea și ieșirea a instalației în regim static

Analiza graficului prezentat în figura 6 a arătat că, în momentul funcționării cheilor de putere în regimul de conformare a frecvenței se efectuează comutarea semnificativă a puterii reactive însoțitoare, ceea ce afectează negativ calitatea conversiei. Pentru a îmbunătăți calitatea procesului de conversie, instalația a fost modernizată prin

adăugarea înfășurărilor secundare în schema transformatorului pe partea laterală a sistemului de recepție, ceea ce permite de-a efectuat un decalaj adăugător de fază cu un unghi de 15° la ieșirile fiecărei perechi de înfășurări extinzându-se din vârfurile hexagonului (figura 7). În ceea ce privește legea controlului dispozitivului, s-a decis aplicarea controlului asimetric, care constă în regim de operare consecutiv a modulelor.

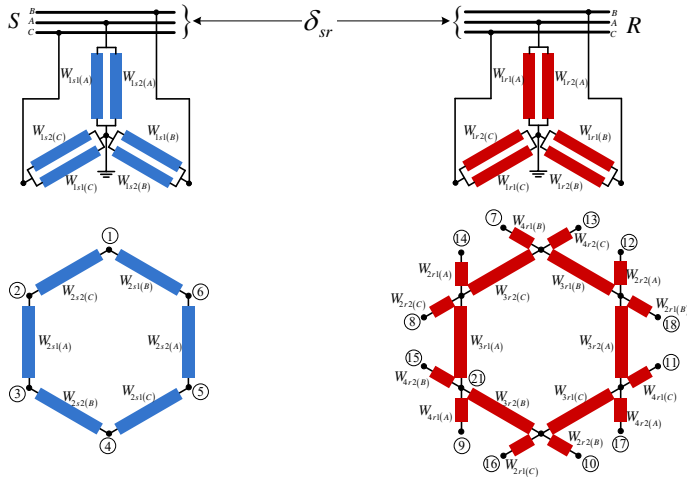


Figura 7 Schema electrică a părții transformatorului convertorului cu adăugarea înfășurărilor suplimentare.

eficientului distorsiunii armonice a fost de cel puțin 16%, ceea ce este inacceptabil.

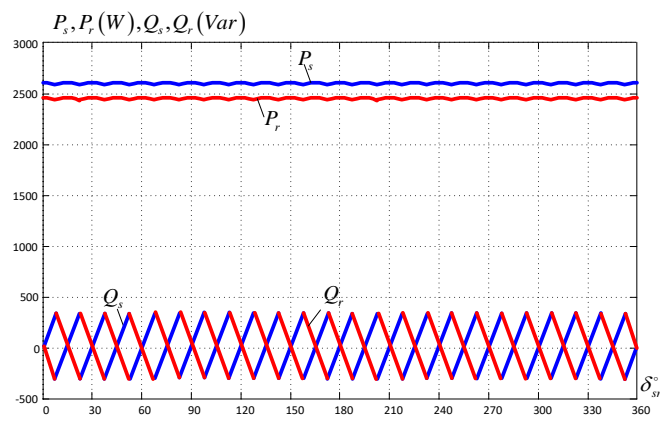


Figura 8 Caracteristicile statice ale convertorului.

Soluția tehnică propusă a permis reducerea de două ori a puterii reactive însoțitoare în procesul de funcționare a convertorului (figura 8). Controlul asimetric a făcut posibilă creșterea numărului de regimuri de funcționare pentru transmiterea puterii de către dispozitiv de 6,5 ori, de la 361 la 2 403 (figura 9). La organizarea LCS conform schemei (figura 7), valoarea co-

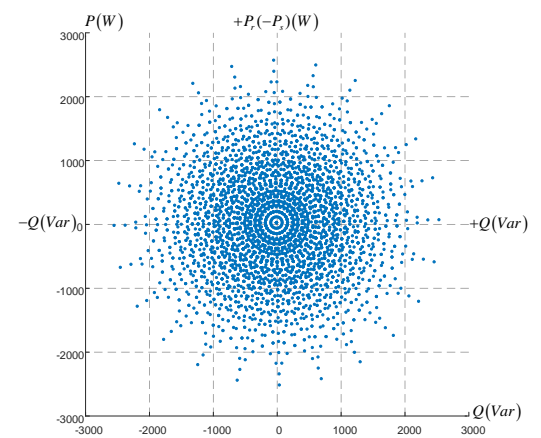


Figura 9 Gama de valori posibile ale puterii de transmise.

Rezultatele experimentele au arătat că, în momentele de comutare, apar creșteri semnificative ale curentului atunci când are loc schimbul caracterului de putere reactivă din capacitivă în inductivă și invers.

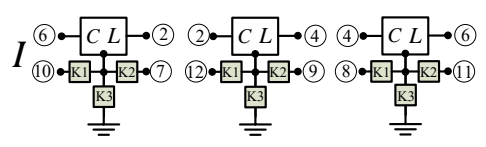


Figura 10 Schema principală a modului elementar I cu cheia K3.

Cu scopul de a reduce creșterea curentului, s-a decis completarea schemei instalației cu o cheie suplimentară K3 (figurile 10-11). Cheia K3, pe lângă asigurarea protecției împotriva apariției curenților de rezonanță, contribuie la îmbunătățirea calității conversiei sub forma unui mijloc eficient de suprimare a oscilațiilor subsincrone (offset) (figura. 12). Această modernizare a instalației a extins aria de existență a

modurilor de funcționare de la 2403 la 341097 niveluri de putere transmisă (figura 13). De asemenea, modernizarea a făcut posibilă obținerea unei reduceri a coeficientului de distorsiune armonică a curentului prin determinarea timpului optim de răspuns al cheiei K3 (8° sau $\tau = 0,111111\text{sec.}$), de la 19,6% la 7,02% în sistemul de transmisie și de la 16,07% la 8,31% în sistemul de recepție (figura 14), ceea ce îndeplinește cerințele standardului IEEE-519.

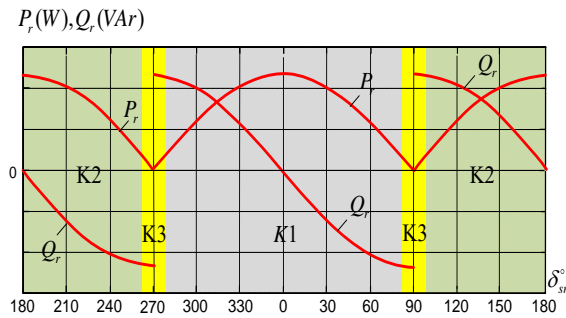


Figura 11 Schimbarea puterii active și reactive a unui modul.

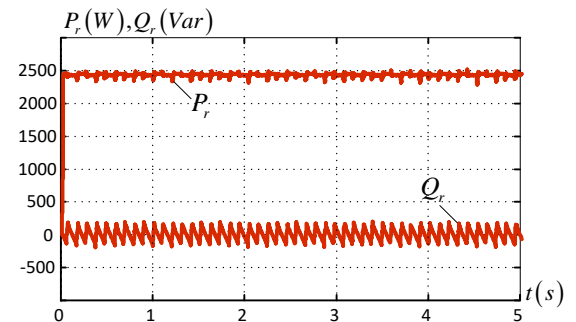


Figura 12 Funcționarea convertorului cu cheia K3.

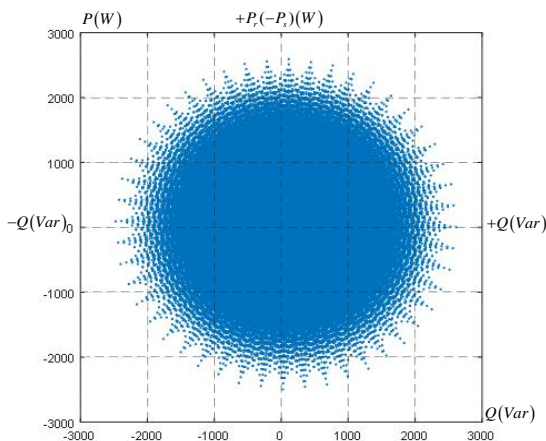


Figura 13 Gama valorilor posibile ale puterii transmise atunci când se conectează cheia K3.

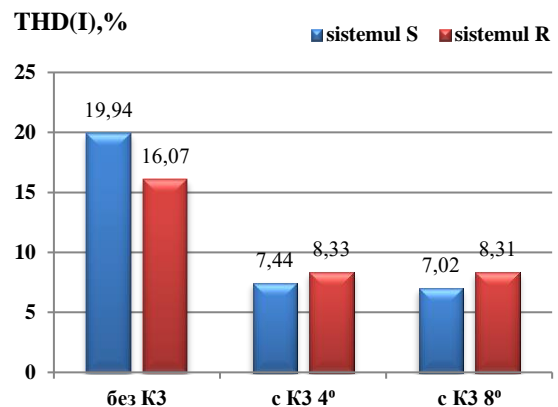


Figura 14 Histograma coeficienților de distorsiune armonică a curentului la diferite momente de comutare ale cheiei K3.

Rezultatele de simulare dovedesc, că organizarea LCS pe baza soluției tehnice adoptate permite: să asigure un transfer stabil de putere activă, să reducă semnificativ creșterea puterii reactive, să îmbunătățească indicatorii coeficientului de distorsiune armonică a curentului, să reducă amplitudinea oscilațiilor subsincrone (figurile 12, 14)

Pentru îmbunătățirea ulterioară a parametrilor LCS, s-au folosit filtre de armonice și amortizoare, ceea ce a făcut posibilă reducerea distorsiunii armonică a curentului în sistemul de transmisie de la 7,02% la 4%, iar în sistemul recepție de la 8,31% la 5,07%.

Rezultatele cercetării au demonstrat că modelul matematic al instalației poate fi utilizat pentru a determina și analiza caracteristicile instalațiilor de acest tip. Un convertor static bazat pe surse de curent asigură controlul parametrilor modului într-o gamă largă. Legile de control elaborate pentru module elementare permit utilizarea LCS de curent alternativ pentru sisteme cu standarde de frecvență diferite.

În capitolul al patrulea, s-a analizat LCS pe baza unui convertor executat după schema „zig-zag” (figura 15). Varianta propusă a convertorului permite rotirea vectorului tensiunii de ieșire față de tensiunea de intrare.

Fiecare canal al variantei propuse a schemei convertorului static de frecvență constă din grupuri de transformatoare monofazate cu mai multe înfășurări SN și SM în partea de transmitere și RN și RM în partea de recepție, înfășurările primar a cărua sunt conectate conform schemei

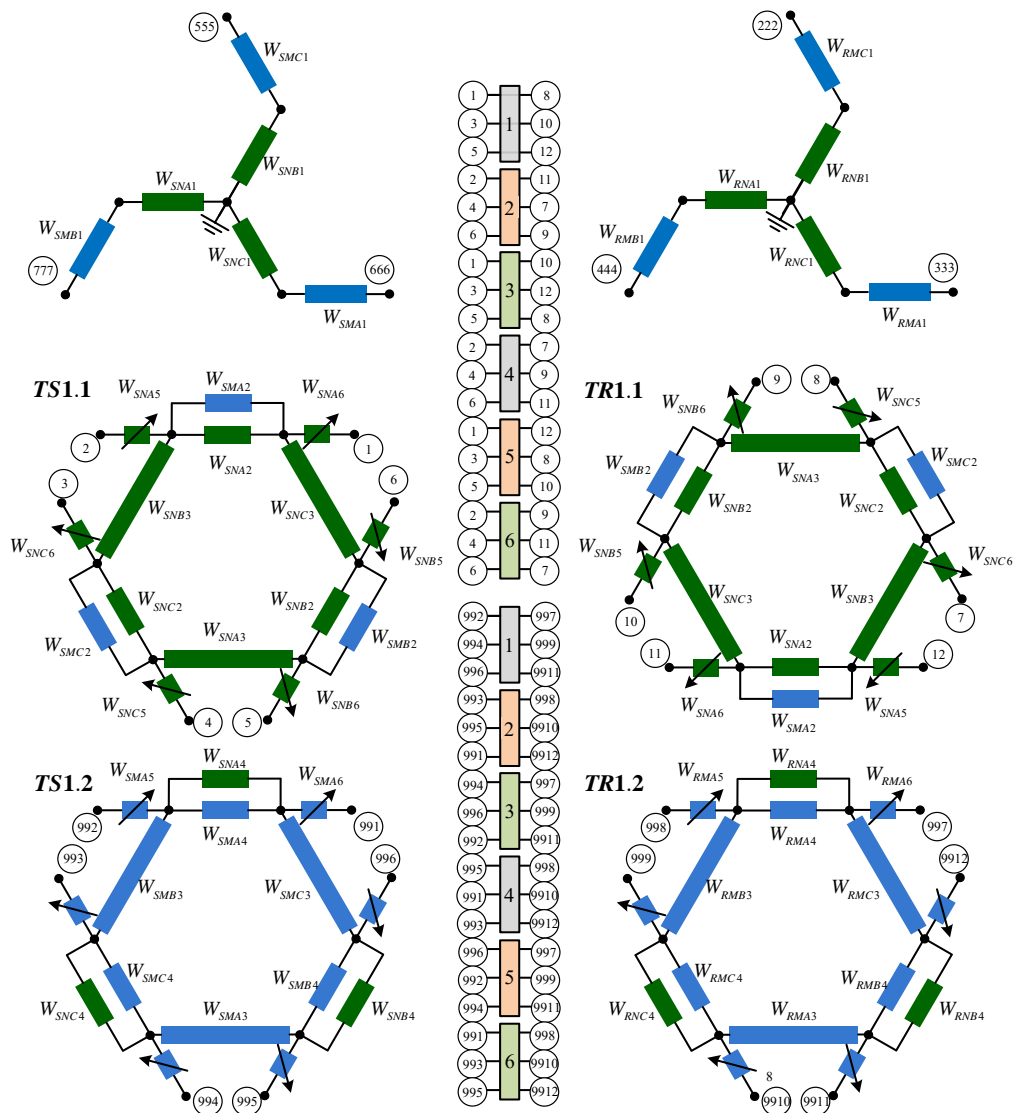


Figura 15 Schema convertorului static de frecvență cu înfășurările conectate în “zig-zag”

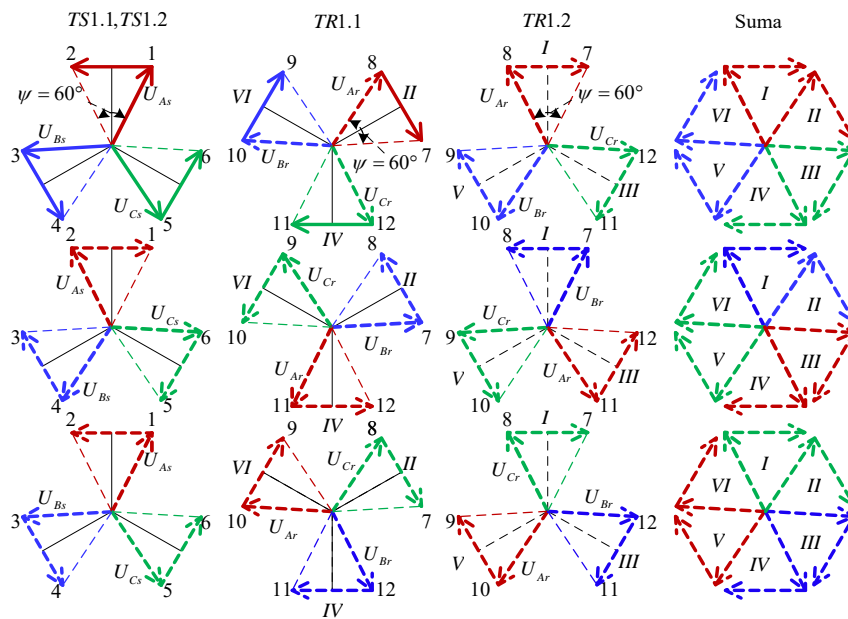


Figura 16 Diagrama vectorială care explică punerea în aplicare a legii reglării „grosolane”

re de 120 °. Diagrama vectorială a reglării „grosolane” este prezentată în Fig. 16.

Versiunea propusă a convertorului permite rotirea vectorului tensiunii de ieșire în raport cu intrarea.

Pentru a studia modurile de funcționare ale convertorului de frecvență, au fost elaborate două variante de secționare a înfășurărilor de reglare „fină” și legile comutării prin întrerupătoare de putere pentru al 24 - a și 48 -a pas de reglare (figurile 17-20).

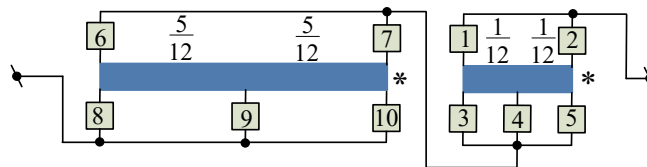


Figura 17 Schema de secționare a reglării „fine” la a 24-a poziție de comutare cu pasul de discretitate 5°.

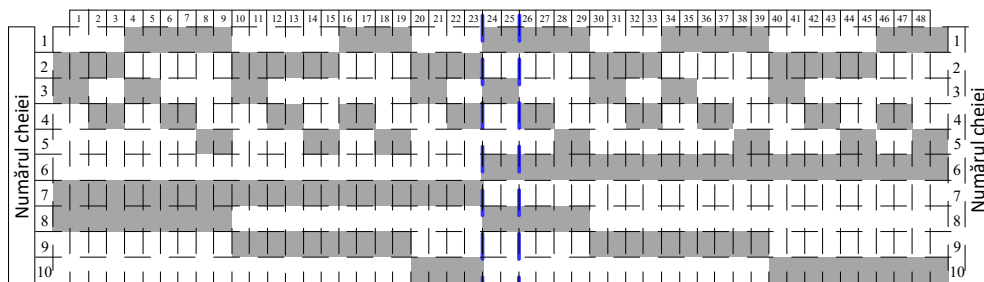


Figura 18 Legea de control a unității de reglare „fine” cu discretitate în treapta 5.

„zig-zag” pentru a suprima a treia armonică a curentului. Înfășurările secundare nereglementate ale transformatoarelor sunt conectate conform schemei "hexagon", la vârfurile cărora sunt conectate înfășurările de control corespunzătoare, care asigură reglarea "fină" în intervalul 60° grade. Cheile 1-6 sunt un bloc de reglare „grosolană” cu o comuta-

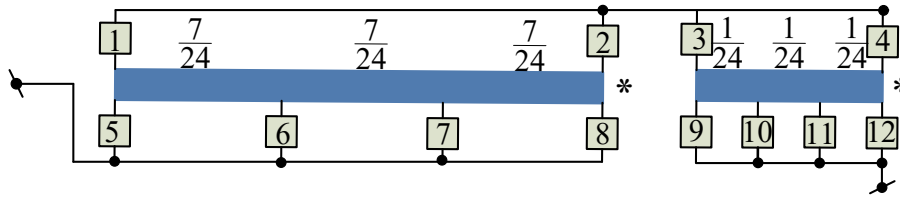


Figura 19 Schema de secționare a înfășurării reglării “fine” la poziția 48 de comutare cu un pas de discretitate $2,5^\circ$.

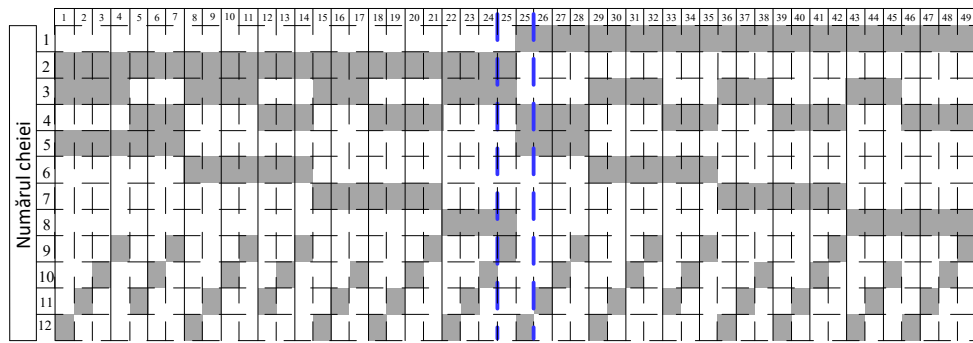


Figura 20 Legea de control a unității de reglare “fină” cu discretitate în treapta 2,5.

În mediul Matlab / Simulink, au fost create modele structurale și de simulare la calculator, pe baza cărora s-au efectuat analize experimentale a funcționării instalației sub sarcină și sistemul de recepție prin linie (figurile 21-22) cu două opțiuni de secționarea a înfășurărilor reglării „fine” și diferite rapoarte de frecvențe (figurile 23-24) și puterile sistemelor de transmisie și recepție (figurile 25-26).

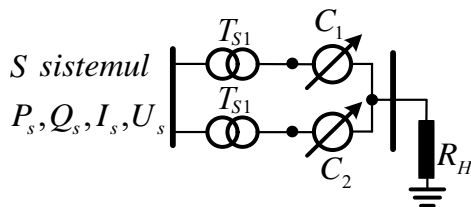


Figura 21 Schema de funcționare a convertorului la o sarcină activă.

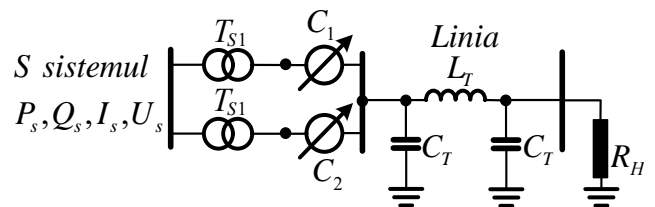


Figura 22 Schema de funcționare a convertorului la o sarcină activă printr-o LEA cu unghiul 30°

Pentru a evalua calitatea conversiei de frecvență și a transiterii puterii, s-au utilizat următorii parametri de funcționare: gradul de stabilitate a puterii active transmise $\partial P, \%$ și coeficientul distorsiunii armonice a curentului $THD(I), \%$. Rezultatele prezentate în figurile 23-24, marcat cu litera „a” ilustrează gradul de stabilitate a puterii active transmise, cu litera „b” - coeficientul distorsiunii armonice a curentului. Indicele "L" indică alimentarea sarcinii prin linie fără indexul de alimentare a sarcinii de la bornele instalației.

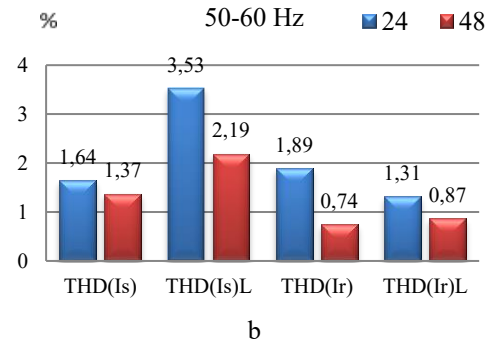
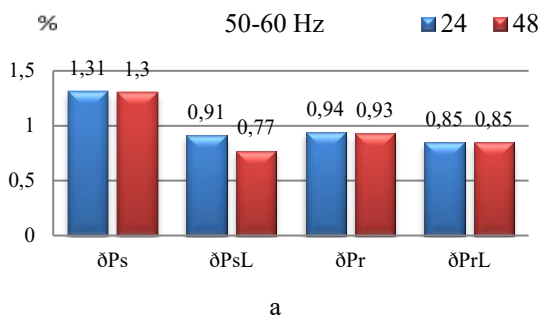


Figura 23 Histogramele parametrilor de funcționare, care determină calitatea conversiei când dispozitivul funcționează la o sarcină activă cu un decalaj de frecvență 50 și 60Hz.

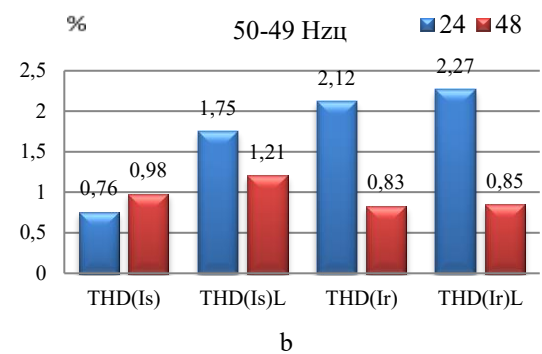
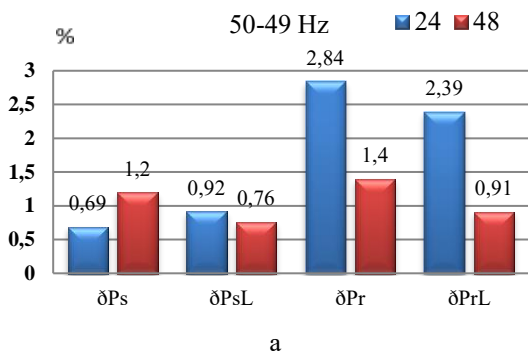


Figura 24 Histogramele parametrilor de funcționare, care determină calitatea conversiei când dispozitivul funcționează la o sarcină activă cu un decalaj de frecvență 50 și 60Hz.

Histogramele prezentate confirmă fezabilitatea utilizării secționării cu 48 de poziții atunci când se organizează LCS de curent alternativ dintre sistemele energetice ce operează asincron cu frecvență de alunecare $\pm 10 Hz$.

Caracteristicile prezentate în figurile 25 - 26, dovedesc eficiența utilizării unui convertor cu secționare cu 48 de poziții atunci când la sistemul energetic sunt conectate surse mici cu o frecvență instabilă de funcționare.

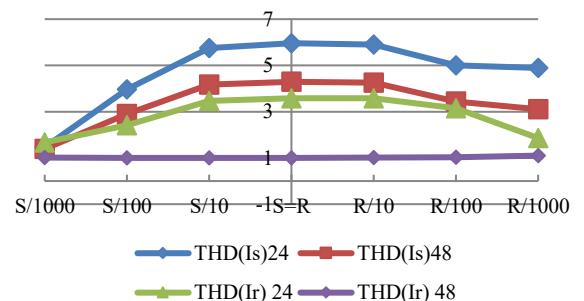
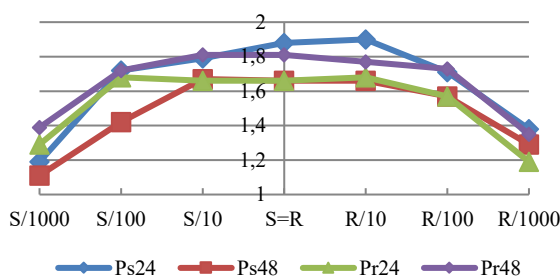


Figura 25 Graficele parametrilor de funcționare, în funcție de raportul dintre puterile sistemului de transmitere S (50Hz) și sistemului de recepție R (60 Hz).

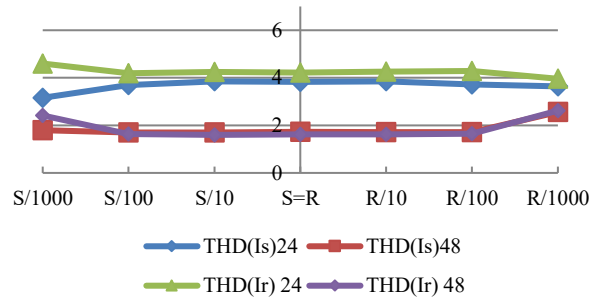
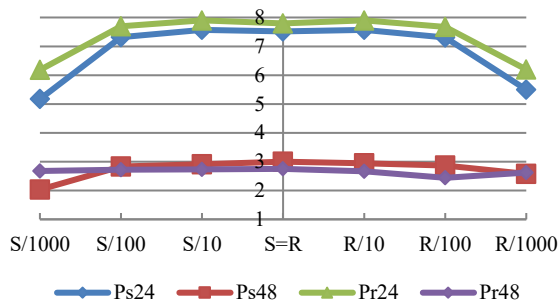


Figura 26 Graficele parametrilor de funcționare, în funcție de raportul puterii dintre sistemul de transmitere S (50Hz) și sistemul de recepție R (49,6 Hz).

În continuare, au fost cercetate modurile caracteristice de funcționare a LCS cu convertor la majorarea și micșorarea sarcinii (figura 27) și în cazul unui scurtcircuit trifazat pe bornele sistemului de recepție (figura 28).

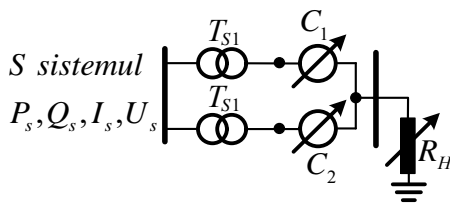


Figura 27 Schema experimentului cu majorarea și micșorarea sarcinii.

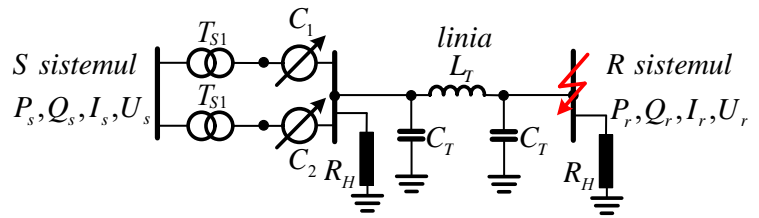


Figura 28 Schema experimentului la scurt circuit pe bornele sistemului de recepție.

Oscilogramele puterilor și curenților: în timpul majorării și micșorării sarcinii sunt prezentate în figurile 29-32, la scurtcircuit trifazat pe bornele sistemului de recepție sunt prezentate în figurile 33-36.

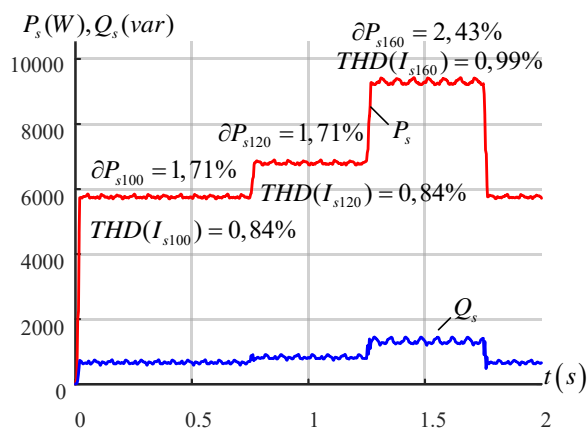


Figura 29 Puterile în sistemului de transmisie în momentul majorării și micșorării sarcinii.

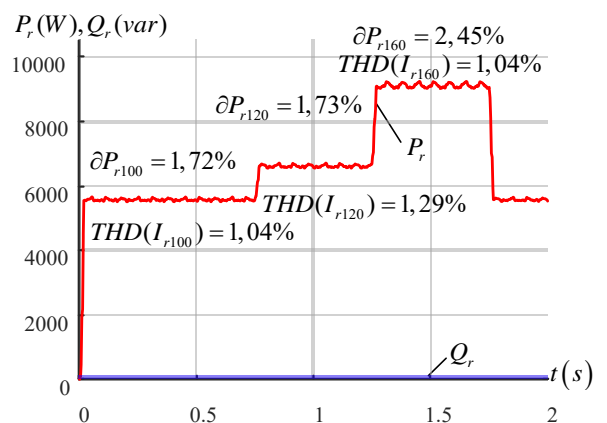


Figura 30 Puterile în sistemului de recepție în momentul majorării și micșorării sarcinii.

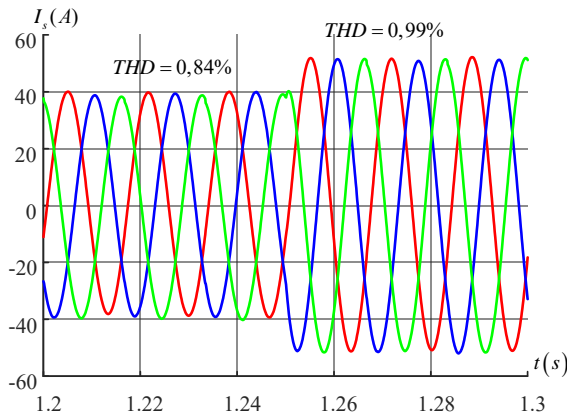


Figura 31 Curentul în sistemul de transmisie în momentul majorării și micșorării sarcinii.

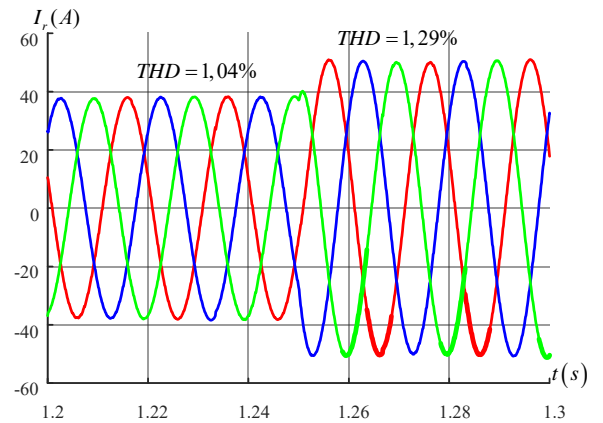


Figura 32 Curentul în sistemul de recepție în momentul majorării și micșorării sarcinii.

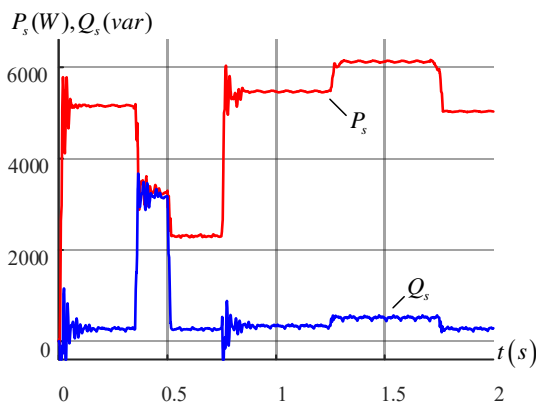


Figura 33 Puterile în sistemele de transmitere .

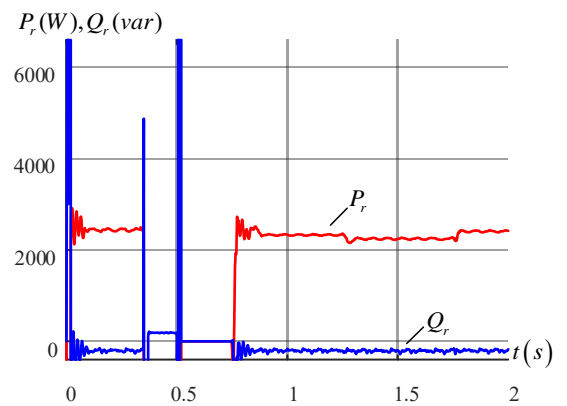


Figura 34 Puterile în sistemul de recepție.

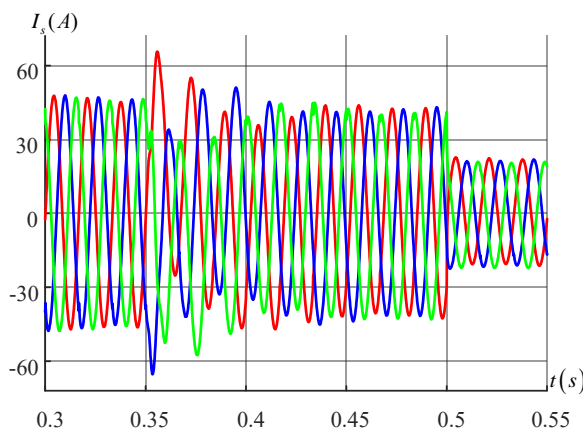


Figura 35 Curentul în sistemul de transmitere și în momentul conectării și deconectării cheii SC.

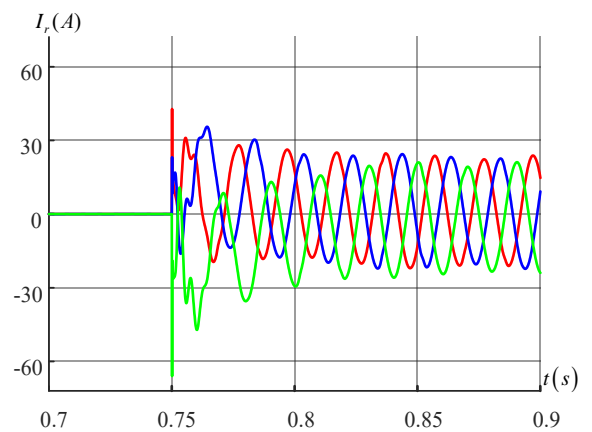


Figura 36 Curentul în sistemul de recepție în momentul restabilirii LCS.

Rezultatele cercetării modurilor caracteristice ale LCS au arătat eficiența tehnică a schemei propuse a instalației din punctul de vedere al reacțiilor convertorului de frecvență la tipurile de perturbanțe posibile. Analiza efectuată indică oportunitatea construirii unei LCS bazată pe un convertor static de frecvență cu o discretitudine a reglării „fine” de 2,5 °.

În capitolul al cincilea, a fost studiată LCS în baza unui convertor realizat conform schemei „hexagonului”, a cărei schemă este prezentată în figura 37.

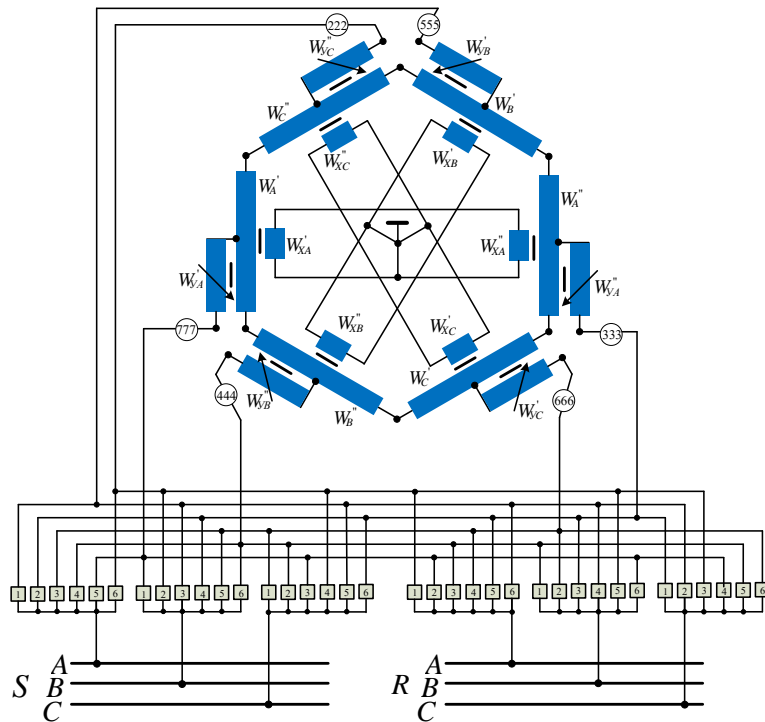


Figura 37 Schema electrică unui convertor static de frecvență realizat conform schemei „hexagonale”.

Instalația prezentată permite crearea unei LCS pe baza implementării principiului de rotire a fazei tensiunii de ieșire. În același timp, instalația permite divizarea procesului de convertizare în regim de funcționare consecutiv a canalelor ceea ce nu permite instalația descrisă în capitolul 4. Rotirea fazei tensiunii de ieșire este asigurată conform legii reglării „grosolane” cu comutarea sectoarelor de lucru după fiecare 120° (figura. 38).

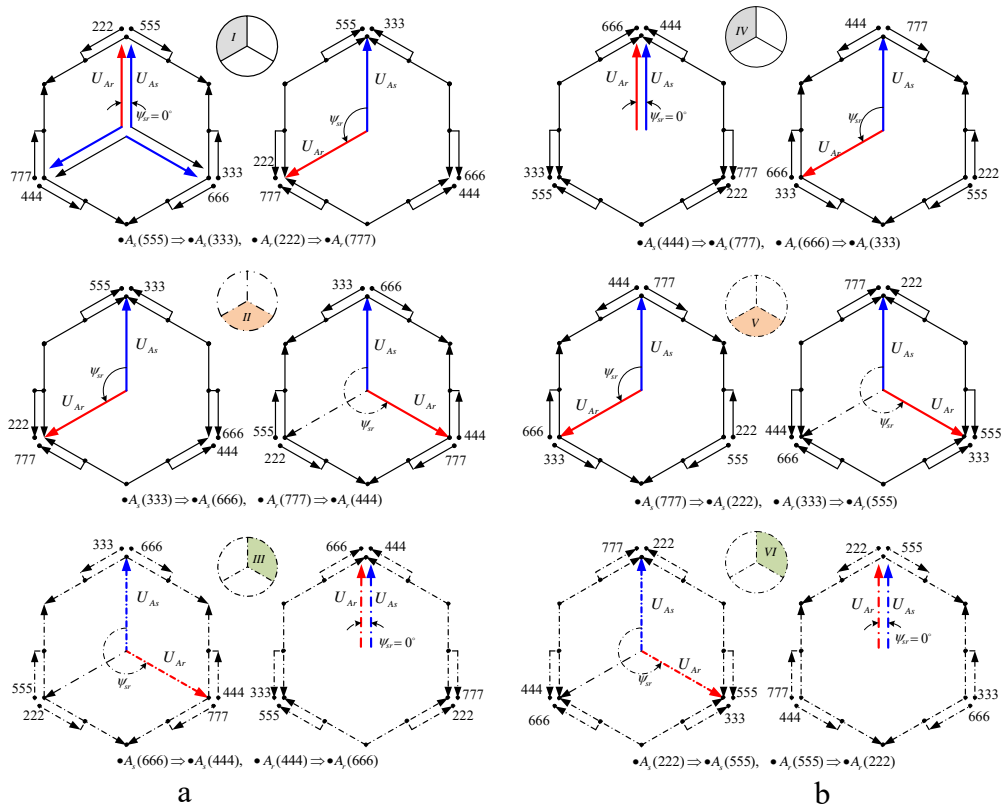


Figura 38 Deograma vectorială ce explică legea reglării „grosolane”.

Diagrama vectorială a tensiunilor care explică funcționarea legii reglării „fine” este prezentată în figura 39.

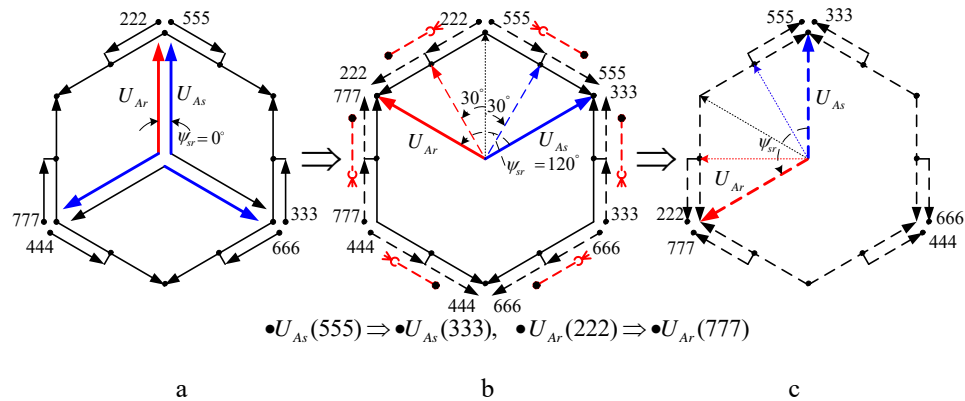


Figura 39 Diagrama vectorială a tensiunilor primului sector de reglare „grosolană”.

- a - starea inițială a instalației; b - procesul de asigurare a unghiului decalajului de fază;
- c - sfârșitul procesului decalajului de fază și acționarea cheilor de reglare „dure”.

În figurile 17 – 20 sunt prezentate variante de secționare a înfășurărilor reglării „fine” și legile de comutare treptelor de reglare 24 și 48 cu ajutorul cheilor.

Pentru a studia parametrii de funcționare a convertorului static de frecvență, realizat în conformitate cu schema „hexagonului”, s-au efectuat cercetări experimentale pentru două legi ale reglării „fine” (figurile 40 - 41).

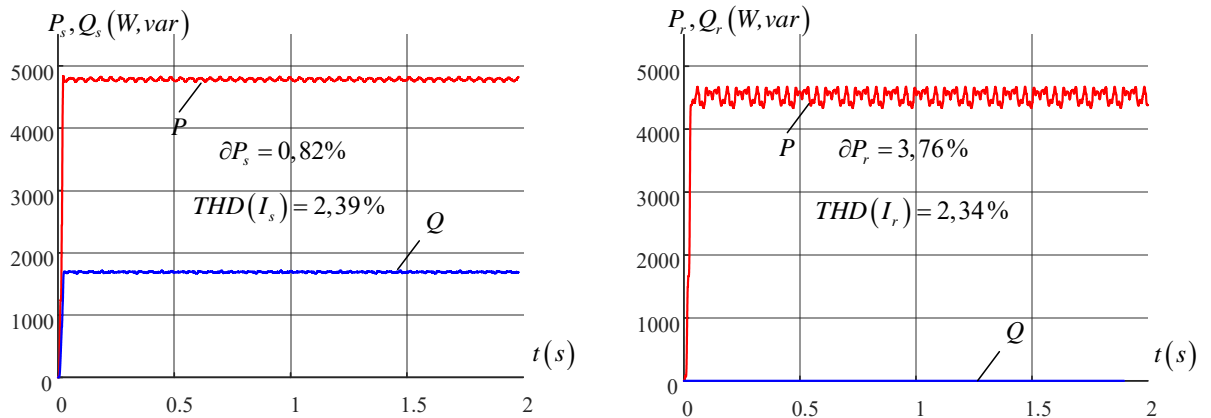


Figura 40 Puterea în sistemele de transmitere și recepție cu secționarea în 24 de poziții.

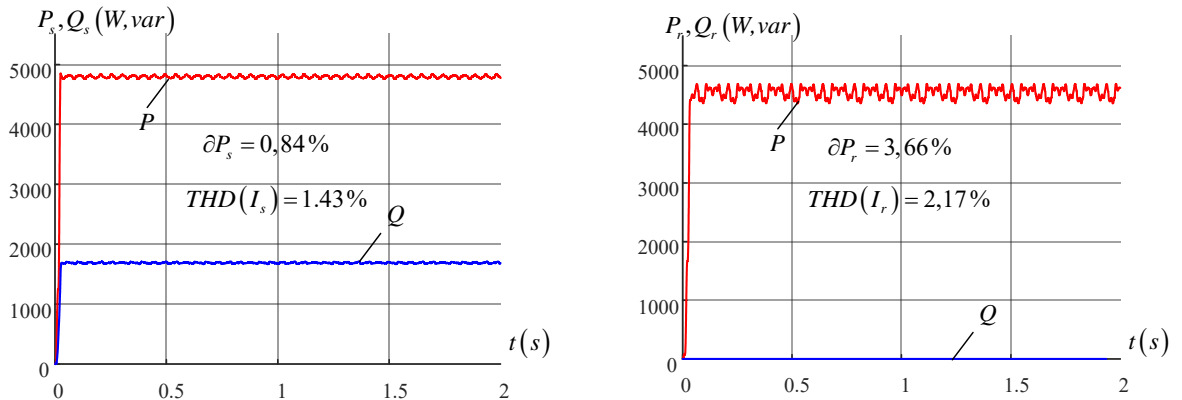


Figura 41 Puterea în sistemele de transmitere și recepție cu secționarea în 48 de poziții.

Pentru a studia posibilitatea îmbunătățirii caracteristicilor de lucru a instalației, s-a propus aplicarea principiului multicanal la elaborarea schemei LCS. În acest scop, s-au elaborat următoarele: transformatoare de conformare (figura 42 - 43), care permit funcționarea corectă a instalației cu un număr diferit de canale; au fost confirmate stările inițiale ale cheilor de puere ale legilor reglării „fine” la funcționarea dispozitivului în modul multicanal.

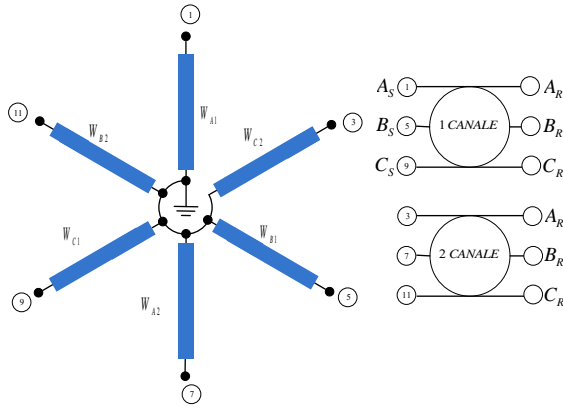


Figura 42 Transformator de conformare pentru convertor cu două canale.

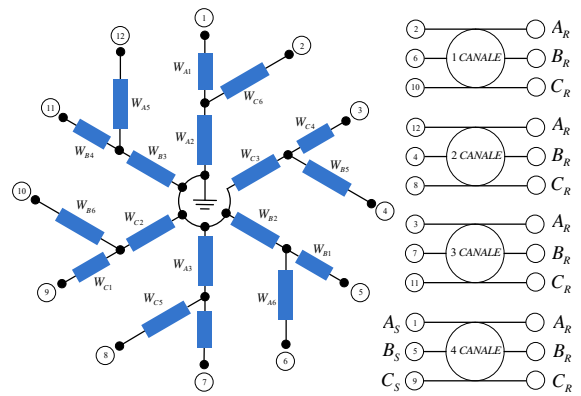


Figura 43 Transformator de conformare pentru convertor cu patru canale.

Pentru a evalua calitatea conversiei instalației multicanal, s-a cercetat funcționarea convertorului în regim cu două și patru canale (figurile 44 - 45) cu secționarea în 24 și 48 poziții și niveluri de putere de 100%, 65% și 30% din puterea nominală a instalației. Rezultatele cercetării sunt prezentate sub formă de histograme în figurile 46 - 47.

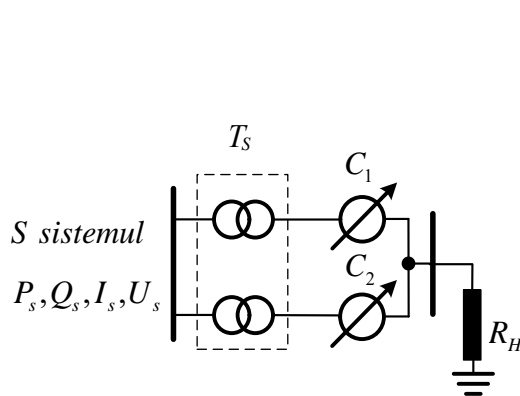


Figura 44 Schema experimentală a convertorului cu două canale.

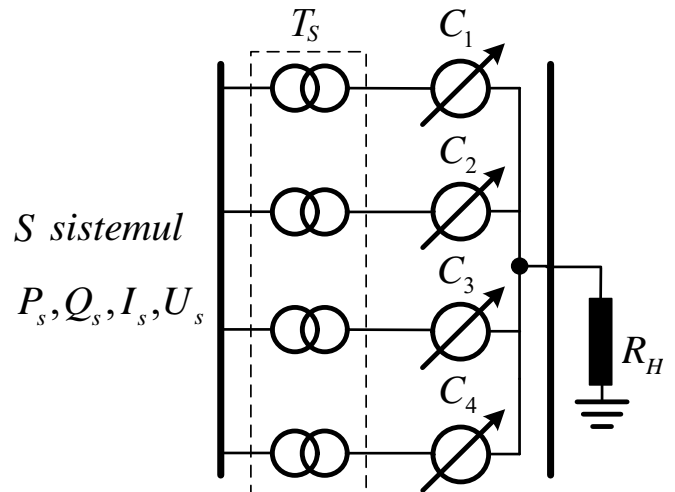


Figura 45 Schema experimentală a convertorului cu patru canale.

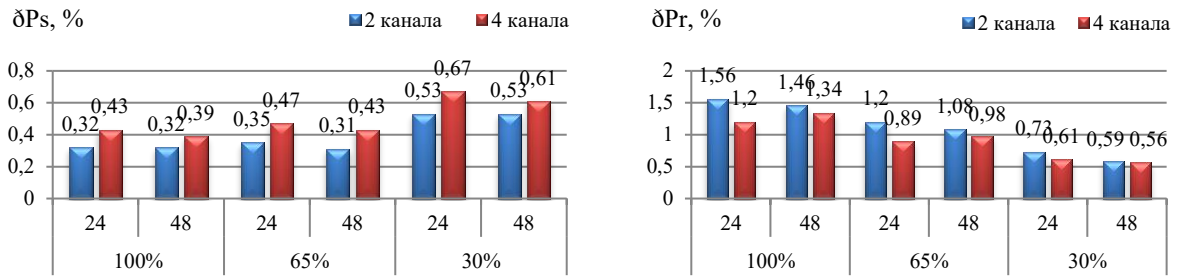


Figura 46 Histograma gradului de stabilitate a puterii în sistemele de transmisie (δP_s) și recepție (δP_r).

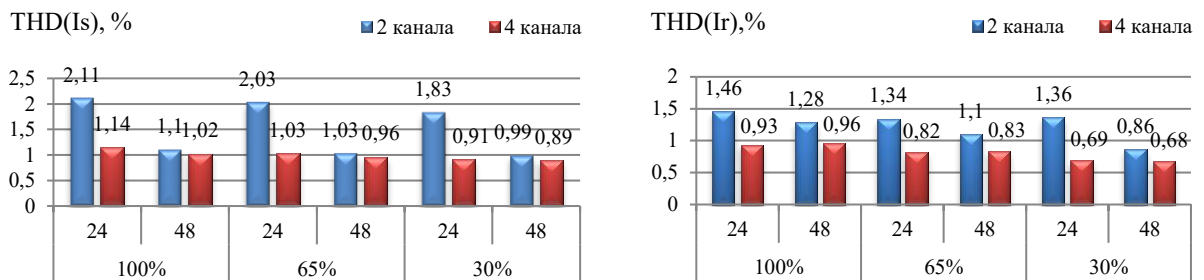


Figura 47 Histograma coeficienților de distorsiune armonică a curentului sistemelor de transmitere ($THD(I_s)$) și recepție ($THD(I_r)$).

Analiza comparativă a histogramelor obținute a arătat avantajul unui circuit de conversie cu patru canale cu secționarea în de 48 poziții a înfășurării de control.

Cercetarea modurilor caracteristice de funcționare a instalației la organizarea LCS a fost efectuat cu un număr diferit de canale operate simultan, precum și în cazul unui scurtcircuit trifazat la bornele sistemului de transmitere.

Rezultatele experimentelor cu diferite numere de canale de lucru atunci când instalația funcționează cu sarcina conectată, sunt prezentate în figurile 48 – 4, prin linia electrică de conexiune la un decalaj de treizeci de grade, în figurile 50 - 51.

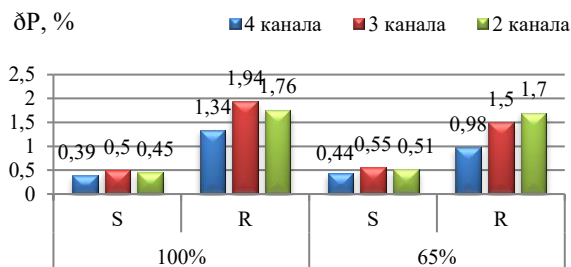


Figura 48 Histograma gradului de stabilitate a puterii transmise a instalației fără linia electrică.

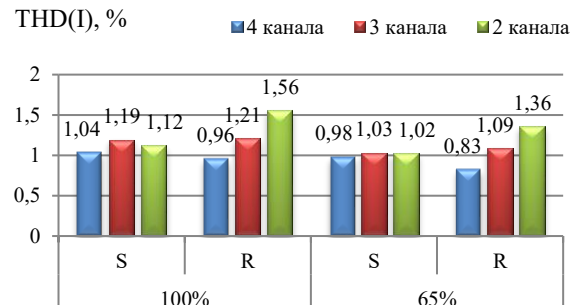


Figura 49 Histograma coeficienților de distorsiune armonică a curentului instalației fără linia electrică.

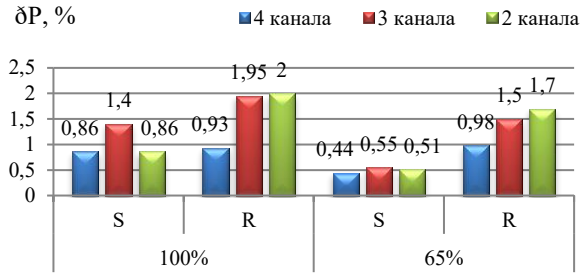


Figura 50 Histograma gradului de stabilitate a puterii transmise a instalației cu linia electrică.

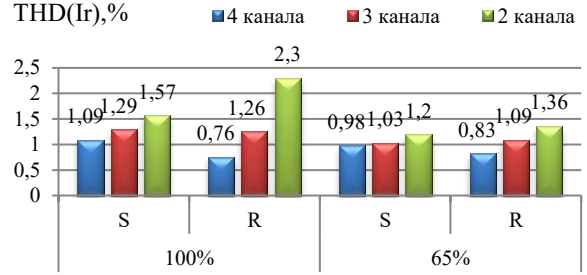


Figura 51 Histograma coeficienților de distorsiune armonică a curentului a instalației cu linia electrică.

Histogramele prezentate în figurile 48 - 51 indică că instalația permite menținerea indicatorilor de performanță ($\delta P, \%$ și $THD(I), \%$) în limite acceptabile cu un număr diferit de canale. Histogramele construite permit, de asemenea, să concluzionăm, că este posibil să se creeze un eșantion standardizat al convertorului și să se asigure producția lui în serie, care va permite reducerea costul convertoarelor de acest tip.

Oscilogramele puterilor care caracterizează funcționarea instalației în cazul unui scurt circuit trifazat la bornele sistemului de transmitere (figura 52) sunt prezentate în figurile 53 - 56.

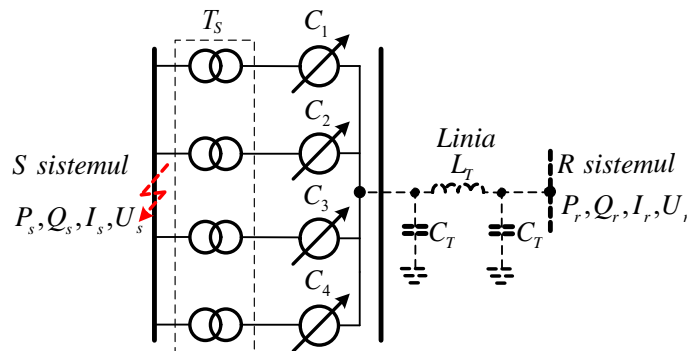


Figura 52 Schema experimentului cu SC la bornele sistemului de recepție.

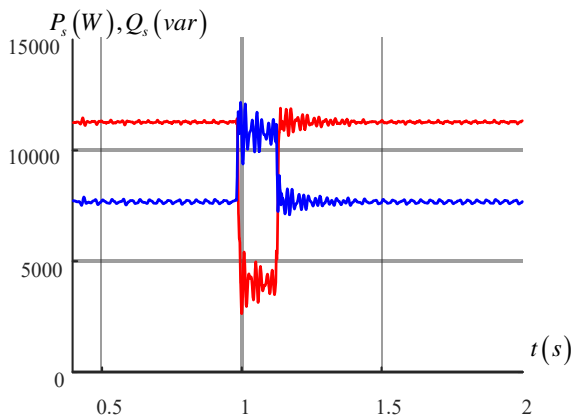


Figura 53 Puterea în sistemul de transmitere.

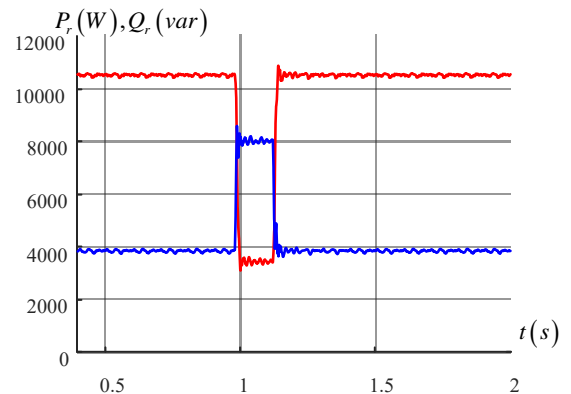


Figura 54 Puterea în sistemul de recepție.

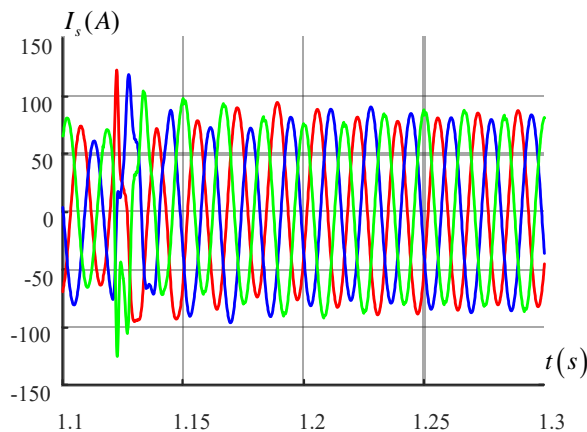


Figura 55 Curentul în sistemele de transmisie în momentul întreruperii scurt circuitului.

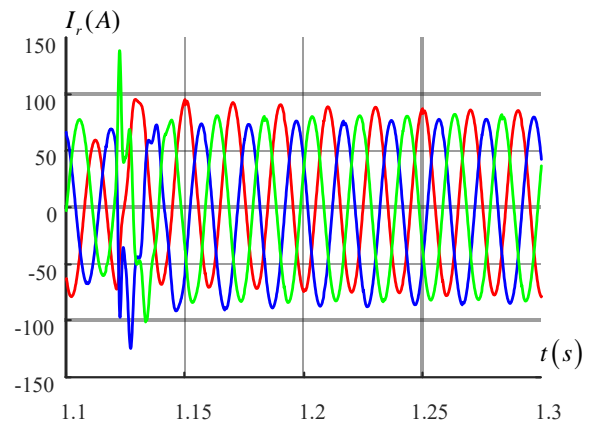


Figura 56 Curentul în sistemele de recepție în momentul întreruperii scurt circuitului.

Rezultatele studiului modurilor de funcționare caracteristice ale instalației au arătat că, indiferent de locul în care s-a produs perturbația, precum și de numărul de canale de funcționare simultane ale instalației, timpul de recuperare după eliminarea perturbației nu depășește 0,2 s, ceea ce corespunde caracteristicilor convertoarelor electromotoare.

Cercetările efectuate indică faptul că versiunea multicanal a instalației permite: organizarea LCS de curent alternativ fără utilizarea filtrelor de armonici cu compensare; principiul aplicat al multicanalului permite îmbunătățirea calității conversiei; oferă posibilitatea înlocuirii reciproce a elementelor individuale ale instalației, majorând fiabilitatea LCS .

Concluzii generale și recomandări. Teza dată rezumă metodele existente a LCS și prezintă posibilitățile pentru rezolvarea problemei științifice și tehnice a organizării LCS a curentului alternativ pe baza schemelor propuse pentru convertoarele statice de frecvență.

Principalele rezultate teoretice și de calcul - experimentale ale lucrării sunt următoarele:

1. Elaborările existente în domeniul metodelor de organizare a LCS de curent alternativ au arătat, că dispozitivul VFT elaborat de General Electric, precum și cercetarea tehnică și experimental a modelului existent al LCS EMPH nu permit asigurarea conexiunii a două sisteme energetice ce funcționează asincron cu o alunecare de frecvență mai mare decât ± 3 Hz.

2. Sunt propuse modelele matematice pentru instalațiile de conversie bazate pe surse de current în baza transformatoarelor statice, ce dovedesc posibilitatea implementării LCS de curent alternativ dintre două sisteme energetice cu standarde de frecvență diferite.

3. Au fost elaborate scheme electrice și structurale - modele de simulare la calculator ale instalațiilor cu scopul realizării cercetărilor experimentale în stări dinamice și statice ale funcționării convertoarelor, care să permită evaluarea calității procesului de conversie.

4. Au fost stabilite legile de control ale unui convertor static de frecvență bazat pe principiul sursei de curent, care fac posibilă transmiterea unei puteri constante dintre sistemele interconectate ce funcționează asincron cu un decalaj de frecvență.

5. Este demonstrată, că convertorul elaborat de frecvență bazat pe surse de curent, permite interconexiunea sistemelor energetice cu diferite standarde de frecvență. Folosirea filtrelor de armonice și amortizoarelor, în acest caz, dau posibilitatea reducerii coeficientului de distorsiune armonică în sistemul de transmitere de la 7,02% la 4%, iar în sistemul de recepție de la 8,31% la 5,07%, ceea ce îndeplinește cerințele standardului IEEE-519.

6. Au fost elaborate variante de scheme ale convertoarelor statice de frecvență pe baza transformatoarelor, care permit aplicarea principiului rotirii fazei tensiunii de ieșire. Sunt propuse legile reglării „grosolane” și „fine”, permițând realizarea procesului de transformare cu diferite grade de discreție.

7. Este demonstrată, că schemele propuse ale transformatoarelor statice cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire și legea de control cu stadiu de comutare discret permit crearea LCS-uri pentru sisteme energetice cu funcționare asincronă, a căror frecvență de alunecare este în diapazonul ± 10 Hz fără utilizarea filtrelor de armonici și amortizoare.

8. S-a constatat că, în cazul abaterilor de la modul de operare normal al rețelei, cum ar fi majorarea sau micșorarea sarcinii sau perturbațiile cauzate de scurtcircuit, instalația studiată restabilește parametrii de funcționare pînă la valori corespunzătoare modului normal de funcționare al instalației într-un timp care nu depășește 0,2 s, și timpul de recuperare nu depinde de locul deteriorării.

9. S-a demonstrat eficiența aplicării principiului multicanalului pe convertoarele statice în baza transformatoarelor statice. Acest principiu face posibilă asigurarea redundanței canalelor dispozitivului, efectuarea de reparații curente și majore, testarea funcționării fiecărui canal individual, fără a perturba funcționarea LCS. Aceasta este un efect pozitiv în ceea ce privește fiabilitatea organizării LCS de curent alternativ a două sisteme energetice cu funcționare asincronă.

10. Rezultatele cercetării au arătat, că tipurile propuse de convertoare statice de frecvență structural sunt omoloage și rezolvă majoritatea problemelor caracteristice întâlnite în transportul energiei la tensiune de curent continuă sau „Link DC-to-Back DC”. Astfel, analogic, instalațiile propuse pot fi numite „Insertion AC” sau „Link AC-Back to Back”.

Rezultatele cercetării au fost confirmate de șase publicații de bază prezentate la patru conferințe.

BIBLIOGRAFIE

1. Калинин Л.П., Зайцев Д.А., Голуб И.В., **Калошин Д. Н.**, *Управление режимом параметрического регулятора мощности типа UIPC (Unified Interphase Power Controller) с использованием электромеханического преобразователя*. Проблемы региональной энергетики. Издательство: Институт энергетики Академии наук Молдовы (Кишинев), 2015 № 3 (29). С. 18-24. ISSN: 1857-0070 eISSN: 1857-0070 <http://journal.ie.asm.md/ru/home>
2. Kalinin L.P., Zaitsev D.A., Tirsu M.S., **Caloşin D.N.**, *The new variant of adaptive interphase power controller with a wide range of controllability*. Collection of works 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN POWER SYSTEMS, MPS 2017 Cluj-Napoca, 06-09 июня 2017 г. Proceedings - 2017 International Conference on Modern Power Systems, MPS 2017 7. 2017. с. 7974381. DOI: 10.1109/MPS.2017.7974381, (SCOPUS);
3. **Калошин Д.**, *Моделирование электромашиного преобразователя частоты в SIMPOWERSYSTEMS*. 10-я Международная конференция «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве», 28-30 сентября 2017 года г. Тирасполь
4. Kalinin L.P., Zaitsev D.A., Tirsu M.S., **Caloşin D.N.**, Lazaroiu G.C., *The interphase power controller. Static and dynamic aspects* Collection of works 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT, CIEM 2017 Bucharest, 19-20 октября 2017 г. Proceedings of 8th International Conference on Energy and Environment: Energy Saved Today is Asset for Future, CIEM 2017 8, Energy Saved Today is Asset for Future. 2018. с. 87-91. DOI: 10.1109/CIEM.2017.8120843, (SCOPUS);
5. Tirsu M., Calinin L., Zaitsev D., Golub I., **Kaloshin D.**, *Means and methods for active and reactive power exchange/regulation*. LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN: 978-620-2-06664-8, 2017, 126pp.
6. **Калошин Д.Н.**, *Способ определения режимных характеристик преобразователя частоты, использующего технологию Interphase Power Controller*. Problemele Energeticii Regionale, ISSN 1857-0070 1 (36) 2018, DOI: 10.5281/zenodo.1217278 (THOMSON);
7. Калинин Л.П., Зайцев Д.А., Тыршу М.С., Голуб И.В., **Калошин Д.Н.**, Погорлецкий В.М., *Характеристики статического преобразователя частоты, выполненного по схеме «зигзаг-треугольник»*. Problemele Energeticii Regionale 1 (45) 2020 Electroenergetica pp. 31-41, ISSN 1857-0070 1 (36) 2018, DOI: 10.5281/zenodo.3713403 (THOMSON).

ADNOTARE

Autor - Danila Caloșin. **Titlu** – Studiul interconexiunii flexibile dintre sistemele energetice în baza transformatoarelor cu conversie de frecvență. Teza privind oferirea titlului de doctor în științe tehnice, specialitatea 221.01. Sisteme și tehnologii energetice.

Structura lucrării: lucrarea constă dintr-o introducere, cinci capitole, concluzii și recomandări, o bibliografie de 137 de titluri și include 8 anexe, 170 de pagini, 108 figuri și 6 tabele. Rezultatele cercetării sunt publicate în 6 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: convertor electromotor de frecvență, legătură controlată asincron între sisteme Interphase Power Controller (IPC), conversie de frecvență, convertor de frecvență multi-modul, convertor static de frecvență pe baza de transformatoare.

Domeniu de cercetare - științe tehnice. **Scopul tezei** este realizarea cercetărilor teoretice și de calcul - experimentale ale LCS a curentului alternativ bazate pe convertoare statice de frecvență.

Obiectivele tezei sunt: dezvoltarea unor modele matematice a dispozitivelor bazate pe surse de curent constant și transformatoare statice cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire; elaborarea schemelor electrice, precum și legilor controlului asupra regimurilor de lucru ale dispozitivelor cercetate; cercetarea dispozitivelor în stare statică și dinamică; determinarea fezabilității unor cercetări ulterioare în domeniul organizării LCS a curentului alternativ pe baza convertoarelor statice de frecvență.

Noutatea științifică a lucrării: constă în elaborarea modelelor matematice dispozitivelor bazate pe surse de curent constant și transformatoare statice cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire; elaborate scheme electrice ale dispozitivelor bazate pe surse de curent constant și transformatoare statice cu transformare circulară a fazei tensiunii de ieșire realizate conform schemei „zig-zag” și „hexagon”; au fost elaborate legi de control ale regimurilor de lucru ale dispozitivelor cercetate pentru organizarea de LCS a curentului alternativ.

Problemă științifică rezolvată: în urma cercetărilor efectuate, este arătată posibilitatea rezolvării problemei științifice și tehnice privind organizarea LCS de curent alternativ pe baza instalațiilor propuse.

Semnificație teoretică. Cercetările efectuate pot servi drept bază pentru un studiu mai profund și mai detaliat al LCS de curent alternativ bazat pe convertoarele statice de frecvență.

Valoarea aplicată a lucrării: implementarea convertoarelor statice de frecvență va oferi posibilitatea elaborării și implementării LCS de curent alternativ mai ieftină și tehnic mai simplă decât interconexiunile de curent continuu.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele cercetării pot fi utilizate în cercetări teoretice și experimentale, lucrări de proiectare și implementare a interconexiunilor de curent alternativ ce funcționează asincron.

CALOȘIN DANILA

**STUDIUL INTERCONEXIUNII FLEXIBILE DINTRE SISTE-
MELE ENERGETICE IN BAZA TRANSFORMATOARELOR
CU CONVERSIE DE FRECVENȚĂ
221.01 – SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 22.06.21	Formatul hîrtiei 60x84 1/16
Hîrtie ofset. Tipar RISO.	Tiraj 30 ex.
Coli de tipar.: 2,0	Comanda nr. 52

UTM, 2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, nr. 168,

Editura "Tehnica-UTM"

MD-2045, Chișinău, str. Studenților, nr. 9/9.