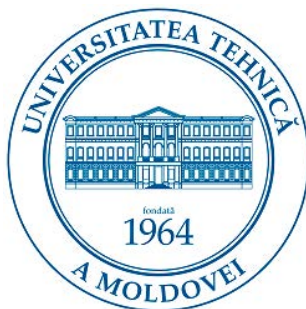


UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI



Cu titlu de manuscris

C.Z.U:621.314(043)

GOLUB IRINA

**UTILIZAREA CONVERTOARELOR COMANDATE DE
PUTERE PENTRU DIRIJAREA CU REGIMUL SISTEMULUI
ELECTROENERGETIC**

221.01. SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Rezumatul tezei de doctor în științe ingineresti

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”

Conducător științific:

Berzan Vladimir conf. cerc., dr. hab.

Referenți oficiali:

Zaițev Dmitrii. conf. univ., dr.

Stratan Ion prof. univ., dr.

Popescu Victor conf. univ., dr.

Membrii ai Comisiei de Doctorat (CD):

Chiorsac Mihail, prof. univ., dr. hab., președinte

Gutu-Chetrușca Corina, lect. univ., dr secretar

Arion Valentin prof. univ.. dr. hab

Susținerea tezei va avea loc la 9 septembrie 2021, ora 12⁰⁰ 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. 02), 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 expediat la iunie 2021.

**Secretar științific
al Comisiei de Doctorat,**
lect. univ., dr,

Gutu-Chetrușca Corina

Conducător științific:
conf. cerc., dr. hab

Berzan Vladimir,

Autor:

Golub Irina

© GOLUB IRINA, 2021

Actualitate și relevanță

În contextul liberalizării și reformei industriei electrice în sistemele energetice din diferite state, cresc și cerințele pentru majorarea capacității de gestionare a rețelelor electrice. Datorită acesteia, în construcția rețelelor electrice se folosesc din ce în ce mai mult instalațiile FASTS, în special, transformatoarele de reglare a diferenței de fază (TDF).

Transformatoarele cu reglare a diferenței de fază comandate de mijloacele electronicii de putere, actualmente reprezintă unul dintre elementele principale ale sistemelor energetice integrate, ce permit implementarea tehnologiei SMART GRID.

Transformatoarele de reglare a diferenței de fază au atât o utilizare independentă (de exemplu, controlul fluxurilor de energie electrică în rețelele electrice eterogene închise), precum și pot face parte integrantă a noilor controlere FACTS combinate, create pe baza lor.

Sarcina elaborării și cercetării noilor soluții tehnice în acest domeniu este relevantă și semnificativă atât din punct de vedere al optimizării parametrilor TDF, cât și pentru îmbunătățirea eficienței, flexibilității și fiabilității sistemelor electroenergetice moderne.

Principalele obiective ale studiului

- Analiza tendinței de dezvoltare a mijloacelor de control cu parametrii regimurilor sistemelor energetice;
- Elaborarea variante a schemelor TDF și cercetarea parametrilor regimurilor lor pe baza mijloacelor de modelare matematică și structurale de simulare;
- Elaborarea mijloacelor și algoritmilor de reglare a unghiului diferenței de fază a TDF;
- Cercetarea și analiza modalităților de reducere a puterii tipice a instalațiilor transformatoare;
- Analiza comparativă a caracteristicilor energetice ale obiectelor investigate;
- Elaborarea și cercetarea controlere FACTS combinate bazate pe TDF ca element de control;
- Elaborarea de soluții tehnice pentru îmbunătățirea calității conversiei de frecvență și putere transmisă;
- Elaborarea, realizarea și testarea unei mostre fizice experimentale a TDF;
- Elaborarea propunerilor pentru utilizarea instalațiilor propuse în sistemul energetic.

Noutatea științifică a lucrării prezentate constă în elaborarea și cercetarea a șapte variante de transformatoare de reglare a diferenței de fază care anterior nu au fost descrise nicăieri, dintre care una a primit brevet de invenție.

Pentru variantele examinate, au fost construite modele structurale de simulare care au permis realizarea unei serii de experimente de calcul și cercetare a obiectelor în diferite regimuri (confirmate prin 7 publicații). Pentru trei dintre variantele schemelor prezentate s-au elaborat modele matematice originale. Sunt propuse metode de secționare a înfășurărilor TDF, oferind o discretitudine diferită de reglare a unghiului de diferență a fazei.

Au fost elaborate și investigate scheme ale controlerelor FACTS comandate de TDF propuse de autor. Pe baza schemei de triunghi, a fost propus și studiat un convertor de frecvență, într-o executare constructivă de un singur canal și prin două canale în diferite modificări. Este ilustrată posibilitatea conversiei de înaltă calitate a frecvenței și a transiterii de putere activă între sisteme energetice cu standarde diferite la menținerea frecvenței. Pe baza schemei de poligon, s-a propus o instalație de compensare controlabilă cu un diapazon extins de reglare a puterii reactive, atât în interval capacitiv, cât și în cel inductiv (confirmate de 8 publicații).

Sunt propuse și investigate metode de îmbunătățire a calității transiterii de putere în procesul de transformare a frecvenței (prin utilizarea unui circuit cu două canale, utilizarea elementelor inductive suplimentare, ajustarea strategiei de dirijare (variante fără inversare)).

Pe baza configurației hexagonale a TDF, a fost elaborată arhitectura mostrei fizice de laborator.

Valoarea teoretică și practică a rezultatelor lucrării.

Valoarea teoretică a investigației constă în elaborarea a șapte variante de scheme ale transformatoarelor de reglare a diferenței de faze și a două controlere FACTS bazate pe acestea, pentru care au fost construite și testate modele matematice, structurale de simulare și fizice. Experimentele de calcul și încercările fizice au confirmat corectitudinea metodelor și modelelor utilizate.

Se presupune că rezultatele cercetărilor vor putea completa baza cunoștințelor teoretice specifice industriei, ceea ce va influența pozitiv ritmul avansării inovațiilor practice în domeniul creșterii gestionării sistemelor electroenergetice. Rezultatele lucrării pot juca rolul unui stimulent pentru cercetarea teoretică în domeniul dezvoltării, creării și aplicării de noi tipuri de FACTS - controlere comandate de mijloace electronice de putere, ca bază a rețelelor adaptiv active inteligente.

Materialele de cercetare pot servi, de asemenea, drept bază pentru elaborarea și proiectarea echipamentului de dirijare cu regimurile conexiunilor de intersistem (interstatale) pentru soluționarea problemelor diversificării aprovizionării cu energie electrică și liberalizării pieței energetice din Republica Moldova.

Metodologie și metode de cercetare

Pentru realizarea modelelor de lucru ale obiectelor de cercetare, obținerea și procesarea rezultatelor experimentelor de calcul, s-au folosit metode de modelare matematică, structurală, de simulare și fizică, precum și metode de cercetare precum măsurarea, compararea, analiza și sinteza. Ca bază pentru modelare, au fost utilizate tehnologii informaționale moderne.

Principalele dispoziții ale tezei prezentate spre susținere:

1. Variantele schemelor ale TDF, care au permis reducerea puterii instalate (tipice) în comparație cu schemele clasice (brevet de invenție).
2. Metode de secționare a înfășurărilor de reglare și a legilor de comutare ale electronicelor de putere pentru realizarea strategiilor de reglare.
3. Modele matematice, structurale, de simulare și fizice ale TDF pentru studierea proceselor de dirijare a comutatoarelor bazate pe strategiile de control elaborate.
4. Variante ale schemelor controlerelor FACTS care permit realizarea interconexiunii reglabile a sistemelor energetice cu diferite standarde de frecvență, controlate de TDF.
5. Metode de îmbunătățire a calității transmisiei energiei electrice în procesul de transformare a frecvenței (aplicarea unei scheme pe două canale, utilizarea elementelor inductive suplimentare, ajustarea strategiei de control (variante fără inversare)).
6. Varianta schemei a unui controler FACTS, care reprezintă o instalație de compensare cu un diapazon extins de reglare atât de natură capacitivă cât și inductivă, fiind comandată de un TDF.
7. Moștra fizică de laborator al TDF cu un sistem de control.

Gradul de autenticitate și aprobare a rezultatelor

Autenticitatea rezultatelor este confirmată: prin aplicarea teoriei clasice a circuitelor electrice, modelării matematice, simulării structurale (Matlab) și modelării fizice, precum și prin compararea rezultatelor obținute folosind diferite metode de cercetare.

Principalele noțiuni și rezultatele tezei au fost raportate și discutate la:

1. Ședințele și seminarele științifice ale Institutului de Energetică a MECC RM.
2. FOREN 2014 - The 12th Wec Central & Eastern Europe Regional Energy Forum. key issue integrating renewable energy sources into the electricity transmission grid. București, 21-26 iunie 2014.
3. SIELMEN 2015 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems.

4. WEC Central and Eastern Europe Regional Energy Forum FOREN 201612-16 June 2016, Vox Maris Grand Resort, Costinesti, Romania.

5. International Conference “Energy of Moldova – 2016. Regional Aspects of Development” 29 September – 01 October, 2016 - Chisinau, Republic of Moldova.

6. Conferința a studenților, masteranzilor și doctoranzilor (Universitatea Academiei de Științe a Moldovei) 15 Iunie 2017, Chișinău, Moldova.

7. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor (Universitatea Tehnică a Moldovei) 28.Martie 2019, Chișinău, Moldova.

8. 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 21-23 May 2019, Cluj-Napoca, Romania

9. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), 29 September to 2 October 2019, Bucharest, Romania

10. WEC CENTRAL & EASTERN EUROPE ENERGY FORUM – FOREN 2020, Energy Transition in South East Europe: Opportunities, Challenges, Perspectives Costinești, Romania, 7-10 September 2020

Pe tema tezei a fost primit un brevet de invenție, au fost publicate 11 articole (din care 6 se află în baza de date THOMSON și 2 în SCOPUS, unul cu un singur autor) și rapoarte prezentate la 6 conferințe internaționale.

Structura și volumul tezei de doctorat conține: introducerea; cinci capitole; concluzii; bibliografie care conține 168 de surse și 7 anexe; 190 de pagini text de bază; 15 tabele și 117 figuri. În urma rezultatelor obținute ale cercetării, au fost publicate 18 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: transformator cu reglare a diferenței de fază, modelare matematică, modelare structurală de simulare, strategie de control, caracteristici energetice, FACTS combinat, mostră de laborator.

CONȚINUTUL DE BAZĂ AL LUCRĂRII

Introducerea fundamentează relevanța temei lucrării de teză, formulează obiectivele, reflectă noutatea științifică, noțiunile expuse spre susținere și valoarea practică, oferă informații despre aprobarea și publicarea principalelor rezultate ale cercetării, reflectă structura și volumul lucrării.

Primul capitol "INSTALAȚIILE DE REGLARE CA UN ELEMENT DE CONTROL AL REGIMURILOR SISTEMELOR ENERGETICE MODERNE", descrie caracteristica

transformatorului cu reglare a diferenței de fază, cu specificul și particularitățile acestor instalații, la care se referă: dimensiuni semnificative; puterea tipică sporită a instalației, care în varianta clasică ajunge la 2.15 comparativ de cea tranzitorie; costuri ridicate (2-5\$/kBA); utilizarea numai în scopuri care justifică costurile de fabricare.

Este demonstrat că transformatoarele cu reglarea a diferenței de faze pot fi utilizate la soluționarea următoarelor probleme: optimizarea regimului normal al rețelelor electrice; topirea chiciurei pe firele liniilor aeriene; utilizarea TDF în componența Asisted PST; utilizarea TDF ca parte componentă a IPC (Interphase Power Controller); dirijarea cu regimurile tranzitorii pentru sporirea gradului de stabilitate; pentru eliminarea restricțiilor de livrare a energiei electrice în diferite regimuri de după avariere și reparații ale rețelelor electrice; ameliorarea caracteristicilor și creșterea rezervei de putere ale stațiilor electrice; gestionarea cu regimurile interconexiunilor dintre sisteme și interstatale.

În capitol sunt prezentate și studiate metode de obținere a tensiunii de adaos: reglarea transversală; reglarea longitudinal-transversală și reglarea simetrică.

De asemenea, sunt descrise configurații tipice (cu unu și două transformatoare) și variante constructive a schemei TDF (simetrice și asimetrice) în dependență de tensiunea nominală, puterea de ieșire și unghiul diferenței de fază necesar, a cărui valoare influențează direct puterea și dimensiunea instalației transformatoare.

Un element important al TDF reprezintă instalația de reglare a unghiului diferenței de fază. Mijloacele de control a TDF pot fi realizate pe baza comutatoarelor electromecanice sau cu ajutorul electronicelor de putere. TDF reglate prin comutatoarele mecanice sub sarcină (CSS) nu au viteza de acționare suficientă, deoarece comutarea unei singure trepte de reglare durează până la 5,4 s. TDF cu acționare rapidă, comandate de comutatoare bazate pe instalații semiconductoare de putere, permit o adaptare fără probleme la regimul curent de funcționare al sistemului electroenergetic, asigurând stabilitatea acestuia în procesele tranzitorii cu parametri optimi.

Unul dintre factorii de constrângere la utilizarea practică a TDF este costul destul de ridicat al elementelor semiconductoare de putere, care obligă limitarea proprietăților funcționale ale mijloacelor de control la capacitatea efectuării operațiilor minime necesare în detrimentul capacităților potențial existente. Economia de cost obținută prin reducerea puterii tipice a TDF poate fi utilizată la extinderea funcțiilor de reglare.

Este analizată experiența elaborării, producerii și implementării în practica mondială a instalațiilor cu reglare a diferenței de faze. S-a efectuat o revizuire a literaturii asupra stării

problemei. S-au estimat perspectivele de creștere ale pieței globale pentru transformatoarele de reglare a diferenței de fază.

Este demonstrat că în viitorul apropiat dinamica creșterii va atinge în medie aproximativ 6,8% și va ajunge la 100 mln.\$ către a.2023, comparativ cu 73 mln.\$ din a.2019. A fost finalizată o revizuire a literaturii pe tema cercetării.

Capitolul doi „MODELAREA CARACTERISTICILOR INSTALAȚIILOR DE REGLARE A DIFERENȚEI DE FAZE” descrie metodele și instrumentele utilizate în lucrare pentru atingerea obiectivelor. Procesul de cercetare se bazează pe metodele modelării matematice, structurale, de simulare și modelare fizică. La baza creării modelelor matematice a stat teoria circuitelor electrice. Pentru simularea structurală, a fost utilizat mediul MatLab - Simulink - SimPowerSystems. În modelarea fizică au fost aplicate următoarele metode de cercetare: experiment, comparație, măsurare, analiză și sinteză.

Sunt propuse trei variante constructive a schemei TDF cu un interval de reglare al unghiului de $\psi = 0 \div \pm 60^\circ$: „instalație cu un singur transformator cu reglare în neutru” (Fig. 1), în „triunghi” (Fig. 5,6) și în „stea” (Fig. 8). Pentru fiecare TDF, au fost create modele matematice care au permis determinarea corelației dintre parametrii regimurilor instalațiilor.

Instalația (Fig. 1) reprezintă un transformator trifazat cu trei înfășurări, care conține sisteme trifazate de înfășurări primare (W_1) și secundare (W_2), precum și un sistem trifazat a înfășurărilor de comandă (W_3) cu ramuri de reglare. Un comutator suplimentar S stabilește semnul de reglare al diferenței de fază. În Fig.2 este prezentată o diagramă vectorială a tensiunilor care explică funcționarea instalației și permite obținerea expresiilor principale ce caracterizează parametrii de funcționare ai instalației.

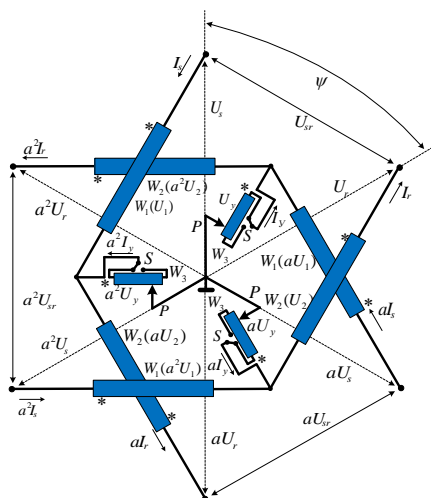


Fig.1. TDF, realizat conform schemei „unui singur transformator cu reglare în neutru”

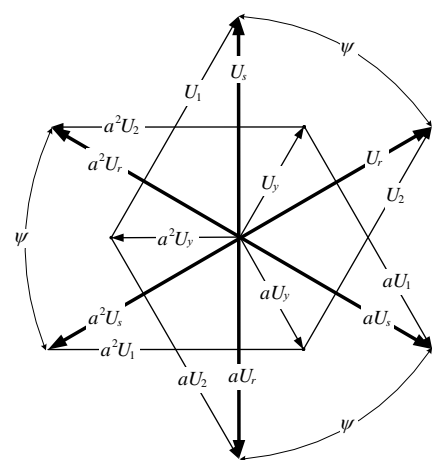


Fig.2. Diagrama vectorială a tensiunilor

Pentru racordarea regimul la starea reală a instalației, introducem conceptul coeficientului de control $k_y = \frac{W_3}{W_1} = \frac{W_3}{W_2}$, care reprezintă o coordonată independentă de reglare. Coeficientul

complex de transformare a tensiunii este stabilit reieșind din expresiile pentru tensiunea de pe barele instalației: $U_s = U_1 + a^2 U_y = (1 + a^2 k_y) U$, $U_r = U_2 + a U_y = (1 + a k_y) U$,

unde a este un operator complex al sistemului trifazat. Atunci $U_r = \frac{1 + a k_y}{1 + a^2 k_y} U_s$. Factorul aflat

în fața tensiunii U_s , reprezintă coeficientul său complex de transformare a tensiunii

$\dot{K} = \frac{1 + a k_y}{1 + a^2 k_y}$. Dacă $k_y = 0$, obținem $\dot{K} = 1$, fapt ce înseamnă că $U_s = U_r$, iar unghiul $\psi = 120^\circ$.

Din ecuația echilibrului electromagnetic, determinăm coeficientul complex de transformare pentru curentul de sarcină. În condițiile descrise mai sus, obținem:

$\frac{I_s - I_r}{k_y} = a^2 I_r - a I_s$, sau $I_r = \frac{1 + a k_y}{1 + a^2 k_y} I_s$. Astfel, coeficientul de transformare a curentului este

complet în concordanță cu coeficientul de transformare a tensiunii. Dacă modulele tensiunii de intrare și ieșire sunt egale, precum are loc în regimul mersului în gol, putem scrie:

$$\dot{K} = \frac{1 + a k_y}{1 + a^2 k_y} = e^{j\psi} = \cos\psi + j \sin\psi.$$

Principalii indici care determină caracteristicile energetice și de sinecost ale instalației, sunt curenții și tensiunile din elementele sale. Tensiunea U_{sr} între bornele de intrare și ieșire ale instalației fiind:

$$U_{sr} = -\frac{3}{2} k_y \frac{k_y - j \frac{2}{\sqrt{3}} (1 - \frac{k_y}{2})}{1 - k_y + k_y^2} U_s.$$

Tensiunile variabile ale înfășurărilor W_1 , W_2 și W_3 la reglarea unghiului ψ sunt:

$$|U_1| = |U_2| = \frac{\frac{k_y}{2} + \sqrt{1 - k_y + \frac{k_y^2}{4}}}{\sqrt{1 - k_y + k_y^2}} U_s, \quad |U_3| = |U_y| = \frac{k_y}{\sqrt{1 - k_y + k_y^2}} U_s.$$

Curentul înfășurării de control este caracterizat prin raportul:

$$I_y = \frac{\frac{k_y}{2} + \sqrt{1 - k_y + \frac{k_y^2}{4}}}{\sqrt{1 - k_y + k_y^2}} I_s.$$

Cea mai importantă caracteristică a instalației constituie puterea nominală (tipică), care poate fi considerată ca un indicator care permite evaluarea comparativă a diferitelor soluții de proiectare:

$$S_{PST} = \frac{(\frac{\sqrt{3}}{2}k_y + \sqrt{I - k_y + k_y^2})(\frac{k_y}{2} + \sqrt{I - k_y + \frac{k_y^2}{4}})}{I - k_y + k_y^2} U_s I_s = (1 + \sin \frac{\psi}{2})(\cos \frac{\psi}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \frac{\psi}{2}) U_s I_s.$$

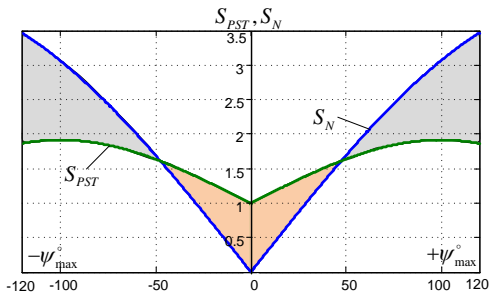


Fig.3. Curbele modificării puterii nominale

Figura 3 prezintă curbele modificării puterii nominale a instalației cu două transformatoare clasice S_N cunoscute și a TDF S_{PST} examinat, care denotă eficiența utilizării instalației în mai multe intervale de regare de peste $\pm 50^\circ$.

Pe baza modelului de simulare structurală în mediul Matlab/Simulink, pentru TDF (Fig.1), s-au calculat parametrii regimurilor caracteristice. Fig.4, de exemplu, reprezintă graficele curenților și tensiunilor din elementele instalației în regimul de sarcină. Liniile arată caracteristicile obținute pe baza modelului matematic, iar punctele arată caracteristicile obținute la modelarea de simulare structurală. Se observă coresponderea datelor obținute în diferite tipuri de modelare.

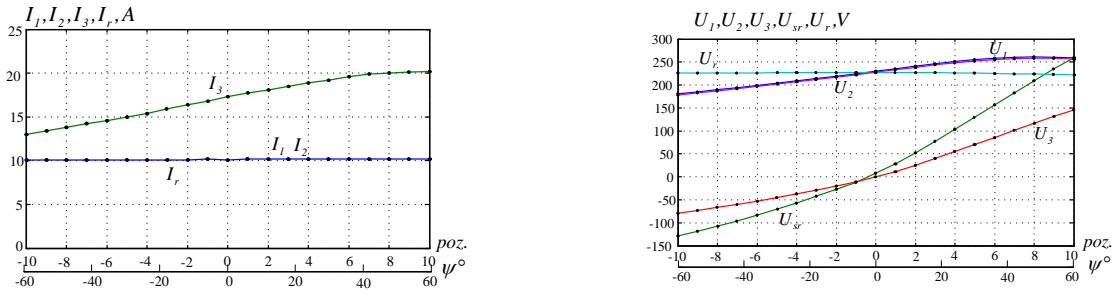


Fig.4. Graficele curenților și tensiunilor din elementele instalației, realizate conform schemei "cu un singur transformator cu reglare în neutru"

Elementele principale ale instalației realizate conform schemei în „triunghi” (fig.5,6) sunt două transformatoare de putere, unul dintre acestea îndeplinind funcțiile unui element paralel (sau de magnetizare), celălalt - funcțiile unui element în serie (sau deplasare de fază). Indicele "p" marchează înfășurările și valorile electrice corespunzătoare regimului transformatorului de magnetizare, indicatorul "q" - înfășurările și valorile electrice ale transformatorului cu diferență în fază.

Înfășurarea de înaltă tensiune a transformatorului cu diferență de fază W_{1q} are un punct mediu "m" la care sunt conectate ieșirile de înaltă tensiune ale înfășurărilor W_{1p} a transformatorului de magnetizare, conectate în triunghi. Această variantă permite obținerea stabilității tensiunii de ieșire în procesul de reglare a unghiului ψ .

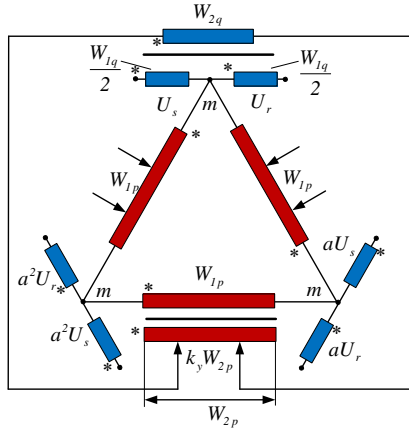


Fig.7. TDF realizat conform schemei de „triunghi”

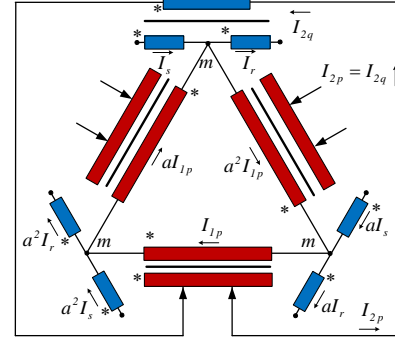


Fig.8. Distribuția curenților de-a lungul înfășurărilor instalației

Modificarea unghiului deplasării de fază între intrarea U_s și ieșirea U_r instalației se realizează prin mișcarea reciprocă a contactelor de reglare pe înfășurarea de joasă tensiune W_{2p} .

Reieșind din Fig.5,6, ecuația pentru echilibrul electromagnetic al transformatorului cu diferență de faze poate fi scrisă: $I_s \frac{W_{1q}}{2} + I_r \frac{W_{1q}}{2} = I_{2q} W_{2q}$, și s-au obținut ecuațiile care caracterizează parametrii regimurilor instalației. Expresiile pentru curenți și tensiuni pentru elementele de excitare și diferenței de faze:

$$I_{1p} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \frac{\psi}{2} I_s, \quad U_{1p} = \sqrt{3} \cos \frac{\psi}{2} U_s, \quad I_{2p} = \frac{\cos \frac{\psi}{2}}{k_q} I_s, \quad U_{2p} = 2k_q \sin \frac{\psi}{2} U_s.$$

$$I_{1q} = I_s, \quad U_{1q} = \frac{U_{2q}}{k_q} = 2 \sin \frac{\psi}{2} U_s, \quad I_{2q} = \frac{\cos \frac{\psi}{2}}{k_q} I_s, \quad U_{2q} = U_{2p} = 2k_q \sin \frac{\psi}{2} U_s,$$

unde $k_q = \frac{W_{2q}}{W_{1q}}$ este coeficientul de transformare.

Cercetarea TDF (Fig.5) s-a realizat prin analogie cu TDF (Fig.1), adică folosind două tipuri de modele. Fig.7 prezintă graficele curenților și tensiunilor din elementele instalației în regimul de sarcină. Liniile prezintă caracteristicile obținute pe baza modelului matematic, și „steluțele” - în timpul simulării structurale.

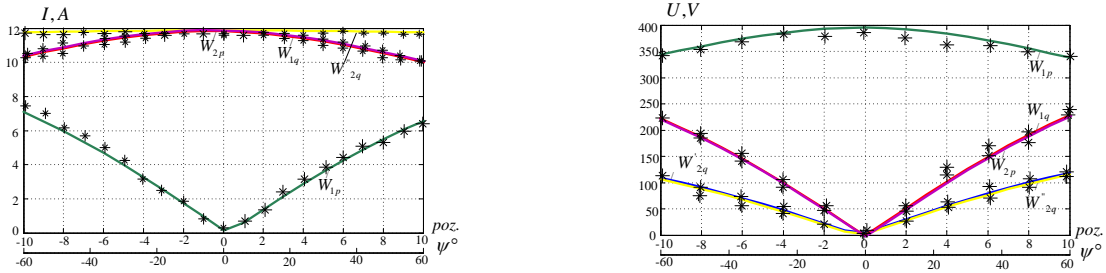


Fig.10. Graficele curenților și tensiunilor din elementele instalației realizate conform schemei în „triunghi”

TDF realizat conform schemei în „stea” din Fig.8 are, de asemenea, o configurație cu două transformatoare. Schema circuitului electric al instalației pe partea de înaltă tensiune este descrisă în Fig.8a, circuitul electric pe partea de joasă tensiune – în Fig.12b.

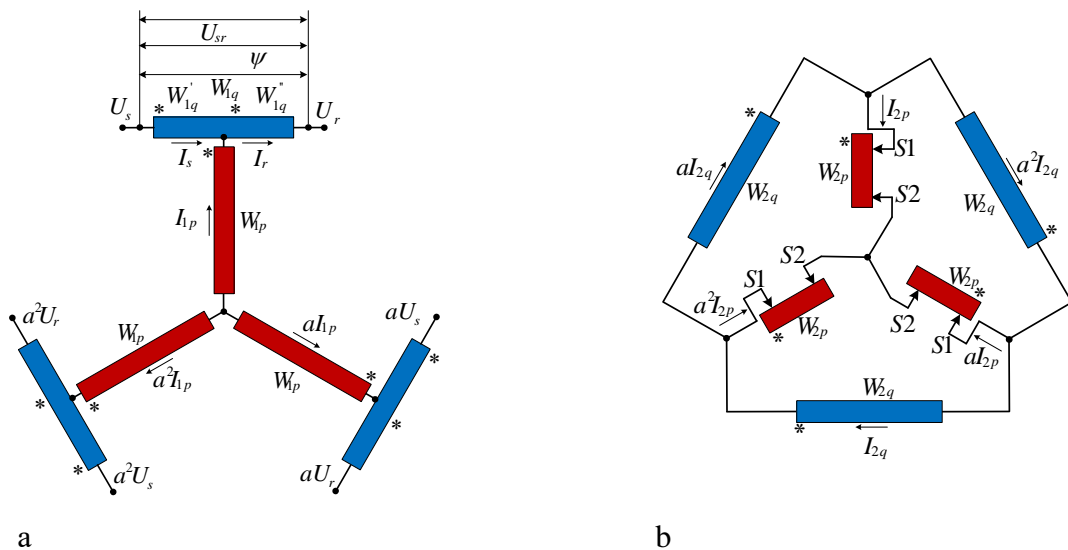


Fig.8. TDF realizat în conformitate cu schema în „stea”

Reglarea diferenței de fază ψ a tensiunii de ieșire U_r în raport cu tensiunea de intrare U_s este efectuată prin contra mișcare a contactelor $S1, S2$ a comutatorului sub sarcină prin ramurile înfășurării de reglare de joasă tensiune W_{2p} a transformatorului de magnetizare.

Înfășurările de înaltă tensiune ale transformatorului cu diferență de fază W_{1q} au puncte medii, la care sunt conectate ieșirile de înaltă tensiune ale înfășurărilor W_{1p} transformatorului de magnetizare, conectate în schema de „stea”.

Pentru TDF din Fig.8, s-au obținut expresiile care caracterizează curenții și tensiunile pentru elementele excitante și deplasare de fază:

$$I_{1p} = 2 \sin \frac{\psi}{2} I_s, \quad U_{1p} = \cos \frac{\psi}{2} U_s, \quad I_{2p} = \frac{\sqrt{3}}{k_q} \cos \frac{\psi}{2} I_s, \quad U_{2p} = \frac{2}{\sqrt{3}} k_q \sin \frac{\psi}{2} U_s.$$

$$I_{1q} = I_s, \quad U_{1q} = 2 \sin \frac{\psi}{2} U_s, \quad I_{2q} = \frac{\cos \frac{\psi}{2}}{k_q} I_s, \quad U_{2q} = 2k_q \sin \frac{\psi}{2} U_s.$$

Puterea nominală a instalației $S_{\phi PT} = S_p + S_q = 4U_s I_s \sin \frac{\psi_{max}}{2}$.

Investigațiile TDF (Fig.8) s-a realizat prin analogie cu TDF (Fig.1.5) bazat pe modele matematice, precum și modele SPS. Fig.9,10 reprezintă curbele modificării parametrilor regimurilor TDF în procesul de reglare al diferenței de fază în regimul de sarcină. Liniile reprezintă caracteristicile obținute pe baza modelului matematic, și „steluțele” - în timpul simulării structurale.

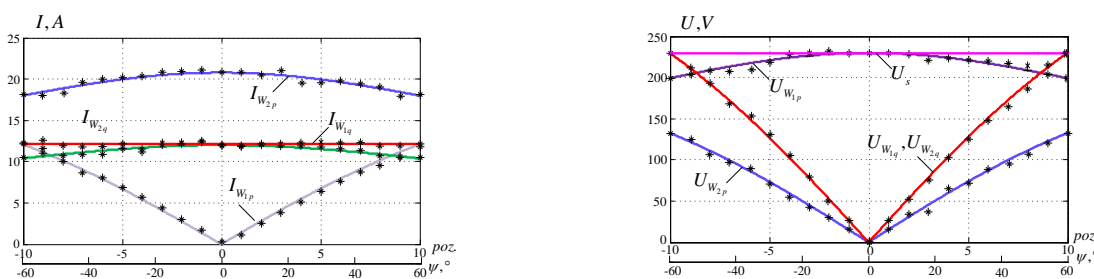


Fig.9. Graficele curenților și tensiunilor din elementele instalației realizate conform schemei în "stea"

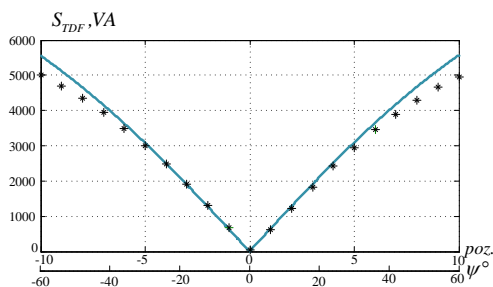


Fig.10. Caracterul modificării puterii tranzitorii

Analiza comparativă a caracteristicilor regimurilor obiectelor de cercetare obținute atât prin modelare matematică, cât și prin modelare structurală și simulare, denotă similaritatea rezultatelor.

Reieșind din aceasta, s-a decis aplicarea modelării structurale de simulare ca metodă principală pentru investigarea variantelor schemelor propuse a TDF.

În capitolul trei „ANALIZĂ COMPARATIVĂ A CARACTERISTICILOR ENERGETICE ALE INSTALAȚIILOR STATICE DE REGLARE A DIFERENȚEI DE FAZE” au fost elaborate patru variante de secționare a înfășurărilor de comandă, în dependență de cerințele față de precizia de reglare a unghiului tensiunii de ieșire impus transformatorului de reglare a diferenței fazei. Pentru fiecare variantă de reglare, au fost propuse legile de comutare a cheilor tiristoare de putere, fapt care a permis asigurarea diapazonului necesar de control al unghiului de deplasare a fazei. Diagrama de secționare a înfășurărilor de control și legile

comutării prin comutatoare de putere la 7, 10, 12 și 15 trepte de reglare sunt prezentate în Fig.11-14, respectiv.

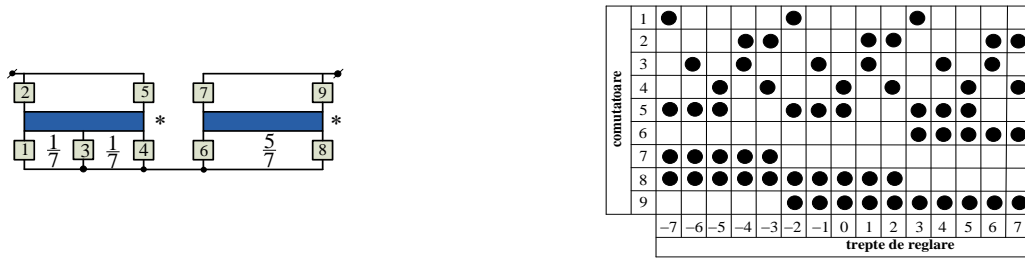


Fig.11. Înfășurarea de control și legea comutării cu comutatoarele de putere în 7 trepte de reglare

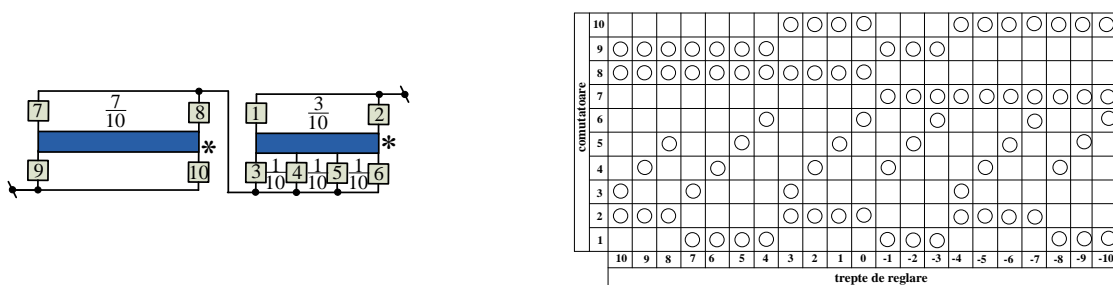


Fig.12. Înfășurarea de control și legea comutării cu comutatoarele de putere în 10 trepte de reglare.

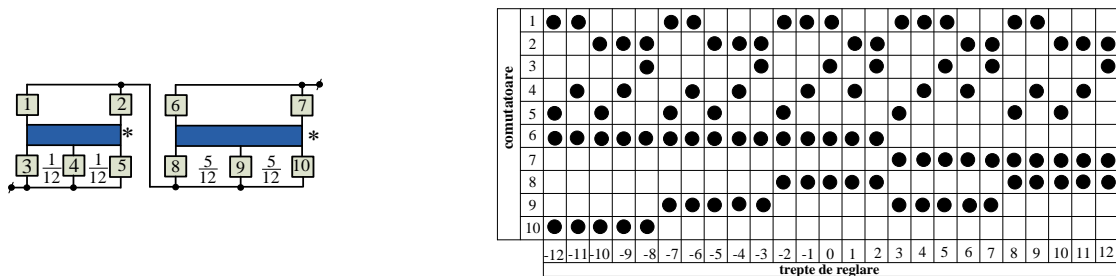


Fig.13. Înfășurarea de control și legea comutării cu comutatoarele de putere în 12 trepte de reglare.

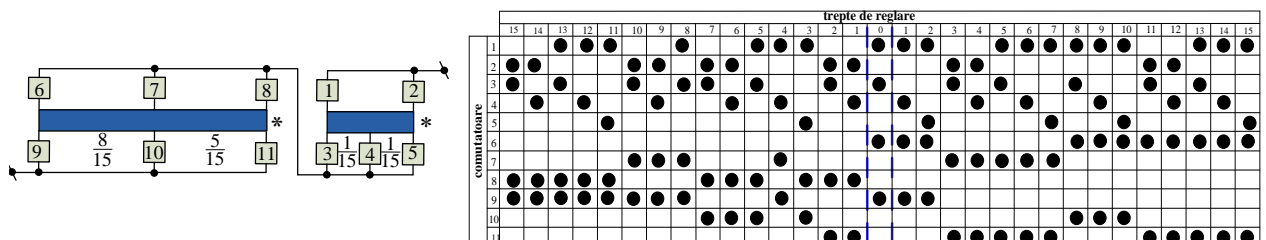


Fig.14. Înfășurarea de control și legea comutării cu comutatoarele de putere în 15 trepte de reglare

Au fost elaborate și cercetate patru variante a TDF, ale căror scheme sunt prezentate în Fig.15-18.

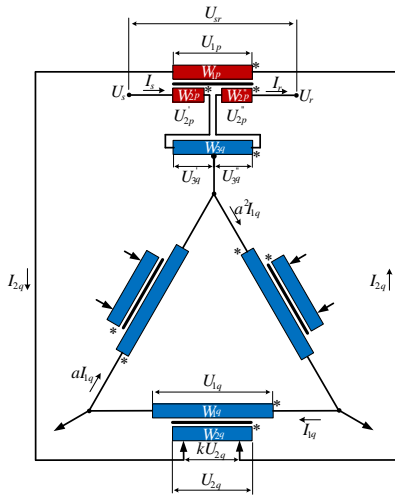


Fig.15. Schema TDF realizată conform schemei de „triunghi modificat”

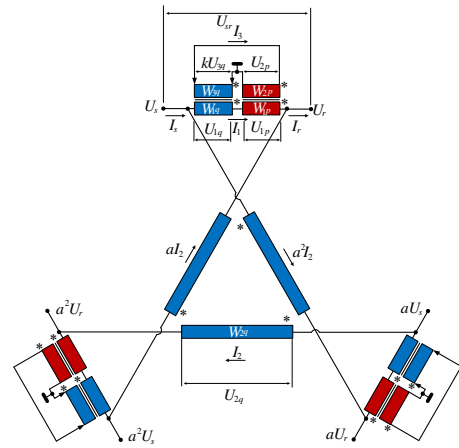


Fig.16. Schema TDF realizată conform schemei de „poligon inversat”

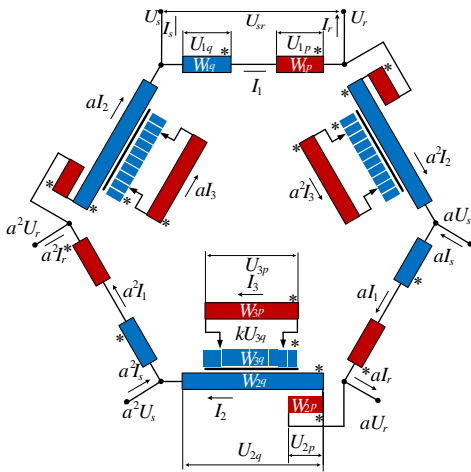


Fig.17. Schema TDF realizată conform schemei de „poligon modificat”

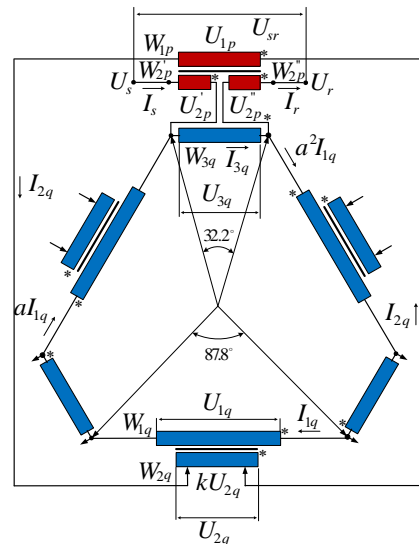


Fig.18. Schema TDF realizată în „configurație hexagonală”

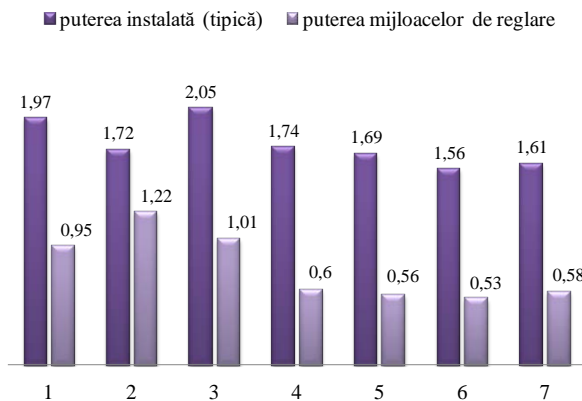
Pentru fiecare variantă, au fost aplicate diverse strategii și legi de control, oferind un interval al schimbării unghiului diferenței de fază $\psi = 0 \div \pm 60^\circ$: „triunghi modificat” cu reglare conform Fig.13; „poligon inversat” cu reglare conform Fig.14; „poligon modificat” cu reglare conform Fig.12; „în configurație hexagonală” cu reglare conform Fig.11.

Pentru fiecare dintre schemele examinate, în mediul Matlab / Simulink au fost create modelele SPS, în baza cărora s-au realizat încercările de calcul. Analiza rezultatelor obținute a permis determinarea caracteristicilor energetice ale TDF, precum și efectuarea unei analize comparative a tuturor obiecte de cercetare în conformitate cu criteriile selectate:

$S_{\phi PT} / S_r$ - coeficientul, care caracterizează puterea instalată (tipică) a instalației;

S_{PE} / S_r - coeficientul, care caracterizează puterea mijloacelor de reglare.

Rezultatele analizei comparative a acestor indicatori sunt prezentate sub aspectul unor diagrame din Fig.19.



- 1 - schema în „stea”,
- 2 – schema „unui singur transformator cu reglare în neutru”,
- 3 – schema în „triunghi”,
- 4 - schema în „triunghi modificat”,
- 5 - schema în „poligon inversat”,
- 6 - schema în „poligon modificat”,
- 7-schema TDF în „configurație hexagonală”.

Fig.19. Caracteristicile energetice ale variantelor schemelor TDF

Ca una dintre metodele eficiente care vizează reducerea puterii instalate a instalațiilor cercetate, s-a propus utilizarea unei baterii de condensatoare conectată între intrarea și ieșirea TDF.

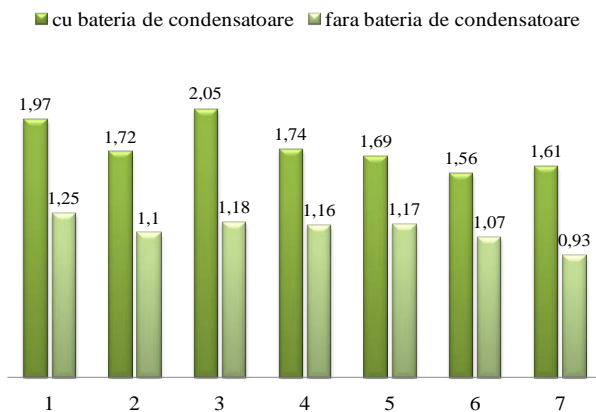


Fig.20. Puterea instalată a variantelor schemelor TDF cu utilizarea bateriei de condensatori

Rezultatele modelării structurale de simulare au permis determinarea parametrilor optimi ai unei baterii de condensatori și a demonstra eficacitatea metodei propuse (transfer capacitiv al unei părți de putere), ceea ce ne-a permis să reducem puterea nominală a TDF (Fig. 20).

Informațiile prezentate în Fig.19,20 denotă concluzia că TDF (6,7) are cei mai mici indicatori. Rezultatele pot fi aplicate pentru o analiză comparativă a variantelor shemelor instalațiilor transformatoare a TDF elaborate în viitor.

În al patrulea capitol „APLICAREA TDF CA ELEMENT ALE FACTS CONTROLERELOR COMBINATE”, sunt cercetați parametrii regimului conexiunii electrice care conține un convertor de frecvență, realizat în baza TDF. Fig.21 prezintă o variantă schematică a unui convertor de frecvență cu un singur canal bazat pe un transformator cu reglare a diferenței de faze.

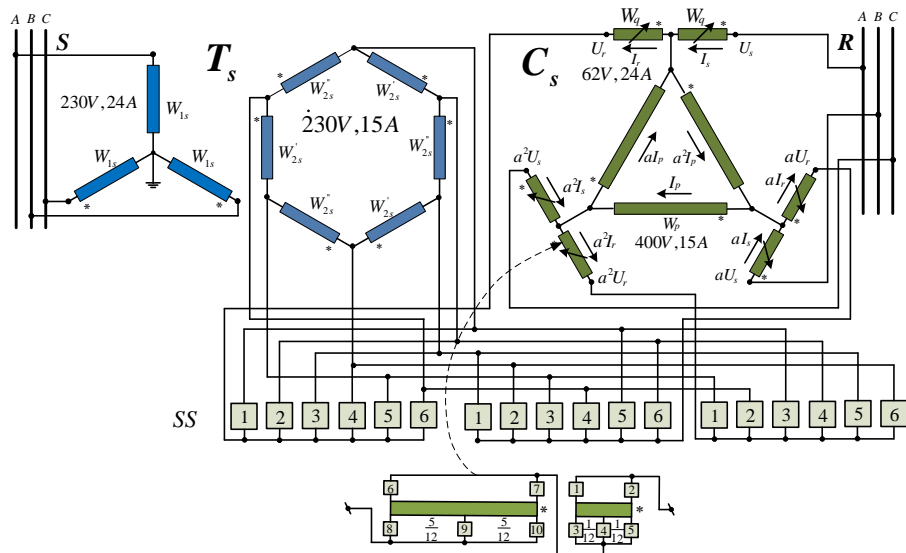


Fig.21. Schema convertorului de frecvență cu un singur canal

Elementul principal al convertorului constituie transformatorul de reglare a diferenței de fază C_s , care conține în fiecare fază înfășurări de lucru nereglabile conectate în triunghi și două înfășurări de comandă identice, conectate în serie prin punctul mediu al conexiunii lor la vârfurile triunghiului. Înfășurările de comandă sunt secționare și asigură reglarea în trepte a deplasării de fază la ieșirea din blocul de reglare fină. Reglarea fină depinde de numărul secțiunilor înfășurării de lucru (pentru instalația în cauză sunt acceptate 12). S-a elaborat o nouă strategie de reglare (Fig.22), care asigură o rotație circulară a convertizorului de frecvență cu o rezoluție de $2,5^\circ$ și inversarea înfășurării de comandă.

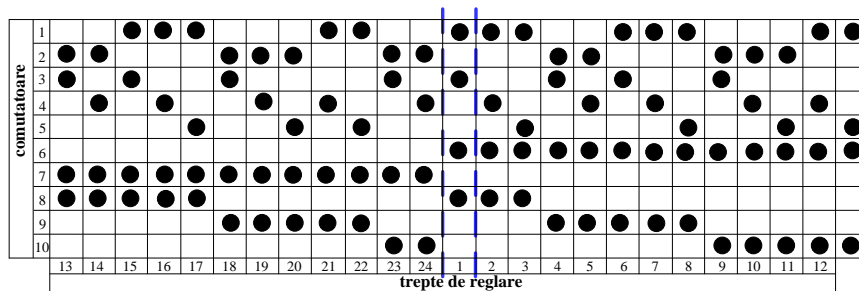


Fig. 22. Strategia de comandă a invertorului

Înfășurarea primară a transformatorului de putere T_s este conectată la sursa de alimentare. Înfășurarea secundară a transformatorului de putere T_s este realizată conform schemei poligonului, la vârfurile căruia este conectat un set condiționat de comutatoare electronice de putere SS , care formează un bloc de reglare brută al convertorului.

Blocul de reglare brută asigură divizarea cercului de transformare în șase sectoare (a câte 60° în fiecare), în cadrul cărora funcționează blocul de reglare fină. Comutarea secțiunilor

înfășurărilor de lucru oferă o modificare în trepte a unghiului diferenței de fază al tensiunii la ieșire în raport cu tensiunea aplicată în intervalul de la 0 până la 360 de grade. Pe baza modelului de simulare structurală, au fost efectuate experimente de calcul în conformitate cu schema din Fig.23.

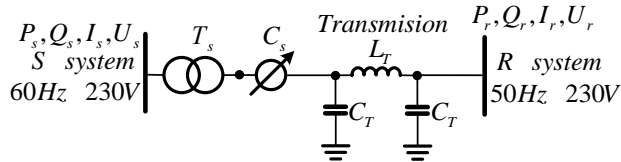


Fig.23. Schema experimentului cu funcționarea paralelă a două sisteme energetice printr-un convertor de frecvență și LEA

Pentru îmbunătățirea calității transformării frecvenței și a stabilității puterii transmise fără utilizarea unor mijloace speciale, se propune o variantă a convertorului cu funcționare în două canale (Fig.24) și cu

o deplasarea fazei tensiunii la 30 de grade între canale., care a permis reducerea fluctuației puterii active transmise în procesul concordanței frecvențelor.

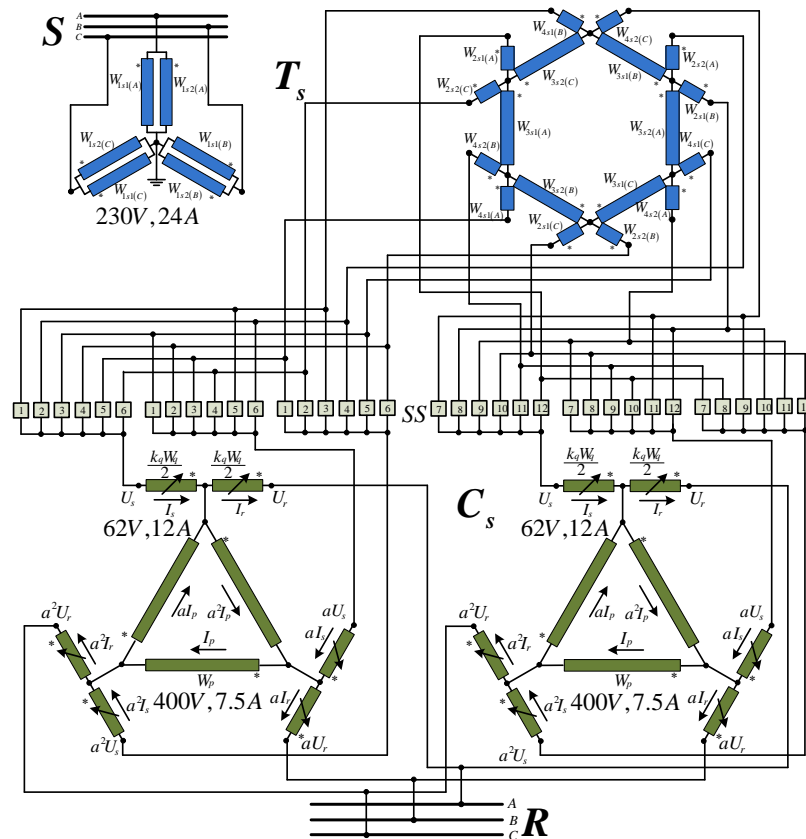


Fig.24. Schema convertizorului de frecvență cu funcționare în două canale

Drept următorul pas către îmbunătățirea schemei transformării frecvenței convertizorului cu două canale, a fost propusă o variantă de secționare a înfășurărilor de comandă (Fig.25) a transformatorului de reglare a diferenței de faze, precum și o lege de dirijare a comutatoarelor de putere, fapt ce a permis pe lângă asigurarea a 12 trepte de comutare, evitarea inversării

înfășurării de control și de a reduce numărul elementelor de putere în circuitul cu două canale, ceea ce poate conduce la o ieftinire în ansamblu a instalației (Fig.26).

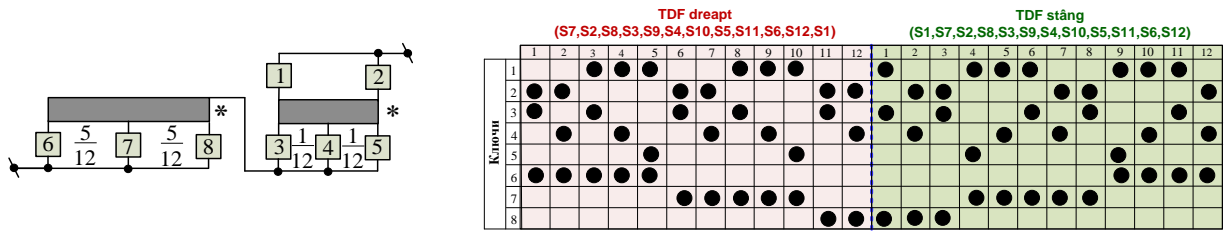


Fig.25. Înfășurarea și legea de reglare ce asigură o strategie de control „fără inversare”

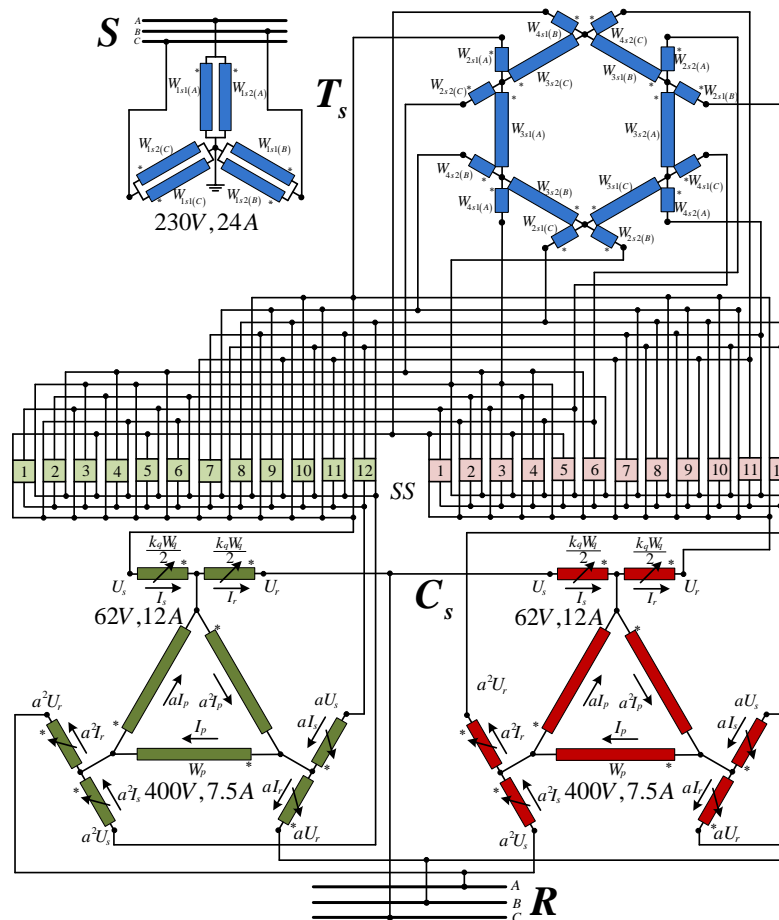


Fig.26. Schema bazată pe strategie de control a „inverterului cu două canale fără inversare”

Convertizorul (Fig.26) are cu 12 comutatoare de putere de reglare brută mai mult și cu 24 de comutatoare de putere de reglare fină mai puțin, comparativ cu varianta schemei (Fig.24). De menționat că pentru ambele variante puterea totală a comutatoarelor de control brut rămâne aceeași.

Pentru a compara variantele schemelor convertoarelor în privința calității coordonării frecvenței și a transmisiei de putere, au fost utilizați următorii indici:

- abaterea (devierea) puterii active transmise la sistemul de transmitere $\partial P_s, \%$ și de primire $\partial P_r, \%$ de la valorile specificate;

- denaturarea armonică a curentului la sistemele de transmisie $THD(I_s), \%$ și recepție $THD(I_r), \%$.

Rezultatele experimentelor de calcul au arătat avantajul incontestabil al schemei convertizorului cu două canale „fără inversare” (Fig.27,28).

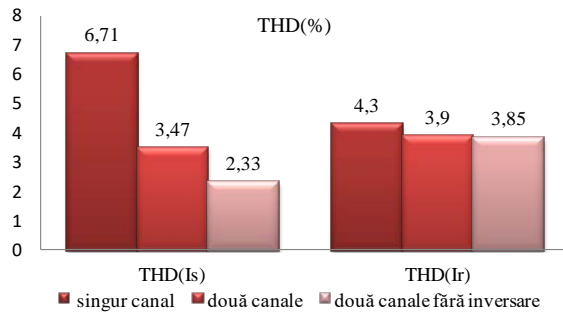


Fig.27. Coeficientul de distorsiune armonică a curenților și a sistemelor de transmisie și recepție

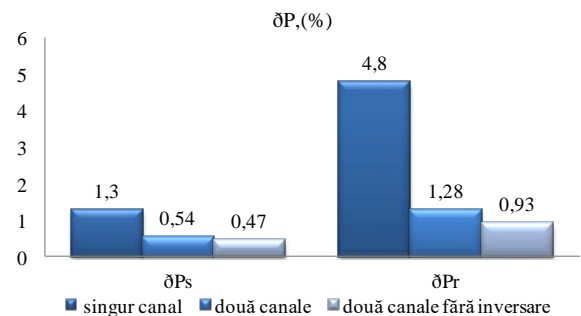


Fig.28. Devierea puterii active transmise la sistemele de transmisie și recepție

S-au efectuat cercetări pentru evaluarea influenței inductanței conectate longitudinal asupra calității conversiei. Sunt determinate valorile inductanțelor, care se află în intervalul de 0,03-0,035 Ht, oferind cele mai bune caracteristici de transmisie. S-a demonstrat eficiența utilizării elementelor inductive (inductanțe) pentru îmbunătățirea caracteristicilor calitative de transformare pentru putere și frecvență (Fig.29,30).

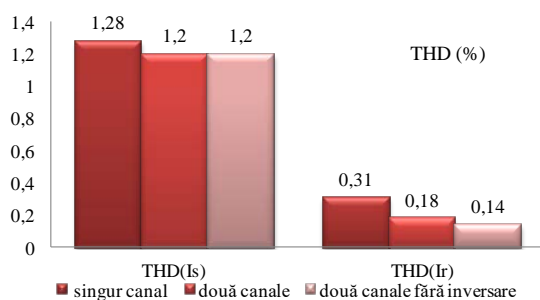


Fig.29. Coeficientul de distorsiune armonică a curenților pe sistemele de transmisie și recepție

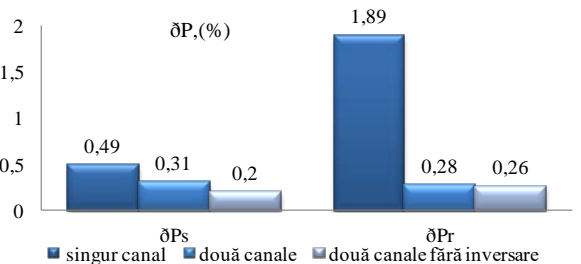


Fig.30. Devierea puterii active transmise asupra sistemelor de transmisie și recepție

A fost propus și investigat un controler FACTS dirijat de TDF și cu îndeplinirea funcției unei surse de putere reactivă, schema principală a cărei este prezentată în Fig.31.

Instalația propusă este compusă din următoarele elemente:

- un transformator, cu înfășurările primare conectate în perechi în schema „stea” și incluse în bransamentul ramificării liniei, iar înfășurările secundare conectate conform schemei de „hexagon”;
- un transformator de reglare a diferenței de faze, conectat în faze la vârfurile hexagonului și cu posibilitatea inversării;
- elemente reactive cuplate L și C , cu rezistențe egale și conectate la instalație printr-un TDF reversibil, precum se arată în Fig.31.

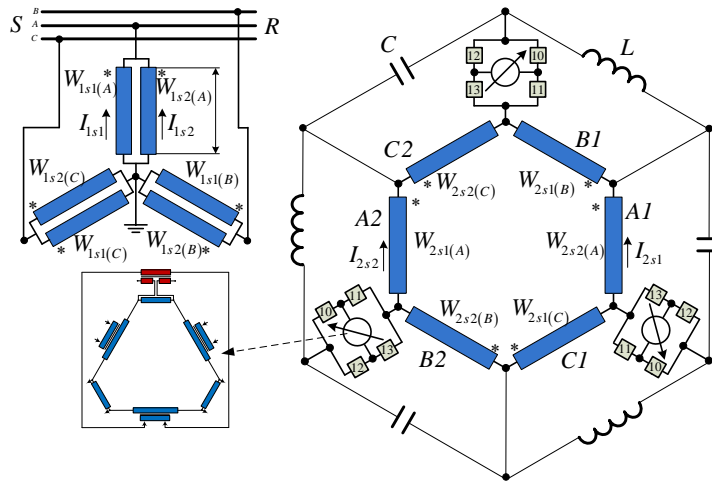


Fig.31. Schema sursei de putere reactivă controlate

Este demonstrat că soluția tehnică propusă asigură o reglare simetrică a curentului de ieșire la ieșirea din instalație, precum și a puterii reactive atât de natură capacitivă, cât și inductivă într-un diapazon extins în punctul de conectare a instalației la rețea (Fig.32,33).

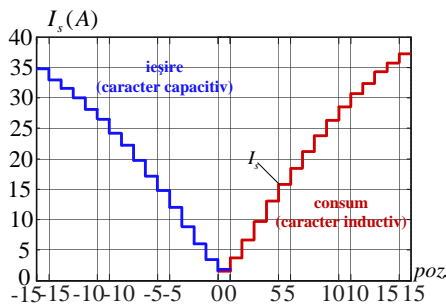


Fig.32. Graficul modificării curentului de ieșire al instalației

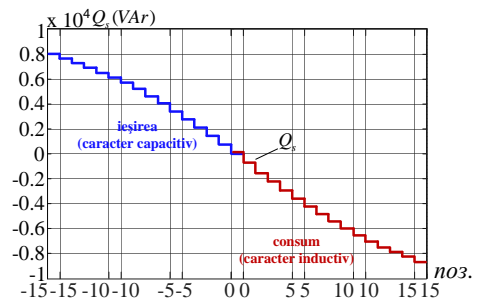


Fig.33. Graficul de ieșire și de consum a puterii reactive

Controlerele FACTS elaborate pe baza TDF pot fi utilizate ca elemente active pentru dirijarea cu regimurile sistemelor energetice moderne Smart Grid.

În capitolul al cincilea "MOSTRA DE LABORATOR A INSTALAȚIEI DE REGLARE A DIFERENȚEI DE FAZE" pentru construirea unui model fizic de laborator, a fost selectată o variantă a schemei TDF cu unul dintre cei mai mici indici ai puterii instalate, cu

utilizarea tehnologiei cu instalații de compensare longitudinală și TDF. A fost creat un model de simulare structurală al instalației, pe baza căruia s-au efectuat experimente de calcul, care au permis precizarea caracteristicilor mostrei de laborator (Tabelul 1).

Tabelul 1. Caracteristicile mostrei de laborator

Transformator	În serie (q)					Paralel (p)		
Secțiunea miezului, mm	67					53		
Puterea P , Wt	1958					1235		
Bobina	W_{1q}	W_{2q1}''	W_{2q2}''	W_{2q3}'	W_{3q}	W_{1p}	W_{2p}'	W_{2p}''
Tensiunea U , V	332	38	38	189.5	132.8	265.5	66.8	66.8
Curentul I , A	6	4.5	4.5	4.5	5.7	4.3	10	10
Numărul spirelor, $un.$	157	18	18	89	63	156	39	39
Diametrul conductorului, mm	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.47	2.2	2.2

Pe baza datelor din Tabelul 1, au fost realizate module de putere monofazate ale instalației (Fig.34, 34).

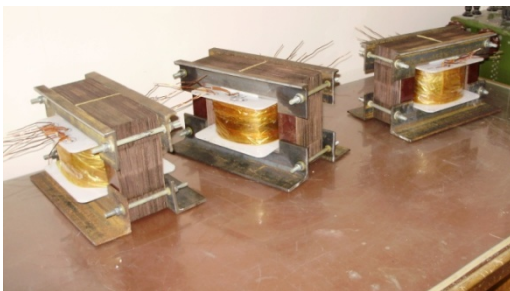


Fig.34. Elementele de excitare ale TDF

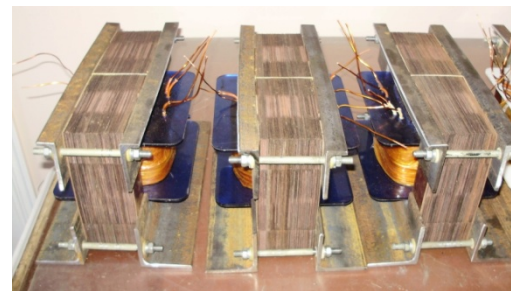


Fig.35. Elementele în serie ale TDF

Testarea modulelor de putere monofazate în diferite regimuri a arătat identitatea caracteristicilor acestora (Fig.36,37) și denotă concluzia că acestea pot fi utilizate ca elemente constructive ale unei mostre de laborator.

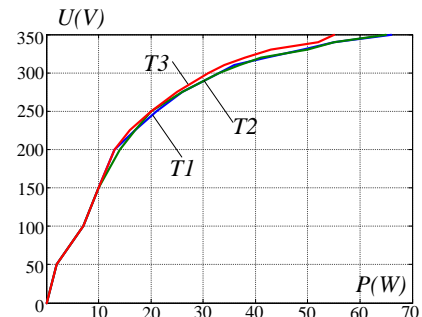
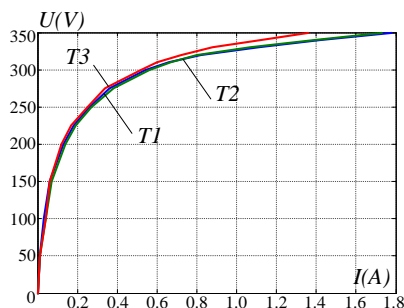


Fig.36. Curbele curentului și pierderilor din elementele de excitare în regimul mersului în gol

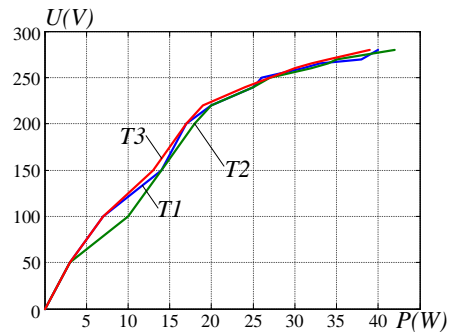
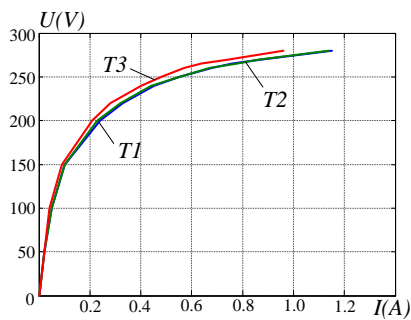


Fig.37. Curbele curentului și pierderilor din elementele în serie în regimul mersului în gol

A fost elaborată schema de conexiune pentru modulele de putere (Fig.34,35) și electronice (Fig.38), care a permis asamblarea modulului de putere al instalației (Fig.39).

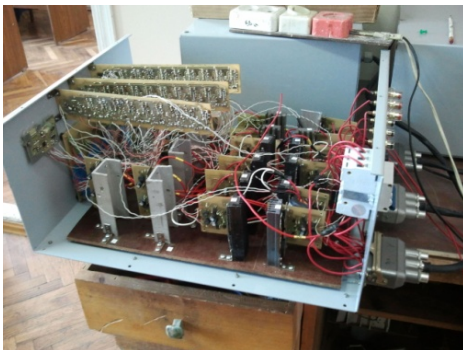


Fig.38. Aspectul general al modulului electronic



Fig.39. Aspectul general al mostrei de laborator cu putere nominală de 10 kW

În aspect final, instalația de laborator (Fig.39) este formată din 4 module: 3 module de putere monofazate a câte 3,3 kW fiecare și un modul de control electronic. Moștra de laborator a fost testată pe întreg diapazonul de reglare a unghiului diferenței de fază în regimurile tipice. Rezultatele testelor au arătat o calitate bună de fabricare o funcționare corectă a înfășurărilor de control. De asemenea, a fost, determinată eficiența instalației (randamentul 94%). O analiză comparativă a parametrilor de funcționare a demonstrat apropierea lor de caracteristicile obținute prin modelarea de simulare structurală.

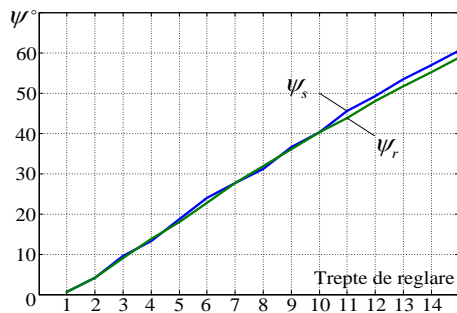


Fig.40. Curbele unui unghi dat al diferenței de fază și de facto

Ca exemplu, Fig.40 reprezintă dependențele unghiului diferenței de fază setat și real de treapta de control. Se poate afirma că diferența dintre unghiul diferenței de fază și nu depășește 2,97%.

Rezultatele testării mostrei de laborator, au demonstrat eficacitatea soluțiilor tehnice adoptate (aplicarea tehnologiei cu instalații de compensare longitudinală și TDF, perfecționarea schemei de comutare și legea de reglare), fapt ce a permis reducerea semnificativă a greutateii și dimensiunilor TDF, și optimizarea procesului de reglare.

Concluzii generale

1. Este prezentată posibilitatea utilizării TDF ca unul dintre elementele de soluționare a problemelor de control cu regimurilor rețelelor moderne SMART GRID.
2. S-au investigat specificul TDF, metodele de reglare a unghiului diferenței de fază, variantele tipice de executare constructivă și schematică.
3. Sa analizat experiența utilizării TDS în practica mondială și se arată că elaborarea noilor soluții tehnice în acest domeniu este relevantă.
4. A fost determinat și fundamentat aparatul metodologic pentru investigarea variantelor schemelor TDF.
5. Se propune un sistem de secționare a înfășurărilor de comandă și legile comutării prin cheile de putere pentru realizarea strategiei de control necesare.
6. Este prezentată eficiența metodei de reducere a puterii instalate a TDF bazate pe transmisia capacitivă a unei părți de putere.
7. Au fost identificate cele mai atractive variante tehnice a schemelor TDF.
8. A fost confirmată funcționalitatea controlerelor FACTS originale elaborate, controlate de TDT. Sunt propuse modalități de îmbunătățire a eficienței funcționării lor.
9. Pe baza schemei hexagonale a TDF cu utilizarea principiului modular, a fost realizată o mostră de laborator, ale cărei teste au arătat corespondența rezultatelor obținute prin diferite metode de modelare.

Publicatii pe tema tezei

1. Calinin Lev, Zaițev Dmitrii, Tîrșu Mihai, Golub Irina. Regulator de fază trifazat cu transformator. Hotărâre nr.4397 din 2014.03.28 de acordare a brevetului de invenție.
2. Calinin L.; Zaitsev D., Tirshu M., Golub I., Moraru L. Transformator trifazat de reglare a decalajului de fază cu reglare în punctul neutru. Problemele energiei regionale 1(27) 2015 pp.11-18. (THOMSON)
3. Голуб И. "Однотрансформаторное фазорегулирующее устройство для управления потоками мощности в электрических сетях". Problemele Energeticii Regionale 2 (31) 2016 Electroenergetică (THOMSON)

4. Голуб И., Зайцев Д., Зубарева И. Модифицированное двухтрансформаторное фазорегулирующее устройство, выполненное на основе классической однотрансформаторной схемы «Delta Connection». *Problemele energeticii regionale* 1(30) 2016 pp.25-30. (THOMSON)
5. Голуб И., Зайцев Д., Тыршу М. Режимы источника реактивной мощности, управляемого фазорегулирующим трансформатором. *Problemele Energeticii Regionale* 2 (37) 2018 *Electroenergetica*, pp.62-69. (THOMSON)
6. Калинин Л., Зайцев Д., Голуб И., Тыршу М. Применение дросселей для повышения качества работы статического преобразователя частоты. *Problemele Energeticii Regionale* 1 (39) 2019 *Electroenergetica* pp.34-42. (THOMSON)
7. Калинин Л., Зайцев Д., Тыршу М., Голуб И. "Моделирование характеристик двухтрансформаторного фазорегулирующего устройства". *Problemele energeticii regionale* 1(24) 2014 стр.51-62. http://journal.ie.asm.md/assets/files/08_01_24_2014.pdf
8. Зайцев Д., Калинин Л., Тыршу М., Голуб И. Моделирование рабочих характеристик фазорегулирующего трансформатора. «Оперативное управление в энергетике» № 6/2015 с. 21-29
9. Калинин Л., Зайцев Д., Тыршу М., Голуб И. "Моделирование циклоконвертора на базе фазорегулятора с круговым преобразованием". "Интеллектуальные энергетические системы –ESS'15" 9-12 июня, 2015 г. Киев, Украина
10. Калинин Л., Зайцев Д., Тыршу М., Голуб И. Основные режимные характеристики двухтрансформаторного фазорегулирующего устройства. *Science and technology as a basis of modernization for future sustainable development SSF-2014* 18-21 September 2014 - Minsk, Belarus.
11. Калинин Л., Зайцев Д., Тыршу М., Голуб И. Перспективы совершенствования стратегии управления процессом прямого преобразования частоты переменного тока на базе фазорегулирующего трансформатора. *International Conference "Energy of Moldova – 2016. Regional Aspects of Development"* 29 September – 01 October, 2016 - Chisinau, Republic of Moldova.
12. Калинин Л., Зайцев Д., Тыршу М., Голуб И. Характеристики фазоповоротного трансформатора, выполненного по схеме «многоугольник» *Problemele Energeticii Regionale* 3 (35) 2017 *Electroenergetica* pp.1-8. (THOMSON)
13. Kalinin L., Zaitcev D., Tirshu M., Golub I Simulation of the mode of frequency adjustable electric connection. *WEC Central and Eastern Europe Regional Energy Forum FOREN 2016* 12-16 June 2016, Vox Maris Grand Resort, Costinesti, Romania

14. Kalinin L.; Zaitsev D., Tirshu M., Golub I. The main technical characteristics of the phase difference adjusting device with two transformers FOREN 2014 - The 12th Wec Central & Eastern Europe Regional Energy Forum. key issue 4. integrating renewable energy sources into the electricity transmission grid. București, 21-26 iunie 2014.

15. Tirshu M., Kalinin L., Zaitsev D., Golub I., Spivak V. The model and characteristics of circular phase convertor. SIELMEN 2015 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems pp.180-184.

16. 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

17. Calinin L., Zaitsev D., Tirsu M., Golub I. Investigation of the possibilities of increasing the frequency converter efficiency based on the phase-shift transformer. 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 21-23 May 2019, Cluj-Napoca, Romania. (SCOPUS)

18. Kalinin L., Zaitsev D., Tirsu M., Golub I. The Opportunities for Efficiency Increase of Phase-Shifting Transformers in Power Transmission Operational Modes. 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), 29 September to 2 October 2019, Bucharest, Romania. (SCOPUS)

ADNOTARE

Autor - Golub Irina. Titlul: "**Utilizarea convertizoarelor de putere pentru controlul regimurilor de funcționare a sistemului energetic**". Teza de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice în domeniul științelor tehnice la specialitatea 221.01 Sisteme și tehnologii energetice, Chisinau 2020.

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, cinci capitole, concluzii generale, bibliografie din 138 de surse și include 7 anexe, 138 pagini de text, 15 tabele și 177 de figuri. Rezultatele obținute sunt publicate în 18 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: transformator cu reglare a diferenței de fază, modelare matematică, modelare structurală de simulare, strategie de control, caracteristici energetice, FACTS combinat, mostră de laborator.

Domeniul de studiu: științe tehnice

Scopul tezei: Elaborarea controlerelor FACTS cu control de fază și cercetarea caracteristicilor lor de funcționare aplicând mijloace de modelare matematică, modelare structurală de simulare și modelare fizică, precum și aprobare de soluții care ameliorează caracteristicile tehnice ale obiectelor de cercetare.

Obiectivele tezei: Elaborarea variantelor de scheme ale controlerelor FACTS cu control de fază bazat pe mijloacele electronicii de putere și studiul acestora pe baza modelelor matematice, structurale de simulare și fizice în scopul aprobării deciziilor luate și optimizării parametrilor tehnici și constructive ale instalațiilor.

Noutatea științifică a tezei: constă în elaborarea cercetării și optimizării parametrilor variantelor de scheme ale controlerelor FACTS cu control de fază.

Problema științifică soluționată: constă în identificarea și optimizarea caracteristicilor tehnice și constructive ale FACTS controlerelor cu control de fază, care permit sporirea eficienței, flexibilității și fiabilității funcționării sistemelor energetice interconectate în contextul implementării SMART GRID.

Semnificația teoretică: rezultatele lucrării pot servi drept stimulent pentru cercetarea teoretică în domeniul elaborării, creării și aplicării controlerelor FACTS combinate, comandate de mijloacele electronicii de putere, ca bază pentru rețelele inteligente de adaptare activă moderne SMART GRID.

Valoarea aplicativă a lucrării: Materialele investigațiilor pot servi drept bază pentru elaborarea și proiectarea instrumentelor de gestionare a regimurilor interconexiunilor sistemelor energetice (interstatale) pentru soluționarea problemelor diversificării aprovizionării cu energie electrică și liberalizării pieței energiei în Republica Moldova

GOLUB IRINA

**UTILIZAREA CONVERTOARELOR COMANDATE DE
PUTERE PENTRU DIRIJAREA CU REGIMUL SISTEMULUI
ELECTROENERGETIC**

221.01 – SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 21.06.21	Formatul hîrtiei 60x84 1/16
Hîrtie ofset. Tipar RISO.	Tiraj 30 ex.
Coli de tipar.: 1,75	Comanda nr. 49

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

Editura "Tehnica-UTM"

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

© UTM, 2021