

Electronic Power Transformer for Power Distribution Networks

Ermurachi Iu.V.

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova
Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. Reducing losses in electricity distribution networks is a current technical problem. This issue also has social and environmental aspects. As a promising solution one can examine the direct distribution from the medium voltage power network using new equipment based on the use of power electronics. The aim of the paper is to propose and argue an innovative technical solution for the realization of the Solid State Transformer (SST) in order to decrease the number of energy transformation stages compared to the known solutions, simplifying the topology of the functional scheme with the reduction of production costs and the loss of energy in transformers used in electrical distribution networks. It is proposed the solution of simplifying the topology of the AC/AC electronic transformer by reducing the number of passive electronic components (resistors, inductors, capacitors) and active (transistors). The inverter of the SST transformer ensures the switching mode of the transistors, using for this purpose the inductance of the magnetic leakage flux of the high frequency transformer. The robustness of the laboratory sample of the SST 10 / 0.22 kV transformer with the power of 20 kW was manufactured and tested. Testing of the laboratory sample confirmed the functionality of the proposed scheme and the possibility of switching of the transistors to at zero current (ZCS mode) with the reduction of the energy losses. In the proposed converter a single high-frequency transformer with a simplified construction with two windings is used, which reduces its mass and the cost of making the transformer. The reduction in the manufacturing cost of the converter is also due to the decrease in the number of links between the functional elements.

Keywords: electronic transformer, electronic keys, commutation mode ZCS, stabilization of output voltage, coefficient of distortion.

Transformator electronic de putere pentru rețelele de distribuție a energiei electrice

Ermurachi Iu.V.

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei
Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Micșorarea pierderilor în rețelele electrice de distribuție constituie o problemă actuală tehnică și cu aspecte sociale și de mediu. Ca soluție promițătoare se poate examina distribuție directă din rețeaua de medie tensiune a energiei electrice cu utilizarea echipamentelor noi bazate pe utilizarea electronicii de putere. Scopul lucrării constă în propunerea și argumentarea unei soluții tehnice inovative de realizare a transformatoarelor electronice (Solid State Transformer - SST) întru micșorarea numărului treptelor de transformare a energiei în comparație cu soluțiile cunoscute, simplificarea topologiei schemei funcționale cu micșorarea costurilor de producere și a pierderilor de energie în transformatoarele utilizate în rețelele electrice de distribuție. Se propune soluția de simplificare a topologiei transformatorului electronic de tip AC/AC cu micșorarea numărului de componente electronice pasive (rezistoare, bobine de inductanță, condensatoare) și active (tranzistore). Pentru tranzistoarele invertorului transformatorului SST se asigură regimul de comutație ușoară, utilizând în acest scop inductanța fluxului magnetic de scăpări a transformatorului de frecvență înaltă. Testărilor mostrei de laborator au confirmat funcționalitatea schemei propuse și posibilitatea realizării modului de comutare al cheilor electronice la trecerea curentului prin zero (regimul ZCS) cu micșorarea pierderilor de energie. În convertorul propus se folosește un singur transformator de frecvență înaltă cu o realizare constructivă simplificată cu două înfășurări, ce asigură micșorarea masei și costului de confecționare al transformatorului. Micșorarea costului de confecționare al convertorului se datorează de asemenea și micșorării numărului de legături dintre elementele funcționale. S-a confecționat și testat robustețea mostrei de laborator a transformatorului SST 10/0.22 kV cu puterea de 20 kW.

Cuvinte-cheie: transformator electronic, chei electronice, modul de comutare ZCS, stabilizarea tensiunii de ieșire, coeficient de distorsiune.

Электронный силовой трансформатор для распределительных сетей

Ермураки Ю.В.

Институт энергетики Академии наук Молдовы
Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. В качестве многообещающего решения можно рассмотреть прямое распределение энергии от сети среднего напряжения с использованием нового оборудования, основанного на использовании

силовой электроники. Целью работы является предложение и обоснование инновационного технического решения для реализации твердотельного трансформатора (SST) с целью уменьшения количества этапов трансформации энергии по сравнению с известными решениями, упрощение топологии функциональной схемы с уменьшением издержек производства и потерь энергии в трансформаторах, используемых в электрических распределительных сетях. Предлагается решение для упрощения топологии трансформатора переменного тока в переменный ток за счет уменьшения числа пассивных электронных компонентов (резисторов, катушек индуктивности, конденсаторов) и активных элементов (транзистора). В электронном трансформаторе обеспечивается резонансный режим переключения транзисторов, используя индуктивность рассеяния высокочастотного трансформатора. Был изготовлен и испытан лабораторный образец трансформатора SST 10/0.22 кВ, мощностью 20 кВт. Тестирование лабораторного образца подтвердило функциональность предлагаемой схемы и возможность переключения электронных ключей при переходе тока через нуль (режим ZCS) с уменьшением потерь энергии в транзисторах. В предлагаемом преобразователе используется один высокочастотный трансформатор с упрощенной конструкцией с двумя обмотками, что уменьшает его массу и затраты на изготовление трансформатора. Снижение стоимости производства трансформатора обусловлено также с уменьшением связей между функциональными элементами.

Ключевые слова: электронный трансформатор, электронные ключи, режим коммутации ZCS, стабилизация выходного напряжения, коэффициент искажения.

1. Introducere

Rețelele de distribuție constituie un element funcțional în alimentarea sigură a consumatorilor cu energie electrică. Analiza structurii pierderilor în rețelele electrice indică la faptul că rețelele de distribuție au cea mai mare cotă a pierderilor de energie [1-3]. Astfel, rata pierderilor de electricitate din rețelele de transport și distribuție din România a constituit 13,4%, în UE de 6,74% și pe plan mondial 6%[1]. În Republica Moldova pierderile în rețelele de transport sunt stabilite cca 3% [3], iar în rețelele de distribuție media anuală a pierderilor a constituit 8.5% [4]. Pierderile au un impact financiar semnificativ, care afectează consumatorii. Astfel, în perioada 2010-2013, în rețelele electrice de distribuție din România au fost înregistrate pierderi în valoare estimată de 1.301.680.000 euro [4], care au fost condiționate de starea tehnică precară a rețelelor electrice. Din cele menționate, reiese semnificația promovării măsurilor și tehnologiilor, care pot contribui la diminuarea pierderilor de energie în rețelele electrice.

Pentru micșorarea pierderilor se propun mai multe măsuri, ca: sporirea ponderii de livrare a energiei din rețelele de medie tensiune (10-20kV), modernizarea rețelelor de distribuție cu micșorarea lungimii porțiunilor de joasă tensiune (0,4 kV), utilizarea conductoarelor cu izolație și secțiune majorată, compensarea puterii reactive, utilizarea transformatoarelor cu puterea 6-10 kW montate pe stâlpii liniei pentru racordarea consumatorilor la rețeaua de MT etc. [5,6].

În acest scop se utilizează pentru conexiunea consumatorilor finali transformatoare de coborâre individuale. Majoritatea acestor

condensatoare sunt confecționate pe baza tehnologiilor tradiționale și au dimensiuni și masă ridicată. În acest context se prezintă avantajoase soluțiile de substituție a transformatoarelor de construcție clasică cu transformatoare numite electronice, ce au indicii de masă și gabarit mai buni [7,8]. Acest tip de transformare de coborâre este cunoscut în prezent sub denumirea de Solid-State Transformer (SST). Transformarea parametrilor energiei se produce în mai multe faze. Ca urmare, aceste transformatoare au o structură destul de complexă și pot crea dificultăți privind asigurarea compatibilității electromagnetice la frecvențe ridicate și curenți mari.

În convertoare, care sunt elemental de baza a transformatoarelor de tipul SST tranzistoarele din circuitul de curent alternativ adesea lucrează în regim de comutație activ [9], ce are ca urmare creșterea pierderilor de energie și contribuie la micșorarea randamentului convertorului.

Ca o tendință evidentă în confecționarea instalațiilor de tip SST se poate indica utilizarea în calitate de chei electronice ale tranzistoarelor de tip SiC cu indici tehnici mai performanți, dar și costuri mult mai ridicate în comparație, de exemplu, cu tranzistoarele MOSFET și utilizarea comutației ușoare a tranzistorilor [10].

Scopul luării constă în propunerea și argumentarea unei soluții tehnice inovative de realizare a transformatoarelor de tip SST, care permite micșorarea numărului treptelor de transformare a energiei în comparație cu soluțiile cunoscute, simplificarea topologiei schemei funcționale cu micșorarea costurilor de producere și a pierderilor de energie în

transformatoarele utilizate în rețelele electrice de distribuție.

2. Soluția tehnică și principiul de funcționare a convertorului transformatorului SST

2.1. Schema echivalentă a convertorului

Schema echivalentă a convertorului este prezentată în fig. 1.

Convertorul de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ (a vedea fig. 1) include o sursă de curent alternativ 1 conectată în serie cu $N=16$ secții. Fiecare secție conține câte două brațe, primul braț este format din două filtre de armonici superioare 2 conectate în serie, iar al doilea braț este format din conexiunea în serie a două chei electronice de curent alternativ 4 și 5.

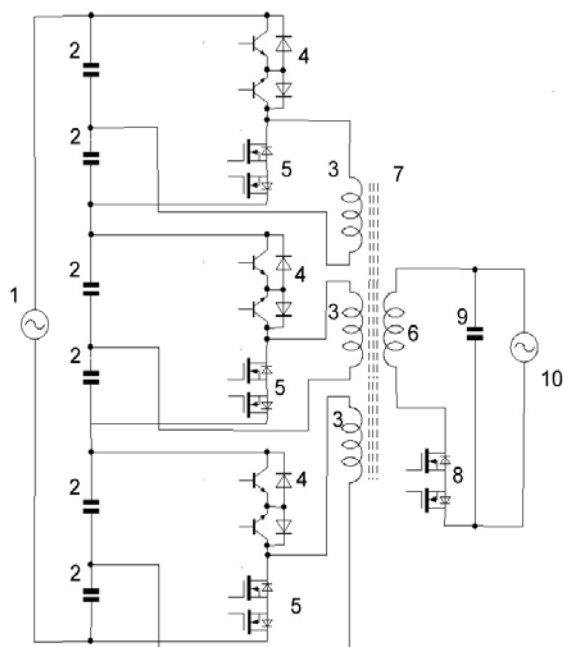


Fig.1. Schema echivalentă a convertorului de tip AC/AC.

Convertorul mai include un transformator de frecvență înaltă 7 executat cu întrefier, care are o bobină primară 3 formată din N secții, fiecare secție N a bobinei primare 3 este conectată cu punctul comun de conexiune a două filtre de armonici superioare 2 și a două chei electronice de curent alternativ 4 și 5. Transformatorul de frecvență înaltă 7 mai conține o bobină secundară 6 la care se conectează în serie o cheie electronică de curent alternativ 8 și un filtru de armonici superioare 9. În paralel cu filtrul de armonici superioare 9 este conectată a două surse de alimentare 10. Cheile electronice

de curent alternativ 4, 5 și 7 sunt formate din două tranzistoare conectate în contrasens, iar fiecare tranzistor are circuit de șunt prin diodă.

2.2. Funcționarea convertorului

La aplicarea tensiunii de curent alternativ 1 și în prezența impulsurilor de comandă 21, 22, 23 și 24 (a vedea fig.2) pentru cheile 4, 5 și 8 pot fi asigurate două regimuri de lucru ale convertorului. Primul regim se asigură prin reglarea duratei impulsului de comandă 23 și 24 la cheia electronică 5. Energia de la sursa de curent alternativ 1 în acest regim se acumulează în câmpul magnetic al transformatorului de frecvență 7 și acest regim mai este numit „fly-back”. Regimul al doilea se asigură prin reglarea duratei impulsului de comandă 21 și 22 la cheia electronică 4. În acest regim energia de la sursa de curent alternativ 1 se transferă direct în sarcina 10 și acest regim mai este numit „forward”.

Vom analiza lucrul convertorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ în prezența semiunde pozitive a tensiunii sursei de curent alternativ 1 (a vedea fig.1). La trecerea sinusoidei de tensiune prin zero la tranzistorii de jos a cheilor electronice de curent alternativ 4, 5 și 8 se aplică impulsurile de comanda 22 și 24 (a vedea fig.2) ce deschid acești tranzistori. În acest caz la procesul de transfer de energie de la sursa de curent alternativ 1 în sursa de curent alternativ 10 vor participa numai tranzistoarele de sus ale cheilor electronice de curent alternativ 4, 5 și 8.

Fie că, tensiunea surselor de curent alternativ 1 și 10 este pozitivă (a vedea fig.2, curbele 25 și 28). În acest moment la tranzistorul de sus a cheii electronice de curent alternativ 5 se aplică impulsul de comandă 32 (a vedea fig.3 pentru t_0), care deschide acest tranzistor. Atunci se formează un circuit format din sursa de curent alternativ 1 – filtrul de armonici superioare 2 – bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă 7 – cheia electronică de curent alternativ 5 – sursa de curent alternativ 1. Sub acțiunea sursei de curent alternativ 1 în acest circuit apare un curent (a vedea fig.3, curba 35), care crește și transferă energia din sursa de curent alternativ 1 în câmpul magnetic al transformatorului de frecvență înaltă 7.

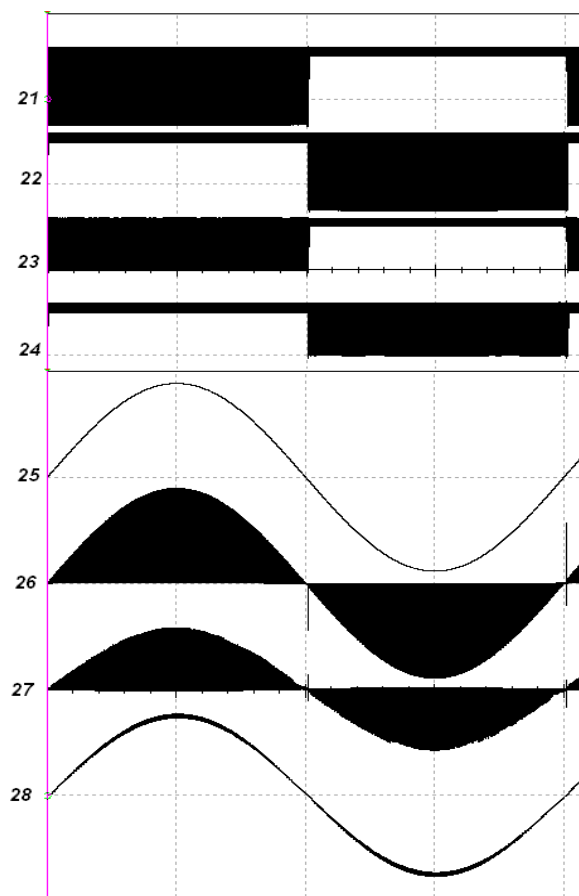


Fig. 2. Diagrama impulsurilor de comandă a cheilor electronice și formarea tensiunii de ieșire a convertorului

Procesul va decurge până când se va stinge impulsul de comandă 32 (a vedea fig.3 pentru t_1) aplicat la tranzistorul de sus al cheii electronice 5 și închiderea acestei chei. Durata impulsului de comandă 32 se determina prin expresia

$$\tau_{32} = T - \tau_{31},$$

în care T – perioada impulsurilor de frecvență înaltă, a cărei valoare este determinată de frecvența din diapazonul (10–100)kHz.

De raportul dintre duratei impulsurilor de comandă 31 și 32 aplicate la cheile de curent alternativ 4 și 5, depinde raportul dintre valorile tensiunilor surselor de curent alternativ 1 și 10.

La abaterea valorii tensiunii 1 de la valoarea, de exemplu, nominală 10 kV, modificând valoarea raportului duratei impulsurilor de comandă 31 și 32 (fig. 3) conduce la stabilizarea valorii tensiunii de ieșire 10 (de exemplu egală cu 220 V). Le realizarea acestei funcții de stabilizare a tensiunii de ieșire 10, lățimea impulsului de comandă 31 aplicat la cheia

electronică 4 nu se modifică, iar funcția stabilizarea se asigură prin reglarea lățimii impulsului de comandă 32 aplicat la cheia electronică 5.

La închiderea cheii electronice de curent alternativ se formează două circuite. Primul circuit este format din bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă 7 – dioda de sus a cheii electronice de curent alternativ 4– sursa de curent alternativ 1– filtrul de armonici superioare 2 – bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă 7 și al doilea circuit format din bobina secundară 6 a transformatorului de frecvență înaltă 7– dioda de sus a cheii electronice de curent alternativ 8– sursa de curent alternativ 10– bobina secundară 6 a transformatorului de frecvență înaltă 7. Primul circuit asigura limitarea tensiunii de comutație a cheii electronice de curent alternativ la limita tensiunii de curent alternativ a sursei 1 (a vedea fig.2, curba 26), iar al doilea circuit asigură transferul de energie acumulat în câmpul magnetic al transformatorului de frecvență înaltă 7 la sursa de curent alternativ 10 (în cazul examinat sursa 10 este ca sarcină). Când tranzistorul de sus al cheii electronice de curent alternativ 5 s-a închis, se aplică impulsul de comandă 31 la tranzistorul de sus al cheii electronice de curent alternativ 4 și 8, tranzistorii se deschid și scurtcircuitează dioda de sus a cheii electronice de curent alternativ 4 și 8 (a vedea fig.3 pentru t_2). Aceasta nu influențează asupra procesului de transfer de energie din câmpul magnetic al transformatorului de frecvență înaltă 7 către sursa de curent alternativ 10. Când curentul în bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă 7 (a vedea fig.3, curba 35 pentru t_3) își schimbă polaritatea, în acest moment se începe al doilea regim de funcționare al convertorului, regimul numit „forward”. Din acest moment începe paralel cu procesul de transfer de energie acumulată în câmpul magnetic al transformatorului de frecvență înaltă 7 către sursa de curent alternativ 10, un nou transfer de energie, care are loc direct de la sursa de curent alternativ 1, prin circuitul format din sursa de curent alternativ 1 – cheia electronică de curent alternativ 4 – bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă 7 – filtrul de armonici superioare 2 – sursa de curent alternativ 1 și circuitul bobinei secundare 6 a transformatorului de frecvență înaltă 7, către sursa de curent alternativ 10. Acest proces paralel are loc până când curentul în bobina primară 3 a transformatorului de frecvență înaltă

7 (a vedea fig.3, curba 35 pentru t_4) își schimbă polaritatea. În următorul moment se stinge impulsul de comandă 31 aplicat la tranzistorul de sus al cheii electronice de curent alternativ 4 (a vedea fig.3 pentru t_5). Cum se vede (a vedea fig.3, curba 34 pentru t_4 și t_5) comutația și închiderea tranzistorului de sus al cheii electronice de curent alternativ 4 are loc la tensiunea egală cu zero, ce micșorează pierderile

de energie și ca urmare conduce la majorarea randamentului convertorului. Din momentul t_0 se aplică un nou impuls de comandă 32 la cheia electronică de curent alternativ 5 și procesul de funcționare al convertorului se repetă într-un nou ciclu de lucru până când valoarea instantanee a tensiunii sursei de curent alternativ 1 nu ce va micșora până la zero (a vedea fig.2, curba 25).

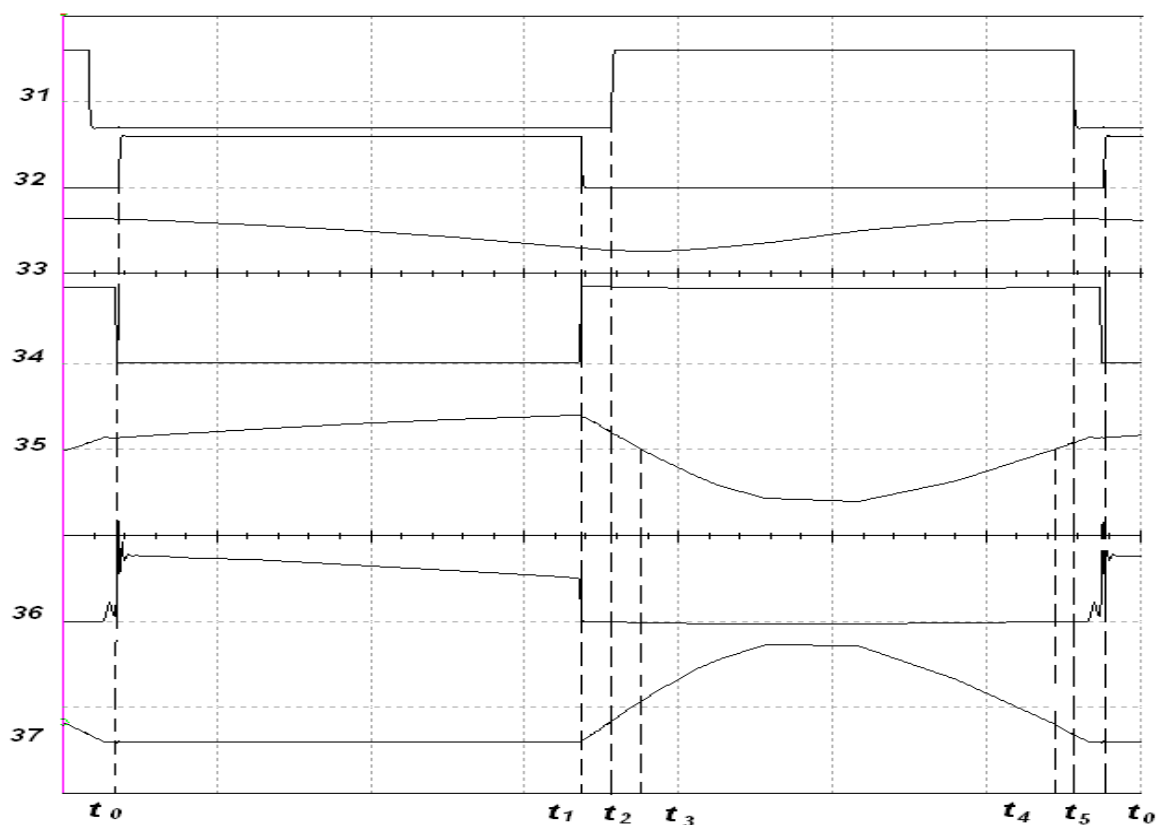


Fig. 3. Diagrama proceselor de comutație a cheilor electronice pentru regimul de comutare în zero (regimul ZCS)

La trecerea sinusoidei de tensiune a sursei de curent alternativ 1 (a vedea fig.1) de la semiunda pozitivă la semiunda negativă prin zero (a vedea fig.2, curba 25) la tranzistorii de jos a cheilor electronice de curent alternativ 4,5 și 8 se sting impulsurile de comanda 22 și 24 (a vedea fig.2) și se aplică impulsurile de comanda 21 și 23 la tranzistorii de sus ale cheilor electronice de curent alternativ 4,5 și 8, ce deschid acești tranzistori. În cazul semiunde negative la procesul de transfer a energiei de la sursa de curent alternativ 1 în sursa de curent alternativ 10 vor participa numai tranzistoarele de jos ale cheilor electronice de curent alternativ 4,5 și 8.

Procesul de comutație a cheilor electronice este asemănător cu comutația lor în durata timpul semiunde pozitive.

3. Modelul matematic de simulare a regimului de funcționare a convertorului AC/AC

În fig. 4 se prezintă modelul convertorului în mediul MILTISIM.

Simularea regimului de funcționare s-a realizat cu scopul verificării calității proceselor de comutație a cheilor electronice în regimul de comutare în zero (ZCS) cu obținerea curbei tensiunii de ieșire și a curentului, inclusiv la abaterea tensiunii rețelei de alimentare (10 kV). Prin aceste simulări se mai atinge și scopul de optimizare a realizării constructive elementelor inductive ca rezultat al analizei parametrice a regimurilor de funcționare ale invertorului.

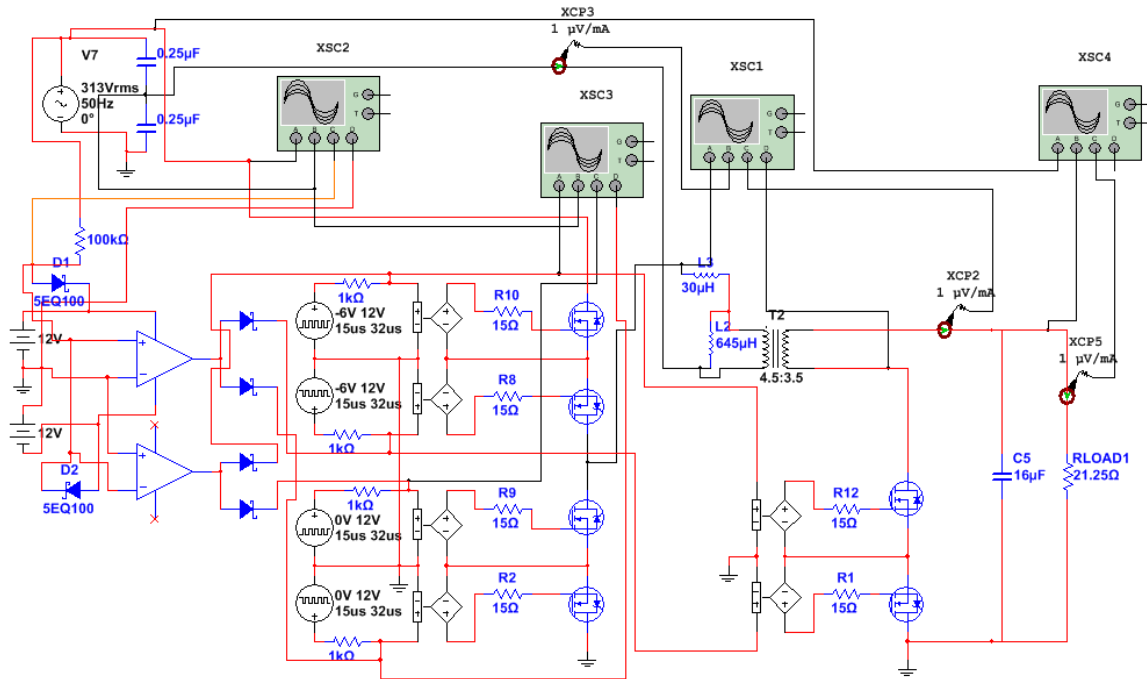


Fig.4. Structura modelului matematic de simulare a convertorului în mediul MULTISIM

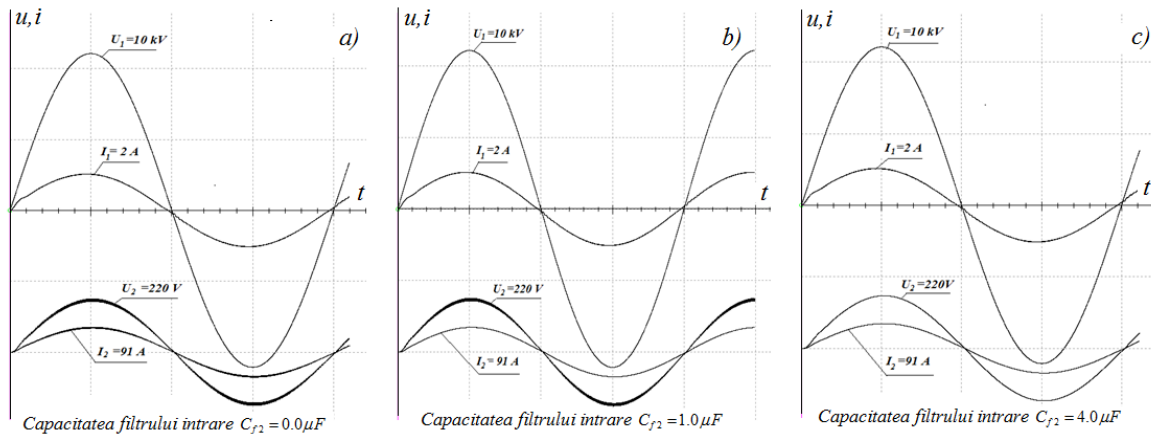


Fig.5. Curbele de tensiune și curent a transformatorului pentru diferite valori a capacității condensatorului de filtrare în circuitul secundar: $C_{f2}=0.0 \mu F$ (a), $C_{f2}=1.0 \mu F$ (b), $C_{f2}=4.0 \mu F$ (c)

În fig.5 sunt prezentate curbele tensiunii de intrare U_1 , tensiunii de ieșire U_2 , a curentului I_1 intrare și curentului I_2 în sarcina rezistivă pentru cazul a diferitor valori a condensatorului de filtrare ale armonicilor superioare în circuitul de ieșire a transformatorului.

În baza rezultatelor simulărilor se poate constata, că calitatea energiei în circuitul primarului transformatorului nu se afectează, deci distorsiunile curbelor atât de tensiune, cât și a curentului absorbit din rețeaua de alimentare nu sunt vizibile. Armonicile superioare se vizualizează în circuitul secundarului, dar aceste distorsiuni chiar în lipsa filtrului de armonici superioare (fig.5a) nu au valori semnificative,

care să depășească pe cele admise în standardele de calitate a energiei electrice pentru consumatori. Dotarea transformatorului electronic cu un filtru al armonicilor superioare de tipul LC permite practic excluderea pătrunderii armonicilor superioare de tensiune și curent în porțiunea circuitului format de sarcină fig. 5b, c).

4. Rezultate ale testării mostrei de laborator al transformatorului SST

În baza soluției propuse s-a confecționat o mostra de laborator a transformatorului electronic de tip SST, s-a elaborat soft-ul

sistemul de comandă utilizând în acest scop microcontrolerul de tip AT90PWM312. Moștra a fost calculată la parametrii: puterea aparentă $S=20$ kVA; curentul absorbit de SST din rețea $I_{1,nom} = 2$ A la tensiunea de 10 kV; tensiunea de ieșire $U_2 = 220$ V; curentul în secundar $I_{2,nom} = 90$ A în regim de putere nominală. Transformatorul are programat și regimul de limitare a curentului de SC la nivel de cca. $1,2 I_{2,nom}$.

La testarea robusteții echipamentului bobinele înfășurării primare s-au conectat toate în paralel. Aceasta s-a făcut cu scopul de a face primele testări la tensiunea nominală a unei bobine a transformatorului în condiții de laborator și cu scopul asigurării cerințelor de securitate a muncii. Reieșind din conceptul în baza căruia se confecționează transformatorul electronic o astfel de tratare a metodologiei realizării testării nu afectează esența procesului de funcționare a transformatorului electronic. Testările s-au efectuat pentru cazul regimurilor de mers în gol (MG) și de sarcină activă.

Regimul de scurt circuit în timpul testărilor nu s-a realizat ca urmare a limitării puterii sursei disponibile de alimentare din rețeau existentă în laborator.

În fig. 6 sunt prezentate diagramele experimentale al regimurilor de comutație a cheilor electronice (tranzistori SiC de tip C2M0160120 cu tensiunea 1200V). Sarcina activă s-a reglat discret în diapazonul 0-20.0 kW.

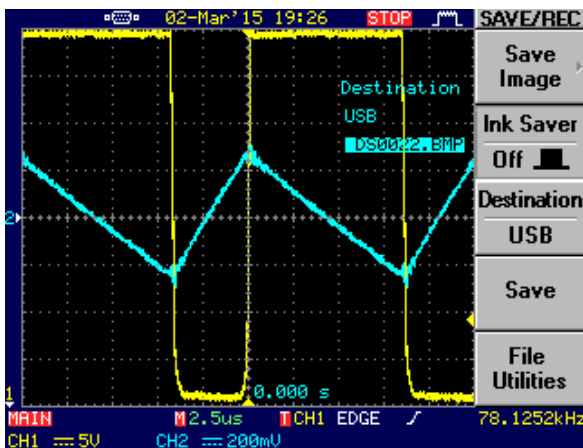


Fig. 7a. Tensiunea și curenții cheilor electronice în regim de mers în gol

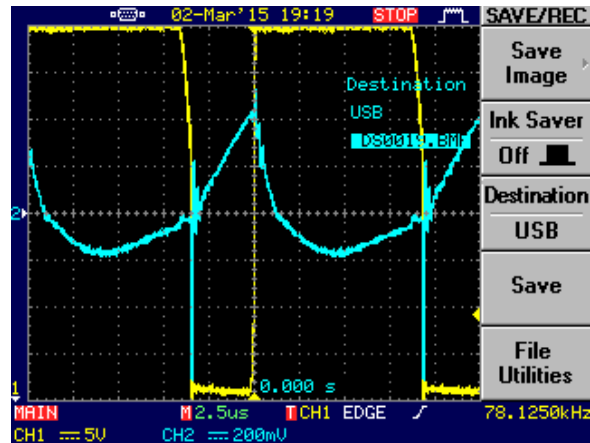


Fig. 7b. Tensiunea și curenții cheilor electronice în regim de sarcină $P=0,33 P_{nom}$

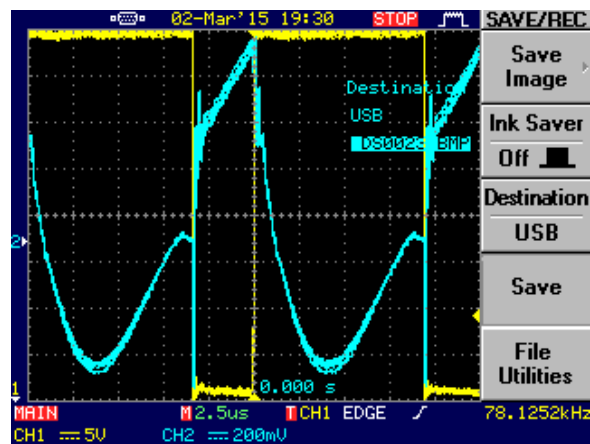


Fig. 7c. Tensiunea și curenții cheilor electronice în regim de sarcină $P=1,0P_{nom}$

Din diagramele prezentate în fig. 7a-7c se confirmă faptul, că comutația cheilor are loc în regim de rezonanță a curenților pentru tot diapazonul de variere a sarcinii active, a cărei valoare se schimbă de la 0 până 20 kW.

Micșorarea costului de confecționare a transformatorului SST se asigură prin excluderea a mai multora elemente funcționale în comparare cu soluțiile utilizate în prezent pentru confecționarea acestor transformatoare. În convertorul propus se folosește un singur transformator de frecvență înaltă cu o realizarea constructivă simplificată cu două înfășurări. Folosirea unui transformator numai cu două înfășurări conduce micșorarea masei de material conductor și a masei materialelor feromagnetice, ce la fine contribuie la micșorarea costului de confecționare al convertorului.

Majorarea randamentului convertorului transformatorului SST este o urmare a micșorării numărului elementelor semiconductoare pasive, numărului elementelor inductive, deoarece în

schema funcțională propusă nu se folosește nici o bobină de inductanță pentru limitarea valorilor curenților de comutație, folosirea unui transformator de frecvență numai cu două înfășurări. Urmare a acestor soluții utilizate la confecționarea transformatorului SST se asigură diminuarea pierderilor totale de energie în convertor și majorarea valorii randamentului atât a convertorului, cât și a transformatorului SST.

Concluzii

1. Inovația soluției propuse de realizare a transformatorului de tip SST constă în reducerea numărului de faze a procesului de transformare a parametrilor energiei în echipamentele AC/AC, simplificarea topologiei schemei funcționale ale transformatorului și asigurarea conectării la rețeaua electrică centralizată în lipsa conductorului neutru.
2. Rezultatele testărilor experimentale ale mostrei de laborator au confirmat funcționalitatea schemei propuse și posibilitatea realizării modului de comutare a cheilor electronice la trecerea curentului prin zero (regimul ZCS) cu micșorarea pierderilor de energie în ciclul de funcționare al inverterului.
3. Transformatorul SST este un echipament cu semne de inteligență, ce contribuie a regimului de încărcare și asigurarea calității energiei atât pentru circuitele consumatorului, cât și pentru cele de alimentare.

Bibliografie (References)

- [1] *România este "liderul" UE la pierderi de energie electrică în rețele, duble față de media comunitară* [Romania is the EU's "leader" in the loss of electricity in networks, double the EU average]. Available at: <https://www.profit.ro/povesti-cu-profit/energie/>. (accessed 22.12.2017).
- [2] *Raport privind activitatea Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2016* [Report on the activity of the National Agency for Energy Regulation in 2016.]. Available at:

<http://www.anre.md/files/raport/> (accessed 22.12.2017).

- [3] *HOTĂRÎRE Nr. 152 din 17.07.2015 privind tarifele pentru serviciul de transport al energiei electrice* [JUDGMENT No. 152 of 17.07.2015 on tariffs for the electric transport service]. Available at: <http://lex.justice.md/md/360109/> (accessed 22.12.2017).
- [4] <http://cursdegovernare.ro/pierderi-> -. Publicat la data de 19.4.2016. (accessed 22.12.2017)
- [5] *Măsuri de diminuare a pierderilor de energie în rețelele electrice* [Measures to reduce energy losses in electrical networks]. <http://yurii.ru/ref/ref-37773.htm> accesat 20.12.2017.
- [6] Bălan Gheorghe, Pencioiu Paul, Golovanov Nicolae. Probleme actuale privind calitatea energiei electrice în sistemele electroenergetice. *Conferința Internațională „EM2012. Aspecte regionale de dezvoltare”, 4-6 octombrie 2012, Chișinău* [Current issues regarding the quality of electricity in power systems. International Conference "EM 2012. Regional Development Issues ", 4-6 October 2012, Chisinau.]. Ed. II-a. Ch.: TAȘM, 2012. - p.236-242. ISBN 978-9975-62-324-7.
- [7] Rothmund D., Ortiz G., Guillod T., Kolar J. *W.10kV SiC Based Isolated DC-DC Converter for Medium-Voltage-Connected SSTs*, Proceedings of the 30th Applied Power Electr. Conf.e and Exposition (APEC 2015), Charlotte, NC, USA, March 15-19, 2015.
- [8] Kolar J.W., Ortiz G. *Solid-State Transformers*, Plenary Session Presentation at the IEEE International Power Electronics and Applications Conference and Exhibition (PEAC 2014), Shanghai, Nov. 5-8, 2014.
- [9] Brevet de invenție US 6067243[U.S. Patent 6067243].
- [10] Berzan, V.P.; Ermurachi, Iu.V. Single Phase Inverter with Hybrid Topology and Efficient Switching Principles. Proceedings- 2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS 2017), Cluj-Napoca, Romania 6-9 June 2017, IEEE Catalog Number: CFP17MPR-POD, ISBN 978-1-5090-6565-3 (Papers 007, SCOPUS). DOI:10.1109/MPS.2017.7974370; /



Despre autor.

Ermurachi Iurie - cercetător științific al Institutului de Energetică al AM. Domeniile de interes științific: eficiența echipamentelor electrotehnice și energetice (elaborarea și implementare), sporirea eficienței utilizării energiei electrice, elaborarea convertoarelor de energie electrică. Autor și co-autor a 48 de publicații științifice, a 22 brevete de invenție, ale mostrelor de echipamente cu indici sporți de eficiență energetică. E-mail: ermurachi.iurie@ie.asm.md