

Characteristics of the Phase-shifting Transformer Realized According to the "Polygon" Connection

Kalinin L.P., Zaitcev D.A., Tirshu M.S., Golub I.V.

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

Abstract. The object of the study is a two-transformer phase-shifting device with a span of adjustment of the angle of phase shift $\psi = 0^\circ - 60^\circ$. In order to determine the energy characteristics of the investigated device, it has been put the scope to study the regime's parameters, performing adjustment of the angle of phase shift. This was made possible due to the use of the thyristor key for 10 positions and the low of it's switching. The model was developed for a series of computational experiments for the cases of: idle, short circuit and loaded regime. A comparative analysis of the technical characteristics of the studied device, with the phase-reversing transformers investigated earlier has been carried out. The novelty of the work consists in the development of a scheme of a two-transformer phase regulating device. The additional winding of the magnetizing transformer was connected on an opposite side to the winding of the phase-shifting transformer. It has been achieved a reduction in the value of the magnetic induction in the core, as well as an increase of the stability in the process of adjusting the angle of phase shift. The analysis of the obtained characteristics of the device made it possible, by comparison with the available variants of existing circuits, to conclude that the developed one was of increased technical efficiency. The proposed technical solution decreased the installed capacity of the equipment, which in turn lead to a reduction of the weight and size indices and, as a consequence, of its cost.

Keywords: phase shifting transformer, angle of phase shift, design capacity of the device.

Caracteristicile transformatorului cu decalaj de fază, realizat conform schemei "poligon"

Kalinin L.P., Zaițev D.A., Tîrșu M.S., Golub I.V.

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

Rezumat. Obiectul studiului este instalația de rotire a fazei cu două transformatoare cu un diapazon de reglare a unghiului decalajului fazei $\psi = 0^\circ \div 60^\circ$, realizat conform schemei "poligon". Scopul lucrării constă în determinarea parametrilor regimului instalației la reglarea unghiului decalajului de fază, utilizând dispozitivul cu tiristoare cu 10 pozizii, precum și legea de comutație a acestora. S-a elaborat modelul instalației cu efectuarea unui set de calcule pentru regimul de scurtcircuit, întru determinarea caracteristicilor energetice ale instalației studiate. S-a efectuat o analiză comparativă a caracteristicilor tehnice ale instalației cu transformatoare de reglare a decalajului de fază, cercetate anterior. Noutatea lucrării constă în elaborarea unei variante a schemei de realizare a instalației de defazare cu două transformatoare în configurație de „poligon“, în care prin conectarea înfășurării suplimentare a transformatorului de excitație în contrafază cu înfășurarea secundară a transformatorului de reglare a unghiului decalajului de fază, are ca urmare reducerea valorii inducției în coloana transformatorului cu sporirea stabilității inducției fluxului magnetic în procesul de reglare a unghiului decalajului de fază. Analiza caracteristicilor obținute prin calcul ale instalației și compararea lor cu caracteristicile altor soluții de realizare ale instalațiilor de acest tip, a confirmat eficiența tehnică a variantei schemei propuse de realizare a instalației. Soluția tehnică propusă oferă o reducere a puterii instalate a echipamentului, ceea ce duce, la rândul său, la o sporire a indicatorilor privind dimensiunea și masa instalației, ce are impact și asupra costului ei.

Cuvinte-cheie: transformator de reglare a decalajului de fază, unghiul decalajului de fază, puterea calculată a instalației.

Характеристики фазоповоротного трансформатора, выполненного по схеме «многоугольник»

Калинин Л.П., Зайцев Д.А., Тыршу М.С., Голуб И.В.

Институт энергетики Академии наук Молдовы
Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Объектом исследования является двухтрансформаторное фазоповоротное устройство с диапазоном регулирования угла фазового сдвига $\psi = 0^\circ \div 60^\circ$, выполненное по схеме «многоугольника». Целью работы является исследование режимных параметров устройства при регулировании угла фазового сдвига, с помощью разработанного тиристорного ключа на 10 позиций, а также закона его

переключения, проведение на основе построенной модели серии расчетных экспериментов: в режиме холостого хода, короткого замыкания, а также нагрузочных испытаний, позволяющих определить энергетические характеристики исследуемого устройства. Проведен сравнительный анализ технических характеристик исследуемого устройства с фазоповоротными трансформаторами, исследованными ранее. Новизна работы заключается в разработке схемного варианта двухтрансформаторного фазорегулирующего устройства, выполненного по схеме «многоугольник», в котором, за счет подключения дополнительной обмотки намагничивающего трансформатора встречно с обмоткой фазосдвигающего трансформатора, обеспечено снижение величины магнитной индукции в стержне, а также повышение ее стабильности в процессе регулирования угла фазового сдвига. Анализ полученных характеристик устройства позволил путем сопоставления с имеющимися схемными вариантами устройств, сделать вывод о технической эффективности разработанного схемного варианта. Предлагаемое техническое решение обеспечивает снижение установленной мощности оборудования, что, в свою очередь, приводит к снижению массогабаритных показателей устройства и, как следствие, его стоимости.

Ключевые слова: фазоповоротный трансформатор, угол фазового сдвига, расчетная мощность устройства.

Введение

В настоящее время, при развитии энергетических технологий наблюдается возрастающий интерес к интенсивно развивающемуся направлению научно-технологического инновационного преобразования электроэнергетики на базе новой концепции, получившей название «Smart Grid» и ставшей основой национальной политики технического развития во всех крупных индустриально развитых и динамично развивающихся странах

Интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) представляет собой электрическую сеть, которая сочетает комплексные инструменты контроля и мониторинга, информационные технологии, а также современные средства управления параметрами режима, обеспечивающие значительно более высокую пропускную способность электрических сетей, надежность и экономичность. Это позволяет генерирующим, сбытовым и коммунальным компаниям предоставлять населению энергию более высокого качества.[1-10] Развитие Smart Grid технологий в электроэнергетике предполагает решение задач повышения управляемости электрических сетей путем применения различного рода Facts - контроллеров.

К Facts также относят управляемые фазоповоротные трансформаторы (ФПТ) как с традиционным (Facts-1), так и с тиристорным управлением (Facts-2). Обеспечение регулирования режимных параметров может производиться за счет применения: ПБВ, РПН или полностью

управляемых приборов силовой электроники[11-15].

В публикуемых, в последнее время, научных работах уделяется значительное внимание вопросам разработки схемных вариантов, определению параметров устройств, построению стратегий защиты и управления, оптимизации, а также опыту применения ФПТ в конкретных условиях, что доказывает актуальность исследований в данной области. [16-23]

В процессе представленного исследования применялись методы математического, структурного и имитационного моделирования на основе построенных в среде Simulink (Matlab) SPS-моделей анализируемого ФПТ (фазоповоротный трансформатор), выполненного по схеме «многоугольник».

I. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель настоящей работы состоит в исследовании характеристик двухтрансформаторного ФПТ, выполненного по схеме «многоугольник», определению его энергетических показателей, а также оптимизации его параметров при различных способах управления и конфигурации силового оборудования. Анализ проводился на основе результатов расчетных экспериментов, выполненных на структурно-имитационной SPS – модели в среде Matlab Simulink, позволяющих оценить энергетические характеристики ФПТ в процессе регулирования угла фазового сдвига.

Принципиальная схема рассматриваемого в работе варианта фазорегулирующего устройства, представлена на рис. 1.

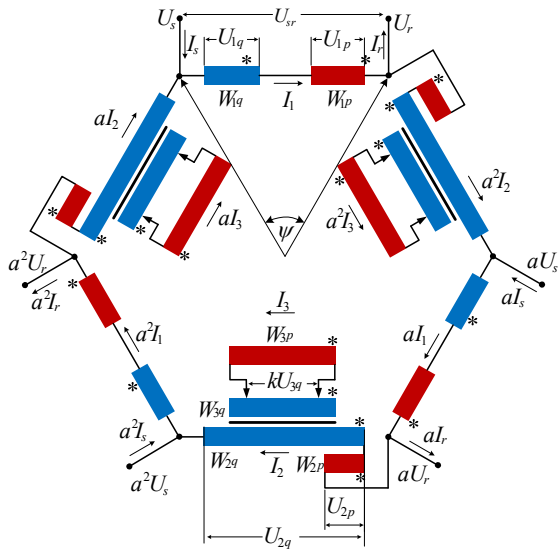


Рис.1. Принципиальная схема фазорегулирующего устройства с обозначением обмоток и параметрами режима в характерных точках.

Основными элементами устройства являются два силовых трехобмоточных трансформатора, один из которых выполняет функции параллельного (или намагничивающего), другой - функции последовательного (или фазосдвигающего) элемента. Индексом «p» помечены обмотки и соответствующие электрические величины, характеризующие режим намагничивающего трансформатора, индексом «q» - обмотки и

электрические величины фазосдвигающего трансформатора.

Входные электрические значения помечены индексом «s» и выходные электрические величин обозначены индексами «r»:

U_s, I_s - Напряжение и ток на входе ФРТ,

U_r, I_r - Напряжение и ток на выходе ФРТ,

Диапазон регулирования угла фазового сдвига ψ между выходным напряжением U_r и входным напряжением U_s (или I_r и I_s) для представленного схемного варианта находится в пределах $0 \div 60^\circ$.

Связь между входными и выходными параметрами ФРТ в режиме холостого хода:

$$\left. \begin{matrix} U_r \\ I_r \end{matrix} \right\} = e^{j\psi} \cdot \left\{ \begin{matrix} U_s \\ I_s \end{matrix} \right.$$

S_w - переключатель, предназначенный для коммутации конденсаторной батареи.

Изменение угла фазового сдвига между входом U_s и выходом U_r устройства осуществляется путем взаимного перемещения регулировочных контактов на обмотке W_{3q} .

Для обеспечения регулирования угла фазового сдвига в диапазоне от 0° до 60° разработан закон управления тиристорными ключами, представленный на рис.2. Схема обмотки управления, коммутируемой ключами, приведена на рис.3.

Ключи	10									●	●	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●
	9	●	●	●	●	●	●	●						●	●	●									
	8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●														
	7													●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	6										●										●				●
	5				●				●						●						●				●
	4			●			●					●				●					●				●
	3	●				●						●					●					●			
	2	●	●	●							●	●	●	●							●	●	●	●	
	1					●	●	●	●						●	●	●					●	●	●	
	Ступень регулирования	+10	+9	+8	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10			

Рис.2. Закон управления тиристорными ключами.

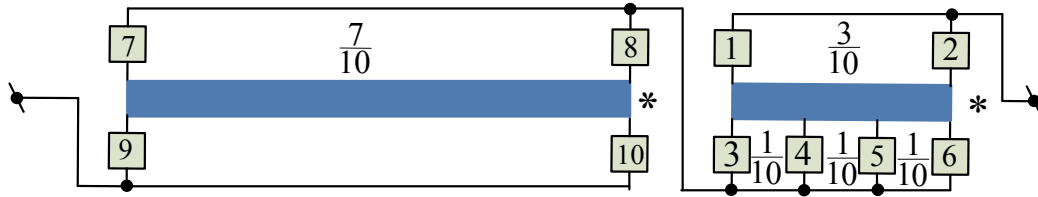


Рис.3. Схема обмотки управления, коммутируемой тиристорными ключами.

На основе схемы рис.1 в среде Simulink (Matlab) была создана структурно-иммитационная модель фазорегулирующего устройства, выполненного по схеме «Модифицированного многоугольника», на базе которой были проведено исследование объекта при различных режимах работы. Каждый из трансформаторов ФПТ представлен в модели в виде группы однофазных трансформаторов.

Параметры элементов одной из фаз каждого трансформатора определены исходя из $U_s = U_r = 230V$ и номинальной мощности нагрузки устройства равной $10kVA$. При моделировании ФРТ(фазорегулирующий трансформатор) были учтены характеристики намагничивания каждого трансформаторного элемента.

Для определения энергетических характеристик ФПУ, выполненного по схеме «модифицированный многоугольник», в соответствии с программой расчетных экспериментов, ранее использованной для определения режимных характеристик фазорегулирующих устройств, были проведены исследование ФРТ в опытах холостого хода, короткого замыкания и при нагрузке.

По результатам расчетных экспериментов были рассчитаны зависимости параметров схемы замещения ФРТ в процессе регулирования угла фазового сдвига ψ , значения которого определяются соответствующим положением тиристорных ключей, согласно закону управления (рис.3).

Характер изменения магнитной индукции в стержне можно определить по зависимостям тока холостого хода от угла фазового сдвига в процессе регулирования. Для сравнения на рис.4 показаны зависимости тока холостого хода для классической схемы ФРТ[18,19] и для предлагаемого схемного варианта. Анализ зависимостей позволяет сделать вывод, что

предлагаемый вариант ФРТ обеспечивает меньшую и более стабильную величину магнитной индукции в стержне

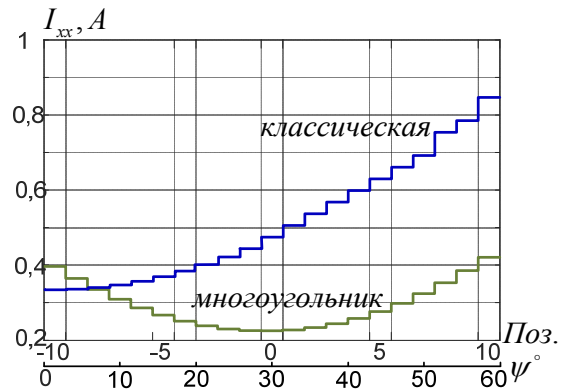


Рис.4. Зависимости тока холостого хода от ступени регулирования.

Зависимости параметров цепи намагничивания устройства, определенные в результате опыта холостого хода представлены на рис.5 в диапазоне $\psi = 0^\circ \div 60^\circ$.

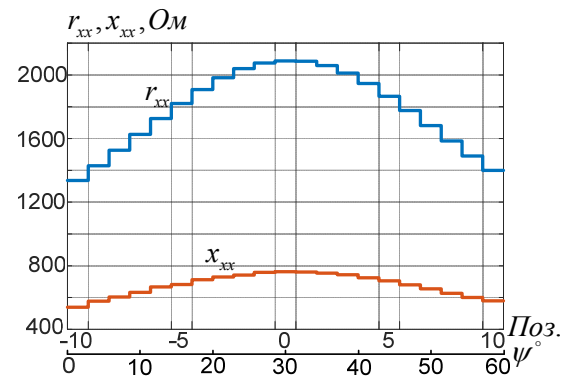


Рис.5. Характеристики активной r_{xx} и реактивной x_{xx} составляющих сопротивления Z_{xx} ФРТ в режиме холостого хода.

Из анализа зависимостей рис.5 видно, что графики сопротивлений цепи намагничивания имеют максимальные значения при фазовом сдвиге $\psi = 30^\circ$ (нулевая позиция) и симметрично снижаются в

процессе, как уменьшения, так и увеличения угла

Характеристики изменения напряжений обмоток намагничивающего и фазосдвигающего трансформатора в процессе регулирования в режиме холостого хода представлены на рис.6.

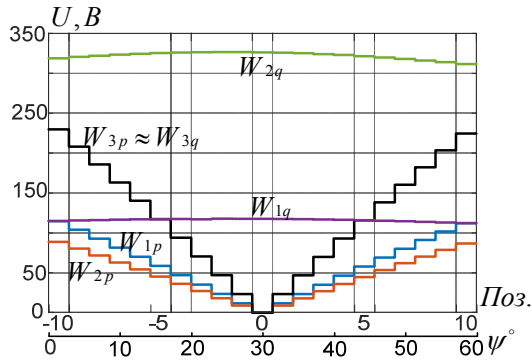


Рис.6. Зависимости изменения напряжений в режиме холостого хода.

Как видно из рис.6 напряжения на обмотках W_{2q} и W_{1q} в процессе регулирования угла практически не изменяются. Напряжение на остальных обмотках устройства меняется симметрично, принимая минимальные значения при $\psi = 30^\circ$ и максимальные значения при $\psi = 0^\circ$ и $\psi = 60^\circ$.

Характеристики активной $r_{кз}$ и реактивной $x_{кз}$ составляющих сопротивления короткого замыкания устройства $Z_{кз}$, представлены на рис.7.

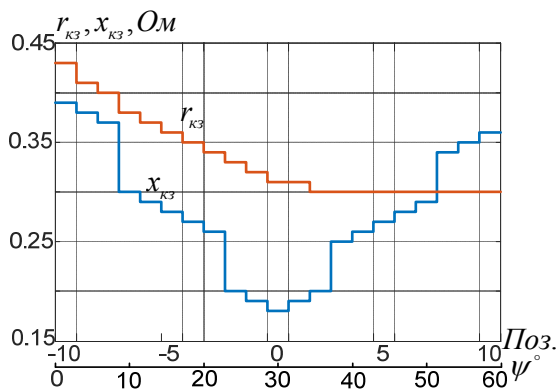


Рис.7. Характеристики активной $r_{кз}$ и реактивной $x_{кз}$ составляющих сопротивления короткого замыкания $Z_{кз}$ ФПТ.

Анализируя рис.7 можно сделать вывод, что активная составляющая сопротивления короткого замыкания спадает по экспоненте при увеличении угла ψ , а реактивная

составляющая минимальное значение принимает при $\psi = 30^\circ$, а максимальные значения на границах диапазона регулирования.

На рис.8. приведены характеристики изменения потерь активной мощности, полученные в результате опытов холостого хода и короткого замыкания.

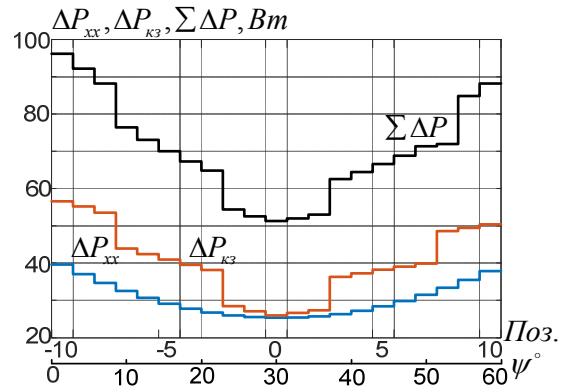


Рисунок 8. Зависимости изменения активных потерь от угла ψ в ФПТ.

Максимальные значения активных потерь имеют место на границах диапазона управления.

В процессе исследования предлагаемого схемного варианта устройства, были проведены нагрузочные испытания с целью определения мощности всех элементов, входящих в его состав. Нагрузка при проведении эксперимента моделировалась активным сопротивлением $R_n = 19.1 \text{ Ом}$, обеспечивающим номинальный ток $I_r = 12 \text{ А}$.

Характеристики изменения напряжений в обмотках устройства в режиме нагрузочных испытаний аналогичны характеристикам, полученным в результате опыта холостого хода, представленным на рис.6.

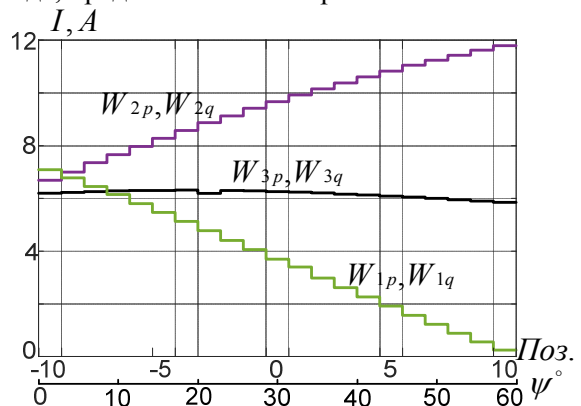


Рис.9. Зависимости изменения токов в режиме нагрузочных испытаний при регулировании угла фазового сдвига.

Графики изменения токов в обмотках устройства приведены на рис.9.

Таблица 1.
Энергетические характеристики элементов устройства.

	U_{max}, B	I_{max}, A	S, BA
W_{1p}	114.9	11.79	1354.67
W_{2p}	88.76	7.09	629.3
W_{3p}	229.8	6.32	1452.34
P			1718.15
W_{1q}	117.8	11.79	1388.1
W_{2q}	326.6	7.09	2315.5
W_{3q}	229.8	6.32	1452.34
Q			2577.97
$S_{ФРТ}$			4296.12
S_r			2760
$S_{ФРТ}/S_r, o.e.$			1.56
$S_{PE}/S_r, o.e.$			0,53

Анализ представленных графиков показывает, что ток в обмотках W_{3p} и W_{3q} практически не меняется в процессе регулирования. При $\psi = 0^\circ$ токи в обмотках W_{2p} , W_{2q} и W_{1p} , W_{1q} приблизительно равны; при значении $\psi = 60^\circ$ в обмотках W_{2p} и W_{2q} ток достигает своего максимального значения, а в обмотках W_{1p} и W_{1q} - минимального.

По результатам проведенных экспериментов были рассчитаны мощности каждого элемента ФРТ и устройства в целом. Результаты приведены в таблице 1.

Таким образом, установленная мощность устройства составляет 1,56 от проходной.

II. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРТ, ВЫПОЛНЕННОГО ПО СХЕМЕ «МОДИФИЦИРОВАННОГО МНОГУГОЛЬНИКА»

Для определения технической эффективности рассматриваемого устройства использованы характеристики:

$S_{ФРТ}/S_r$ -коэффициент, характеризующий установленную (типовую) мощность устройства;

S_{PE}/S_r -коэффициент, характеризующий мощность управления, приведенные в табл. 1.

Для сравнительного анализа, результаты которого приведены на рис.10, были выбраны следующих схемные варианты фазорегулирующих устройств:

- 1-“двухстержневой многоугольник” [24],
- 2-“однотрансформаторное ФПУ с регулированием в нейтрали” [26],
- 3-“многоугольник”,
- 4-“треугольник” [27,28],
- 5-“звезда” [25].

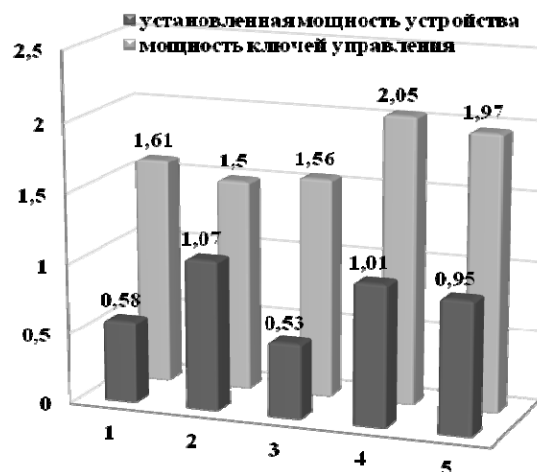


Рис.10. Сравнительная диаграмма установленной мощности различных схемных вариантов ФРТ.

Анализируя приведенные на рис.10. энергетические характеристики ФПТ, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным вариантом из всех рассмотренных является фазорегулирующий трансформатор, выполненный по схеме многоугольника. Установленная мощность трансформатора составляет 1,56 от проходной, что является одним из наименьших показателей. Кроме того предлагаемое устройство обладает наименьшим показателем затрат на систему регулирования угла фазового сдвига.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. предложен новый схемный вариант фазорегулирующего устройства трансформаторного типа, выполненного по схеме “многоугольник“, в котором за счет подключения дополнительной обмотки W_{2p} намагничивающего трансформатора встречно с обмоткой W_{2q} фазосдвигающего трансформатора, обеспечена возможность снижения величины магнитной индукции в стержне, а также повышение ее стабильности

в процессе регулирования угла фазового сдвига;

2. представлена система управления углом фазового сдвига на основе применения тиристорных ключей, обеспечивающая, в отличие от ранее предложенных вариантов, 21 ступень регулирования при реверсировании обмотки управления;

3. предложен и апробирован новый закон управления силовыми ключами, позволяющий обеспечить диапазон регулирования, аналогичный варианту с применением устройства регулирования под нагрузкой;

4. на основе структурно-имитационной *SPS* - модели объекта исследования, были получены энергетические характеристики устройства, позволившие сделать вывод о возможности снижения установленной мощности оборудования, что, в свою очередь, приводит к снижению массогабаритных показателей устройства и, как следствие, его стоимости;

5. рассмотренный в работе схемный вариант ФРТ может быть использован в качестве активного элемента современных *Smart Grid* систем.

Литература (References)

- [1] Gellings C. W. The Smart Grid. Enabling Energy Efficiency and Demand Response. — CRC Press, 2010.
- [2] The Smart Grid Reliability Bulletin. —ABB White Paper, North American Corporate Headquarters, 2009, 14 p.
- [3] Frank Kreikebaum; Debrup Das; Yi Yang; Frank Lambert; Deepak Divan Smart Wires — A distributed, low-cost solution for controlling power flows and monitoring transmission lines 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe) Pages: 1-8.
- [4] Colin C Davidson; Guillaume de Preville The future of high power electronics in transmission and distribution power systems 2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications Year: 2009 Pages: 1-14.
- [5] Fang Z. Peng, Flexible AC Transmission Systems (FACTS) and Resilient AC Distribution Systems (RACDS) in Smart Grid. Proceedings of the IEEE Year: 2017, Volume: 105, Issue: 11 Pages: 2099-2115.
- [6] IEEE Vision for Smart Grid Controls: 2030 and Beyond Reference Model IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Reference Model Year: 2013 Pages: 1-10.
- [7] Muhammad Sarwar; Bilal Asad, A review on future power systems; technologies and research for smart grids 2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET) Year: 2016 Pages: 1-6.
- [8] Adel M. Sharaf; Behnam Khaki, A FACTS based switched capacitor compensation scheme for smart grid applications 2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications Year: 2012 Pages: 1-5.
- [9] J. W. Feltes; B. D. Gemell; D. Retzmann, From Smart Grid to Super Grid: Solutions with HVDC and FACTS for grid access of renewable energy sources 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting Year: 2011 Pages: 1-6.
- [10] Zhenhua Zhang, Multi-function Integrated FACTS Devices and its Application in the Development of Smart Grid 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering Year: 2010 Pages: 5349-5352.
- [11] Kramer A., Ruff J., Transformers for Angle Regulation Considering the Selection of On-Loas Tap-Changers, IEEE transactions on power delivery, Vol.13, No.2, April 1998, page(s):518-525.
- [12] Luiz A. C. Lopes, Geza Joos, Boon-Teck Ooi, “A High-Power PWM Quadrature Booster Phase Shifter Based on a Multimodul AC Controller”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.13, No.2, March 1998.
- [13] Kling W., Klaar D., Schuld J., Phase shifting transformers installed in the Netherlands in order to increase available international transmission capacity, CIGRE 2004, C2-207, 21, rue d’Artois, F-75008 Paris.
- [14] Arnold C.P., Duke R.M., Arrillaga J. Transient stability improvement using thyristor controlled quadrature voltage injection // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, March 1981, № 3, Vol. PAS-100, pp. 1382-1388.
- [15] Bayles R., Phase Shifter and Controllable Devices in Developing Western Juterconnection RTOs, Wite Paper – Status Repost, June 15, 2001.
- [16] Belivanis, M.; Bell, K.R.W., Use of phase-shifting transformers on the Transmission Network in Great Britain, Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010 45th International. Publication Year: 2010 , Page(s): 1 – 5.
- [17] Bresesti P., Sforma M., Allegranza V., Canever D., and Vailati R.; Application of Phase Shifting Transformers for a secure and efficient operation of the interconnection corridors.
- [18] Brochu J., Beauregard F., Cloutier R., Bergeron A., Garant L., Sirois F., Henderson M. I.; Innovative applications of phase-shifting transformers supplemented with series reactive elements; Cigre 2006, A2-203.

- [19] Dirk Van Hertem, Pieter H. Schavemaker, Wil L. Kling, Ronnie Belmans, Jody Verboomen.; Phase Shifting Transformers: Principles and Applications; Member IEEE, , Fellow IEEE; 2005 г..
- [20] Djordje M. Dobrijević and Jovica V. Milanović; Contribution of Phase Shifting Transformers to Improvement of the Security of Power Transfer from the Power Plant; Agia, Napa, Cyprus; 7-10 November 2010.
- [21] Hossein Nasir Aghdam; Analysis of Phase-Shifting Transformer (PST), on Congestion management and Voltage Profile in Power System by Matlab/Simulink Toolbox; Maxwell Scientific Organization, 2011.
- [22] Huang Chung-Neng; Feature Analysis of Power Flows Based on the Allocations of Phase-Shifting Transformers; IEEE transactions on power systems, vol. 18, no. 1, february 2003.
- [23] Hurllet P., Riboud J-C., Margoloff J., Tanguy A.. French Experience in Phase-Shifting Transformers, CIGRE 2006 , Paper A2-2004.
- [24] Tîrșu M., Calinin L., Zaițev D., Berzan V. Phase-shift transformer with improved characteristic 9th World Energy System Conference, June 28-30 2012 Suceava, Romania <http://www.agir.ro/buletine/1417.pdf>.
- [25] Kalinin L., Golub I., Zaițev D., Tîrșu M. [Osnovnye tekhnicheskie harakteristiki dvuhtransformatornogo fazoreguliruyushchego ustrojstva.] The technical characteristics of the two-core phase-shifting device.. Forumul regional al energiei pentru Europa Centrala si de Est – FOREN 201415-19 Iunie 2014, Romania.
- [26] Calinin L., Zaițev D., Tîrșu M., Golub I., Regulator de fază trifazat cu transformator Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei, MD; C/BIRegistru Patent MD, No 4397, 2016.
- [27] Golub I.V., Zaitsev D.A., Zubareva I.G.; Modified Two-core Phase-shifting Transformer Based on the Classical «Delta Connection» Scheme; Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova Chisinau, Republic of Moldova 30.01.2016; 25-30c.
- [28] Dobrusin L. Tendencii primeneniya fazopovorotnyh transformatorov, [Trends in the use of phase-shift transformers] [Power Electronics] Silovaya ehlektronika, № 4'2012 (In Russian) Available at: http://power-e.ru/pdf/2012_04_60.pdf, date of access 20.12.2017.

Сведения об авторах.



Калинин Лев Павлович,
Институт Энергетики АНМ, кандидат технических наук. Область научных интересов связана с разработкой и применением FACTS контроллеров в энергосистемах
kalinin_lev@ie.asm.md.



Зайцев Дмитрий Александрович,
Институт Энергетики АНМ, кандидат технических наук. Научные интересы лежат в области исследования режимов энергосистем, содержащих гибкие межсистемные связи.
zaiats@ie.asm.md



Тырșу Михаил Степанович
Институт Энергетики АНМ, кандидат технических наук. Научные интересы связаны с диагностикой высоковольтного оборудования и силовой электроникой.
tirsu.mihai@gmail.com



Голуб Ирина Владимировна,
Институт Энергетики АНМ. Область научных интересов: режимы энергосистем, управляемые линии электропередачи переменного тока.
irina.golub@mail.ru