

Controlled Intersystem Link Based on a "Hexagon" Scheme Converter

Kalinin L.P., Zaitsev D.A., Tirsu M.S., Golub I.V., Kaloshin D.N.

Institute of Power Engineering
Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. The aim of the paper is to research possibility to use a "hexagon" scheme static frequency converter as controlled intersystem link for two parallel operating power systems with different operating frequencies, or standards for frequency stabilization. The paper aims to study the transformer device operating characteristics that implements the output voltage phase circular rotation principle relative to the input voltage and controlled by power electronics. This goal is achieved through the elaborated "rough" device control strategy, which made it possible to provide controlled AC intersystem link of asynchronous power systems without the use of additional harmonic filters and dampers. Two sectioning modes of adjusting windings were used to apply 24 and 48 position laws of the converter "fine" control. The most significant results are the new technical solution of the frequency converter, as well as the "rough" control strategy. To assess the conversion quality, indicators were used that characterize the degree of stability of the transmitted power and the harmonic distortion of the current. The computational experiments results have shown the effectiveness of the proposed "rough" control strategy. It is proved that 48-position sectioning of the "fine" regulation winding can significantly improve the quality of conversion compare to 24-position. The obtained results significance is that developed technical solution provides acceptable indicators of the frequency conversion quality and transmitted active power stability. In addition, the use of the proposed converter technical solution can significantly reduce the number of windings and control means compare to previously ones studied by the authors.

Keywords: controlled intersystem link, static frequency converter, control strategy, degree of stability of transmitted power, harmonic distortion of current.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.1-49.11>

UDC: 621.3.072.9

Interconexiune sistemică dirijată pe baza convertorului de tip „hexagon”

Calinin L.P., Zaițev D.A., Tîrșu M.S., Golub I.V., Caloșin D.N.

Institutul de Energetică
Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Obiectul cercetării îl reprezintă convertorul de frecvență static, realizat conform schemei „hexagon”, care poate fi utilizat pentru interconectarea dirijată a două sisteme energetice, ce funcționează la parametri diferiți privind frecvența și standardele pentru menținerea acestora. Scopul lucrării este cercetarea caracteristicilor de funcționare ale dispozitivului propus, care implementează principiul rotației circulare a fazei tensiunii de ieșire în raport cu cea de intrare în baza electronicii de putere. Acest obiectiv este realizat în baza unei strategii de control „brut” a dispozitivului, care a permis realizarea interconexiunii sistemice dirijate direct în curent alternativ fără utilizarea filtrelor armonice sau inductoarelor. Au fost propuse două metode de secționare a înfășurărilor de reglare, care asigură reglarea „fină” a convertorului cu 24 și 48 de poziții. În mediul Simulink/Matlab, au fost dezvoltate modelele dispozitivului propus și s-au efectuat experimente de calcul. Cele mai semnificative rezultate sunt soluția tehnică a convertorului de frecvență, precum și strategia de control „brută”. Calitatea conversiei este evaluată în baza gradului de stabilitate a puterii transmise și distorsiunea armonică a curentului. Rezultatele obținute pentru dispozitivul propus au arătat eficacitatea strategiei de control „brut” propusă. S-a dovedit că reglarea „fină” utilizând 48 de poziții îmbunătățește semnificativ calitatea conversiei comparativ cu 24 poziții. Importanța rezultatelor obținute constă în faptul, că dispozitivul propus asigură indicatori de calitate la conversia frecvenței și stabilitatea puterii active transmise. Adicional, soluția tehnică propusă permite reducerea semnificativă a numărului de înfășurări și chei de putere comparativ cu soluțiile prezentate anterior de către autori.

Cuvinte cheie: interconexiune sistemică dirijată, convertor static de frecvență, strategie de control, gradul de stabilitate a puterii transmise, distorsiunea armonică a curentului.

Управляемая межсистемная связь на базе преобразователя, выполненного по схеме «шестиугольник»

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

Институт энергетики

Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Объектом исследования является статический преобразователь частоты, выполненный по схеме «шестиугольник», который может быть использован для организации управляемой межсистемной связи при параллельной работе энергосистем, имеющих различные рабочие частоты, либо стандарты по поддержанию частоты. Целью работы является исследование режимных характеристик трансформаторного устройства, реализующего принцип кругового вращения фазы выходного напряжения относительно входного и управляемого средствами силовой электроники. Поставленная цель достигается посредством разработки стратегии «грубого» управления устройством, которая позволила обеспечить управляемую межсистемную связь переменного тока асинхронно работающих энергосистем без применения дополнительных гармонических фильтров и демпферов. При управлении устройством использованы два способа секционирования регулировочных обмоток, которые позволили применить 24-х и 48-и позиционные законы «тонкого» управления преобразователем. Также в среде Simulink/Matlab были разработаны структурно - имитационные модели объекта исследования. На основе SPS- моделей были проведены расчетные эксперименты, имитирующие работу преобразователя на активную нагрузку при соотношении частот передающей и принимающей системы 60Гц и 50Гц соответственно. Наиболее существенными результатами являются новый схемный вариант частотного преобразователя, а также стратегия «грубого» управления. Для оценки качества преобразования использованы показатели, характеризующие степень стабильности передаваемой мощности и коэффициент гармонических искажений тока. Результаты расчётных экспериментов, полученные на основе построенных структурно-имитационных моделей статического преобразователя частоты для различных вариантов регулирования, показали эффективность предложенной стратегии «грубого» управления. Доказано, что 48-и позиционное секционирование обмотки «тонкого» регулирования позволяет значительно улучшить качество преобразования по отношению к 24-х позиционному. Значимость полученных результатов состоит в том разработанное техническое решение обеспечивает приемлемые показатели качества частотного преобразования и стабильности передаваемой активной мощности. Кроме того, применение предлагаемого схемного варианта преобразователя позволяет существенно уменьшить количество обмоток и средств регулирования по сравнению с образцами, исследованными авторами ранее.

Ключевые слова: управляемая межсистемная связь, статический преобразователь частоты, стратегия управления, степень стабильности передаваемой мощности, коэффициент гармонических искажения по току.

ВВЕДЕНИЕ

Рост потребления и производства электроэнергии неизбежно связан с развитием и объединением электроэнергетических систем. Следствием этого является рост обмена электрической энергией как внутри энергосистемы, так и между энергосистемами по межсистемным связям. Это приводит к возрастанию роли межсистемных связей, повышению требований к их надежности, эффективности их функционирования и управляемости [1-7].

Для решения вопроса организации управляемых межсистемных связей (УМС (управляемую межсистемную связь)) применяются ВПТ (вставки постоянного тока) и ППТ (передача постоянного тока), как наиболее исследованные и нашедшие применение в энергосистемах разных стран мира. Ключевые проблемы передачи постоянным током детально изучены на

практике и успешно преодолеваются, однако многие конструктивные решения пока остаются дорогостоящими [8-14].

На данный момент альтернативой ВПТ и ППТ могут являться устройства VFT (variable frequency transformer) и АСЭМПЧ (асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты).

Эти технологии позволяют выполнить УМС на переменном токе между синхронно работающими системами с разными стандартами частоты. Однако вынужденное применение трущихся токосъемных контактов, ограниченный диапазон по частоте скольжения связываемых систем и проблемы, связанные с построением агрегатов большой мощности, ограничивают область применения установок данного типа [15-22].

Исследование, представленное в данной статье направленно на разработку статического преобразователя частоты трансформаторного типа для организации УМС асинхронно или синхронно работающих систем с разными стандартами частоты.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

Принципиальная электрическая схема объекта исследования представлена на рис.1.

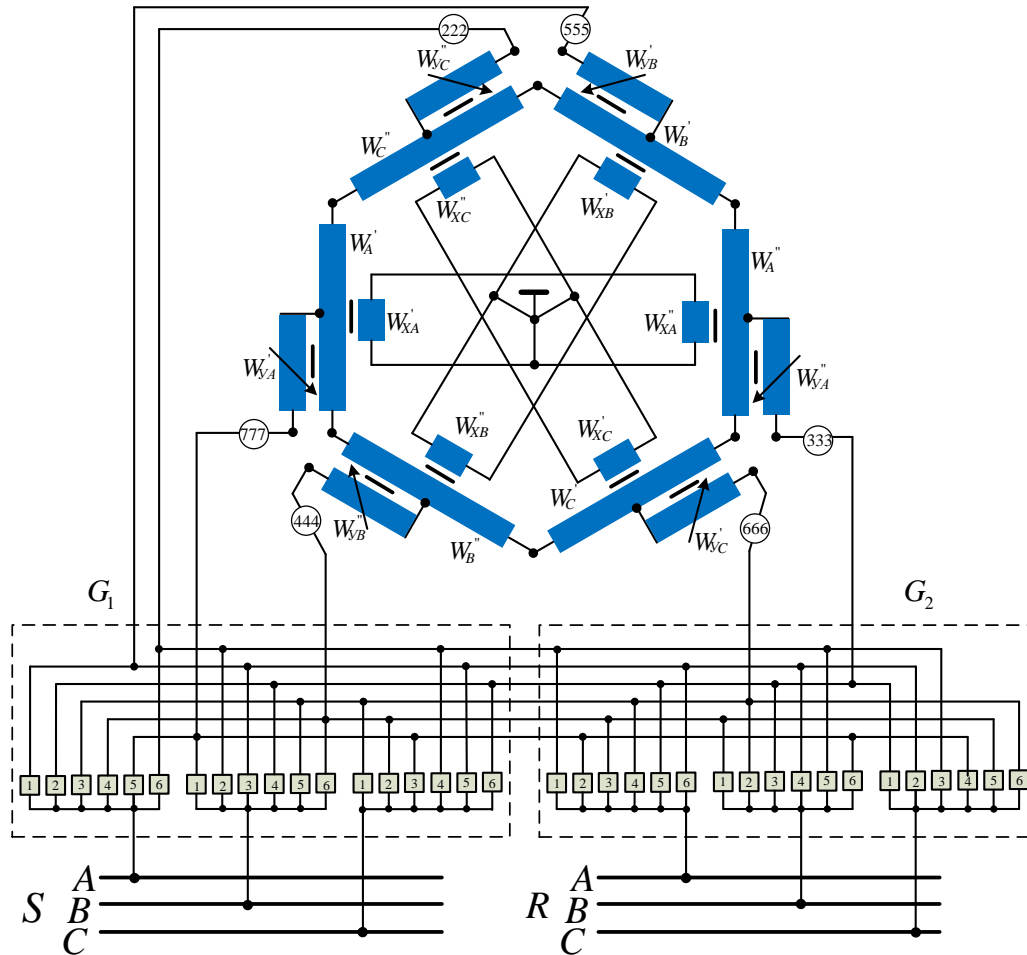


Рис. 1. Электрическая схема статического преобразователя частоты, выполненного по схеме «шестиугольник».¹

Исследуемый статический преобразователь представляет собой группу однофазных трехобмоточных трансформаторов, соединенных по схеме «шестиугольник», рис.1.

Первичными обмотками однофазных трансформаторов являются обмотки управления и обозначены на рис.1 как W' , W'' . Начала указанных обмоток подключаются к передающей и приемной системам через силовые ключи «грубого» регулирования G_1 и G_2 , рис.1, а концы обмоток подключены к средним точкам вторичных обмоток и обозначены как W' , W'' . Начала третьих обмоток двух

однофазных трансформаторов каждой фазы соединены между собой, а концы данных обмоток подключаются к нулевой точке по схеме «звезда».

Обмотки управления являются средством «тонкого» регулирования и благодаря переключению силовых ключей по заданному закону обеспечивают фазовый сдвиг напряжения в диапазоне $\pm 30^\circ$ тем самым создавая фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением в каждом однофазном трансформаторе.

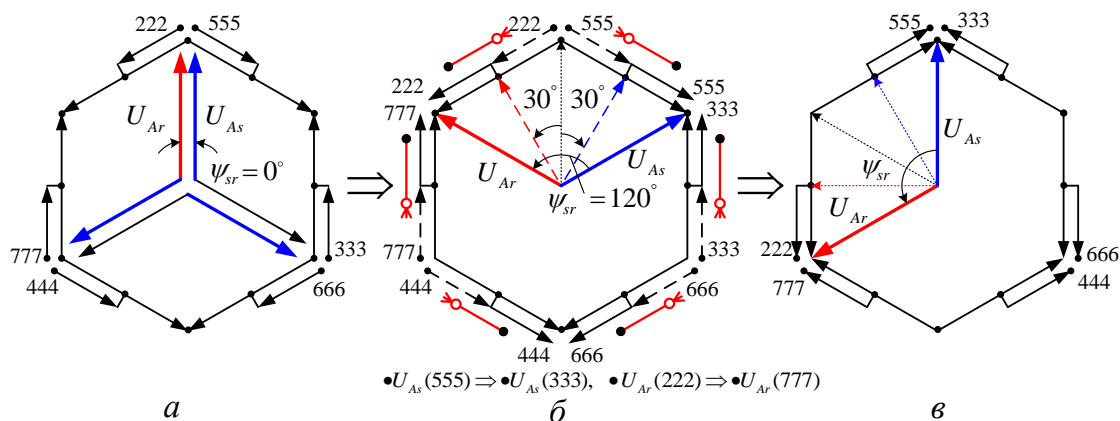
Схема соединения «шестиугольник» позволяет получить шестифазную систему напряжений из трехфазной и обеспечить одновременную работу двух

¹ Appendix 1

многообмоточных трансформаторов в каждой фазе. Как следствие, в одной фазе одновременно в работе находятся две обмотки «тонкого» регулирования, позволяющие обеспечить 120° фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением. Посредством срабатывания ключей «грубого»

регулирования обмотки «тонкого» регулирования возвращаются в исходное состояние относительно напряжения сдвинутого по фазе на угол 120° .

Процесс кругового вращения фазы выходного напряжения рассмотрим на примере фазы «А», рис. 2.



a - исходное состояние устройства; *б* - процесс обеспечения угла фазового сдвига; *в* - окончание процесса фазового сдвига и срабатывание ключей «грубого» управления.

Рис. 2. Векторная диаграмма напряжений первого сектора «грубого» управления.²

В исходном состоянии напряжение передающей (U_{As}) и принимающей (U_{Ar}) систем совпадают по фазе, так как обмотки управления со стороны входного и выходного напряжения включены встречно, рис. 2а. В соответствии с ранее предложенными авторами работы законами «тонкого» регулирования, обмотки управления в процессе работы силовых ключей переводятся из встречного в последовательное состояние. Результатом таких действий является обеспечение 120° сдвига по фазе между выходным и входным напряжением, а по отношению к исходному состоянию векторов напряжения обеспечивается 60° сдвиг по фазе, рис. 2 (б).

После завершения работы цикла «тонкого» регулирования отработавшие силовые ключи «грубого» регулирования, в результате чего устройство выполняет поворот на угол 60° , рис. 2 (в). При этом угол в 120° между входным и выходным напряжением остается неизменным. Обмотки «тонкого» регулирования становятся включенными последовательно и позволяют увеличить угол фазового сдвига между

входным и выходным напряжением еще на 120° , рис. 3 (а), тем самым обеспечивая фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением в 240° (сектор II). После окончания процесса вращения фазы напряжения во II секторе, происходит переключение ключей «грубого» регулирования, обеспечивающих поворот устройства на угол 60° и дальнейшую работу преобразователя в III секторе.

После окончания работы устройства в III секторе выходное напряжение (U_{Ar}) совершает оборот относительно входного (U_{As}) на 360° . Устройство в этот момент поворачивается на 180° относительно своего исходного состояния. Для восстановления исходного состояния схемы, устройство должно продолжить вращение еще на 180° , при этом выходное напряжение (U_{Ar}) совершит второй оборот на 360° относительно входного напряжения (U_{As}), рис.3 (б), обеспечив тем самым полный цикл согласования.

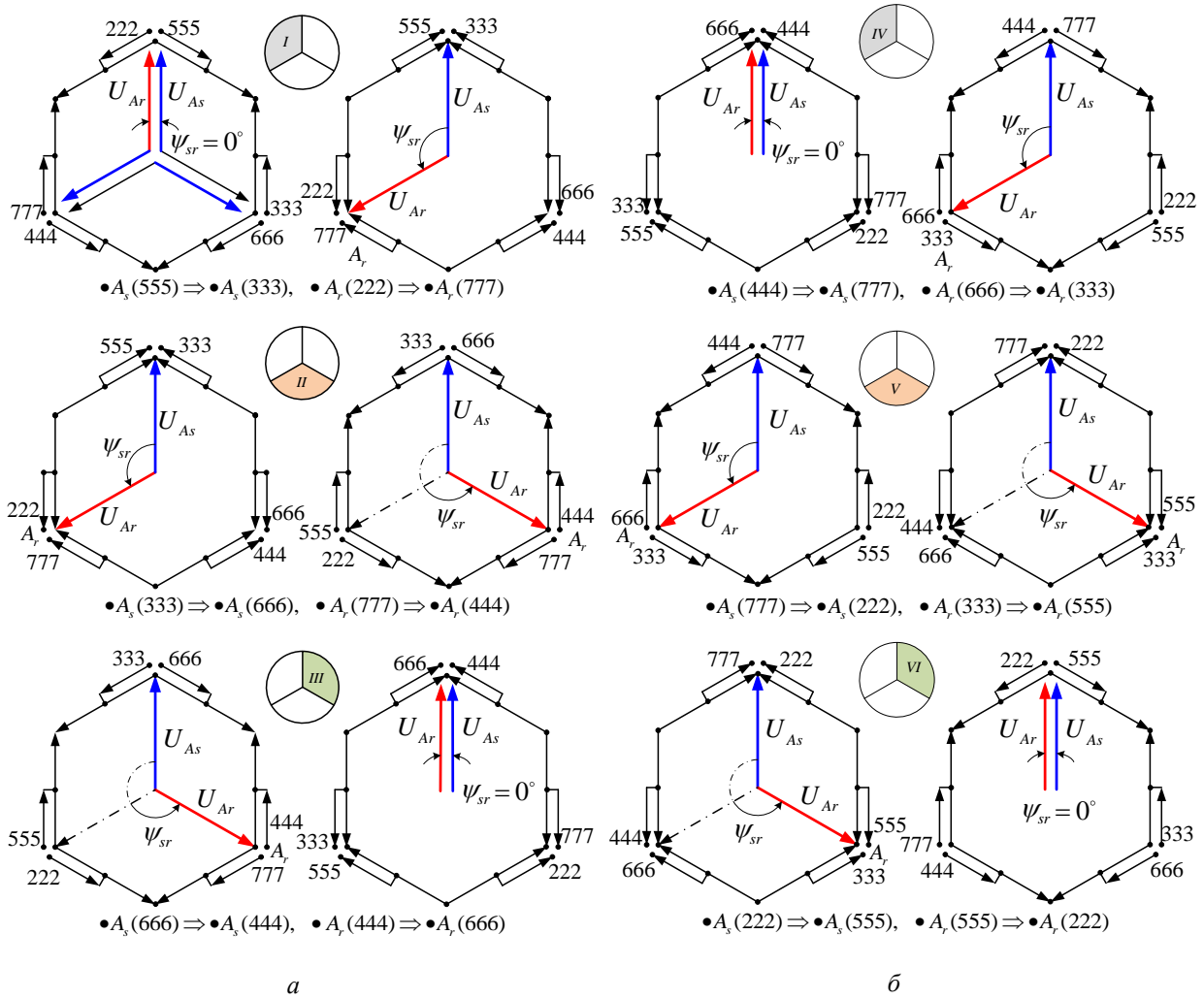


Рис. 3. Векторная диаграмма поясняющая закон «грубого» управления.³

**УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТА**

Для изучения режимных параметров статического преобразователя частоты, выполненного по схеме «шестиугольник», были выполнены расчетные эксперименты на основе структурно – имитационной модели объекта исследования в среде Simulink/Matlab для двух, ранее описанных в журнале «Проблемы региональной энергетики» № 1(45) за 2020 год стр. 30-41 авторами работы, законов «тонкого» регулирования обеспечивающих разную степень точности управления устройством.

Эксперименты проводились при работе преобразователя на активную нагрузку $R_n = 9,6 \text{ Ом}$ и соблюдении следующих условий:

- расчетное время моделирования $t = 2$ секунды;

- напряжение приемной и передающей систем $U_s = U_r = 230V$;
- значение угла передающей системы $\delta_s = 0^\circ$;
- положительным, принято направление передачи мощности от передающей энергосистемы (S) к приемной (R) ;
- ток на выходе устройства для всех расчетных экспериментов поддерживался на уровне $I_r = 24A \pm 10\%$, что соответствует номинальному значению;
- частоты передающей и приемной систем приняты 60 и 50Гц соответственно;

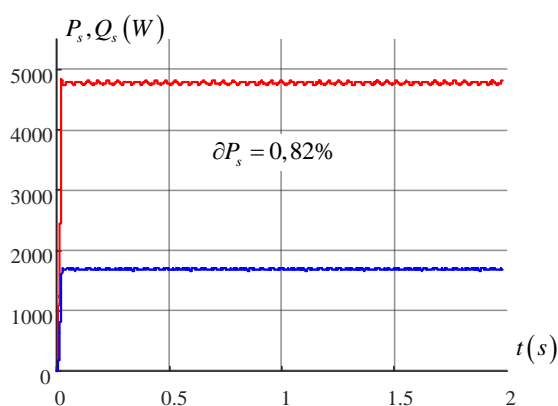
Параметры элементов статического преобразователя частоты использованные при построении структурно-имитационной модели приняты с учетом возможности создания лабораторного образца преобразователя:

³ Appendix 1

- напряжение первичной обмотки
 $U'_A = U''_A = U'_B = U''_B = U'_C = U''_C = 230 \text{ V}$;
- ток первичной обмотки
 $I'_A = I''_A = I'_B = I''_B = I'_C = I''_C = 24 \text{ A}$;
- напряжение вторичной обмотки
 $U'_{XA} = U''_{XA} = U'_{XB} = U''_{XB} = U'_{XC} = U''_{XC} = 115 \text{ V}$;
- ток вторичной обмотки
 $I'_{XA} = I''_{XA} = I'_{XB} = I''_{XB} = I'_{XC} = I''_{XC} = 12 \text{ A}$;
- напряжение обмотки управления
 $U'_{YA} = U''_{YA} = U'_{YB} = U''_{YB} = U'_{YC} = U''_{YC} = 115 \text{ V}$;
- ток обмотки управления.
 $I'_{YA} = I''_{YA} = I'_{YB} = I''_{YB} = I'_{YC} = I''_{YC} = 12 \text{ A}$

Для оценки качества преобразования частоты и передачи мощности применялись следующие режимные параметры:

- степень стабильности передаваемой активной мощности на передающей $\partial P_s, \%$ и приемной $\partial P_r, \%$ системах;



- коэффициент гармонических искажений тока на передающей $THD(I_s), \%$ и приемной $THD(I_r), \%$ системах.

Схема проведения эксперимента представлена на рис. 4.

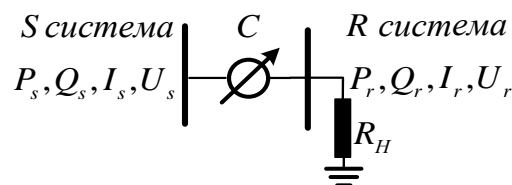


Рис. 4. Схема проведения эксперимента.⁴

Результаты расчетных экспериментов приведены в виде осциллограмм мощностей и токов на передающей и приемной системе при 24 позиционном секционировании обмотки «тонкого» регулирования представлены на рис. 5 и 6, а при 48 позиционном секционировании на рис. 7 и 8.

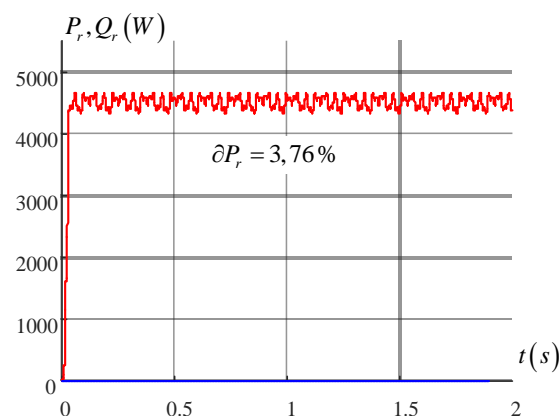


Рис. 5. Мощности на передающей и приемной системах при 24 позиционном секционировании.⁵

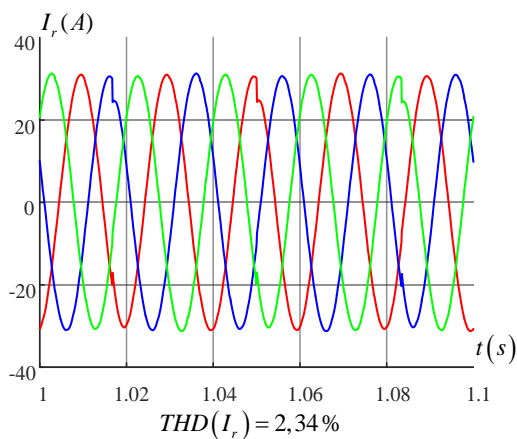
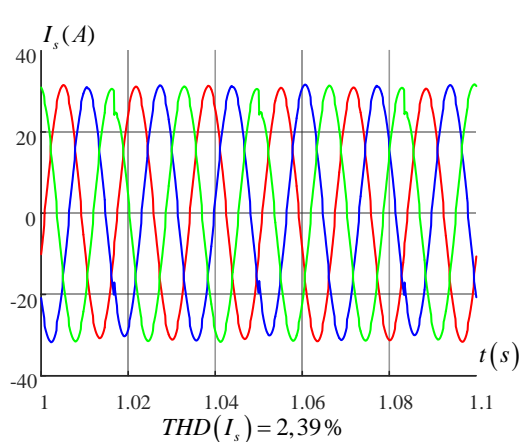


Рис. 6. Токи на передающей и приемной системах при 24 позиционном секционировании.⁶

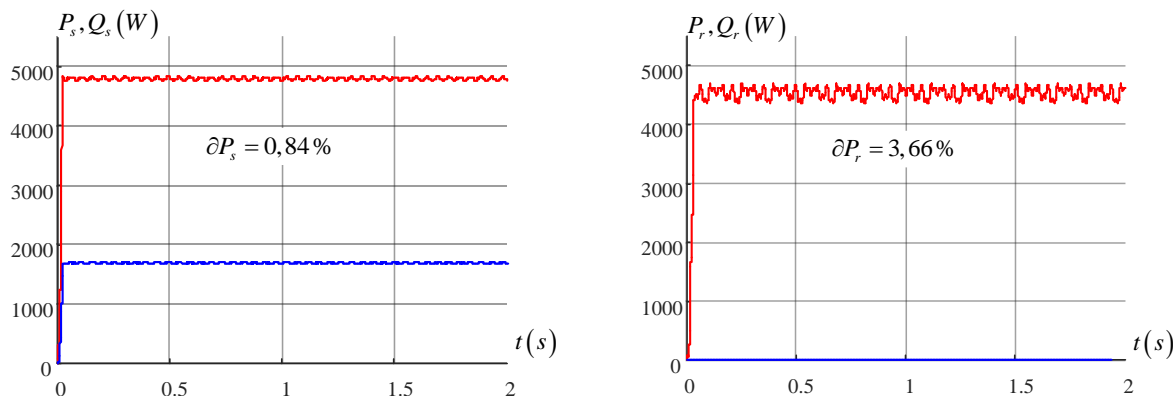


Рис. 7. Мощности на передающей и приемной системах при 48 позиционном секционировании.⁷

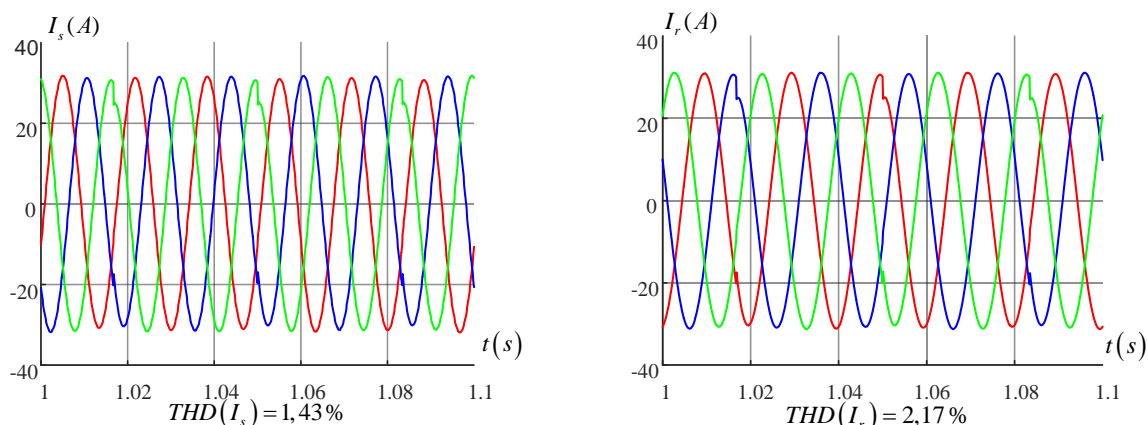


Рис. 8. Токи на передающей и приемной системах при 48 позиционном секционировании.⁸

Анализ полученных характеристик, описывающих работу устройства показал, что:

- при работе устройства на нагрузку на передающей системе наблюдается приблизительно равенство степени стабильности передаваемой мощности для применяемых вариантов секционирования регулирующей обмотки, а на приемной системе при 48-и позиционном секционировании степень колебания передаваемой мощности на 0,1% меньше, чем при 24-х позиционном;
- при сравнительном анализе коэффициентов гармонических искажений по току на приемной системе наблюдается приблизительно равенство показателей для применяемых вариантов секционирования, а на передающей системе коэффициент гармонических искажений при 48-и позиционном секционировании в 1,7 раза меньше чем при 24-х.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что статический преобразователь частоты, выполненный по схеме «шестиугольник» реализует принцип кругового вращения фазы выходного напряжения относительно входного.
2. Разработанная стратегия «грубого» управления устройством позволяет обеспечить УМС переменного тока асинхронно работающих энергосистем без применения дополнительных гармонических фильтров и демпферов.
3. Результаты расчётных экспериментов на основе построенных структурно-имитационных моделей статического преобразователя частоты для различных вариантов регулирования показывают, что 48-и позиционное секционирование обмотки «тонкого» регулирования позволяет значительно улучшить качество преобразования.

^{7,8} Appendix 1

4. Предлагаемый схемный вариант преобразователя обладает более простой схемой и позволяет существенно уменьшить количество обмоток и средств регулирования по сравнению с описанным авторами устройством в журнале «Проблемы региональной энергетики» № 1(45) за 2020 год стр. 30-41.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Результаты были получены в рамках проекта Госпрограммы с номером 20.80009.7007.18: «Эко-инновационные технические решения по снижению энергопотребления зданий и разработка опций по развитию интеллектуальных сетей с высокой интеграции ВИЭ в Молдове».

APPENDIX 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ 1)

¹Fig. 1. Electrical diagram of a static frequency converter made according to the "hexagon" scheme.

²Fig. 2. Vector diagram of voltages of the first sector of "rough" control (a-initial state of the device; b - the process of providing the phase shift angle; c -the end of the phase shift process and the actuation of "rough" control keys)

³Fig. 3. Vector diagram explaining the law of "rough" control (a, b).

⁴Fig. 4. Scheme of the experiment.

⁵Fig. 5. Power on transmitting and receiving systems with 24-position sectioning.

⁶Fig. 6. Currents on the transmitting and receiving systems with 24-position sectioning

⁷Fig. 7. Power on transmitting and receiving systems with 48-position sectioning.

⁸Fig. 8. Currents on the transmitting and receiving systems with 48-position sectioning

БИБЛИОГРАФИЯ (REFERENCES)

- [1] Batenin V.M., Bushuev V.V., Voropay N.I., "Innovatsionnaya elektroenergetika-21" [Innovative power industry-21], Moskva ITs "Energiya", 2017. 584 p. ISBN (print): 978-5-98908-457-9. (In Russian)
- [2] Climate Institute (USA), "North American Supergrid", Retrieved 26 January 2020. http://climate.org/wp-content/uploads/2019/09/supergrid_9_2019.pdf
- [3] Colak I., "Introduction to smart grid", 2016 International Smart Grid Workshop and Certificate Program (ISGWCP), Istanbul, 2016, pp. 1-5.
- [4] Amelin A.A. Upravlenie peretokom aktivnoj moshchnosti po neodnorodnoj mezhsistemnoj svyazi v ehnergosisteme. [Control the Active Power Flow on non-uniform intersystem communication in the power system]. Innovacii i investicii (Moskva) 2014, No:5 pp: 167-169. (In Russian)
- [5] Cardenas Hans, Zhang Lei, Noel Julien. Improvement on energy trade capacity for asynchronous power system by application of hybrid multi-infeed direct current transmission system IEEE URUCON, Montevideo, 2017, pp. 1-4, DOI: 10.1109/URUCON.2017.8171853.
- [6] Khan Fida Muhammad, Abbasi Ayesha, Khan Muhammad Azam, Imran Muhammad. General overview of using High Voltage Direct Current (HVDC) transmission in Pakistan for maximum efficiency and. 2015 Power Generation System and Renewable Energy Technologies (PGSRET) pp.1-5 doi:10.1109/PGSRET.2015.7312221.
- [7] Cardenas Hans, Zhang Lei, Noel Julien Modeling, Simulation and Application of Modular Multilevel Converter in Hybrid High Voltage Direct Current Transmission System. IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition-Latin America (T&DLA), Lima, 2018, pp.1-5. doi: 10.1109/TDCLA.2018.8511758.
- [8] Ryabin T.V., Sorokin D.V., "Tendentsii razvitiya tekhnologii global'nykh elektricheskikh setey (po itogam mezhdunarodnoy konferentsii «tekhnologii global'nykh energeticheskikh setey»)», [Trends in the development of technology of global electrical networks (based on the results of the international conference "technologies of global energy networks")] ENERGIYA EDINOY SETI № 2 (44) APREL' - MAY 2019 64 - 73 c (In Russian)
- [9] Suslova O.V., Travin L.V., "Tendentsii razvitiya tekhnologiy peredachi elektroenergii postoyannym tokom (po materialam mezhdunarodnogo kollokviuma 2017 SIGRE A3, B4 i D1)" [Trends in the development transmission energy technologies of the direct current (based on the materials of the international colloquium 2017 CIGRE A3, B4 and D1)], Energiya edinoj seti № 1 (36) fevral' - mart 2018, 48-58 c. (In Russian)
- [10] Denboerl N., Karawital C., Mohaddes M. Frequency scan based screening technique for harmonic interactions of HVDC systems. 13th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 2017) doi:10.1049/cp.2017.0035.
- [11] Flourentzou Nikolas, Agelidis Vassilios G. Georgios; Demetriades D. VSC-Based HVDC Power Transmission Systems: An Overview. IEEE Transactions on Power Electronics. (Volume: 24, Issue: 3, March 2009) pp: 592-602 doi: 10.1109/TPEL.2008.2008441.
- [12] Yousif Hakam Muayad, Vural Ahmet Mete Modeling of modular multilevel converter based high voltage direct current transmission system. 4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE) 2017 pp. 43-51 doi: 10.1109/ICEEE2.2017.7935790.

- [13] Zmaznov Eugeny, Lozinova Natalya, Suslova Olga, Andreev Mikhail. Ufa Ruslan. HVDC LCC technology and power quality issues in crossborder electrical power trans-mission Russia — Finland. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe). 2018 doi 10.1109/ISGTEurope.2018.8571805.
- [14] 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.
- [15] Alekseev B.A., Shakaryan Yu.G. "Ispytaniya vrashchayushchegosya transformatora tipa VFT dlya svyazi nesinkhronno rabotayushchikh energosistem" [Tests of VFT type rotating transformer for communication of non-synchronous power systems] Elektro. elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotehnicheskaya promyshlennost' Izdatel'stvo: Kholdingovaya kompaniya "Elektrozavod" (Moskva) №3 2005, st. 7-10. (In Russian)
- [16] Dement'yev Yu.A., Sokur P.V., Shakaryan Yu.G., Mayorov A.V., Shabash A.M., Yarosh D.N., Pinchuk N.D., Tret'yakov V.S., "Elektromekhanicheskaya vstavka peremennogo toka dlya upravleniya rezhimami i ogranicheniya tokov korotkogo замыкания", [Electromechanical AC link for control and short-circuit current limitation] Energiya edinoi seti №4 (33) avgust — sentyabr' 2017 18-27c. (In Russian)
- [17] Clark K., Price W. W., and Reichard M. L., "Linden VFT System Reliability Impact Study," for East Coast Power, L.L.C., Schenectady, NY, USA, Revision 2, March 8, 2006.
- [18] Hassink P., Marken P. E., O'Keefe R. and Trevino G. R., "Improving Power System Dynamic Performance in Laredo, TX," presented at the IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Expo, Chicago, IL, April 21-24, 2008.
- [19] Larsen E., Piwko R., McLaren D., McNabb D., Granger M., Dusseault M., Rollin L-P., Primeau J., "Variable Frequency Transformer - A New Alternative for Asynchronous Power Transfer", Canada Power, Toronto, Ontario, Canada, September 28-30, 2004.
- [20] Mostafa E., Hossein Z., "Flexible Interconnection in Energy Systems via Variable Frequency Transformer", Majlesi Journal of Energy Management, Vol. 8, No. 3, September 2019, pp. 45-53.
- [21] Pratico E. R., Wegner C., Larsen E. V., Piwko R. J., Wallace D. R. and Kidd D., "VFT Operational Overview - The Laredo Project", 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, 2007, pp. 1-6, doi: 10.1109/PES.2007.386187.
- [22] Pratico E. R., Wegner C., Marken P. E. and Marczewski J. J., "First multi-channel VFT application - the Linden project", IEEE PES T&D 2010, New Orleans, LA, 2010, pp. 1-7, doi: 10.1109/TDC.2010.5484379.

Сведения об авторах.



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



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



Калошин Данила Николаевич
Институт Энергетики, Область
научных интересов: исследование
современных средств управления
режимами энергосистем.
danila-nik2005@yandex.ru



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



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