

УДК 621.314

DOI 10.46960/2658-6754_2022_3_100

ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.А. Кралин

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижегород, Россия

ORCID: 0000-0003-0560-4156 e-mail: akralin@yandex.ru

Е.В. Крюков

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижегород, Россия

ORCID: 0000-0002-9145-2453 e-mail: kryukov@nntu.ru

Р.Ш. Бедретдинов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижегород, Россия

ORCID: 0000-0003-0767-1096 e-mail: rsb88@yandex.ru

А.А. Кралин

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижегород, Россия

e-mail: kralin152@mail.ru

Проанализированы возможности регулирования параметров электроэнергетики и распределения потоков мощности в распределительных электрических сетях среднего напряжения с использованием тиристорных регуляторов напряжения (ТРН). Исследования выполнены с применением разработанной в программе *Matlab Simulink* имитационной компьютерной модели участка распределительной электрической сети с ТРН. Получены зависимости изменения параметров режимов электрической сети с ТРН при продольном, поперечном и продольно-поперечном регулировании напряжения. Установлено, что во всем диапазоне продольно-поперечного регулирования КПД линии электропередачи сохраняет высокое значение. Использование ТРН позволяет в широком диапазоне регулировать потоки активной и реактивной мощности, циркулирующей в сети. Определены режимы работы сети, позволяющие исключить перетоки активной и реактивной мощностей между подстанциями при продольно-поперечном регулировании. Применение тиристорных регуляторов напряжения позволит обеспечить оптимальный уровень напряжения у потребителей, оптимальное распределение потоков активной и реактивной мощности в сложных замкнутых электрических сетях, увеличить пропуск-

ную способность электрических сетей, снизить потери активной мощности при передаче.

Ключевые слова: качество электроэнергии, моделирование, потоки мощности, распределительная электрическая сеть, тиристорный регулятор напряжения.

Для цитирования: Кралин А.А., Крюков Е.В., Бедретдинов Р.Ш., Кралин А.А. Применение тиристорного регулятора напряжения для управления параметрами электроэнергии в замкнутой сети среднего напряжения // Интеллектуальная электротехника. 2022. № 3. С. 100-114. DOI: 10.46960/2658-6754_2022_3_100

APPLICATION OF THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR FOR ELECTRICAL ENERGY PARAMETERS CONTROL IN A CLOSED MEDIUM VOLTAGE NETWORK

A.A. Kralin

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia
ORCID: 0000-0003-0560-4156 e-mail: akralin@yandex.ru

E.V. Kryukov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia
ORCID: 0000-0002-9145-2453 e-mail: kryukov@nntu.ru

R.S. Bedretdinov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia
ORCID: 0000-0003-0767-1096 e-mail: rsb88@yandex.ru

A.A. Kralin

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia
e-mail: kralin152@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the electricity parameters regulating and the power flows distribution possibility in medium voltage distribution networks using thyristor voltage regulators (TVR). The studies have been carried out using a simulation computer model of a distribution network section with TVR developed in the Matlab Simulink. The study of the network with TVR modes parameters has been carried out under voltage magnitude, phase angle and combined control modes. It was found that the efficiency of the power transmission line remains high in the entire range of voltage magnitude and phase angle regulation. The TVR use allows regulating real and reactive power flows in the network in a wide range. The operation modes of the network have been determined, which make it possible to exclude the flows of real and reactive power between substations under combined control mode. The thyristor voltage regulators use

will provide an optimal voltage level for consumers, an optimal distribution of real and reactive power flows in networks, increase the throughput of electrical networks and reduce real power losses.

Keywords: distribution network, modeling, power flows, power quality, thyristor voltage regulator.

For citation: A.A. Kralin, E.V. Kryukov, R.S. Bedretdinov and A.A. Kralin, "Application of thyristor voltage regulator for electrical energy parameters control in a closed medium voltage network", *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 100-114, 2022. DOI: 10.46960/2658-6754_2022_3_100

I. Введение

В настоящее время сети среднего напряжения в России характеризуются низкой управляемостью и возможностью передачи электроэнергии в одном направлении [1-3]. Высокий износ электроустановок передачи и распределения электроэнергии, устаревшие устройства релейной защиты, недостаточная автоматизация являются причинами, снижающими надежность электроснабжения потребителей [4, 5]. Кроме того, в электроэнергетике зачастую наблюдается диспропорция между требуемыми параметрами электроэнергии и их фактическими значениями.

В Энергетической стратегии России на период до 2035 года поставлена задача цифровой трансформации и интеллектуализации отраслей топливно-энергетического комплекса. К современным прорывным технологиям, способствующим переходу электроэнергетики на новый технологический уровень, относятся, в том числе, активно-адаптивные сети [6, 7].

Можно выделить следующие основные направления развития активно-адаптивных сетей:

- 1) разработка и применение новых схемотехнических решений силовой электроники, обеспечивающих высокую управляемость электрической сетью;
- 2) создание новых принципов информационного взаимодействия объектов электросетевого комплекса;
- 3) разработка принципов взаимодействия между активными потребителями электроэнергии, распределительными сетями и микросетями.

Таким образом, актуальными задачами современной энергетики являются: обеспечения требуемого качества электроэнергии, улучшение управляемости энергосистемами, повышение экономичности эксплуатации систем в нормальных и аварийных режимах.

Регулирование параметров электроэнергии в сетях среднего напряжения можно осуществлять с использованием устройств, изменяющих как амплитуду, так и фазу напряжения [8-11]. Такие устройства могут быть реализованы на основе ТРН [12].

Одно из возможных технических решений силовой части ТРН для сетей среднего напряжения представлено на рис. 1 [13]. Схема силовой части ТРН содержит два трансформатора параллельный трехфазный трансформатор $T1$ и последовательный трансформатор $T2$. На базе секционированных вторичных обмоток параллельного трансформатора выполнены модули продольного и поперечного регулирования напряжения. Требуемый сдвиг по фазе выходных линейных напряжений ТРН выполняется модулем поперечного регулирования. Регулирование величины выходного напряжения относительно входного выполняет модуль продольного регулирования. Очевидно, что совместное использование модулей продольного и поперечного регулирования позволяет изменять выходное напряжение как по амплитуде, так и по фазе [14].

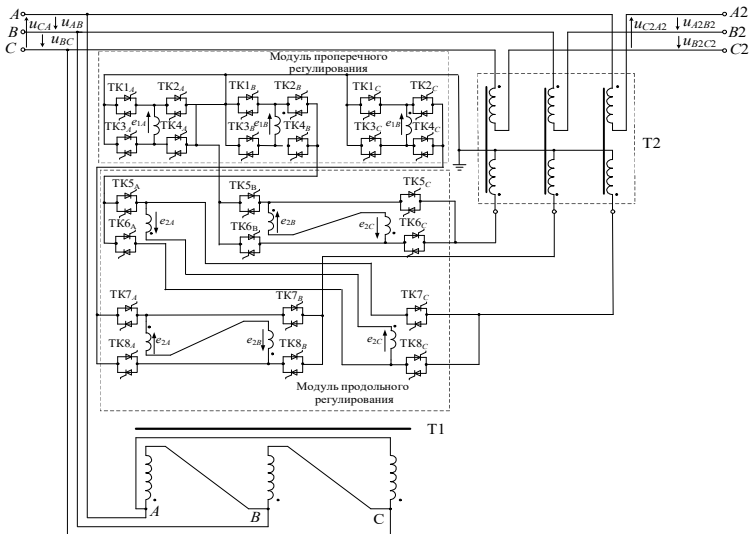


Рис. 1. Схема силовой части ТРН

Fig. 1. TVR electrical circuit diagram

В линии A , B и C при поперечном регулировании вводятся вектора напряжений пропорциональные соответственно напряжениям u_{BC} , u_{CA} , u_{AB} . Проводящее состояние тиристорных ключей ТК2, ТК3 обеспечивает режим запаздывания выходного напряжения ТРН относительно входного на угол α (рис. 2а). Проводящее состояние тиристорных ключей ТК1, ТК4 обеспечивает режим опережения выходного напряжения ТРН на угол α (рис. 2б).

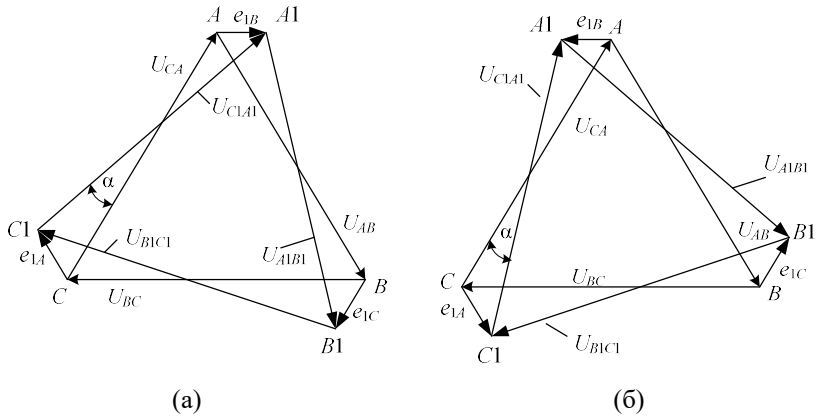


Рис. 2. Векторные диаграммы ТРН при поперечном регулировании: режим запаздывания напряжения (а); режим опережения напряжения (б)

Fig. 2. TVR phasor diagrams under phase angle control mode: voltage lag mode (a); voltage lead mode (b)

Режим продольного регулирования осуществляется с помощью тиристорных ключей ТК5-ТК8. Режим понижения напряжения ТРН осуществляется при проводящем состоянии тиристорных ключей ТК6_А-ТК7_С, ТК8_А-ТК7_А, ТК6_В-ТК5_С. В этом случае в линию фазы *A* вводится разность ЭДС $e_{2C} - e_{2A}$, в линию *B* – $e_{2A} - e_{2B}$, в линию *C* – $e_{2B} - e_{2C}$ (рис. 3а). Режим повышения напряжения ТРН выполняется при проводящем состоянии тиристорных ключей ТК5_А, ТК8_С, ТК5_В, ТК6_С, ТК7_А, ТК8_В (рис. 3б).

Диапазон регулирования выходного напряжения ТРН определяется величиной коэффициента трансформации регулировочных секций модулей продольного и поперечного регулирования. Следует отметить, что плавное изменение величины и фазы выходного напряжения ТРН может быть реализовано с применением импульсно-фазового управления тиристорами модулей продольного и поперечного регулирования [15].

Далее представим результаты исследования возможности регулирования параметров электроэнергии и распределения потоков мощности в распределительных электрических сетях среднего напряжения с использованием тиристорных регуляторов напряжения.

II. Моделирование распределительной электрической сети с тиристорным регулятором напряжения

Для проведения исследования необходимо выполнить моделирование установившихся режимов работы участка распределительной сети с ТРН. Один из возможных вариантов реализации замкнутой системы электроснабжения приведен на рис. 4.

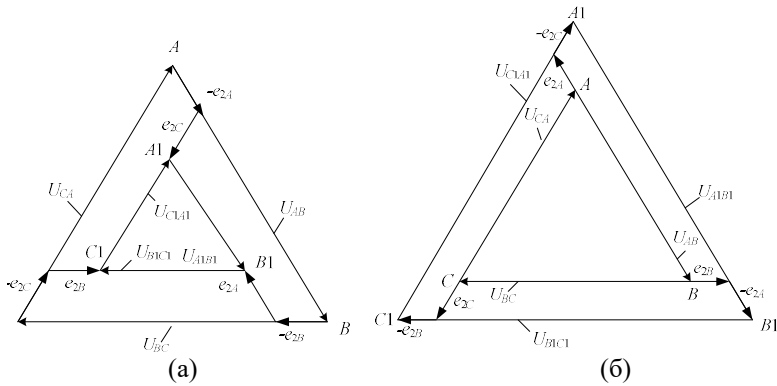


Рис. 3. Векторные диаграммы тиристорного регулятора при продольном регулировании: режим понижения напряжения (а); режим повышения напряжения (б)

Fig. 3. TVR phasor diagrams under voltage magnitude control mode: voltage buck mode (a); voltage boost mode (b)

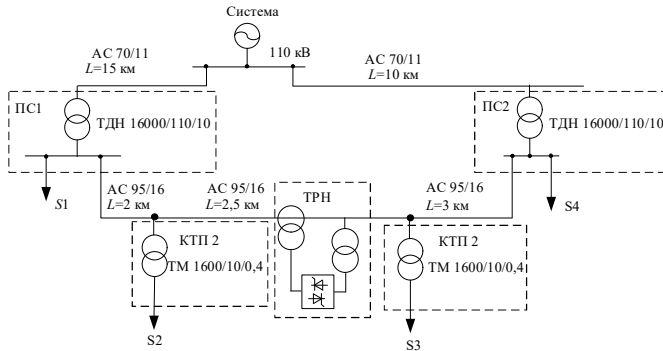


Рис. 4. Участок электрической сети с ТРН

Fig. 4. Single-line diagram of a distribution network with a TVR

Одним из наиболее удобных программных продуктов для исследования и моделирования электромагнитных процессов различных устройств является *Matlab Simulink*. На рис. 5 представлена модель участка сети с ТРН, выполненная в *Simulink*.

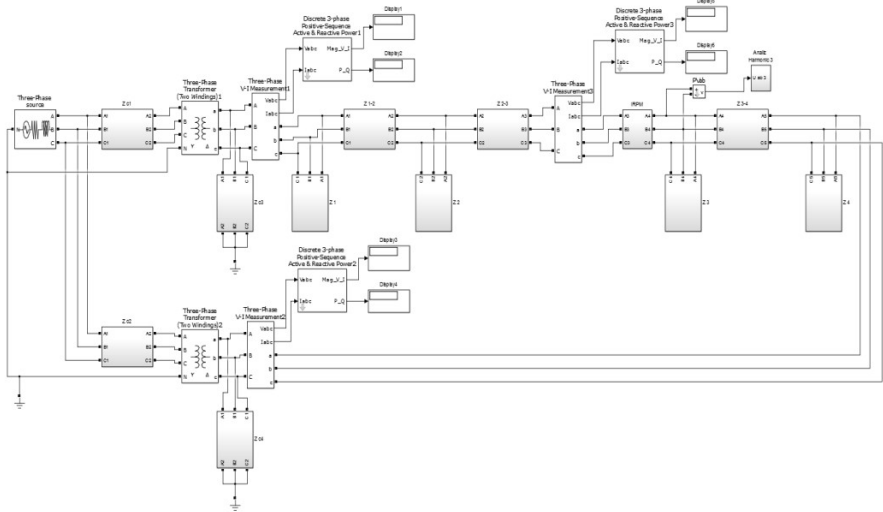


Рис. 5. Модель участка электрической сети в *Simulink*

Fig. 5. Distribution network model in *Matlab Simulink*

Имитационная модель участка сети содержит следующие основные блоки:

- модель трехфазного источника напряжения бесконечной мощности;
- модель линии электропередач;
- модели согласующих трансформаторов;
- модели активно-индуктивной нагрузки;
- измерительные приборы;
- модель ТРН содержащая в своем составе модели последовательного и параллельного трансформаторов, модели тиристорных ключей, модель системы управления.

Параметры модели ТРН следующие:

- линейное напряжение питающей сети $U_{\text{Л}} = 10$ кВ;
- диапазон изменения угла сдвига основной гармоники выходного напряжения относительно входного $\theta = \pm 6^\circ$, что составляет приблизительно ± 600 В ступени поперечного регулирования;

- диапазон регулирования величины выходного напряжения относительно входного $D = \pm 10 \%$, что составляет приблизительно ± 600 В ступени продольного регулирования;
- мощность ТРН 1000 кВА.

Параметры нагрузки приведены в табл. 1.

Таблица 1.
Параметры нагрузки

Table 1.
Load data

Нагрузка	Полная мощность S , кВА	Активная мощность P , кВт	Реактивная мощность Q , квар	$\cos\phi$
S_1	3881	3609	1426	0,93
S_2	1346	1306	327	0,97
S_3	2834	2607	1111	0,92
S_4	1882	1807	526	0,96

Разработанная модель позволяет определить основные электромагнитные величины при продольном, поперечном и продольно-поперечном регулировании напряжения: зависимости мощностей, напряжений и токов участков РЭС, КПД РЭС.

III. Результаты исследования

В качестве примера на рис. 6 представлен полученный в результате моделирования график зависимости КПД линии электропередачи при продольно-поперечном регулировании. Как показывают проведенные исследования, максимум КПД выражен слабо и имеет высокое значение в широком диапазоне изменения добавочной ЭДС при продольном, поперечном и продольно-поперечном регулировании.

На рис. 7 представлены зависимости потоков активной и реактивной мощностей, циркулирующих через ТРН при продольно-поперечном регулировании при мощностях нагрузки, указанных в табл. 1.

В некоторых режимах работы вся нагрузка может получать питание от одной из подстанций, например, ПС2. Соответственно, ТРН совместно с трансформатором связи должен обеспечить величину напряжения на нагрузках в соответствии с ГОСТ. При этом ТРН должен иметь необходимую мощность для надежной безаварийной работы. На рис. 8 представлена зависимость полной мощности ТРН при питании всей нагрузки через ПС2. Как видно из полученных зависимостей, максимальная мощность ТРН составляет 686 кВА, что менее расчетной (1000 кВА).

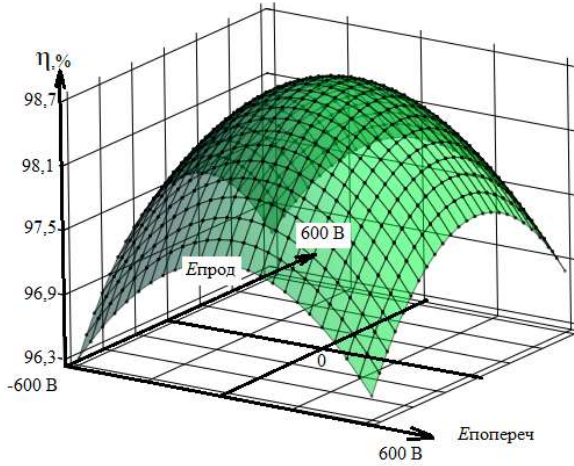


Рис. 6. Зависимость КПД участка сети при продольно-поперечном регулировании

Fig. 6. The network efficiency dependence under combined control mode

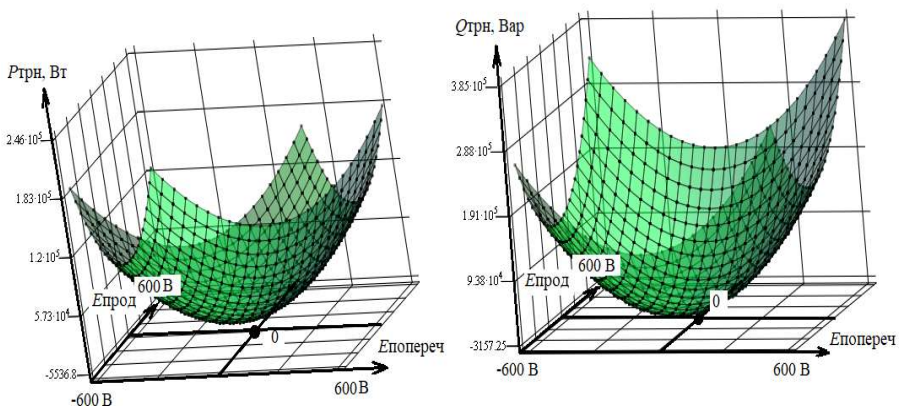


Рис. 7. Зависимости активной и реактивной мощностей ТРН при продольно-поперечном регулировании

Fig. 7. TVR real and reactive power dependencies under combined control mode

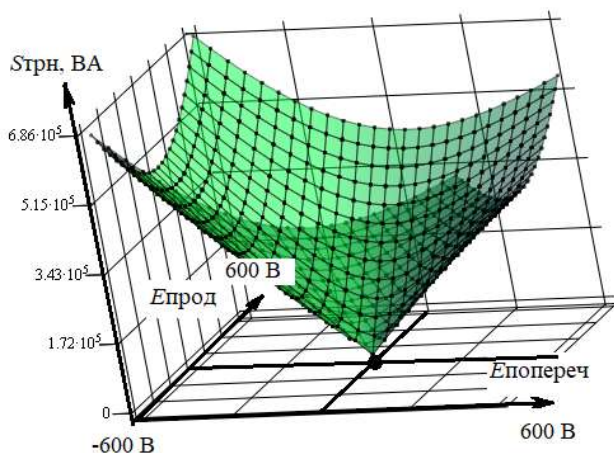


Рис. 8. Мощность ТРН при продольно-поперечном регулировании и питании всей нагрузки от ПС 2

Fig. 8. TVR power under combined control mode and load power supplying from TS2

Как известно, для показателей качества электроэнергии установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального значения. Соответственно, с помощью РПН трансформатора связи ПС2 можно обеспечить максимально допустимое напряжение на нагрузке S4 равное 11 кВ. В этом случае напряжение на нагрузке S3 будет соответствовать ГОСТ. Напряжения на нагрузках S1 и S2 будут ниже отрицательного отклонения – 10 % (рис. 9). В указанном режиме работы дополнительное использование ТРН позволит повысить напряжение на нагрузках 1 и 2 до величины, соответствующей ГОСТ.

IV. Выводы

Внедрение инновационных полупроводниковых управляемых устройств играет одну из решающих ролей в реализации концепции интеллектуальных электрических сетей. Применение таких устройств позволяет осуществлять адаптацию электрической сети к текущему режиму ее работы, а также обеспечить оптимальный уровень напряжения у потребителей, оптимальное распределение потоков активной и реактивной мощности в сложных замкнутых электрических сетях, увеличить пропускную способность электрических сетей, снизить потери активной мощности при передаче.

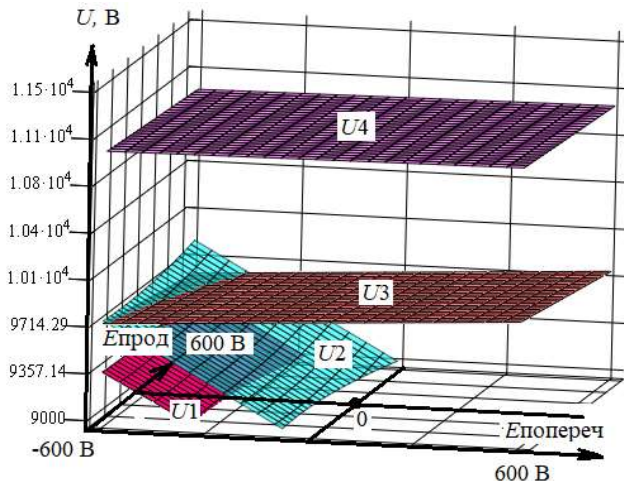


Рис. 9. Напряжения в узлах нагрузки при продольно-поперечном регулировании:
U1-U4 – напряжения на нагрузках S1-S4 соответственно

Fig. 9. Load voltages under combined control mode:
U1 – S1 load voltage; U2 – S2 load voltage; U3 – S3 load voltage;
U4 – S4 load voltage

Итак, в результате исследования установлено, что во всем диапазоне продольно-поперечного регулирования КПД линии электропередачи сохраняет высокое значение. Использование ТРН позволяет в широком диапазоне регулировать потоки активной и реактивной мощности, циркулирующей между ПС1 и ПС2. При продольно-поперечном регулировании существуют режимы работы сети, позволяющие исключить перетоки активной и (или) реактивной между ПС1 и ПС2. Совместное использование РПН трансформатора связи и ТРН позволяет обеспечить напряжение на нагрузках S1-S4 в рамках ГОСТ в случае отключения одной из подстанций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований молодых российских ученых – кандидатов наук МК-270.2022.4 (соглашение №075-15-2022-734 от 12 мая 2022 г.)

© Кралин А.А., 2022
© Крюков Е.В., 2022
© Бедретдинов Р.Ш., 2022
© Кралин А.А., 2022

Поступила в редакцию 04.08.2022
Received 04.08.2022

Библиографический список

- [1] Самойленко В., Мухлынин Н., Паздерин А., Журавлев А. Перспективные тенденции развития распределительных сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № S1 (12). С. 6-13.
- [2] Лыкин А.В., Уткин Е.А. Распределительные электрические сети 10/0,4 кВ с максимальным приближением трансформаторных подстанций к потребителям // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. № 21 (3). С. 46-54. DOI: 10.30724/1998-9903-2019-21-3-46-54
- [3] Воротницкий В.Э., Могиленко А. В. Снижение потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях. Сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта. Часть 1. Структура потерь. Сравнительный анализ динамики потерь в электрических сетях различных стран. Регуляторные мероприятия по снижению потерь // Библиотечка электротехника. 2021. № 4-5. С. 1-144.
- [4] Илюшин П.В., Догадкин Д.И. Пути повышения надежности работы и снижения затрат на эксплуатацию силовых трансформаторов 6-220 кВ в распределительных сетях // ЭнергоЭксперт. 2012. № 5. С.74-79.
- [5] Назарычев А. Н., Крупнев Д.С. Надежность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения. Новосибирск: «Наука», 2020. – 224 с.
- [6] Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л., Сокур П.В., Новиков А.Н. Классификация и характеристика устройств управляемых систем электропередачи переменного тока // Электрические станции. 2018. № 9 (1046). С. 30-36.
- [7] Жуков В.В., Шмелев А.В., Михеев Д.В. Оценка надежности цифровой подстанции и элементов интеллектуальной электрической сети // Электричество. 2019. № 9. С. 4-15. DOI: 10.24160/0013-5380-2019-9-4-15
- [8] Rakhi K., Prerna, Chitragada R. Modelling of UPFC (Unified Power Flow Control) to improve stability of power system by real and reactive power control of transmission line // Advances in Systems, Control and Automation. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 442, Konkani A., Bera R., Paul S. Singapore: Springer, 2018. – P. 647-655. DOI: 10.1007/978-981-10-4762-6_62
- [9] Hussein N.A., Eisa A.A., Mahmoud H.M., Shehata S.A., Othman E.A. Interline power flow controller (IPFC) characterization in power systems // International Journal of Engineering & Technology. 2018. № 7 (3). С. 1656-1665. DOI: 0.14419/ijet.v7i3.14894
- [10] Kumbhare P.P., Nimje A.A., Sawarkar P.R. Application of distributed static series compensator for improvement of power system stability // Silicon Photonics & High Performance Computing. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 718,

- Mishra A., Basu A., Tyagi V. Singapore: Springer, 2018. – P. 27-34. DOI: 10.1007/978-981-10-7656-5_4
- [11] Kathal P., Bhandakkar A. Power flow control in power system using FACTS device thyristor controlled series capacitor (TCSC): A Review // International Journal for Research and Development in Engineering (IJRDE). 2013. № 1 (3). С. 82-91. DOI: 10.9790/1676-0767283
- [12] Асташев М.Г., Лунин К.А., Панфилов Д.И., Петров М.И. Рашитов П.А. Полупроводниковые регуляторы-стабилизаторы напряжения для распределительных сетей // Электрические станции. 2021. № 2 (1075). С. 16-20.
- [13] Асабин А.А., Соснина Е.Н., Кралин А.А., Крюков Е.В. Универсальный тиристорный регулятор величины вольтодобавочного напряжения, Пат. 2710660 RU, заявл. 27.06.2019; опубл. 30.12.2019. – Бюл. № 1.
- [14] Кралин А.А., Крюков Е.В., Асабин А.А. Принципы работы тиристорного регулятора величины и фазы вольтодобавочного напряжения для распределительных сетей // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2019. № 2 (125). С. 112-118. DOI: 10.46960/1816-210X_2019_2_112
- [15] Асабин А.А., Белянин И.В., Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В. Система управления тиристорного регулятора напряжения // Интеллектуальная электротехника. 2020. № 1 (9). С. 25-39. DOI: 10.46960/2658-6754_2020_1_25

References

- [1] V. Samoilenko, N. Mukhlynin, A. Pazderin and A. Zhuravlev, “Perspektivnyye tendentsii razvitiya raspredelitel’nykh setey [Prospective trends in the development of distribution networks]”, *Electric power. Transmission and distribution*, vol. S1, no. 12, pp. 6-13, 2019 (in Russian).
- [2] A.V. Lykin and E.A. Utkin, “Calculations, norming and reducing of electrical energy losses in city electrical networks”, *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 46-54, 2019. DOI: 10.30724/1998-9903-2019-21-3-46-54
- [3] V.E. Vorotnitsky and A.V. Mogilenko, “Snizheniye poter’ elektroenergii v raspredelitel’nykh elektricheskikh setyakh Sravnitel’nyy analiz zarubezhnogo i otechestvennogo opyta. Chast’ 1. Struktura poter’. Sravnitel’nyy analiz dinamiki poter’ v elektricheskikh setyakh razlichnykh stran. Regulyatornyye meropriyatiya po snizheniyu poter’ [Reducing electricity losses in electrical distribution networks Comparative analysis of foreign and domestic experience. Part 1. The structure of losses. Comparative analysis of the dynamics of losses in electrical networks of different countries. Regulatory measures to reduce losses]”, *Bibliotekha Elektrotekhnikha [Library of Electrical Engineering]*, vol. 4-5, pp. 1-144, 2021 (in Russian).
- [4] P.V. Ilyushin and D.I. Dogadkin, “Puti povysheniya nadezhnosti raboty i snizheniya zatrat na ekspluatatsiyu slovykh transformatorov 6-220 kV v raspredelitel’nykh setyakh [Ways to improve the reliability and reduce the cost of operating 6-220 kV power transformers in distribution networks]”, *EnergoExpert*, no. 5, pp.74-79, 2012 (in Russian).

- [5] A.N. Nazarychev and D.S. Krupenev, *Nadezhnost' i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya sistem elektrosnabzheniya [Reliability and assessment of the technical condition of equipment for power supply systems]*. Novosibirsk: Novosibirsk branch of the publishing house "Science", 2020 (in Russian).
- [6] Yu.G. Shakarian, N.L. Novikov, P.V. Sokur and A.N. Novikov, "Classification and characteristics of devices of flexible AC transmission systems (FACTS)", *Power Technology and Engineering*, vol. 52, pp. 723-728, 2019. DOI: 10.1007/s10749-019-01022-y
- [7] V.V. Zhukov, A.V. Shmelev and D.V. Mikheev, "Estimating the reliability of a digital substation and smart grid elements", *Elektrichestvo*, no. 9, pp. 4-15, 2019. DOI: 10.24160/0013-5380-2019-9-4-15
- [8] K. Rakhi, Prerna and R. Chitragada, "Modelling of UPFC (Unified Power Flow Control) to improve stability of power system by real and reactive power control of transmission line", in *Advances in Systems, Control and Automation. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 442, A. Konkani, R. Bera, S. Paul, Singapore: Springer, 2018, pp. 647-655. DOI: 10.1007/978-981-10-4762-6_62
- [9] N.A. Hussein, A.A. Eisa, H.M. Mahmoud, S.A. Shehata and E.A. Othman, "Inter-line power flow controller (IPFC) characterization in power systems", *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no.3, pp. 1656-1665, Aug. 2018. DOI: 0.14419/ijet.v7i3.14894
- [10] P.P. Kumbhare, A.A. Nimje and P.R. Sawarkar, "Application of Distributed Static Series Compensator for Improvement of Power System Stability", in *Silicon Photonics & High Performance Computing. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 718, A. Mishra, A. Basu, V. Tyagi, Singapore: Springer, 2018, pp. 27-34. DOI: 10.1007/978-981-10-7656-5_4
- [11] P. Kathal and A. Bhandakkar, "Power flow control in power system using FACT device thyristor controlled series capacitor (TCSC): A review", *International Journal for Research and Development in Engineering (IJRDE)*, vol. 1, no. 3, pp. 82-91, 2013. DOI: 10.9790/1676-0767283
- [12] M.G. Astashev, K.A. Lunin, D.I. Panfilov, M.I. Petrov and P.A. Rashitov, "Semiconductor voltage regulators-stabilizers for distribution networks", *Power Technology and Engineering*, vol. 55, no. 2, pp. 310-313, 2021. DOI: 10.1007/s10749-021-01357-5
- [13] A.A. Asabin, E.N. Sosnina, A.A. Kralin and E.V. Kryukov, "Universal'nyy tiristornyy regulyator velichiny vol'todobavoch'nogo napryazheniya [Universal thyristor boost voltage regulator]", Patent RU 2710660, Dec. 30, 2019 (in Russian).
- [14] A.A. Kralin, E.V. Kryukov and A.A. Asabin, "Operation principles of thyristor controller magnitude and phase of the booster voltage distribution networks", *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*, vol. 2 (125), pp. 112-118, 2019 (in Russian). DOI: 10.46960/1816-210X_2019_2_112
- [15] A.A. Asabin, I.V. Belyanin, E.N. Sosnina, R.S. Bedretdinov and E.V. Kryukov, "Control system of thyristor voltage regulator", *Smart Electrical Engineering*, no. 1 (9), pp. 25-39, 2020. DOI: 10.46960/2658-6754_2020_1_25

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кралин Алексей Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Alexey A. Kralin, Cand. Sci. (Eng.), professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Крюков Евгений Валерьевич, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Evgeny V. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Бедретдинов Рустам Шамилевич, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Rustam Sh. Bedretdinov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Кралин Андрей Алексеевич, студент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Andrey A. Kralin, student of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation