

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**PROCESSES AND MACHINERY OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS**

УДК 621.316

ГРНТИ 44.29.37

Дулепов Д.Е., канд.техн.наук, доцент;

Кондраненкова Т.Е., аспирант;

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет

г. Княгинино, Нижегородская область, Россия

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ В СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38 КВ

Анализ структуры потерь электроэнергии в действующих электрических сетях сельскохозяйственного назначения показал, что потери в линиях 0,38 кВ составляют 31-33% от общих потерь. Снижение потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ позволит добиться снижения общих потерь в электрических сетях сельскохозяйственного назначения. Одним из способов снижения потерь электрической энергии является снижение уровня несимметрии. Применение симметрирующих устройств позволяет не только сократить дополнительные потери, но и компенсировать реактивную мощность, стабилизировать уровни напряжений, а также снизить уровень высших гармоник в сети. Для снижения уровня несимметрии токов и напряжений в распределительных сетях 0,38 кВ предложено новое регулируемое симметрирующее устройство, отличающееся от уже известных тем, что изменение его параметров происходит в зависимости от уровня несимметрии фазных (линейных) напряжений. Проведено моделирование работы и предложен алгоритм управления симметрирующим устройством в электрических сетях в среде Simulink (Matlab). Моделирование проводилось при установке устройства на различных участках сети при различных уровнях несимметрии нагрузки. Экспериментально определены коэффициенты дополнительных потерь. По результатам опытов можно сделать вывод, что включение предложенного симметрирующего устройства в узле нагрузок наиболее эффективно по сравнению с его установкой в начале линии или его отсутствием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОЭФФИЦИЕНТ НЕСИММЕТРИИ, КОЭФФИЦИЕНТ ПОТЕРЬ, НЕСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СЕЛЬСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, РЕГУЛИРУЕМОЕ СИММЕТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО.

UDC 621.316

Dulepov D.E., Cand.Tech.Sci., Associate;

Kondranenkova T.E., Postgraduate;

Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University

Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russia

ENERGY LOSS SAVING UNDER UNBALANCED OPERATION CONDITIONS IN RURAL DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS (0.38 KW)

The structural analysis of energy loss in rural operating electric networks has shown that losses in 0,38 kw power lines amount to 31-33% of total losses. Energy loss saving in 0,38 kw networks allows farmers to reduce the total losses in electric networks. One of the ways towards energy loss saving is decrease in the level of unbalance. The use of balancing devices allows

farmers not only to reduce additional losses, but also to compensate reactive power, to stabilize levels of tension and also to reduce the level of the high harmonics in network. In order to decrease the level of current and voltage unbalance in distributive electric networks (0,38 kv) we offered a new adjustable balancing device, which differs from existing devices in the following way: its parameters change due to the level of phase (linear) voltage unbalance. We carried out balancing device operation modeling and offered control algorithm in electric networks in the environment of Simulink (Matlab). Modeling was carried out via installation of the device on various parts of network at various levels of unsymmetry load. Coefficients of additional losses were found experimentally. As a result of experiments it is possible to make a conclusion that inclusion of the offered balancing device in load center is more effective in comparison with its installation in the beginning of the line or its absence.

KEYWORDS: UNBALANCE FACTOR, LOSS FACTOR, UNBALANCED OPERATION CONDITIONS, ENERGY LOSS, RURAL ELECTRIC NETWORKS, ADJUSTABLE BALANCING DEVICE.

Введение

В Федеральном законе Российской Федерации №261 от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» отмечается: «Значение целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности должны отражать сокращение потерь энергетических ресурсов при их передаче» [2]. Поэтому первоочередной задачей экономии топливно-энергетических ресурсов сельской электроэнергетики является снижение потерь электроэнергии в сельских электрических сетях.

Анализ структуры потерь электроэнергии в действующих электрических сетях сельскохозяйственного назначения показал, что потери в линиях 0,38 кВ составляют 31-33% от общих потерь. С учётом потерь электроэнергии в трансформаторах 10/0,4 кВ потребительских ТП потери в электрических сетях 0,38 кВ составляют более 50% от общих потерь. Поэтому снижение потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ позволит добиться снижения общих потерь в электрических сетях сельскохозяйственного назначения [4].

Одним из способов снижения потерь электрической энергии является воздействие на показатели качества электрической энергии [5]. Нормы и качество электрической энергии регламентирует ГОСТ 32144-2013, который устанавливает нормально и предельно допустимые значения

показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в распределительных сетях 0,38 кВ [1].

Для снижения уровня несимметрии токов и напряжений в распределительных сетях 0,38 кВ разработаны различные способы и технические средства. Применение симметрирующих устройств является одним из действенных способов снижения потерь электрической энергии в электрических сетях сельскохозяйственного назначения [7, 8].

Материалы и методы

Симметрирующее устройство, представленное на рис. 1, работает в функции уровня несимметрии фазных напряжений. Функциональная схема, поясняющая принцип управления схемой приведена на рисунке 1 [6]. Ключи батареи конденсаторов 4, 5, 6 и ключ индуктивной катушки 12 и ключи ее ответвлений 10 и 11 разомкнуты. Устройство отключено от сети.

Для определения значений фазных напряжений U_A , U_B , U_C применяются три трансформатора напряжения 13, 14, 15. Напряжения с этих трансформаторов поступают на дифференциальные дискриминаторы ДД1, ДД2 и ДД3. Дифференциальный дискриминатор, построенный на схеме 2 ИЛИ-НЕ, вырабатывает на выходе логическую единицу в том случае, когда входное напряжение заключено между двумя порогами и равно логическому нулю во всех остальных случаях.

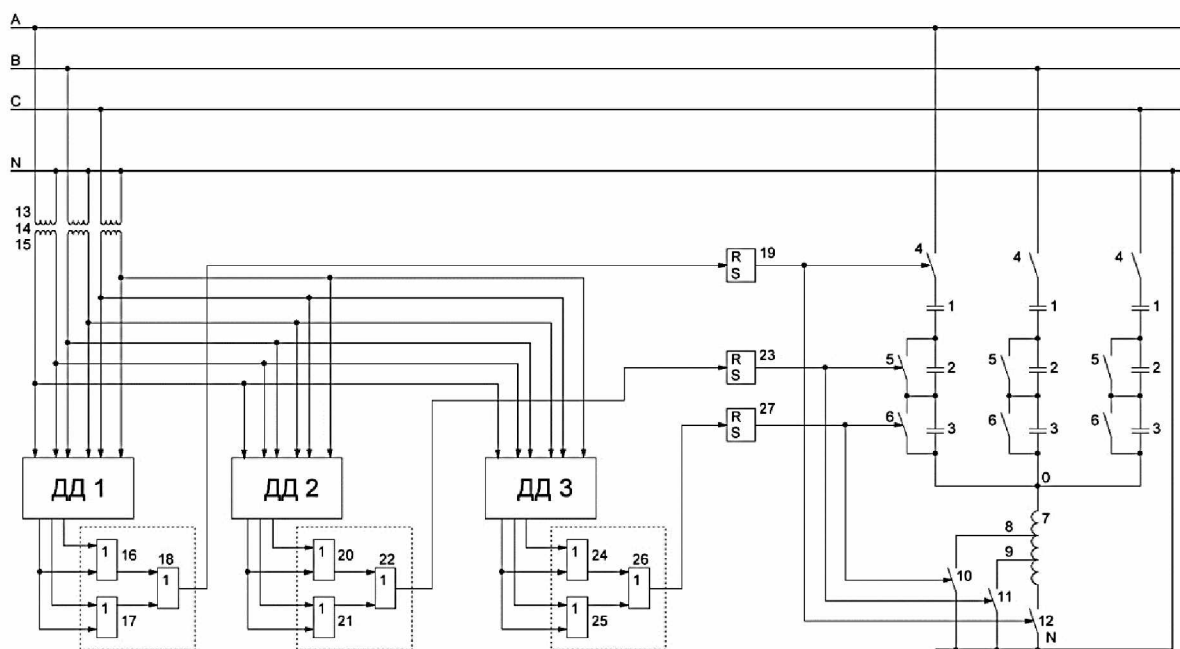


Рис. 1. Схема управления симметрирующим устройством

На выходе ДД1 логические нули получим в случае, если уровни фазных напряжений составляют 220 В (– 5%), т.е. напряжение, нормируемое ГОСТ [1]. В этом случае на входы первого и второго логических элементов И (16, 17) приходит логический нуль. В соответствии с таблицей истинности логического элемента ИЛИ, если на входе элемента приходят нули, то на выходе элемента также будет нуль.

Если на вход элемента ИЛИ приходит хоть одна единица, такое может произойти, в том случае, если значения одного или двух (трех) фазных напряжения будут находиться в пределах 200-210 В, то на выходе также получим единицу. Сигналы с первого (16) и второго (17) элементов ИЛИ поступают на третий логический элемент ИЛИ (18), на выходе которого получаем нуль или единицу. С выхода третьего элемента ИЛИ сигнал поступает на RS триггер (19). Если на RS триггер 19 поступает единица, то происходит замыкание ключей 4 и 12. Устройство включается на минимальную мощность. Если значения линейных напряжений не выходят за нормально допустимое значение – 5%, то на вход первого RS-триггера приходит нуль и устройство не включается.

При увеличении уровня несимметрии устройство работает по следующему алгоритму. На входы элементов ИЛИ 20 и 21 приходят нули в том случае, если значения фазных напряжений не ниже 200 В, то есть не требуется включения второй ступени устройства. Если значение напряжений снижается до уровня 190-200 В, на входы логических элементов ИЛИ 20 и 21 с ДД2 поступают единицы, следовательно на выходе также получается единица, которая приходит на входы элемента ИЛИ 22. Единичный сигнал с элемента ИЛИ 22 поступает на RS триггер 23, который в свою очередь дает сигнал на замыкание ключей 5 и 11, ключ 12 при этом размыкается. Таким образом, включается вторая ступень регулируемого устройства.

Для включения третьей ступени устройства значения фазных напряжений должно составлять менее 190 В. При этом с выхода ДД3 на входы элементов логики 24 и 25 поступают единицы и на вход элемента ИЛИ 26 тоже. Если на вход 26 поступает хотя бы одна единица, то на его выходе также будет логическая единица, которая обеспечит замыкание ключей 6 и 10, а также размыкание ключа 11. Таким образом, устройство перейдет в режим работы на максимальной мощности.

Для определения уровня снижения потерь при несимметричных режимах была создана виртуальная модель указанного симметрирующего устройства в пакете Simulink (Matlab) (рис. 2) [3,9,10]. Несимметричные режимы работы сети создавались посредством изменения величины сопротивления блоков *RLC Branch*.

Измерения напряжений, токов и начальных фаз величин проводились, начиная с симметричного режима работы сети, далее параметры блоков *RLC Branch* изменялись, тем самым осуществлялся переход к несимметричному режиму работы сети.

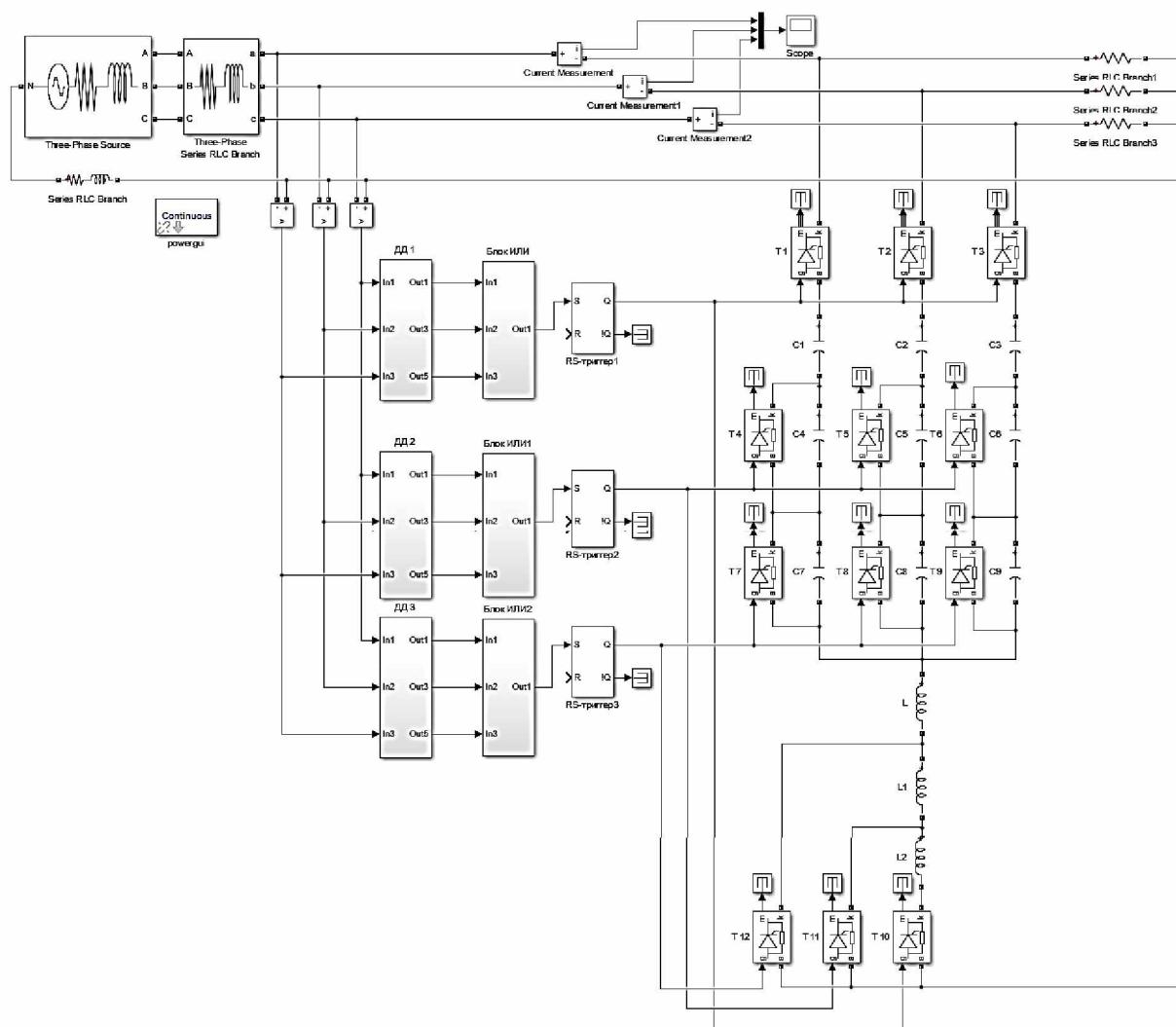


Рис. 2. Модель симметрирующего устройства

При моделировании определены следующие допущения: в качестве источника трехфазного напряжения использован идеальный источник трехфазной ЭДС, нагрузка принята активной.

Измерения проводились для следующих режимов работы сети 0,38 кВ:

- сеть 0,38 кВ при отсутствии СУ;
- сеть 0,38 кВ при установке СУ в начале линии при включении различных ступеней мощности устройства;

- сеть 0,38 кВ при установке СУ в узле нагрузок при включении различных ступеней мощности устройства.

Модель симметрирующего устройства устанавливалась в начале линии и в узле нагрузок.

При проведении опыта № 1 изменялась нагрузка на фазе А, опыта № 2 - изменялась на двух соседних фазах и при проведении опыта № 3 изменялись нагрузки на фазах А, В и С.

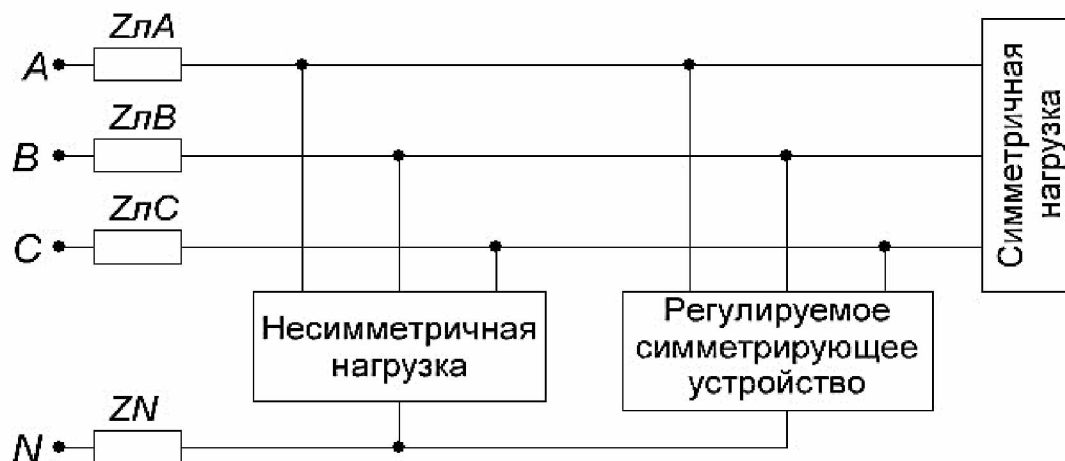


Рис. 3. Схема проведения эксперимента

Для определения уровня дополнительных потерь от несимметрии напряжений и токов регистрировались следующие параметры: действующие значения фазных напряжений и токов и их начальные фазы.

Потери мощности, обусловленные несимметрией токов, в линии 0,38 кВ характеризуются коэффициентом потерь K_p , определяемым по формуле:

$$K_p = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \cdot \frac{R_0}{R_1}$$

где $K_{2i} = I_2 / I_1$ и $K_{0i} = I_0 / I_1$ – коэффициенты токов по обратной и нулевой последовательности; R_0 и R_1 – активные сопротивления обратной и нулевой последовательностей рассматриваемой сети.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов сведены в таблицы 1–3.

Таблица 1

Изменения коэффициентов потерь в зависимости от коэффициента несимметрии для опыта 1

1 опыт						
К _{нес}	1	2,469	4,592	7,367	10,796	14,878
без СУ	1	1,024	1,08	1,154	1,238	1,324
СУ в начале линии						
I ступень	1	1,024	1,08	1,154	1,238	1,324
II ступень	1	1,024	1,081	1,156	1,24	1,328
III ступень	1	1,024	1,081	1,157	1,241	1,329
СУ в узле нагрузок						
I ступень	1	1,15	1,052	1,106	1,17	1,241
II ступень	1	1,007	1,025	1,05	1,08	1,112
III ступень	1	1,007	1,024	1,046	1,072	1,099

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод о том, что при режиме работы сети 0,38 кВ с установленным СУ в начале линии:

- для I ступени K_p остался неизменным;
- для II ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,30%;

– для III ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,37%.

При работе СУ в узле нагрузок на различных мощностях K_p можно снизить на 6,26% при включении I ступени, на 16,01% при включении II ступени и на 16,99% при включении III ступени.

Таблица 2

Изменения коэффициентов потерь в зависимости от коэффициента несимметрии для опыта 2

2 опыт						
Кнес	1	1,695	2,82	4,093	5,476	6,943
без СУ	1	1,017	1,051	1,079	1,43	1,193
СУ в начале линии						
I ступень	1	1,017	1,051	1,095	1,43	1,193
II ступень	1	1,018	1,052	1,096	1,146	1,196
III ступень	1	1,018	1,052	1,103	1,146	1,196
СУ в узле нагрузок						
I ступень	1	1,11	1,35	1,069	1,09	1,152
II ступень	1	1,005	1,017	1,035	1,05	1,069
III ступень	1	1,005	1,015	1,027	1,044	1,06

Анализируя данные таблицы 2, можно сделать вывод о том, что при режиме работы сети 0,38 кВ с установленным СУ в начале линии:

- для I ступени K_p остался неизменным;
- для II ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,25%;

– для III ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,25%.

При работе СУ в узле нагрузок на различных мощностях K_p можно снизить на 3,43% при включении I ступени, на 10,39% при включении II ступени и на 11,14% при включении III ступени.

Таблица 3

Изменения коэффициентов потерь в зависимости от коэффициента несимметрии для опыта 3

3 опыт						
Кнес	1	1,348	2,056	2,755	3,423	4,05
без СУ	1	1,005	1,022	1,047	1,0756	1,104
СУ в начале линии						
I ступень	1	1,005	1,022	1,047	1,075	1,104
II ступень	1	1,005	1,022	1,048	1,076	1,106
III ступень	1	1,005	1,022	1,048	1,077	1,106
СУ в узле нагрузок						
I ступень	1	1,003	1,015	1,035	1,059	1,084
II ступень	1	1,001	1,007	1,016	1,027	1,038
III ступень	1	1,001	1,007	1,014	1,023	1,032

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод о том, что при режиме работы сети 0,38 кВ с установленным СУ в начале линии:

- для I ступени K_p остался неизменным;
- для II ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,18%;
- для III ступени при максимальном значении коэффициента несимметрии K_p увеличился на 0,18%.

При работе СУ в узле нагрузок на различных мощностях K_p можно снизить

на 1,81% при включении I ступени, на 5,97% при включении II ступени и на 6,52% при включении III ступени.

Выводы

Включение СУ в узле нагрузок наиболее эффективно. Это ведёт к уменьшению дополнительных потерь по сравнению с режимом работы сети, когда СУ отсутствует. Анализ изменения этих коэффициентов также показывает, что целесообразным местом включения СУ в рассматриваемой сети является узел нагрузки.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01.

2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Текст]: федер. закон от 23.11.2009 г. №261-ФЗ
3. Дулепов, Д.Е. Моделирование работы симметрирующего устройства в сельских электрических сетях в среде Simulink (Matlab) [Текст] / Д.Е. Дулепов, Т.Е. Кондраненкова // Вестник НГИЭИ. - 2017. - № 4 (71).
4. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Текст] / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
5. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
6. Кондраненкова, Т.Е. Алгоритм управления филтросимметрирующим устройством для работы в сельских электрических сетях [Текст] / Т. Е. Кондраненкова // Приоритетные научные направления: от теории к практике: сборник материалов XXXVII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2017. – С. 102-108.
7. Косоухов, Ф.Д. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ [Применение филтросимметрирующего устройства] / Ф.Д. Косоухов [и др.] // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -2014.- № 6.- С. 16-20.
8. Сукьясов С. В. Классификация способов и средств для улучшения качества электрической энергии. / И. В. Наумов, С. В. Сукьясов, // Материалы региональной научно-практической конференции ИрГСХА. Ч.2. – Иркутск: 2001, с. 81-83
9. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink[Текст] / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
10. Черных, И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений [Текст] / И.В. Черных; под общ. ред. В.Г. Потемкина. М.: Диалог-МИФИ, 2004. – 491 с.

Reference

1. GOST 32144-2013 Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. (Electric Power. Electromagnetic Compatibility of Engineering Tools. Norms of Electric Power Quality in the Power Supply Systems of General Use), Vved. 2014-07-01.
2. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye акты Rossiiskoi Federatsii» [Tekst](On Energy Saving and on Enhancement of Electric Power Efficiency, and on Amendments into Some Legislative Acts of the Russian Federation. [Text]), feder. zakon ot 23.11.2009 g. №261-FZ.
3. Dulepov, D.E., Kondranenkova, T.E. Modelirovanie raboty simmetriruyushchego ustroystva v sel'skikh elektricheskikh setyakh v srede Simulink (Matlab) [Tekst] (Balancing Device Operation Modeling in Rural Electric Networks in the Environments Simulink (Matlab)[Text], *Vestnik NGIEI*, 2017, No 4 (71).
4. Zhelezko, Yu. S. Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost'. Kachestvo elektroenergii [Tekst] (Energy Loss. Reactive Power. Quality of the Electric Power [Text], М., ENAS, 2009, 456 p.
5. Zhezhenko, I.V., Saenko, Yu.L. Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh [Tekst] (Electric Power Quality Factors and Their Control at Industrial Enterprises [Text]), М., Energoatomizdat, 2000, 252 p.
6. Kondranenkova, T.E. Algoritm upravleniya fil'trosimmetriruyushchim ustroystvom dlya raboty v sel'skikh elektricheskikh setyakh [Tekst] (Control Algorithm of Filter-Balancing Device for Operations in Rural Electric Networks [Text]), *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike, sbornik materialov XXXVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Novosibirsk, Izdatel'stvo TsRNS, 2017, PP. 102-108.
7. Kosoukhov, F.D. Snizhenie poter' i povyshenie kachestva elektricheskoi energii v sel'skikh setyakh 0,38 kV [Primenenie fil'trosimmetriruyushchego ustroystva] (Energy Loss Saving and Enhancement of Electric Power Quality in Rural 0.38 kw Networks [Use of Filter-Balancing Device], F.D. Kosoukhov [i dr.], *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel. khoz-va*, 2014, No 6, PP. 16-20.
8. Suk'yasov S. V., Naumov, I.V. Klassifikatsiya sposobov i sredstv dlya uluchsheniya kachestva elektricheskoi energii (Classification of Methods and Means for Improving Electric Power Quality [Text]), *Materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii IrGSKhA. Ch.2.*, Irkutsk, 2001, PP. 81-83.
9. Chernykh, I. V. Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MatLab, SimPowerSystems i Simulink [Tekst] (Electric Devices Simulation in MatLab, SimPowerSystems и Simulink [Text]), М., ДМК Пресс, СПб., Питер, 2008, 288 p.
10. Chernykh, I. V. Simulink: sreda sozdaniya inzhenernykh prilozhenii [Tekst] (Simulink: Engineering Applications Environment [Text]), pod obshch. red. V.G. Potemkina., М., Dialog-MIFI, 2004, 491 p.