

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ФЕРМЕРСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ХОЗЯЙСТВ

G.V. Lukina, S.I. Bondarenko,
E.V. Samarkina

THE DETERMINATION OF POWER QUALITY INDICATORS IN DISTRIBUTION NETWORKS
OF FARMERS' AND SUBURBAN FARMS

Лукина Г.В. – канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск. E-mail: LukinaGV@yandex.ru.

Бондаренко С.И. – доц. каф. электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск. E-mail: bon_svet@mail.ru

Самаркина Е.В. – канд. техн. наук, доц. каф. теплоэнергетики Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск. E-mail: katsamar@rambler.ru

Lukina G.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Electric Technique, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. mail E-: LukinaGV@yandex.ru

Bondarenko S.I. – Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Electric Technique, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. E-mail: bon_svet@mail.ru

Samarkina E.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Heat Power Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk. E-mail: kat-samar@rambler.ru

Повышение показателей качества электрической энергии (ПКЭЭ) в распределительных сетях (РС) 0.38 кВ при несимметричной нагрузке осуществляется путем применения различных способов и технических средств, осуществляющих симметрирование режимов работы электрических сетей (ЭС). Проведены испытания шунто-симметрирующих устройств (ШСУ) при установке в РС, произведено их математическое моделирование на экспериментальных физических моделях при различных подключениях в ЭС. В качестве объектов исследования были использованы ЭС Иркутского, Черемховского и других районов Восточной Сибири. В результате исследования выявлено, что в ЭС низкого напряжения могут возникать неслучайная и вероятностная несимметрия токов и напряжений из-за большого количества нерационально распределенных несимметричных и нелинейных нагрузок. Временные диаграммы, характеризующие коэффициенты обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательностей, напряжения показывают, что максимальное значение коэф-

фициента K_{2U} в исследуемой ЭС без ШСУ составило 5.35 %, математическое ожидание $M(K_{2U})$ – 3.86 %; для коэффициента K_{0U} соответственно – 12.07 % и $M(K_{0U})$ – 9.02 % при ШСУ, включенном в узле нагрузки. Математическое ожидание коэффициента K_{2U} повышается на 0.32 % по сравнению с K_{2U} , полученного при перераспределенной по фазам нагрузке. Значение математического ожидания для коэффициента K_{0U} уменьшается до 2.67 %, что на 6.35 % меньше для режимов работы ЭС без ШСУ и на 3.63 % меньше при ситуации перераспределения электрической нагрузки по фазам. После изучения причины возникновения и влияние несимметрии на ПКЭЭ был проведен анализ методов ее компенсации, который выявил, что для устранения вероятностной составляющей несимметрии целесообразным можно считать использование трансформаторов, имеющих схему соединения «звезда – зигзаг с нулем», с установкой ШСУ в нулевом проводе.

Ключевые слова: электрическая энергия, качество, несимметрия токов, напряжений, потребитель.

The increase of indicators of quality of electric energy (IQEE) in distributive networks (DN) of 0.38 kV at asymmetrical loading was carried out by application of various ways and technical means carrying out balancing of operating modes of electric networks (EN). The tests of the shunt-symmetrizing devices (SSD) at installation in DN were carried out; their mathematical modeling on experimental physical models at various connections in EN was made. As objects of EN research Irkutsk, Chermkhovo and other regions of Eastern Siberia were used. As a result of researches it was revealed that in EN of low voltage not casual and probabilistic asymmetry of currents and tension could arise because of large number of irrationally distributed asymmetrical and nonlinear loadings. The temporary charts characterizing coefficients of the return K_{2U} and zero sequences of K_{0U} tension showed that the maximum value of coefficient of K_{2U} in the studied EN without SSD made 5.35 %, a population mean of $M(K_{2U}) - 3.86$ %; for K_{0U} coefficient respectively – 12.07 % and $M(K_{0U}) - 9.02$ % at SSD included in loading knot. The population mean of coefficient of K_{2U} increased by 0.32 % in comparison with K_{2U} , received at loading redistributed on phases. The value of population mean for coefficient of K_{0U} decreased to 2.67 % that was 6.35 % less for EN operating modes without SSD and was 3.63 % less at the situation of redistribution of electric loading on phases. After studying the reason of emergence and influence of asymmetry on IQEE the analysis of methods of its compensation which revealed was carried out that for elimination of a probabilistic component of asymmetry expedient it is possible to consider use of the transformers having the scheme of connection "a star – a zigzag with zero", with the SSD installation in a zero wire.

Keywords: electric energy, quality, asymmetry of currents, voltages, consumer.

Введение. Современное развитие РФ, которое характеризует увеличение мощности нагрузок на предприятиях, рост коммунально-бытовых нагрузок, ведет за собой ухудшение качества электрической энергии (ЭЭ) в системах электроснабжения и, как следствие, снижение

эффективности работы и сокращения срока службы систем электроснабжения и ее электроприемников. Нерациональное распределение большого количества несимметричных и нелинейных потребителей вызывает ухудшение качества электрической энергии и создает несимметрию напряжений в сети и на зажимах оборудования. Увеличение несимметрии ведет к увеличению потерь в энергетическом оборудовании при передаче и потреблении электрической энергии, а также к сокращению срока службы оборудования. Результаты исследования показателей качества электрической энергии (ПКЭЭ) и компенсации несимметрии, а также определение наиболее эффективных методов ее снижения является весьма актуальной задачей в электроэнергетике.

Показатели качества ЭЭ в электросетях пригородных и фермерских хозяйств 0.38 кВ снижаются при эксплуатации однофазных потребителей электроэнергии, имеющих различные показатели по токам и напряжениям. Несимметрия токов и напряжений в электросетях (ЭС) создается при подключении потребителей к одной или двум фазам трехфазной сети и появляется в ее фазах под воздействием неравномерного распределения нагрузок только в 3-фазной сети. Ухудшение состояния и режимов работы ЭС выражается ухудшением показателей качества ЭЭ за счет появления токов и напряжений обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательностей, которые могут привести к дополнительным потерям в элементах ЭС, сокращению срока службы электрооборудования, снижению экономических показателей его работы, возникновению тормозного электромагнитного момента, дополнительному нагреву активных частей машины и т. п. [1].

Цель исследования: определение ПКЭЭ и выбор наиболее положительного варианта симметрирования режимов работы ЭС 0.38 кВ в зависимости от характера нагрузки и коэффициентов несимметрии.

Задачи исследования: определение коэффициентов прямой и обратной последовательностей токов и напряжений, обоснование экономически выгодного технического решения для увеличения качества ЭЭ в ЭС пригородных и фермерских территорий.

Материалы и оборудование. На территориях фермерских и пригородных хозяйств Восточной Сибири в основном эксплуатируются ЭС 0.38 кВ, которые характеризуются наличием бытовой и производственной нагрузок. Практика показывает, что протяженность отдельных линий производственных нагрузок обычно составляет до 500 м. Специфика исследуемых ЭС говорит о том, что некоторые из них имеют только производственную электрическую нагрузку, а некоторые – бытовую или коммунальную нагрузки.

Среднее расстояние между источниками питания – трансформаторными подстанциями (ТП) – достигает 2...2.5 км, а для одиночной цепи – 1...1.5 км. Обычно все линии ЭС рассматриваемых участков разветвлены в конце головного участка, протяженность ответвлений которого достигает от 500 до 550 м, а головного – не менее 200 м. Помимо этого, линии имеют 3-4-5-проводные ответвления. К одной линии в среднем подключается от 30 до 35 различных однофазных потребителей.

Нами были проведены испытания шунто-симметрирующих устройств при их установке в РС, произведено их математическое моделирование на экспериментальных физических моду-

лях при различных подключениях в ЭС. В качестве объектов исследования были использованы ЭС Иркутскпромстроя, Управления малой механизации (УММ), Иркутского, Черемховского и других районов Восточной Сибири. При проведении исследований были учтены: схемы соединения обмоток, мощности трансформаторов; характеристика электроприемников, которые получают электрическую энергию от данных подстанций, их количество. Были осуществлены замеры фазных токов I_A, I_B, I_C ; нулевого тока I_N и тока между фазами **В** и **С** I_{BC} ; напряжений между фазой и нулем U_A, U_B, U_C и напряжений между фазами U_{AB}, U_{BC}, U_{AC} [2]. Эксперименты проводились как при использовании

шунто-симметрирующего устройства (ШСУ), так и без него.

На основе результатов измерения были построены временные диаграммы фазных и междифазных токов без использования шунто-симметрирующего устройства (рис. 1). Анализ графиков показывает, что фаза **В** нагружена менее, чем фаза **А**, за счет чего величина несимметрии резко возрастает и меняется в больших пределах.

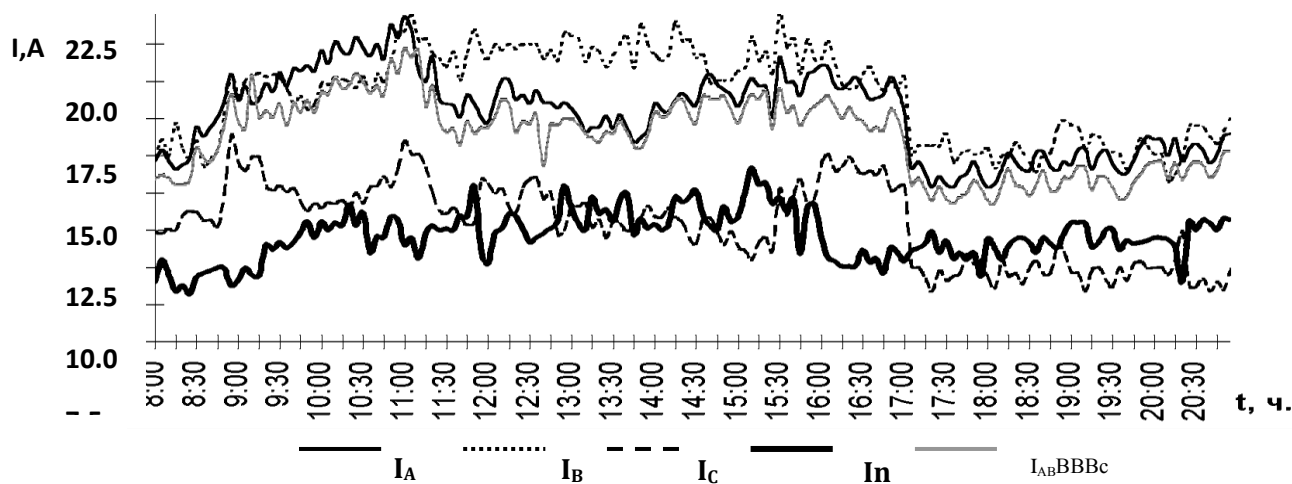


Рис. 1. Временные диаграммы фазных и междифазных токов

На рисунке 2 представлены графики напряжений между фазами. Наименьшее отклонение действительного напряжения от номинального (380 В) имело место при измерении напряжений между фазами **В** и **С**. Минимальное значение 370 В было зафиксировано между фа-

зами **В** и **С**, между фазами **А** и **В** 386 В – максимальное значение. Числовые значения линейных (междифазных) напряжений отличаются друг от друга, что подчеркивает наличие несимметрии.

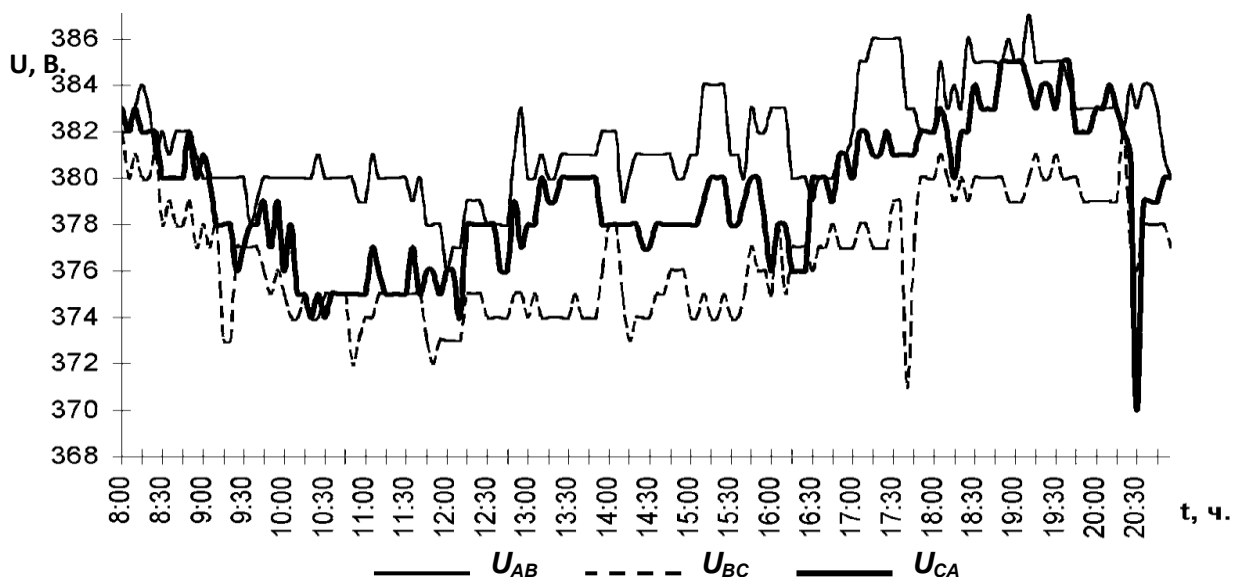


Рис. 2. Временные диаграммы междуфазных напряжений

Графики, представленные на рисунке 3, характеризуют изменение фазных напряжений. Напряжение фазы А на 25 В меньше напряжений в фазах С и В.

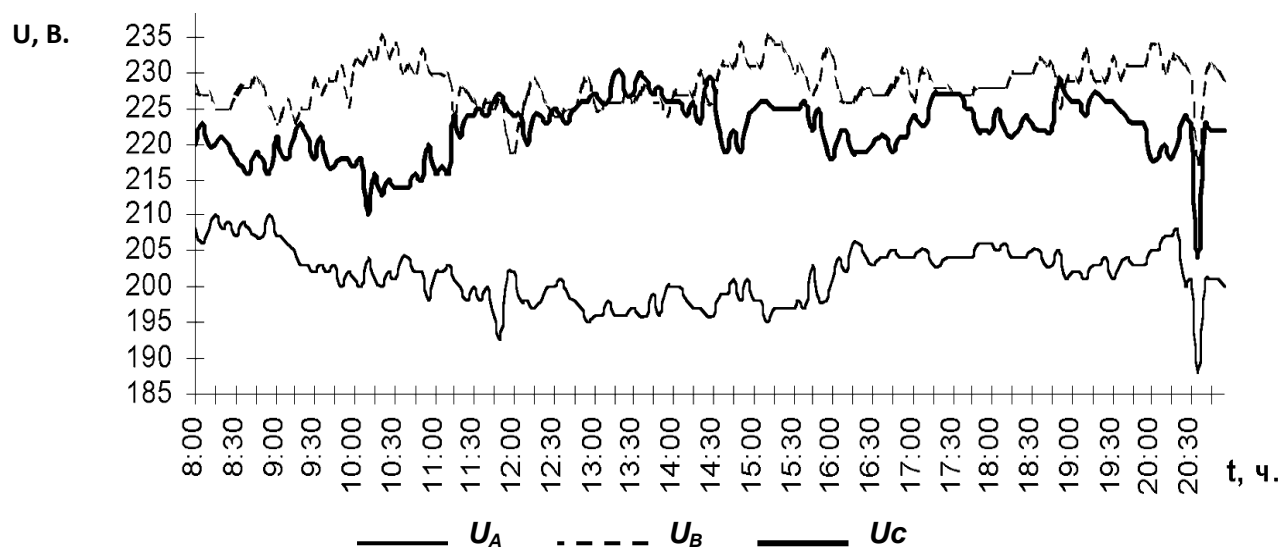


Рис. 3. Временные диаграммы фазных напряжений

С целью снижения несимметрии в исследуемых ЭС было предложено использовать шунтосимметрирующее устройство. После установки ШСУ и проведения предложенных мероприятий для уменьшения статической несимметрии авторами статьи были выполнены повторные измерения.

Учитывая результаты полученных измерений, были определены показатели качества

электрической энергии – коэффициенты несимметрии нулевой и обратной последовательностей напряжения для различных режимов исследуемых ЭС: а) без ШСУ; б) ШСУ включено в узле нагрузки; в) при перераспределении нагрузки по фазам.

Временные диаграммы коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения показывают, что максимальное значение

коэффициента K_{2U} в исследуемой ЭС без ШСУ составило 5,35 %, математическое ожидание – $M(K_{2U})$ 3,86 %; для коэффициента K_{0U} соответственно – 12,07 % и $M(K_{0U})$ – 9,02 % (рис. 4, 5.). ШСУ включено в узле нагрузки. Математическое ожидание коэффициента K_{2U} повышается на 0,32 % по сравнению с K_{2U} , полученного при перераспределенной по фазам нагрузке. Значение математического ожидания для коэффициента K_{0U} уменьшается до 2,67 %, что на 6,35 % меньше для режима работы ЭС без ШСУ и на 3,63 % меньше при ситуации перераспре-

деления электрической нагрузки по фазам. Работы, проведенные с целью перераспределения по фазам электрической нагрузки, снижают рассматриваемые показатели качества ЭЭ на 20 % от исходного варианта. Математическое ожидание для коэффициента K_{2U} составило 2,45 %; для коэффициента K_{0U} – 6,3 %. Результаты анализа изменения показателей несимметрии напряжения при математическом моделировании для всех исследуемых режимов приведены в таблице.

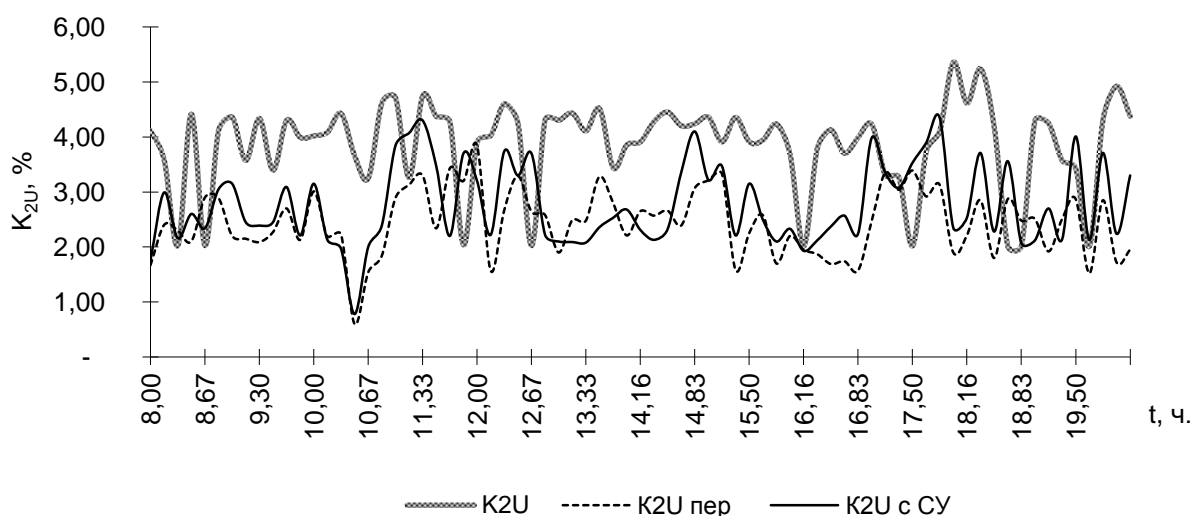


Рис. 4. Временные диаграммы коэффициентов обратной последовательности напряжений K_{2U}

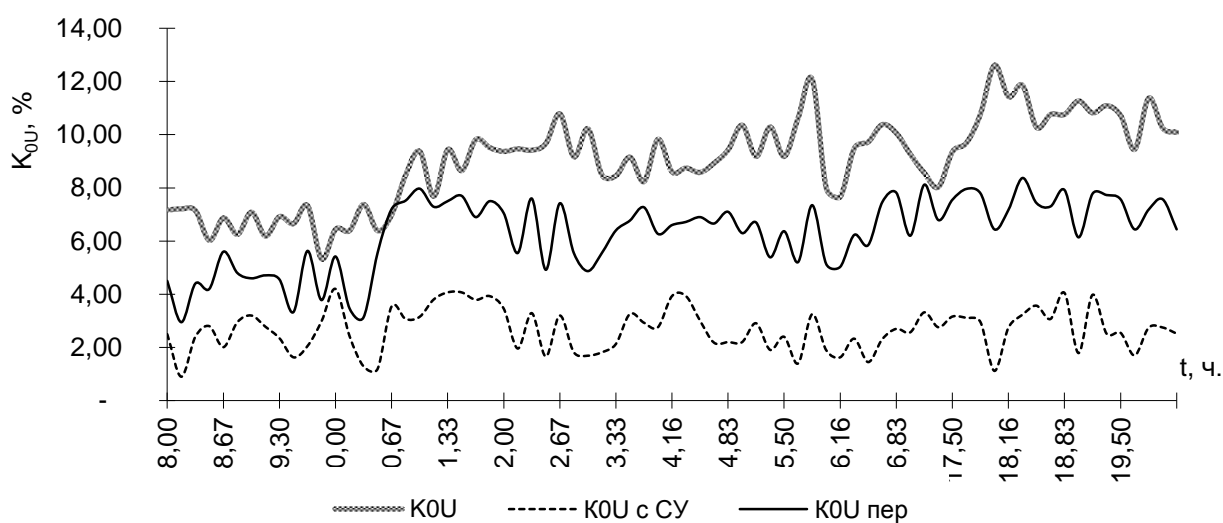


Рис. 5. Временные диаграммы коэффициентов нулевой последовательности напряжений K_{0U}

Результаты анализа коэффициентов несимметрии напряжения в сети 0.38 кВ

Коэффициент несимметрии	Режим работы	Математическое ожидание	Дисперсия	Ассимметрия	Максимальное значение	Минимальное значение	Амплитуда
K_{2u}	Без ШСУ	3.86	0.66	-1.2	5.35	2.01	3.34
	При перераспределении нагрузки	2.44	0.36	-0.18	3.84	0.6	3.24
	С ШСУ	2.77	0.54	0.32	4.35	0.78	3.57
K_{0u}	Без ШСУ	9.02	2.68	-0.2	12.6	5.32	7.27
	При перераспределении нагрузки	6.3	1.8	-0.7	8.37	2.95	5.42
	С ШСУ	2.67	0.66	-0.4	4.2	0.9	3.3

Выводы. Установлено, что проведенные исследования в ЭС 0.38 кВ фермерских и пригородных хозяйств подтвердили результаты теоретических и лабораторных исследований в целесообразности применения ШСУ.

Получено, что в сети низкого напряжения может возникать как неслучайная несимметрия, так и вероятностная. Первая вызвана большим количеством нерационально распределенных несимметричных нагрузок, вторая – нелинейных нагрузок. В целом этими нагрузками могут выступать коммунально-бытовые нагрузки, а также оборудование на предприятиях, симметричное исполнение которых невозможно или экономически нецелесообразно.

Выявлено, что для устранения неслучайной симметрии достаточно рационального распределения нагрузок на стадии проектирования. Для устранения вероятностной составляющей несимметрии целесообразным можно считать использование трансформаторов, имеющих схему соединения «звезда – зигзаг с нулем», но так как большая часть используемых трансформаторов имеет схему соединения «звезда – звезда с нулем», то в данном случае необходимо предусмотреть установку ШСУ в нулевом проводе.

Литература

1. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электро-

2. снабжения общего назначения. – Введ. 2013.01.01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 30 с. : ил.
2. Наумов И.В., Лукина Г.В., Сукьясов С.В. и др. Методика расчета показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством // Вестн. АлтГАУ им. И.И. Ползунова. – 2001. – № 2. – С. 49–56.
3. Наумов И.В. Управление развитием сельского электроснабжения // Знание – в практику: сб. науч. тр. ИрГТУ. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2001. – Вып. 3. – С. 121–126.

Literatura

1. GOST R 54149-2010. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelekticheskoj jenergii v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija. – Vved. 2013.01.01. – М.: Izd-vo standartov, 2010. – 30 s. : il.
2. Naumov I.V., Lukina G.V., Sukjasov S.V. i dr. Metodika rascheta pokazatelej nesimmetrii tokov i naprjazhenij v seti 0,38 kV s simmetri-rujushhim ustrojstvom // Vestn. AltGAU im. I.I. Polzunova. –2001. – № 2. – S. 49–56.
3. Naumov I.V. Upravlenie razvitiem sel'skogo jelektrosnabzhenija // Znanie – v praktiku: sb. nauch. tr. IrGTU. – Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2001. – Vyp. 3. – S. 121–126.