

## ЭЛЕКТРДИК ТАРМАКТАРДА ЭЛЕКТРЭНЕРГИЯНЫН САПАТЫН ЖОГОРУЛАТУУ БОЮНЧА ЫКМАЛАРДЫ ИЗИЛДӨӨ

Рырсаалиев А.С.<sup>1</sup>, Мамытов А.Э.<sup>2</sup>, Эсеналиев Н.<sup>2</sup>, Шамуров Ш.<sup>2</sup>, Дамиров И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>техника илимдеринин кандидаты, И. Раззакова атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин «Электр менен жабдуу» кафедрасынын доценти, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч. Айтматова пр., 66, e-mail: [aryrsaliev@mail.ru](mailto:aryrsaliev@mail.ru)

<sup>2</sup>И. Раззакова атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин «Электр менен жабдуу» кафедрасынын магистри, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч. Айтматова пр., 66,

**Жыйынтык.** Бул макалада электр тармактарындагы электр энергиясынын сапатын жакшыртуу жолдору каралат. Электр энергиясынын сапаттык көрсөткүчтөрүн мониторингдөө жана жөнгө салуу методдорунан тышкары, туруктуу ток негизги кубат булагы катары каралат. Имараттардын электр орнотууларын электр менен жабдуу үчүн түз токту пайдалануу, электр энергиясынын жоготууларын олуттуу кыскартуу максатында бир фазалуу жүгү бар экономика тармагын электр менен жабдуу үчүн альтернативдүү варианттардын бири катары сунушталат (алдын-ала эсептөөлөр боюнча, 20% га чейин).

**Негизги сөздөр:** электр энергиясы; электр энергиясынын сапатын жакшыртуу жолдору; электр энергиясынын сапатынын көрсөткүчтөрүн контролдоо ыкмалары; симметриясыздык.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Рырсаалиев А.С.<sup>1</sup>, Мамытов А.Э.<sup>2</sup>, Эсеналиев Н.<sup>2</sup>, Шамуров Ш.<sup>2</sup>, Дамиров И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, e-mail: [aryrsaliev@mail.ru](mailto:aryrsaliev@mail.ru)

<sup>2</sup>магистр кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66

**Резюме.** В данной статье рассмотрены способы повышения качества электроэнергии в электрических сетях. Кроме способов контроля и регулирования показателей качества электроэнергии для переменного тока, рассмотрен постоянный ток, как основной источник питания. Применение постоянного тока для электроснабжения электроустановок зданий предлагается как один из альтернативных вариантов для электроснабжения сектора экономики с однофазной нагрузкой с целью существенного снижения потерь электроэнергии (по предварительным оценкам до 20%).

**Ключевые слова:** электрическая энергия; способы повышения качества электроэнергии; методы, контроль показателей качества электроэнергии; несимметрия.

## STUDY OF WAYS TO INCREASE QUALITY ELECTRICITY IN ELECTRIC NETWORKS

Ryrsaliev A.S.<sup>1</sup>, Mamytov A.E.<sup>2</sup>, Esenaliev N.<sup>2</sup>, Shamurov Sh.<sup>2</sup>, Damirov I.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyz Republic, Bishkek, 66 Ch. Aitmatova Ave., e-mail: [aryrsaliev@mail.ru](mailto:aryrsaliev@mail.ru)

<sup>2</sup>Master of the Department of Power Supply, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyz Republic, Bishkek, 66 Ch. Aitmatova Ave.

***Summary.** In this article, we consider ways to improve the quality of electricity in electric networks. In addition to ways to control and regulate the quality of electricity for alternating current, consider the direct current as the main power source. The use of DC for the electrical supply of building electrical installations is proposed as one of the alternative options for power supply to the economy sector with a single-phase load in order to significantly reduce power losses (according to preliminary estimates up to 20%).*

***Keywords:** electric power, ways to improve the quality of electricity, methods, monitoring of electricity quality indicators, asymmetry.*

**ВВЕДЕНИЕ.** Электрическая энергия (ЭЭ) используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует в создании других видов продукции, влияя на их качество. Проблема качества в электрических сетях очень специфична. В быту в последние годы широкое распространение получили плазменные телевизоры, компьютеры и другие устройства, работающие на постоянном токе через вторичный источник питания и ухудшающие качество электроэнергии (КЭ) в питающей сети. Подключение мощных нелинейных нагрузок в промышленных предприятиях, искажают форму кривых тока и напряжения электрической сети, допускается только при соблюдении требований по обеспечению качества электроэнергии и при наличии соответствующих корректирующих устройств. При этом суммарная мощность вновь вводимой нелинейной нагрузки не должна превышать 3...5% от мощности всей нагрузки энергокомпании.

Источниками искажений городских электрических сетей являются: статические преобразователи (выпрямители, тиристорные регуляторы напряжения, стабилизаторы и т. д.); импульсные источники питания (компьютеры, офисная техника, серверные станции рекламная светодиодная, плазменная, и ЖК-аппаратура); газоразрядные осветительные устройства (90% от всех светильников); сварочные аппараты (ЖКХ, строительство и т. д.); частотный электропривод переменного тока (большие офисные центры); специальное медицинское оборудование [7].

В результате электрические сети оказались перенасыщенными искажающим оборудованием, что существенно обострило проблему электроснабжения потребителей качественной электроэнергией.

Одной из актуальных тем в настоящее время является повышение качества электроэнергии, поступающей к потребителям. Приборы контроля качества электроэнергии и специальные устройства регулирования обычно устанавливаются на подстанциях. Это рационально и экономически обосновано. Вместе с тем, возникают вопросы выбора наиболее эффективных устройств и способов регулирования параметров.

Контроль показателей качества электроэнергии (ПКЭ) необходим для проверки соответствия их нормированным значениям, для выявления причин отклонения

показателей, для разработки мероприятий по нормализации параметров, для оценки правильности проектных решений и т. п.

Используются следующие виды контроля [6]:

1. непрерывный, осуществляемый на шинах 6... 10 кВ центров питания (ТЭЦ, ГПП, ГРП) с помощью показывающих и регистрирующих приборов;
2. систематический, проводимый в заранее установленные моменты времени или в периоды максимальных и минимальных нагрузок с целью измерения статистических характеристик отклонения;
3. эпизодический контроль, производимый по мере необходимости, как правило, при нестабильном графике нагрузки.

Для определения соответствия значений измеряемых показателей качества электроэнергии нормам стандарта, за исключением длительности провала напряжения, импульсного напряжения, коэффициента временного перенапряжения, устанавливается минимальный интервал времени измерений, равный 24 ч, соответствующий расчетному периоду. Общая продолжительность измерений ПКЭ должна быть выбрана с учетом обязательного включения характерных для измеряемых ПКЭ рабочих и выходных дней. Рекомендуемая общая продолжительность измерения составляет 7 сут. Сопоставление ПКЭ с нормами стандарта необходимо производить за каждые сутки общей продолжительности измерений отдельно для каждого ПКЭ. Кроме того, измерения ПКЭ следует проводить по требованию энергоснабжающей организации или потребителя, а также до и после подключения нового потребителя.

Документом, регламентирующим нормы качества электроэнергии, является ГОСТ 32144-2013 [2]. Основными показателями качества электрической энергии являются установившееся отклонение напряжения; длительность провала напряжения; импульсное напряжение; коэффициент временного перенапряжения; коэффициент несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения.

Наиболее частыми виновниками провалов и импульсов напряжения являются энергоснабжающие организации. Причинами импульсных напряжений являются грозы и коммутационные переключения. Для снижения перенапряжений в электроэнергетических системах, вызванных молнией, коммутационными процессами или другими причинами, применяются ограничители перенапряжений (защитные разрядные промежутки, варисторы, лавинные диоды).

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей; изменения мощности компенсирующих устройств; регулирования напряжения

генераторами электростанций. Колебания напряжения вызываются резким изменением нагрузки на рассматриваемом участке электрической сети, например, включением мощных асинхронных двигателей, дуговых сталеплавильных печей, сварочных аппаратов; использованием технологических установок с быстропеременным режимом работы и т.п. Регулирование напряжения в сети может осуществляться изменением коэффициентов трансформации трансформаторов. В настоящее время применяются силовые трансформаторы с регулированием под нагрузкой. При работе такого устройства имеет место продольное регулирование напряжения. Если необходимо изменять не только модуль напряжения, но и его фазу, требуется применение добавочного трансформатора.

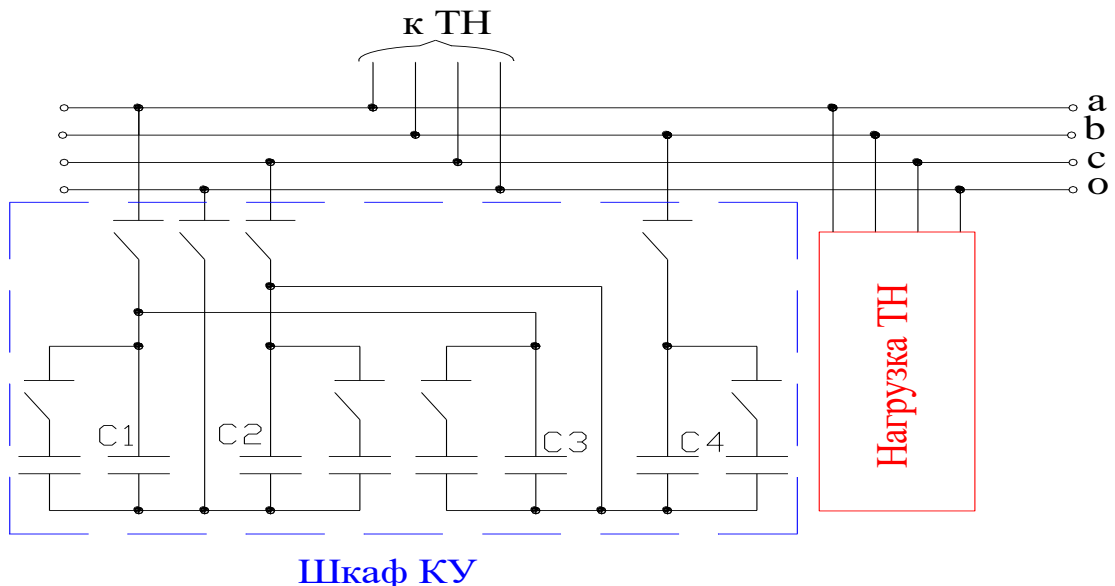
При совпадении векторов электродвижущей силы силового и добавочного трансформаторов коэффициент трансформации возрастает, а при встречном – уменьшается.

Для уменьшения колебания напряжения применяется разделение на подстанциях резкопеременной и спокойной нагрузок. Наиболее простым способом является использование сдвоенного реактора: спокойные и резкопеременные нагрузки подключаются к различным секциям реактора.

Следует учитывать, что при изменении сопротивления системы эффективность работы реактора ухудшается, поэтому необходимо оборудовать реактор системой регулирования.

Наиболее распространенными источниками несимметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения являются индукционные и дуговые электрические печи, электросварочные агрегаты, вентильные выпрямители, специальные однофазные нагрузки, осветительные установки.

Снижение несимметрии напряжений может быть обеспечено рациональным распределением нагрузок. При невозможности обеспечить требуемый уровень несимметрии напряжений с помощью схемных решений применяются симметрирующие устройства.

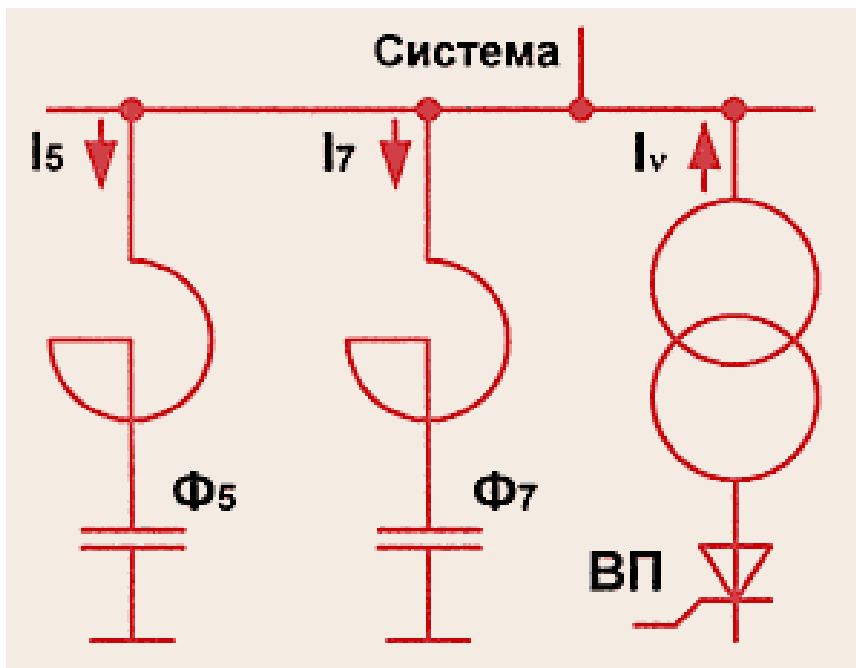


Фиг. 1 - Схема включения симметрирующего устройства

Симметрирующее устройство (Фиг. 1), состоящее из четырех конденсаторов, два из которых включены на фазные напряжения и два на линейные. При помощи нескольких трансформаторов или специального трансформатора, включенного определенным образом между сетью и несимметричной нагрузкой, можно получить необходимое напряжение на нагрузке и добиться выравнивания линейных токов. Следует отметить, что симметрирующие свойства зависят от характера нагрузки.

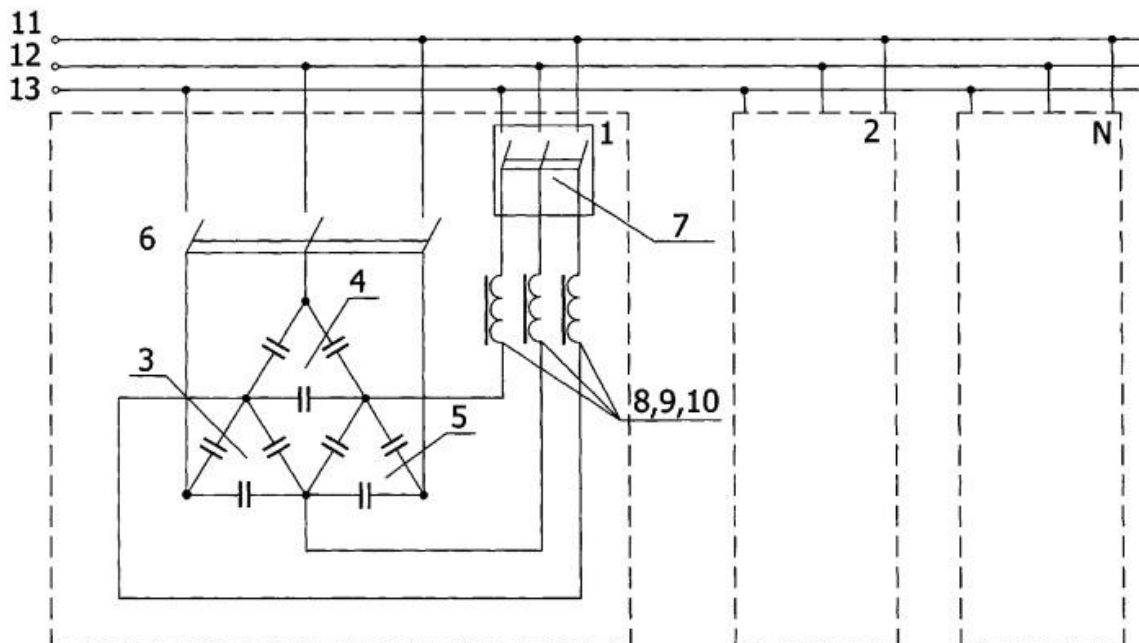
Симметрирование системы напряжений может быть осуществлено также путем введения системы добавочных ЭДС, т.е. между источником и приемником в разрыв линейных проводов включаются дополнительные источники ЭДС, образующие систему обратной последовательности. В результате суммирования ЭДС основного и добавочного источников их симметричные составляющие обратной последовательности взаимно компенсируются, напряжение на приемнике становится симметричным. В качестве источника добавочной системы ЭДС могут быть использованы синхронный генератор, трансформаторы последовательного регулирования или трансформатор с пофазным регулированием коэффициента трансформации.

Главной причиной искажений синусоидальности напряжения являются вентильные преобразователи, электродуговые сталеплавильные и термические печи, установки дуговой и контактной сварки, преобразователи частоты, индукционные печи, телевизионные приемники, компьютеры, газоразрядные лампы и др. Обеспечить допустимый уровень несинусоидальности в некоторых случаях возможно путем выделения нелинейных нагрузок на отдельную секцию шин, подключенную к одной из обмоток многообмоточного трансформатора или реактора. Батареи конденсаторов должны включаться последовательно с защитными реакторами (Фиг. 2).



Фиг. 2 - Схема подключения конденсаторных батарей и реакторов

При большем уровне несинусоидальности конденсаторы используются в фильтрокомпенсирующих устройствах (Фиг. 3).



Фиг. 3 - Принципиальная электрическая схема фильтрокомпенсирующей конденсаторной установки

На рисунке представлена принципиальная электрическая схема фильтрокомпенсирующей конденсаторной установки [9]. Установка содержит одинаковые конденсаторные секции 1, 2...N различной мощности. Секция в свою очередь состоит из девяти одинаковых однофазных конденсаторов, объединенных в треугольники 3, 4, 5. Каждая секция фильтрокомпенсирующей конденсаторной

установки имеет две ступени регулирования мощности, первая ступень подключается к сети 11, 12, 13 через трехполюсный коммутационный аппарат 6 первой ступени и находится постоянно включенной. Вторая ступень регулирования обеспечивается коммутацией фазочувствительного устройства 7, которое включает последовательно с секцией три однофазных тороидальных дросселя 8, 9, 10. Коммутация второй ступени регулирования отличается тем, что между ней и регулятором реактивной мощности (не показан) включено фазочувствительное устройство 7, позволяющее производить коммутации ступени с заданной начальной фазой, благодаря чему достигается необходимый эффект снижения пускового тока, исходя из известности влияния на максимальное значение переходного тока при коммутации электрической цепи с емкостью начальной фазы включения.

Фильтры настраиваются на частоты одной или нескольких высших гармоник, преобладающих в амплитудных спектрах напряжения сети, либо на промежуточную частоту в зависимости от вида нелинейных нагрузок. Обеспечение требуемого снижения несинусоидальности напряжения позволяет облегчить работу конденсаторов и увеличить срок их службы.

Рациональной является схема комбинированного фильтра, который по своим свойствам эквивалентен сочетанию резонансного фильтра и отдельной батареи конденсаторов. Наиболее сложные вопросы возникают при использовании централизованной компенсации параметров сети, при которой компенсирующие устройства размещаются на одной из подстанций системы электроснабжения, а параметры их выбираются такими, чтобы уровни высших гармоник на всех подстанциях были в допустимых пределах и обеспечивался необходимый уровень качества электроэнергии. Наиболее важной является задача выбора места установки, числа и мощности компенсирующего устройства в системе электроснабжения.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Существуют три основные группы *методов повышения качества электроэнергии* [8]:

1) рационализация электроснабжения, заключающаяся, в частности, в повышении мощности сети, в питании нелинейных потребителей повышенным напряжением;

2) улучшение структуры 1УР, например, обеспечение номинальной загрузки двигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств;

3) использование устройств коррекции качества — регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности.

Экономически наиболее предпочтительной является третья группа, так как изменение структуры сети и потребителей ведет к значительным затратам.

Проектирование же новых сетей потребителей необходимо вести с учетом современных требований к качеству, ориентируясь на разработку регуляторов качества электроэнергии различных типов. Целенаправленное воздействие на изменение одного вида искажений вызывает косвенное воздействие на другие виды искажений. Например, компенсация колебаний напряжения вызывает снижение уровней гармоник и приводит к изменению отклонений напряжения.

Эти и другие способы контроля и регулирования показателей электроэнергии предназначены для переменного тока, а что, если рассмотреть постоянный ток как основной источник питания.

В основе данного предложения лежат следующие положения [5]:

1. Схема электроснабжения на постоянном токе симметрирует однофазную нагрузку в трехфазной сети и силовых трансформаторах в результате применения в ней двенадцатипульсного выпрямителя. Нарботка на отказ современной силовой электроники достаточно высокая, имеется опыт эксплуатации данного оборудования в электрофицированном транспорте и специальных объектах.

2. Постоянный ток по самой своей природе не имеет гармонических токов и реактивной составляющей электроэнергии. Это также снижает потери электроэнергии при ее передаче по линиям электропередачи, в трансформаторах, в сетях потребителя в целом до 20%.

3. Большинство техники, использующейся в быту и офисах, может работать на постоянном токе, так как в основе их работы лежит принцип выпрямления переменного тока и преобразование его в частотных преобразователях по структурам техники для применения или выполнения разных функций, например, для регулирования скорости вращения двигателей, изменения звука, цвета и т.п. Кроме того, промышленностью выпускается оборудование, непосредственно работающее от постоянного тока.

4. Учет электроэнергии постоянного тока не имеет привнесенных погрешностей в отличие от переменного тока с искаженной формой.

5. Постоянный ток практически не создает в окружающей среде переменное электромагнитное поле, влияющие на физиологию человека, т.е. в электроустановках с постоянным током электромагнитная обстановка чистая и безопасная.

6. В качестве источника постоянного тока для электроснабжения жилых домов, кроме основного источника, можно использовать аккумуляторы и альтернативные источники электроэнергии. При этом нетрадиционные источники электроэнергии можно использовать напрямую без преобразования и синхронизации, что существенно упрощает и удешевляет их применение.



## ЛИТЕРАТУРА

1. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа 1984, стр.198-253
2. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. **Жежеленко И.В.** Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат 1986.
4. **И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов** «Управление качеством электроэнергии» – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
5. Информационный электронный журнал по энергосбережению Координационного совета Президиума Генерального совета Всероссийской политической партии «ЕДИНАЯ РОССИЯ» по вопросам энергосбережения и энергетической эффективности «Энергосвет», № 6 (19) 2011 г. ноябрь-декабрь. Г.Н. Яковлев Применение постоянного тока в электроснабжении социально-бытового сектора экономики с целью снижения потерь электроэнергии.
6. **Распопов Е. В.** Электрические системы и сети. Качество электроэнергии и его обеспечение. 1990.
7. <http://enargys.ru/kachestvo-elektricheskoy-energii-i-sposobyi-ego-povysheniya/> Энергосбережение для народа Enargys.ru
8. <http://pue8.ru/kachestvo-elektroenergii/90-sposoby-i-tehnicheskie-sredstva-povysheniya-kachestva-elektroenergii.html> AdMe.ru
9. <http://www.findpatent.ru/patent/231/2317625.html>
10. [https://ru.wikipedia.org/wiki/постоянный ток](https://ru.wikipedia.org/wiki/постоянный_ток)