

УДК 621.313

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д. И. Родькин

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: scenter@kdu.edu.ua

Рассмотрены вопросы, касающиеся использования полной и мгновенной мощностей в задачах оценки параметров энергетического режима, в том числе и частотных преобразований при формировании мгновенной мощности полигармонических сигналов. Получаемые оценки являются базовым материалом для получения показателей энергетического режима.

Ключевые слова: полная мощность, мгновенная мощность, энергопроцессы.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Д. Й. Родькін

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: scenter@kdu.edu.ua

Розглянуто питання, що стосуються використання повної та миттєвої потужностей у задачах оцінювання параметрів енергетичного режиму, в тому числі й частотних перетворень при формуванні миттєвої потужності полігармонічних сигналів. Одержувані оцінки є базовим матеріалом для отримання показників енергетичного режиму.

Ключові слова: повна потужність, миттєва потужність, енергопроцеси.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Возросший интерес к исследованию энергетических процессов, наблюдающийся в последние годы, не случаен [1–4]. Это можно объяснить целым рядом причин.

Во-первых, в связи с освоением нового поколения измерительных систем, имеющих в своей структуре вычислительные устройства с большими вычислительными и измерительными возможностями, проявляется интерес к проблематике повышения точности, увеличения информативности, создания возможностей для оценки правомерности имеющихся допущений и упрощений, принятых в годы создания теории энергопроцессов и приборного оборудования. Это, как известно, осуществлено в 20–30 годы прошлого столетия. Технические возможности в настоящее время существенно расширились и возросли.

Во-вторых, проблематика энергопроцессов все теснее связывается с вопросами диагностики электротехнических систем и комплексов. Влияние неустановившихся процессов, в силу целого ряда причин изучаемое с использованием имеющихся теоретических подходов, как правило, не имеет энергетической оценки ввиду неприменимости существующих методов исследования энергопроцессов к таким сложным электротехническим явлениям. Как известно, энергетические показатели для неустановившихся процессов, как правило, не анализируются. Между тем, последствия неустановившихся режимов, имея в виду прежде всего проявление энергетических процессов, наиболее тяжелы и трудно предсказуемы. Это обстоятельство позволяет сделать попытку сблизить имеющиеся и развиваемые теоретические подходы, перебросив некоторый «мостик» между ними.

В-третьих, в технической литературе, несмотря на огромное число работ, посвященных теории энергопроцессов, отсутствуют методы анализа, доступные для исследователей энергетических режи-

мов, разработчиков специализированного оборудования для исследования неустановившихся и аварийных режимов.

В-четвертых, проблема исследования, анализа энергопроцессов исключительно многообразна. Здесь следует отметить вопросы качества потребляемой энергии, качества ее преобразования, рационального состава показателей энергетических режимов, измерения электрической энергии, ее контроля и учета. Многоплановость вопросов исследования энергопроцессов и не менее широкий спектр решений при оценке их требуют уточнения целого ряда теоретических и практических представлений.

Целью работы является обоснование необходимости рассмотрения публикаций по проблематике исследования энергопроцессов на базе аппарата мгновенной мощности как более информативного продукта, сочетающего оценки компонент (напряжения и тока) как множеств. Это позволяет получить комплекс оценок мгновенной мощности разнообразных сигналов как множества – результата произведений множеств компонент. Выделение оценок в форме обоснованной базы для анализа позволяет получить совокупность показателей энергетического режима, расширяющих возможности существующего подхода за счет большей информативности оценок мгновенной мощности.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При анализе современных публикаций отечественных авторов заслуживает внимания работа [5], в которой изложены итоги и направления развития исследований по силовой преобразовательной технике – технической базе создания энергоэффективных электромеханических систем разнообразного назначения. Указаны те далеко идущие потери, связанные с разрушением технической базы производства преобразовательных устройств, которые произошли в 90-е годы прошлого столетия. За истекшие десятилетия в стране создается лишь каркас техно-

логических и научно-технических фирм, которые, возможно, создадут базу для производства преобразовательных систем в стране в основном на базе зарубежных комплектующих (силовых модулей) с полноценным контроллерным управлением и соответствующим программным обеспечением отечественных фирм. Очевидны мысли авторов о том, что есть возможность занять нишу по производству оборудования с украинской спецификой, обусловленной особенностями технической и технологической базы, сохранивших работоспособность предприятий страны.

Как перспективу развития силовой электроники авторы связывают «с мировой тенденцией ускоренного развития так называемой распределенной энергетики (малой энергетики)». Указана необходимость решения задач «создания и введения в эксплуатацию (с научным сопровождением!) устройств согласования параметров электрической энергии...».

По известным причинам авторы не затронули проблемы своего «соседа» – электромеханики, где вопросы модернизации электрооборудования с использованием современных преобразовательных систем, идентификации и мониторинга с использованием интегрированных компьютеризованных и технологических энергетических моделей являются теми секторами научного и инженерного поиска, которые, будучи весьма характерными для условий Украины, могут в какой-то мере сохранить теряемые позиции в науке и технике. Именно в этих направлениях могут быть получены приоритетные научные и научно-технические результаты.

При этом следует добавить к выводам в [5] необходимость сосредоточения внимания к «малым» вопросам практического использования электрической энергии в разных направлениях применительно к широкой гамме потребителей, включая и бытовое оборудование. На этом направлении в значительной мере решается комплексная задача трех «Э» – энергопотребления, энергоиспользования, энергоуправления.

В работе [4], затрагивающей подобные вопросы, отмечена важность развития исследований по анализу энергопроцессов как средства не только оценки энергетической эффективности, но, что не менее важно, – решения целого класса задач, решаемых с использованием энергетических критериев: идентификации параметров электрооборудования, определения показателей качества преобразования энергии, использования характеристик оценки энергопроцессов в задачах хозрасчетных механизмов, тарификации и т.д. Комплекс этих задач может быть решен с использованием активно развиваемого метода – метода мгновенной мощности при анализе и решении целого класса задач энергетического плана [2, 3].

До настоящего времени по целому ряду направлений, входящих в общую концепцию метода мгновенной мощности, отечественные ученые и специалисты занимают лидирующие позиции в силу прежде всего той «привязки», которая характерна для специфических условий нашей страны [6, 7].

Между тем, насущными являются вопросы поис-

ка таких решений, которые бы были применимы для разнообразных условий, имели бы общезначимый характер, позволяли бы получить результаты для разных сфер деятельности в области энергоресурсосбережения [8].

Имеются моменты, заслуживающие внимания при создании общей теории и единых показателей с использованием мгновенных значений компонент, образующих мощность в форме их произведений $P(t) = U(t)I(t)$:

- элементы теории энергопроцессов должны быть применимы без ограничений при всех формах компонент (гармонических, полигармонических сигналов, периодических и непериодических сигналов, одночастотных и разночастотных, модулированных по амплитуде и частоте и др.);

- теория должна быть применима при любом интервале разложения (на периоде переменного напряжения, на части периода, т.е. на произвольном промежутке);

- принципы и особенности получения составляющих мощности должны быть едиными независимо от физических особенностей сигналов (они должны быть применимы для электрических цепей, отдельных элементов потребителей и т.п.);

- показатели энергопроцессов должны определяться в форме комплекса оценок мгновенной мощности, а также оценок компонент, образующих мощность. Использование показателей энергопроцессов на основании совместных моделей из оценок мгновенной мощности и оценок компонент, образующих ее, недопустимо из-за ограничений, вызванных математической теорией множеств;

- в качестве математической базы создаваемой теории энергопроцессов и энергопотребления могут использоваться аппроксимационные методы гармонического анализа, а также другие, появившиеся в последние годы, методы анализа сигналов;

- комплекс оценок энергопроцессов в пространстве мгновенной мощности, который должен явиться результатом создаваемой теоретической базы, априори следует считать более обширным, более информативным и содержательным ввиду большей информативности сигнала мгновенной мощности, чем сигналов компонент, образующих ее;

- анализ энергопроцессов сигналов любой формы должен осуществляться с любой формой привязки к особым точкам анализируемых сигналов (начало анализа с момента перехода сигнала через нуль, с момента перехода через нуль первой гармоники сигнала и т.д.).

Вопросы, сформулированные выше, в основном сосредоточены на задаче применимости теории энергопроцессов не только в однофазных, трехфазных и т.д. сетях, но, что более важно, в разного рода переходных и квазиустановившихся режимах, характеризующихся изменением напряжений, токов, частоты, фазы и др.

Ранее указывалось, что базой для такого подхода может быть только мгновенная мощность, описанная соответствующим математическим аппаратом, что позволяет осуществить измерение исходных компонент мгновенной мощности (напряжения и

тока), получение оценок их параметров и, наконец, определение показателей энергопроцессов.

В связи с тем, что как напряжение, так и ток представляют собой соответствующие множества (фиксированные значения) в единицу времени, то и мощность, равная произведению компонент в конкретный момент времени, также является множеством, которому присущи общие принципы производства операций, свои оценки и показатели. Показатели энергопроцессов – это показатели формализованных множеств анализируемой на данном интервале времени мощности двух сигналов (напряжения и тока), каждый из которых, в свою очередь, имеет свои оценки (амплитуду, период, эффективные значения и др.).

Нами делается попытка дать характеристику тех вопросов, на основании которых можно оценивать сигналы мгновенной мощности любых компонент энергетического режима – сигналов напряжения и тока без ограничений формы, периодичности, полярности и т.д.

Необходимо отметить, что при решении поставленных задач можно воспользоваться одним из двух путей:

- осуществить умножение мгновенных значений напряжения и тока и полученные зависимости мощности $P(t)$ в форме ее мгновенных значений и с использованием известных математических операций получить оценки мгновенной мощности: среднее значение, эффективную мощность, гармонический состав;

- осуществить оценку компонент напряжения и тока (средние и эффективные значения, гармонический состав), умножение аппроксимирующих зависимостей напряжения и тока в форме множеств (тригонометрических рядов) с целью получения оценок и составляющих мгновенной мощности.

По своим возможностям оба подхода равноценны, хотя необходимые вычислительные ресурсы отличаются. Первый подход может оказаться эффективным тогда, когда получают развитие аналоговые датчики мощности с соответствующими метрологическими характеристиками. При этом спектр гармоник мощности в любом случае – результат частотных преобразований всего комплекса гармонических напряжения и тока.

Затрагиваемая здесь задача частотных преобразований при формировании составляющих мощности, если обратиться к анализу литературных источников, оказывается недостаточно изученной в силу целого ряда причин. Одна из них – сложность математического аппарата определения составляющих мощности как результата умножения множеств напряжения и тока. В подавляющем числе возможных случаев формирования сигналов мгновенной мощности задача представляет собой умножение двух гармонических рядов с равными или разными частотами. Результатом такой операции являются две составляющие, одна из которых имеет частоту, равную сумме частот перемножаемых гармонических, а вторая – их разности [9–11].

При перемножении одночастотных компонент

энергопроцесс реализуется по цепи источник–потребитель (каноническая составляющая мощности); в случае перемножения разночастотных – энергопроцесс осуществляется между двумя источниками с разными частотами (неканоническая составляющая мощности).

Установлено, что любая из канонических гармоник мощности, определяемых путем интегрирования $P(t)$ с целью получения необходимого результата, не равна произведению одночастотных компонент напряжения и тока вследствие диссипации составляющих неканонического порядка, наблюдающейся при равенстве частоты гармоник мощности канонического порядка частоте гармоник мощности неканонического порядка. Это явление приводит к увеличению переменных составляющих мощности канонического порядка.

Особенности частотных преобразований в итоге включают:

- расширение спектра гармоник мощности в сторону более высоких частот и в сторону более низких, чем частоты гармонических напряжения и тока;

- усиление значений переменных составляющих мощности канонического порядка в результате частотных преобразований компонент, формирующих составляющие мощности неканонического порядка;

- частотные преобразования при формировании спектра мгновенной мощности не нарушают основополагающий закон (закон сохранения) в форме уравнений энергобаланса на любой из гармоник мощности.

Первые два положения важны в плане конкретных приложений, т.к. мощность, в том числе и знакопеременные составляющие ее, по существу определяют силы, моменты, силовые воздействия в электромеханических системах и др.

Третье положение, будучи справедливым для ортогональных составляющих гармоник мгновенной мощности, включая постоянную составляющую, является базовым теоретическим материалом для построения систем идентификационных уравнений в специфических и востребованных задачах идентификации параметров электрооборудования, в том числе и электромеханических систем [12, 13].

Оценка энергопроцессов – по существу многоплановая задача, которая должна включать как результаты анализа мощности, так и компонент, образующих ее [12, 13].

В простейшей постановке – это получение оценок напряжения и тока: эффективного значения, гармонического состава и т.д. Получаемые параметры используются, как показано выше, как при оценке составляющих мгновенной мощности, так и при оценке энергетических показателей с использованием хорошо известных понятий полной мощности, мощности искажения. Имеются веские основания указанные понятия отнести к тем, которые затрудняют получение объективных оценок энергетического режима.

Эффективное значение тока (по определению) дает значение тока, ответственное за нагрев токове-

дущих частей энергоприемника. Оно напрямую не дает ответа на такие вопросы:

- как связаны составляющие тока с эффектом вытеснения, т.е. увеличения омического сопротивления и, как следствие, с увеличением потерь;
- формирования знакопеременных составляющих усилий в конструкциях (в особенности электрических машин);
- изменения воздействий на изоляционные материалы, т.е. нагрев и сокращение срока службы;
- возникновения шумовых эффектов.

Указанные эффекты, каждый в отдельности, рассматривались исследователями, а их результаты хорошо известны. Здесь подчеркивается то, что эффективное значение тока функционально связано только с одним параметром – нагревом проводников и то без учета сопутствующих эффектов (вытеснения тока и, как следствие, увеличения сопротивления).

Эффективное значение напряжения по определению не дает полного представления о таких эффектах, как

- нагрев изоляционных материалов из-за фактора приложенного напряжения со всем ансамблем гармоник;
- изменение значений токов утечек из-за роста гармонического напряжения при учете изменения комплексного сопротивления от частоты;
- формирование знакопеременных составляющих усилий и моментов при работе электрических машин.

Эффекты, указанные выше, как и в случае с эффективным током, естественно, в свое время находились в поле зрения исследователей, которыми получены достоверные результаты.

Здесь, как и ранее, подчеркивается лишь то, что выражение для эффективного напряжения не имеет функциональной связи с отмеченными явлениями. Некоторые исследователи отмечали, что эффективное значение напряжения целесообразно рассматривать как вполне определенный параметр, связанный с конструктивными особенностями электрифицированного агрегата.

Произведение эффективных значений напряжения U_e и тока I_e обычно именуют полной мощностью, а иногда – кажущейся мощностью. По формальным признакам полная мощность является произведением эффективных значений или, другими словами, – оценок (среднеквадратичных значений анализируемых величин) временных зависимостей напряжения и тока, однако формализованных признаков или оценок мощности по существу не имеет.

Оценки той или иной временной зависимости мощности могут быть получены на основании анализа имеющегося или получаемого на основании экспериментальных данных выражения. Это принципиальное положение непосредственно вытекает из теории множеств, что не согласуется с известными положениями, касающимися квадрата полной мощности, определяемой суммой квадратов составляющих энергетического режима – активной мощности, реактивной составляющей и мощности иска-

жения. Не останавливаясь на особенностях определения реактивной мощности, значений неактивных составляющих полной мощности, сделаем оценку того, как каждая из составляющих связана с физическими процессами, создающими общую картину энергопреобразования.

Если активную мощность чаще всего отождествляют с полезной мощностью или тепловыми потерями, реактивную мощность – с обменными процессами источников и потребителей, то мощность искажения представляется некоторым элементом невязки между полной мощностью, определяемой как произведение действующих значений напряжения и тока, активной и реактивной составляющими.

Мощность искажения по существу представляет совокупность произведений действующих значений разночастотных компонент напряжения и тока. В полученной выше интерпретации никоим образом не просматривается парциальное влияние как на результат, так и на процесс ни одной из частей упомянутого ранее комплекса составляющих, образующих мощность искажения. Отсюда следует, что какими бы ни были предполагаемые плюсы, связанные с использованием понятия полной мощности, налицо минус, заключающийся в отсутствии возможности получения информации о влиянии отдельных составляющих энергопроцесса на общий энергетический режим.

Ниже приводится пример, иллюстрирующий разномасштабность оценок полной мощности, переменных составляющих одной из гармоник и мощности искажения. Пусть действующие значения гармоник напряжения источника $U_1 = 1,0$; $U_3 = 0,2$; $U_5 = 0,1$ и тока $I_1 = 1,0$; $I_3 = 0,3$; $I_5 = 0,2$. Эффективные значения напряжения и тока $U_e = 1,025$; $I_e = 1,06$. Полная мощность $S = 1,086$. Мгновенное значение мощности второй гармоники [9, 13]: $P_2 = U_1 I_1 + U_3 I_1 + U_1 I_3 + U_5 I_3 + U_3 I_5 = 1,57$. Активная мощность, определяемая произведением одноименных гармоник, равна $P_0 = 1,062$. Тогда мощность искажения: $T = \sqrt{S^2 - P_0^2} = 0,23$. Хотя мощность искажения достаточно велика, однако она существенно ниже значения переменной составляющей мощности отдельно взятой гармоники, например, P_2 , получаемой в результате произведения гармонического тока и напряжения, частотных преобразований упомянутых произведений, дающих в результате гармонику мгновенной мощности двойной частоты.

Установлено, что использование полной мощности в качестве базовой величины при оценке режимов энергопреобразования и энергопотребления по существу неправильно ввиду несоблюдения закона сохранения [12, 13]. Допустимость ее использования в простоте аппарата определения показателей. Это указывает на оправданность такого подхода при малозначащих искажениях компонент, входящих в выражение для полной мощности.

Учитывая развитие теоретических исследований в направлении получения достоверных параметров

энергетических режимов, огромные возможности вычислительных систем, очевидна как перспектива перехода на другие базовые величины, так и создание систем оценки энергетических параметров как сетей, так и потребителей, получающих питание от них.

В аппарате мгновенной мощности в качестве базовой величины для получения показателей энергетического режима предложено использование эффективной мощности или среднеквадратичного значения ее на интервале разложения кривых напряжения и тока. Необходимо подчеркнуть, что упомянутый интервал заведомо некорректно считать равным периоду переменного напряжения: это частный случай оценки энергетического режима в сети переменного тока с неизменным периодом питающего напряжения. В зависимости от конкретной задачи периодом разложения кривых в ряд Фурье может быть оговоренный условиями задачи промежуток времени.

Эффективная мощность, в отличие от полной мощности, представляет собой корректную оценку энергетического режима как с позиции физических представлений энергопреобразования, так и математической концепции операций со множествами. Анализируемый параметр имеет ряд свойств, заслуживающих внимания:

- в отличие от полной мощности, не зависящей от активной мощности при неизменных величинах эквивалентных токов и напряжений, эффективная мощность зависит от активной мощности, т.е. от угла сдвига между первыми гармониками напряжения и тока;

- в отличие от полной мощности, зависящей от действующих значений напряжения и тока и не зависящей от их гармонического состава, эффективная мощность зависит от гармонического состава компонент, определяющих мгновенную мощность;

- эффективная мощность источника не равна сумме эффективных мощностей нескольких потребителей, питающихся от названного источника питания.

При оценке энергетического режима важной составляющей, характеризующей энергообменные процессы, является реактивная мощность, представляющая собой аналог синусной компоненты мгновенной мощности. Непосредственная прямая связь между знакопеременной синусной составляющей мгновенной мощности и реактивной мощностью имеет место только тогда, когда начало отсчета процесса формирования периодической кривой мгновенной мощности совпадает с моментом перехода через нуль напряжения.

Угол сдвига между напряжением и током соответствующей гармоники является единственным параметром, определяющим реактивную мощность.

При неперiodических процессах знакопеременная синусная составляющая мгновенной мощности определяет процесс обмена энергией между источником и потребителем на интервале разложения.

ВЫВОДЫ. Оценки энергопроцессов, осуществляемые путем использования метода мгновенной мощности, более информативны, чем те, которые

получаются общепринятым путем.

Выделение канонических и неканонических составляющих мгновенной мощности в полной мере отражает картину частотных преобразований при формировании энергетических режимов с полигармоническими напряжениями и токами. Этот подход позволяет формировать уравнения баланса составляющих мощности источников питания и потребителей, включая те из них, которые обладают нелинейными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П. и др. Баланс энергий в силовых цепях. – К.: Наукова думка, 1992. – 312 с.

2. Жемеров Г.Г., Тугай Д.В. Мгновенные и средние активные и реактивные мощности в линейных цепях с синусоидальными напряжениями // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – № 43. – С. 153–160.

3. Жемеров Г.Г., Крылов Д.С., Тугай Д.В. Система составляющих полной мощности и энергетических коэффициентов на основе р-q-г теории мощности // Технічна електродинаміка, тематичний випуск «Проблеми сучасної електроніки». – 2004. – Ч. 1. – С. 69–74.

4. Загирняк М.В., Родькин Д.И., Черный А.П., Коренькова Т.В. Направления развития теории мгновенной мощности и ее применения в задачах электромеханики // Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – Одеса, 2011. – С. 347–354.

5. Липковский К.А., Михальский В.М. Силовая электроника – возможности, ожидания, реальность // Техническая электродинамика. – 2012. – № 3. – С. 59–61.

6. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Возможности и эффективность метода энергодиагностики в идентификационных задачах // XIV Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск, 2007. – С. 507–512.

7. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Энергетический метод идентификации электромеханических устройств и систем // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – Минск, 2011. – Вып. 3. – С. 10–20.

8. Шидловский К.А., Федий В.С. Электрические цепи с вентильными коммутаторами. – К.: Арт-принт, 2010. – 269 с.

9. Родькин Д.И. Декомпозиция составляющих мощности полигармонических сигналов // Электротехника. – 2003. – № 6. – С. 34–37.

10. Родькин Д.И., Бялобржеский А.В., Ломонос А.И. Показатели энергопроцессов в сети с полигармоническим напряжением и током // Электротехника, 2004. – № 6. – С. 37–42.

11. Сидоренко В.М., Чорний О.П., Родькин Д.И., Осадчук Ю.Г. Корекція електричних сигналів силових кіл електроприводів у комп'ютеризованих сис-

темах моніторингу: монографія. – Кременчук, 2011. – 228 с.

12. Родькин Д.И. Новая система показателей качества использования электрической энергии // Научный вестник НГУ. – 2004. – № 3. – С. 20–26.

13. Родькин Д.И. Баланс составляющих мгновен-

ной мощности полигармонических сигналов // Вестник Кременчущького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3/2007 (44), ч. 1. – С. 66–77.

TOPICAL QUESTIONS ESTIMATION OF ENERGY PROCESSES IN ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

D. Rodkin

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: scenter@kdu.edu.ua

The questions relating to the use of full and instantaneous power in problems the estimating of energy mode parameters, including frequency change during the formation of the instantaneous power of polyharmonic signals. The estimates are the basic material for the production performance of energy mode.

Key words: full power, instantaneous power, energy processes.

REFERENCES

1. Tonkal V.E., Novoseltsev A.V., Denisyuk S.P. and oth. *The energy balance in power circuits*. – K.: Naukova Dumka, 1992. – 312 p. [in Russian]

2. Zhemerov G.G., Tugay D.V. Instantaneous and average active and reactive power in linear circuits with sinusoidal voltage // *Problems of automated electric. Theory and practice*. – Kharkov: NTU "KhPI", 2004. – № 43. – PP. 153–160. [in Russian]

3. Zhemerov G.G., Krylov D.S., Tugay D.V. System of components full power and energy coefficient based on p-q-r-power theory // *Technical Electrodynamics, Special Issue. Problems of modern electronics*. – 2004. – Part 1. – PP. 69–74. [in Russian]

4. Zagirnyak M.V., Rodkin D.Y., Cherniy A.P., Korenkova T.V. Direction of development theory of instantaneous power and its application in problems electromechanics // *Internat. Scientific and Technical. conf. "Problems of automated electric. Theory and Practice"*. – Odessa, 2011. – PP. 347–354. [in Russian]

5. Lypkovskiy K., Myhalskiy V. Power electronics – opportunities, expectations, reality // *Engineering electrodynamics*. – 2012. – № 3. – PP. 59–61. [in Russian]

6. Rodkin D.I., Romashykhin Yu.V. Possibilities and efficiency of power diagnostics method in identification problems // *XIV International Scientific Technical Conference "Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice"*. Collected papers of Dneprodzerzhinsk State Technical University. – Dneprodzerzhinsk: DSTU, 2007. – PP. 507–512. [in Russian]

7. Rodkin D.I., Romashykhin Yu.V. Energy method for the identification of electromechanical devices and systems // *Proceedings of the higher education*

institutions and energy associations CIS. Energetics. – Minsk, 2011. – Iss. 3. – PP. 10–20. [in Russian]

8. Shidlovsky K.A., Fedii V.S. *Electrical circuits with valve switches*. – K.: Artprint, 2010. – 269 p. [in Russian]

9. Rodkin D.Y. Decomposition the components of power of poligarmonic signals // *Electrotechnology*. – 2003. – № 6. – PP. 34–37. [in Russian]

10. Rodkin D.I., Byalobrzheskiy A.V., Lomonos A.I. Indicators energy process in circuit with poligarmonic voltage and current // *Electrotechnology*. – 2004. – № 6. – PP. 37–41. [in Russian]

11. Sidorenko V.M., Cherniy O.P., Rodkin D.Y., Osadchuk J.G. *Correction electrical signals into electric power circuits computerized monitoring systems: Monograph*. – Kremenchuk, 2011. – 228 p. [in Ukrainian]

12. Rodkin D.I. The new system of quality of the electrical energy // *Scientific issue NSU*. – 2004. – № 3. – PP. 20–26. [in Russian]

13. Rodkin D.I. Balance of instantaneous power components of polyharmonic signals // *Herald of KSPU*. – Kremenchuk: Kremenchuk State Polytechnic University, 2007. – Iss. 3/2007 (44), part 1. – PP. 66–77. [in Russian]

Стаття надійшла 20.08.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чермалихом В.М.