

## ПОКАЗАТЕЛИ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Родькин Д.И., д.т.н., проф., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина

E-mail: [saue@polytech.poltava.ua](mailto:saue@polytech.poltava.ua).

Выполнен анализ мер мгновенной мощности электромеханических систем. Показано, что эффективное значение мощности, содержащей постоянную и переменную составляющие, учитывает мощность цепи постоянного и переменного тока, а также мощность обменного характера между источником и потребителем. Предложен показатель оценки энергетической управляемости системы на базе составляющих мгновенной мощности.

**Ключевые слова:** энергетическая управляемость, электромеханическая система, мгновенная мощность.

**Введение.** Электромеханические системы (ЭМС) технологических комплексов образуют сложный энергетический канал передачи, преобразования и потребления энергии. При этом особое внимания заслуживает вопрос оценки энергетической управляемости ЭМС с учетом многообразных энергетических состояний силового канала, неоднаправленности потока энергии, наличия накопителей энергии различного рода, элементов с нелинейными характеристиками, сложного характера изменения энергетических процессов во времени.

Процесс передачи и преобразования энергии в ЭМС сопровождается ее частичной потерей в каждом из элементов и способностью в той или иной степени накапливать энергию в зависимости от типа рассматриваемого элемента. Подтверждением сказанному являются потери энергии, выделяемые в виде теплоты, кинетическая энергия, накапливаемая во вращающихся массах электропривода. Причем составляющие мощности, связанные с увеличением или уменьшением кинетической энергии вращательно или линейно перемещающихся масс, могут быть по направлению как положительными (при разгоне), так и отрицательными (при торможении).

Как доказано в работах [1-3], для анализа энергетических режимов ЭМС эффективным является метод мгновенной мощности, позволяющий наиболее полно характеризовать изменение мощности во временной области, в отличие от интегральных составляющих. Основой теоретической базы метода мгновенной мощности является баланс гармонических составляющих мгновенной мощности источника питания и элементов электромеханического комплекса.

Каждый из элементов ЭМС (рис. 1) характеризуется параметрами энергетического режима  $U_i(t)$  и  $I_i(t)$ , причем это не обязательно напряжение и ток, а компоненты, описывающие физический процесс преобразования энергии, произведение которых дает мощность  $P_i(t) = U_i(t)I_i(t)$  – единый параметр,

характеризующий любой режим сколь угодно сложной ЭМС.

Любой входящий в общую структуру ЭМС элемент при анализе может быть некоторым образом классифицирован и представлен в форме математических зависимостей того или иного рода – в полиномиальном виде или тригонометрическим рядом, в частности рядом Фурье. Какими путями осуществлять аппроксимацию компонент, определяющих мощность, – это предмет удобства и простоты получаемых в итоге выражений, а также достоверности толкования полученных результатов.

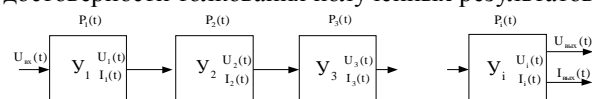


Рисунок 1 – Обобщенная структура ЭМС из  $i$ -х элементов преобразования энергии

В процессе работы в силовом канале электропривода возникают различные энергетические состояния, которые количественно можно описать набором электрических величин (ток, напряжение), механических (момент, скорость), гидравлических (напор и производительность) и т.п. Определив мощность  $P_i(t)$  для каждого из элементов электромеханического комплекса, можно судить о картине преобразования энергии системы в целом.

Одна из составляющих энергетического режима – переменная во времени составляющая – характеризует энергообменный процесс между сетью и потребителем, технологическим механизмом и двигателем. Переменная составляющая мощности снижает энергетическую эффективность процесса преобразования и приводит к снижению энергетической управляемости системы, что обусловлено наличием накопительных устройств, нелинейностей, отражающих специфику работы электропривода технологического механизма.

Мерой оценки качества энергопроцессов в системе служит эффективное значение мгновенной мощности, а составляющие мгновенной мощности представляют собой исходные параметры для такой

оценки. Зная эффективную мощность в идеальной системе (при отсутствии наиболее характерных нелинейностей) и в системе при наличии нелинейностей, отражающих специфику работы электропривода технологического механизма, можно выполнить анализ энергетической управляемости ЭМС. При этом задающие воздействия в идеальной и нелинейной системах должны быть одинаковы по амплитуде постоянной составляющей, а также по амплитуде и частоте переменной составляющей.

С учетом сказанного, энергетическая управляемость ЭМС – это показатель, характеризующий энергетическую реакцию объекта на изменение управляющих и возмущающих воздействий в анализируемой системе [4-6].

**Цель работы** – обоснование использования мер мгновенной мощности при анализе процессов преобразования энергии в электромеханических системах.

**Материал и результаты исследования.** Электрические сигналы в силовых цепях в общей постановке включают сигналы постоянного и переменного тока с соответствующими характеристиками амплитуд, частот, зависимостями, характеризующими изменение сигналов во времени. В общей постановке – это зависимости напряжения  $U(t)$  и тока  $I(t)$ . Наиболее простыми сигналами являются сигналы постоянного тока, а также гармонические сигналы в цепях переменного тока.

По существу процессы в цепях постоянного тока трудно отождествлять с неизменными во времени значениями  $U(t)$  и  $I(t)$ . Чаще всего эти сигналы изменяются определенным образом с некоторой периодичностью или законы их изменения носят случайный характер. Для исследований при этом можно воспользоваться вероятностными оценками процессов или анализ можно выполнить на некотором интервале времени, предположив известными временные зависимости  $U(t)$  и  $I(t)$ , а также интервал времени  $T$ , на котором следует анализировать как сами сигналы  $U(t)$  и  $I(t)$ , так и сигнал мощности, равный произведению  $P(t) = U(t)I(t)$ .

Интервал  $T$ , на котором осуществляется аппроксимация зависимостей  $U(t)$  и  $I(t)$  и последующий анализ энергопроцессов, в конечном итоге определяется теми задачами, которые приходится решать: при оценке загрузки цепей постоянного тока, как правило, пользуются приемами теории вероятности; при решении таких задач, как оценка влияния переходных режимов, в идентификационных задачах интервал  $T$  выбирают сравнимым со временем протекания электромагнитных или электромеханических процессов.

Наиболее удобной формой аппроксимации зависимостей  $U(t)$  и  $I(t)$  является аппарат рядов Фурье в той или иной форме записи, т. е. в тригонометрической или комплексной.

В соответствии с этим зависимости напряжения и тока можно представить в виде:

$$U(t) = U_0 + \sum_{m=1}^M U_m(t); \quad (1)$$

$$I(t) = I_0 + \sum_{n=1}^N I_n(t), \quad (2)$$

где  $I_0$  и  $U_0$  – средние значения тока и напряжения на интервале  $T$ , определяемые путем интегрирования исходных зависимостей:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt; \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt; \quad (4)$$

$m, n$  – номера гармоник напряжения и тока;  $M, N$  – число составляющих сигналов напряжения и тока соответственно.

Зависимости  $I_n(t)$  и  $U_m(t)$  представляют выражения для тригонометрического представления соответствующих гармоник тока и напряжения:

$$I_n(t) = I_n \cos(n\Omega t - \varphi_n); \quad (5)$$

$$U_m(t) = U_m \cos(m\Omega t - \varphi_m), \quad (6)$$

где  $I_n, U_m$  – амплитуды гармонических порядка  $m$  и  $n$ , определяемые в соответствии с общими положениями гармонических рядов;  $\Omega$  – круговая частота.

Выражение для мощности в соответствии со сказанным будет:

$$\begin{aligned} P(t) &= \left( I_0 + \sum_1^N I_n(t) \right) \cdot \left( U_0 + \sum_1^M U_m(t) \right) = \\ &= I_0 U_0 + I_0 \sum_1^M U_m(t) + \\ &+ U_0 \sum_1^N I_n(t) + \sum_1^N I_n(t) \sum_1^M U_m(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Анализируя полученную зависимость, можно видеть, что вторая и третья составляющие представляют собой гармоники мощности соответствующей (определяемой гармониками напряжения  $m$  и тока  $n$ ) частоты. Интегральное их значение на интервале  $T$  равно нулю независимо от частоты компоненты напряжения и тока. По существу, гармоники мощности этих составляющих эквивалентны гармоникам  $U_m(t)$  и  $I_n(t)$  со своими масштабными коэффициентами ( $I_0$  и  $U_0$ ).

Более сложной является четвертая составляющая, являющаяся произведением знакопеременных компонент напряжения  $U_m$  и

тока  $I_n$ . Эта составляющая характерна частотными преобразованиями в результате умножения гармонических напряжения и тока. При этом следует отметить, что только одночастотные компоненты напряжения и тока ( $m = n$ ) в случае, если они одноименные (синусные или косинусные), дают постоянную составляющую мощности, которая суммируется с параметром  $P'_0 = U_0 I_0$ . Из сказанного следует такой важный вывод:

$$\frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \neq U_0 I_0. \quad (8)$$

Приведенное неравенство приобретает форму равенства только в следующем случае:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sum_{n=1}^N I_n(t) \sum_{m=1}^M U_m(t) dt = 0. \quad (9)$$

Это возможно, когда одночастотные гармоники напряжения и тока сдвинуты друг относительно друга на  $\frac{\pi}{2}$ , т.е. в цепи отсутствуют потери активной энергии, что формально может анализироваться, но на практике неосуществимо и теоретически некорректно.

На основании сказанного уравнение баланса активной мощности имеет вид:

$$P_{0\Sigma} = U_0 I_0 + \sum_{m,n=1}^{m=M;n=N} P_{0m,n}. \quad (10)$$

Это выражение определяет энергетический баланс двух принципиально отличающихся цепей: цепи постоянного тока с неизменными во времени значениями напряжения  $U_0$  и тока  $I_0$ , а также цепи переменного тока с комплексом гармоник напряжения  $U_m$  и тока  $I_m$ , определяющих не

только активную мощность  $\sum_{m,n=1}^{m=M;n=N} P_{0m,n}$ , но и

другие составляющие, характерные для цепей переменного тока, например, реактивную составляющую. Поток активной мощности гармоник напряжения и тока может иметь как положительное, так и отрицательное направление: в первом случае энергия берется из сети, а во втором – она идет со стороны нагрузки.

Рассматриваемый процесс нуждается в оценке как итогового результата, так и составляющих. В соответствии со сложившейся практикой, параметрами, характеризующими процесс (напряжение или ток), являются средние значения того или иного параметра, среднеквадратичное значение, среднее значение модуля анализируемой величины.

Средние значения напряжения и тока определяются зависимостями:

$$U_c = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left( U_0 + \sum_{m=1}^M U_m(t) \right) dt = U_0; \quad (11)$$

$$I_c = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt =$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T \left( I_0 + \sum_{n=1}^N I_n(t) \right) dt = I_0. \quad (12)$$

Средние значения модуля этих величин:

$$U_{mc} = \frac{1}{T} \int_0^T \left( U_0 + \sum_{m=1}^M |U_m(t)| \right) dt; \quad (13)$$

$$I_{mc} = \frac{1}{T} \int_0^T \left( I_0 + \sum_{n=1}^N |I_n(t)| \right) dt. \quad (14)$$

Эффективные значения (среднеквадратичные) определяются посредством выражений:

$$U_{\text{э}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left( U_0 + \sum_{m=1}^M U_m(t) \right)^2 dt} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{m=1}^M U_m^2}; \quad (15)$$

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left( I_0 + \sum_{n=1}^N I_n(t) \right)^2 dt} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^N I_n^2}. \quad (16)$$

Отметим, что средние и среднеквадратичные величины по существу являются мерами конкретных физических процессов или явлений. Как видим, количество и смысловое представление мер рассматриваемой физической компоненты может быть достаточно обширным, а использование этих мер может привести не только к противоречивым, но и к некорректным результатам.

В практике энергопроцессов широко используется понятие полной (иногда называемой кажущейся) мощности, которая определяется как произведение эффективных значений напряжения на ток:

$$S = U_{\text{э}} I_{\text{э}} = \sqrt{\sum_{m=0}^M U_m^2 \sum_{n=0}^N I_n^2}. \quad (17)$$

Это понятие широко используется при оценке энергетических режимов при синусоидальных, а также полигармонических сигналах. Не останавливаясь на доказательстве правомерности применения понятия полной мощности синусоидальных сигналов ввиду очевидности этой возможности, отметим, что в системах с полигармоническими сигналами использование полной мощности попросту недопустимо. Эта

недопустимость сформулирована и рассмотрена ниже в работе.

Тем не менее, ввиду важности этого вопроса, при анализе особенностей использования мер полигармонических сигналов указанный довод приводим в работе.

Воспользовавшись тем положением, что в выражениях для  $U_3$  и  $I_3$  компоненты под знаками соответствующих сумм определяют суммы квадратов соответствующих гармоник, определим эффективную мощность в такой форме:

$$S = U_3 I_3 = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{n=N} I_n^2} \sqrt{U_0^2 + \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2} = \sqrt{I_0^2 U_0^2 + I_0^2 \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 + U_0^2 \sum_{n=1}^{n=N} I_n^2 + \sum_{n=1}^{n=N} I_n^2 \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2}. \quad (18)$$

В подкоренном выражении первая составляющая равна квадрату мощности цепи постоянного тока; два последующих слагаемых определяют мощность разночастотных сигналов. По существующим положениям эти составляющие определяют часть мощности искажения. Последнюю составляющую в выражении (18) представим в такой форме:

$$\sum_{n=1}^{n=N} I_n^2 \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 I_n^2 + \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 I_n^2 \quad (n \neq m). \quad (19)$$

Воспользуемся тем положением, что произведение одночастотных компонент напряжения и тока соответствует равенству:

$$U_m I_n^2 = P_{0,n,m}^2 + Q_{n,m}^2. \quad (20)$$

Тогда выражение (19) преобразуется к виду:

$$\sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 \sum_{n=1}^{n=N} I_n^2 = \sum_{m=n=1}^{m=n=M=N} P_{0,n,m}^2 + \sum_{m=n=1}^{m=n=M=N} Q_{n,m}^2 + \sum_{m=1}^{m=M} \sum_{n=1}^{n=N} U_m^2 I_n^2 \quad (n \neq m). \quad (21)$$

Окончательно выражение для полной мощности принимает вид:

$$S = \sqrt{U_0^2 I_0^2 + \sum_{m=n=1}^{m=n=M=N} P_{0,n,m}^2 + \sum_{m=n=1}^{m=n=M=N} Q_{n,m}^2 + \sum_{m=1}^{m=M} U_m^2 \sum_{n=1}^{n=N} I_n^2}. \quad (22)$$

Комментировать эту, достаточно корректно полученную зависимость, можно с учетом таких позиций:

– выражение получено в соответствии с общепринятыми положениями, касающимися того, что полная мощность равна произведению среднеквадратичных значений напряжения и тока;

– активная мощность при полигармонических сигналах, судя по полученному выражению, равна сумме квадратов активной мощности отдельно взятых гармоник, что никак не согласуется с законом сохранения, на основании которого очевидно равенство суммы активной мощности отдельно взятых сигналов суммарному значению активной мощности;

– произведение разночастотных компонент напряжения и тока в результате частотных преобразований позволяет получить гармонические составляющие с частотами, которые могут совпадать с частотами, получаемыми в результате перемножения одночастотных компонент;

– при определении действующих значений сигналов из-за операции интегрирования теряется часть гармонического сигнала, период которого кратен периоду используемого сигнала;

– потеря полезной информации при определении среднеквадратичной меры является неотъемлемой частью широко применяемой математической операции. Это же наблюдается и при определении среднего значения той или иной зависимости: знакопеременная составляющая ее, выраженная гармоническими функциями, в результате интегрирования дает нулевой результат;

– имеет место ошутимая разница, касающаяся потери информации при определении мер соответствующих сигналов, например, напряжения и тока, по сравнению с соответствующими потерями при определении полной мощности. При определении полной мощности анализу не подвергается непосредственно физический параметр – мгновенная мощность, но анализируются меры, входящие в выражение для мощности, напряжения и тока. Выше была показана недопустимость умножения средних значений напряжений и тока для определения активной мощности двух сигналов  $U(t)$  и  $I(t)$ , содержащих как постоянные, так и знакопеременные составляющие. Умножение мер в нашем случае приводит к потере той части активной мощности, которая передается от источника к потребителю (или наоборот) знакопеременными составляющими. В равной степени это относится к сигналам, которые не содержат постоянной составляющей: потеря информации при этом заключается в некорректных зависимостях для составляющих мгновенной мощности.

Несмотря на очевидную несостоятельность использования представлений, включающих понятие полной мощности, существующая методология оценивания энергетических режимов широко используется в практике научных исследований, в учебной литературе и проектной практике. Это положение вызвано рядом причин, одна из которых – в отсутствии оценок значимости ошибок некорректного толкования энергопроцессов в сетях с полигармоническими сигналами.

Важно отметить, что сказанное касается не только мощности энергетических сигналов; это справедливо в отношении мощности любых физических процессов: в гидросистемах, в механических устройствах с вращательным или поступательным движением. Положение усугубляется тем, что в вышеперечисленных системах, а вернее при описании таких систем, отсутствуют представления о реактивной мощности, мощности искажающих факторов, влияния нелинейностей и т.п.

Рассмотренный выше пример может быть легко трансформирован в систему с неизменными значениями напряжения  $U(t) = U_0$  и тока  $I(t) = I_0$  или для случая анализа энергопроцессов в цепи переменного тока при  $U(t) \neq 0$ ,  $U_0 = 0$  и  $I(t) \neq 0$ ,  $I_0 = 0$ . Оба случая заслуживают дополнительного анализа из-за ряда особенностей, оставленных без внимания при анализе.

Выше показано, что некорректно использование мер для оценки сигналов  $U(t)$  и  $I(t)$  с целью получения достоверной информации для объективного анализа энергопроцессов: это оставляет открытым вопрос о том, каким путем указанные сложности могут быть устранены. Анализ показывает, что преобразование и трансформация мер может осуществляться над ними для конкретных физических величин: преобразование и использование мер тока  $I(t)$ , напряжения  $U(t)$  и, естественно, полученной известным образом физической величины – мощности  $P(t)$  как результата умножения соответствующих компонент. Такой подход позволяет исключить неточности в определении активной мощности, в результате чего суммарное ее значение, как следует из закона сохранения, определяется арифметической суммой активных мощностей отдельных элементов, из которых потребляется мощность или в которые генерируется, а также рассеивается или накапливается в соответствующих реактивных устройствах. Этот подход позволяет сформулировать принцип, на основании которого могут быть составлены уравнения баланса для каждой из гармоник мощности, полученных путем перемножения зависимостей  $U(t)$  и  $I(t)$ . Дополнительно укажем на очевидную полезность представления упомянутых гармоник мощности в форме ортогональных составляющих той или иной частоты и, естественно, постоянной составляющей.

Общая форма записи при этом имеет вид:

$$P(t) = P_0 \Sigma + P_{ka \Sigma} \cos(k\Omega t) + P_{kb \Sigma} \sin(k\Omega t), \quad (23)$$

где  $P_{ka}$  – амплитуда косинусной составляющей гармоники мощности, изменяющейся с частотой  $k$ ;  $P_{kb}$  – амплитуда синусной составляющей гармоники мощности, изменяющейся с частотой  $k$ .

Индекс суммы говорит о том, что суммирование составляющих осуществляется по всем гармоникам мощности, полученным в результате частотных преобразований в произведении напряжения

$$\sum_{m=0}^{m=M} U_m \text{ и тока } \sum_{n=0}^{n=N} I_n.$$

Можно предположить, что синусные составляющие мгновенной мощности соответствуют так называемой реактивной мощности. В действительности картина энергопреобразований более сложна, вследствие чего этому вопросу следует уделить достаточное внимание.

Обобщим полученные результаты для характеристики мгновенной мощности в сложной системе. Для каждого  $i$ -го элемента ЭМС может быть получена зависимость  $P_i(t)$ , причем частоты  $k_i$  в этих выражениях находятся в определенном соответствии:

- частотный спектр составляющих во всех элементах один и тот же – это самый простой из возможных случаев;
- частоты отличаются друг от друга, причем некоторые из них совпадают;
- частоты в элементах не равны и не совпадают, даже отдельно взятые из них.

Показатель энергопроцесса на соответствующем  $i$ -м элементе преобразования:

$$P_{zi}(t) = \sqrt{\sum_{k_i=1}^{k_i=\infty} (P_{k_i0})^2 + \frac{1}{2} \sum_{k_i=1}^{k_i=\infty} (P_{k_ia})^2 + \frac{1}{2} \sum_{k_i=1}^{k_i=\infty} (P_{k_ib})^2}. \quad (24)$$

Для системы эффективная мощность должна учитывать следующее:

- нулевая составляющая, из каких бы гармоник она ни образовывалась и в каком бы элементе она ни была, складывается арифметически (для всех элементов);
- гармоники  $k_i$ -го порядка с индексом «а»

могут совпадать для элемента  $i_x$  и элемента  $i_y$  и, следовательно, их амплитуды могут складываться арифметически (это справедливо и для синусных составляющих);

- если компоненты мощности (синусная или косинусная) имеют хотя бы частичное совпадение частот, то результирующий вид зависимости для косинусной составляющей группы элементов будет:

$$P_{k_i \Sigma a} = \sum_{k_i=r=A}^{k_i=r=B} P_{k_ira} + \sum_{k_i=r=M}^{k_i=r=N} P_{k_ita}, \quad (25)$$

где индексом «г» обозначены совпадающие по частоте компоненты, а «τ» – не совпадающие.

Аналогично для синусных компонент всего ансамбля элементов:

$$P_{k_i \Sigma b} = \sum_{k_i=r=A}^{k_i=r=B} P_{k_irtb} + \sum_{k_i=r=M}^{k_i=r=N} P_{k_ittb}. \quad (26)$$

В соответствии со сказанным, эффективная мощность системы, состоящей из  $i$ -го количества элементов, будет:

$$P_{\Sigma c} = \sqrt{\left(\sum_{i=0}^J \sum_{k_i=1}^{\infty} P_{k_i 0}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sum_{k_i=r=A}^{k_i=r=B} P_{k_i r a}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sum_{k_i=r=A}^{k_i=r=B} P_{k_i r b}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sum_{k_i=\tau=M}^{k_i=\tau=N} P_{k_i \tau a}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sum_{k_i=\tau=A}^{k_i=\tau=B} P_{k_i \tau b}\right)^2}. \quad (27)$$

Последнее выражение позволяет сделать вывод о том, что  $P_{\Sigma c} \neq \sum_{i=1}^{i=M} P_{\Sigma i}$ , а также определить показатель энергетической управляемости системы:

$$k_{yc} = \frac{P_{\Sigma i} - \sum_{i=0}^{i=M} P_{k_i 0}}{P_{\Sigma c}}, \quad (28)$$

где  $P_{\Sigma i}$  – эффективная мощность источника.

**Выводы.** Предложенный подход к оценке энергетической управляемости электромеханических систем с использованием метода мгновенной мощности позволяет анализировать энергопроцессы при изменении их в реальном времени с сохранением полной информации об исходных сигналах, формирующих мощность, учитывать проявление специфических свойств электромеханического оборудования, появление переменных составляющих мощности, загружающих силовой тракт дополнительными компонентами.

Для анализа энергетических процессов в электромеханических системах оправданно использование в качестве меры мгновенной мощности эффективного значения мощности, содержащей постоянную и переменную составляющие, где первая определяет активную мощность в рассматриваемой схеме, а вторая компонента – мгновенную мощность в цепи переменного тока, а также мощность обменного характера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д. И. Составляющие мгновенной мощности полигармонических сигналов / Родькин Д. И. // – М.: Электротехника., 2003. – №3. – С.38-42.
2. Родькин Д. И. Баланс составляющих мгновенной мощности полигармонических сигналов / Родькин Д. И. // Вісник КДПУ. – Кременчук: Кременчужський державний політехнічний університет, 2007. – Вип. 3/2007 (44). – Ч.1. – С. 66-77.
3. Родькин Д. И. Комментарий к теории энергопроцессов с полигармоническими сигналами / Родькин Д. И. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, 2004. – Вип. 15. – С. 10-18.

4. Коренькова Т. В. Формализация понятия управляемости в электромеханических комплексах / Коренькова Т. В. // Науково-прикладний ж-л: Проблеми сучасної електротехніки. – Ч. 1. – Київ: ІЕДНАУ, 2008. – С. 75-80.

5. Родькин Д. И. Связь мгновенной мощности полигармонических сигналов и управляемости систем / Д. И. Родькин, Т. В. Коренькова // Науково-прикладний ж-л: Проблеми сучасної електротехніки. – Ч. 2. – Київ: ІЕДНАУ, 2010. – С. 180-185.

6. Zagirnyak M.V. Power estimation of electromechanical systems controllability / M.V. Zagirnyak, T.V. Korenkova // Proceedings of XIX International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010. – Rome, Italy, 2010. – Paper RF-009458. IEEE Catalog Number CFP1090B-CDR, ISBN 978-1-4244-4175-4, Library of Congress Number 2009901651.

## ПОКАЗНИКИ МИТТЄВОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КЕРОВАНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

*Родькин Д.І., д.т.н., проф., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна  
E-mail: [saue@polytech.poltava.ua](mailto:saue@polytech.poltava.ua).*

Виконано аналіз мір миттєвої потужності електромеханічних систем. Доведено, що ефективне значення потужності, що містить постійну й змінну складові, враховує потужність ланцюга постійного і змінного струмів, а також потужність обмінного характеру між джерелом і споживачем. Запропоновано показник оцінки енергетичної керованості системи на базі складових миттєвої потужності.

**Ключові слова:** енергетична керованість, електромеханічна система, миттєва потужність.

## INDEXES OF INSTANTANEOUS POWER IS IN TASKS OF ESTIMATION OF POWER CONTROLLABILITY ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

*Rodkin D., Doc. Sc. (Tech.), Prof., Korenkova T., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.  
Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskyi National University  
Pershotravneva St., 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine  
E-mail: [saue@polytech.poltava.ua](mailto:saue@polytech.poltava.ua).*

The analysis of measures of instantaneous power the electromechanical systems is executed. It is well-proven that effective meaning power, to containing permanent and variable constituents, power of chain of and alternating current, and also power of exchange character, takes into account between a source and user. The index of estimation of power controllability of the system is offered on a base making instantaneous power.

**Key words:** power controllability, electromechanical system, instantaneous power.