

**ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ
В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

Т.В.Коренькова, канд.техн.наук

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,

ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39614, Украина. e-mail: tanya74kor@gmail.com

Предложен методологический подход к формированию энергетических моделей электрогидравлических комплексов в форме уравнений баланса гармонических составляющих функции мощности. Установлено, что для оценки пропускной способности энергетического канала, энергетической управляемости электрогидравлических комплексов оправдано использование показателей, базирующихся на определении эффективных мощностей, как отдельных элементов, так и системы в целом. Библ. 4.

Ключевые слова: электрогидравлический комплекс, энергетический канал, процессы энергопреобразования.

Электрогидравлические комплексы (ЭГК) широко используются во многих отраслях хозяйственной деятельности. В процессе функционирования в силовом канале ЭГК возникают разнообразные энергетические режимы, которые количественно характеризуются набором электрических (напряжением, током), энергетических (мощностью, потерями мощности, КПД) и механических параметров (частотой вращения и моментом), а также технологических показателей (расходом и давлением). При анализе энергопроцессов в энергетическом канале преобразования мощности ЭГК целесообразно выделять отдельный контур, отражающий канал передачи мощности потребителю, что позволяет выполнить оценку эффективности протекающих процессов энергопреобразования, определить потери энергии и резерв энергосбережения. Параметром, характеризующим любой режим ЭГК, является мощность $p_i(t) = u_i(t)i_i(t)$, где $u_i(t)$ и $i_i(t)$ – исходные сигналы, формирующие энергетический режим. Энергетические переменные: электрическая $p_{el}(t)$ мощность, механическая $p_{mech}(t)$, гидравлическая $p_h(t)$ дают конкретную характеристику протекающего процесса преобразования энергии и позволяют выполнить оценку эффективности процессов энергопреобразования в ЭГК.

Рассматриваемый комплекс вопросов объединяется единым методологическим подходом построения математических энергетических моделей, описывающих процесс преобразования энергии в том или ином звене ЭГК в форме уравнений баланса [1] гармонических составляющих временной функции мощности $p_{el}(t)$, $p_{mech}(t)$ или $p_h(t)$. Путем математического анализа можно получить такие оценки энергорежимов (среднее, среднеквадратичное значение, гармонический состав и т.п.), которые однозначно соответствуют происходящим в системе процессам энергопреобразования.

Ввиду того, что энергопроцессы в ЭГК носят характер периодических (установившихся) колебаний мощности на анализируемом интервале времени является допустимым синтез временной функции мощности гармоническим рядом [2, 3], который формируется на базе ортогональных гармонических составляющих сигналов напряжения и тока, напора и расхода.

Так, временные сигналы напряжения и тока фазы А электрического двигателя могут быть представ-

$$u_A(t) = \sum_{n=1}^N U_n \cos(\Omega_n t - \varphi_n) = \sum_{n=1}^N U_{na} \cos(\Omega_n t) + \sum_{n=1}^N U_{nb} \sin(\Omega_n t); \quad (1)$$

$$i_A(t) = \sum_{m=1}^M I_m \cos(\Omega_m t - \psi_m) = \sum_{m=1}^M I_{ma} \cos(\Omega_m t) + \sum_{m=1}^M I_{mb} \sin(\Omega_m t), \quad (2)$$

где n, m – номера гармоник напряжения и тока, соответственно; N, M – число гармонических составляющих напряжения и тока; φ, ψ – фазовые углы сигналов напряжения и тока, соответственно; Ω_n, Ω_m – круговые частоты изменения сигналов напряжения и тока соответственно; $U_{na} = U_n \cos \varphi_n$; $U_{nb} = U_n \sin \varphi_n$ – ортогональные косинусная и синусная составляющие сигнала напряжения; $I_{ma} = I_m \cos \psi_m$; $I_{mb} = I_m \sin \psi_m$ – ортогональные косинусная и синусная составляющие сигнала тока.

Временная функция электрической мощности фазы А с учетом (1), (2) и последующих преобразований в

$$p_{elA}(t) = \sum_{k=1}^K P_{k0} + \sum_{k=1}^K P_{ka} \cos(\Omega_k t) + \sum_{k=1}^K P_{kb} \sin(\Omega_k t), \quad (3)$$

где $\sum_{k=1}^K P_{k0}$, $\sum_{k=1}^K P_{ka}$, $\sum_{k=1}^K P_{kb}$ – суммарные постоянная, косинусная и синусная составляющие мощности, соответственно; Ω_k – круговая частота k -ой гармоники мощности ($\Omega_k = |\Omega_n \pm \Omega_m|$); K – число гармонических составляющих мощности.

Суммарная электрическая мощность трехфазной системы, подводимая к статорным обмоткам электрического двигателя, равна сумме мощностей отдельно взятых фаз: $p_{el}(t) = p_{elA}(t) + p_{elB}(t) + p_{elC}(t)$, где $p_{elB}(t), p_{elC}(t)$ – временные функции мощности фаз В и С соответственно.

Механическая мощность на валу двигателя

$$p_{mech}(t) = M(t)\omega(t), \quad (4)$$

где $M(t)$ – электромагнитный момент на валу электрического двигателя; $\omega(t)$ – частота вращения двигателя.

Изменение режима работы потребителя, возникновение турбулентных и кавитационных процессов в насосе и трубопроводе характеризуется периодическим изменением расхода на выходе насосного агрегата

$$Q(t) = Q_0 + Q_{var} \cos(\Omega_h t - \gamma) = Q_0 + Q_a \cos(\Omega_h t) + Q_b \sin(\Omega_h t), \quad (5)$$

где Q_0, Q_{var} – амплитудные значения постоянной и переменной составляющих сигнала расхода соответственно; $Q_a = Q_{var} \cos \gamma$; $Q_b = Q_{var} \sin \gamma$ – ортогональные косинусная и синусная составляющие сигнала расхода соответственно; Ω_h, γ – круговая частота и угол сдвига сигнала расхода относительно начала координат соответственно.

Тогда гидравлическая мощность на выходе насосного агрегата

$$p_{hp}(t) = \rho g Q_p(t) H_p(t), \quad (6)$$

где $H_p(t), Q_p(t)$ – сигналы напора и расхода на выходе насоса соответственно; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; ρ – плотность жидкости.

Гидравлическая мощность на j-том участке трубопровода

$$p_{hnetj}(t) = \rho g Q_j(t) H_j(t), \quad (7)$$

где $H_j(t), Q_j(t)$ – сигналы напора и расхода на j-том участке трубопровода соответственно.

Гидравлическая мощность потребителя

$$p_{hcon}(t) = \rho g Q_{con}(t) H_{con}(t), \quad (8)$$

где $H_{con}(t), Q_{con}(t)$ – сигналы напора и расхода у потребителя соответственно.

Мерой оценки качества энергопроцессов в ЭГК служит среднеквадратичное значение временной функции мощности (электрической, механической, гидравлической) на i-том элементе энергопреобразования

$$P_{ei} = \sqrt{1/T \int_0^T p_i^2(t) dt} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^K P_{k0i} \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^K P_{kai} \right)^2 / 2 + \left(\sum_{k=1}^K P_{kbi} \right)^2 / 2}. \quad (9)$$

Выражения (1) – (9) дают возможность выполнить гармонический анализ мощности на элементах ЭГК, осуществить оценку переменной составляющей энергетического сигнала, приводящей к снижению энергоэффективности процесса энергопреобразования.

С учетом сказанного, общее уравнение энергобаланса ЭГК имеет вид

$$p_{el}(t) = \Delta p_{\Sigma ed}(t) + \Delta p_{hp}(t) + \Delta p_{hnetj}(t) + p_{hcon}(t), \quad (10)$$

где $\Delta p_{\Sigma ed}(t), \Delta p_{hp}(t), \Delta p_{hnetj}(t)$ – потери мощности в электрическом двигателе, насосе, на участках трубопроводной сети соответственно.

Одним из показателей, характеризующих непрерывный процесс энергопреобразования между источником питания и потребителем, является коэффициент пропускной способности энергетического канала ЭГК, определяемый как отношение среднеквадратичных значений временной функции мощности на выходе P_{ehcon} и входе P_{eel} системы: $k_{cap} = P_{ehcon} / P_{eel}$. Приведенное выражение, по сути, является аналогом коэффициента полезного действия (КПД), характеризующего энергетическое состояние системы в установившемся режиме работы. Однако, в отличие от КПД, k_{cap} позволяет учесть наличие переменных составляющих мощности в энергетическом канале ЭГК, обусловленных введением накопителей энергии различного рода, возникновением в контуре энергопреобразования нелинейных процессов, отражающих специфику работы электропривода технологического механизма. При увеличении числа элементов в канале передачи мощности потребителю мощность P_{ehcon} снижается, что приводит, соответственно, к ухудшению пропускной способности энергетического канала ЭГК, $k_{cap} < 1,0$.

Для сравнительной оценки процессов энергопреобразования в различных режимах работы гидротранспортной системы предложен коэффициент энергоуправляемости ЭГК [4]: $k_{pc} = P_{eiid} / P_{eir}$, где P_{eiid}, P_{eir} – среднеквадратичные значения временной функции мощности в идеальной и реальной системах на i-том элементе энергопреобразования соответственно. При этом задающие воздействия в идеальной (при отсутствии наиболее характерных нелинейностей в ЭГК) и реальной (при возникновении нелинейных гидродинамических

процессов) системах должны быть одинаковы по амплитуде постоянной составляющей, а также по амплитуде и частоте переменной составляющей. Следует отметить, что можно оценивать энергоуправляемость как отдельных элементов на базе P_{ehp} , P_{ehnetj} , P_{econ} в соответствующих режимах работы, так и всей системы в целом, используя для анализа среднеквадратичные значения мгновенной входной электрической мощности в идеальном P_{eeld} и реальном P_{elr} ЭГК.

Предложенный подход к формированию энергетических моделей электрогидравлического комплекса в форме уравнений баланса гармонических составляющих функции 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 энергетический канал дополнительными компонентами. Для анализа процессов энергопреобразования, оценки пропускной способности энергетического канала и энергоуправляемости электрогидравлического комплекса оправдано использование показателей, базирующихся на определении среднеквадратичных значений мгновенных мощностей как на отдельных элементах, так и в системе в целом.

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

2. Жарский Б.К., Новский В.А., Голубев В.В. Перетворення параметрів електромагнітної енергії вентиляними комутаторами. – Киев: Институт электродинамики НАН Украины, 2013. – 323 с.

3. Castilla M., Juan Carlos Bravo, Ordonez M., Juan Carlos Montano. Clifford theory: a geometrical interpretation of multivectorial apparent power // IEEE Trans. on Circuits and Systems. – 2008. – Vol. 55. – No. 10. – Pp. 3358-3367.

4. Zagirnyak M., Rod'kin D., Korenkova T. Enhancement of instantaneous power method in the problems of estimation of electromechanical complexes power controllability // Przegląd Elektrotechniczny, Electrical review. – 2011. – № 12b. – Pp. 208 – 212.

УДК 621.65:004.183

ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЕННЯ В ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

Т.В.Коренькова, канд.техн.наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39614, Україна.

e-mail: tanya74kor@gmail.com

Запропоновано методологічний підхід до формування енергетичних моделей електрогидравлічних комплексів у формі рівнянь балансу гармонійних складових функції потужності. Встановлено, що для оцінки пропускної здатності енергетичного каналу, енергетичній керованості електрогидравлічних комплексів виправдано використання показників, що базуються на визначенні ефективних потужностей як окремих елементів, так і системи в цілому. Бібл. 4.

Ключові слова: електрогидравлічний комплекс, енергетичний канал, процеси енергоперетворення.

INDICES OF THE PROCESSES OF ENERGY CONVERSION IN AN ELECTRIC HYDRAULIC COMPLEX

T.V.Korenkova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
str. Pershotravneva 20, Kremenchuk, 39614, Ukraine.

e-mail: tanya74kor@gmail.com

Methodological approach to formation of electric hydraulic complexes power models in the form of balance equations of harmonic components of power function is offered. It is found out that the use of indices based on determination of effective powers of both separate elements and the system on the whole for estimation of the capacity of the power channel, power controllability of electric hydraulic complexes is justified. References 4.

Key words: electric hydraulic complex, power channel, energy conversion.

1. Tonkal V.E., Novoseltsev A.E., Denisjuk S.P. The energy balance in the power circuits. – Kyiv: Naukova dumka, 1992. – 312 p. (Rus)

2. Zharskiy B.K., Novskiy V.A., Golubev V.V. Conversion of electromagnetic energy parameters valve switches. – Kyiv: Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine, 2013. – 323 c. (Ukr).

3. Castilla M., Juan Carlos Bravo, Ordonez M., Juan Carlos Montano. Clifford theory: a geometrical interpretation of multivectorial apparent power // IEEE Trans. on Circuits and Systems. – 2008. – Vol. 55. – No. 10. – Pp. 3358-3367.

4. Zagirnyak M., Rod'kin D., Korenkova T. Enhancement of instantaneous power method in the problems of estimation of electromechanical complexes power controllability // Przegląd Elektrotechniczny, Electrical review. – 2011. – № 12b. – Pp. 208 – 212.

Надійшла 14.02.2014