

строй 121 малая ТЭЦ суммарной электрической мощностью 770 МВт и тепловой мощностью 1118 МДж/с, а в 1997 г. суммарная установленная электрическая мощность малых ТЭЦ Дании достигла 1300 МВт. При этом около 30% электроэнергии производится на малых ТЭЦ.

В России и Беларуси монополия на производство электрической и тепловой энергии и принятая с 1930 годов система централизованного теплоснабжения городов препятствовали появлению ТЭЦ на промышленных предприятиях. Однако при переходе к рыночным отношениям ситуация стала изменяться и такие энергоисточники стали появляться [2]. Опыт работы таких энергоисточников показал, что стоимость произведенной на них электрической и тепловой энергии в 2–3 раза ниже покупных в энергосистеме.

Происходит это потому, что раздельное производство теплоты в котельных, а электроэнергии – на мощных КЭС и атомных электростанциях не обеспечивает эффективного использования топлива, приводит к значительному перерасходу денежных средств по сравнению с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии на малых и мини-ТЭЦ. При этом целесообразной оказывается установка турбоагрегатов (турбин и генераторов) на котельных промышленных предприятий.

В качестве примера можно привести Мозырьский НПЗ, где с 1998 г. работает первая в Беларуси газотурбинная установка (газовая турбина, генератор напряжением 10 кВ и котел-утилизатор), которая имеет электрическую мощность 17 МВт и вырабатывает пар для технологических нужд. Коэффициент полезного действия ГТУ Мозырского НПЗ достигает 85%. На котельной завода "Гомсельмаш" установлены 2 турбоагрегата электрической мощностью по 600 кВт каждый на напряжении 0,4 кВ, которые работают на избыточном паре высокого давления.

Однако появление в системах электроснабжения предприятий таких энергоисточников вызвало ряд проблем. Главная из них заключается в том, что изначально такие агрегаты разрабатывались и выпускались для надводных кораблей и подводных лодок и оснащались достаточно простыми системами регулирования электрических параметров. Исследования, проводимые автором, позволили сформулировать требования к регуляторам частоты и напряжения агрегатов малых ТЭЦ при их параллельной и автономной работе в системе электроснабжения предприятия, что особенно важно для предприятий с непрерывным технологическим процессом, где малые ТЭЦ рассматриваются в качестве независимого источника питания.

Литература

1. Датская модель теплофикации: финансовая и законодательная база ее развития // Энергетик. – 1999. – №11.
2. Оптимизация электрической мощности ГТУ при реконструкции котельных в малые ТЭЦ // Ю. М. Хлебакин, Ю.Е. Николаев, Д.А. Андреев // Промышленная энергетика. – 1998. – №9.

ПРОБЛЕМА АНАЛИЗА ЭНЕРГООБМЕНА В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

М. Н. Погуляев, А. Е. Спорик, А. В. Бескровный

Гомельский государственный технический университет

им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Проблема анализа энергообмена в асинхронных электродвигателях (АД), работающих в динамических режимах, было посвящено большое количество работ [1 – 6], но общего приемлемого решения до сих пор не найдено.

Основное внимание уделялось исследованию энергетики переходных процессов, сопровождающих пуск, торможение, реверс, сброс-наброс нагрузки [1 – 3] и являющихся

ся частью технологического режима, в котором преобладающим является установившийся режим вращательного движения.

Между тем, существует класс специальных электроприводов, работающих в режиме частых пусков, резервов, старт-стопов, для которых соизмеримы временные интервалы переходного и установившегося процессов. Кроме того, в последнее время появились новые разработки безредукторных электроприводов, работающих в квазиустановившихся периодических режимах шагового, колебательного, возвратно-вращательного, шагово-колебательного движения [4 – 6].

Энергетические процессы в электроприводах подобного типа постоянно изменяются по величине и направлению протекания, поскольку АД в течение одного цикла периодически проходит фазы двигательного, генераторного и тормозного режимов [4,6].

Принципиальной особенностью работы АД в установившемся периодическом режиме является фазовый сдвиг между периодическими угловой скоростью и моментом, вызванный инерциальной и позиционной нагрузками на валу. Это означает, что механическую мощность можно по аналогии с электрической разделить на активную и реактивную составляющие, а также выделить мощность искажения [6].

Периодическое движение в АД создается либо за счет возбуждения в воздушном зазоре качающегося (шагающего) магнитного поля, либо за счет создания устойчивого автоколебательного режима. В обоих случаях частоты напряжений и токов электропитания АД не только сильно отличаются от частоты колебаний вала, но и в общем случае могут быть некратными.

В связи с этим возникает задача выбора периода усреднения энергетических показателей: период основной гармоники сети или период основной гармоники колебаний ротора АД.

Проблемным становится и определение понятий коэффициента полезного действия и коэффициента мощности. В работах [5,6] было предложено обобщить понятие КПД до полных мощностей, отдаваемой с вала АД и потребляемой из сети, и выделить в нем составляющие для мощностей активной, реактивной и искажения. Такой подход, несомненно, полезен, но для выработки рекомендаций по его использованию требуется провести большой объем численных экспериментов.

В работах [4,6] был решен ряд частных вопросов энергетики АД в периодическом движении, были сделаны первые попытки создания математического и программного обеспечения анализа энергообмена.

Появившееся в последнее время новые способы создания периодического движения, возросший уровень математического моделирования, расширившиеся возможности компьютерной техники заставляют и позволяют решить эту актуальную и серьезную научную проблему на новом, более высоком уровне.

Система энергетических показателей получила развитие в работе [6], где в качестве энергетической характеристики электродвигателя колебательного движения предложен обобщенный коэффициент полезного действия, являющийся комплексным показателем и представляющий геометрическую сумму отношений соответствующих мощностей:

$$\eta_e = \frac{P_{\text{мех}}}{S_{\text{потр}}} = \left[\frac{P^2_{\text{мех.а}}}{S^2_{\text{потр}}} + \frac{P^2_{\text{мех.р}}}{S^2_{\text{потр}}} + \frac{P^2_{\text{мех.и}}}{S^2_{\text{потр}}} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где: $P_{\text{мех.а}}$, $P_{\text{мех.р}}$, $P_{\text{мех.и}}$, $P_{\text{мех}}$, $S_{\text{потр}}$ – активная, реактивная, искажения и полная мощности, отдаваемые в нагрузку (индекс «мех») и потребляемая из источника электроэнергии (индекс «потр»).

Слагаемые под знаком корня в выражении (1) имеют смысл энергетических КПД по отдельным видам мощности. Энергетический КПД по активной мощности определяется по [3] как произведение обычного КПД на коэффициент.

Энергетические КПД для активной η_{ae} , реактивной η_{pe} и мощности искажения η_{ue} определяются как:

$$\eta_{ae} = \frac{P_{\text{мех.а}}}{S_{\text{номр}}} = \eta_a \cdot K_{\text{ма}}; \quad (2)$$

$$\eta_{pe} = \frac{P_{\text{мех.р}}}{S_{\text{номр}}} = \eta_p \cdot K_{\text{мр}}; \quad (3)$$

$$\eta_{ue} = \frac{P_{\text{мех.и}}}{S_{\text{номр}}} = \eta_u \cdot K_{\text{ми}}; \quad (4)$$

где η_a , η_p , η_u , $K_{\text{ма}}$, $K_{\text{мр}}$, $K_{\text{ми}}$ – коэффициенты полезного действия и мощности, соответствующие мощности активной, реактивной и искажения,

$$\eta_e = \left[\eta_a^2 \cdot K_{\text{ма}}^2 + \eta_p^2 \cdot K_{\text{мр}}^2 + \eta_u^2 \cdot K_{\text{ми}}^2 \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Предложенный обобщенный коэффициент полезного действия является комплексной характеристикой и позволяет оценить энергетику электродвигателя колебательного движения при любом характере и величине нагрузки и любом способе возбуждения колебательного движения.

В качестве теоретической идеи решения проблемы следует принять, на наш взгляд, единообразный подход к построению системы оценок как электрической, так и механической мощностей, а также обобщения энергетических показателей.

Литература

1. Резниченко В.Ю. Энергетика переходных процессов асинхронных короткозамкнутых двигателей // Автореф. дис.... канд.техн. наук. – М.: МЭИ, 1973.
2. Иванов М.И. Процессы энергообмена в динамических режимах работы асинхронных машин // Автореф.дис.... канд. техн.наук. – М.: МЭИ, 1981.
3. Копылов И.П., Амбарцумова Т.Т. Расчет энергетических показателей АД при автоматизированном проектировании // Электротехника. – 1983. – N 7. – С.32 – 34
4. Ткалич С.А. Разработка колебательного электропривода с повышенными энергетическими показателями // Автореф. дис.... канд.техн. наук. – Томск: ТПИ, 1988.
5. Тодоров В.В. Энергетические характеристики АД колебательного движения в составе электрогидропривода // Автореф.дис.... канд.техн. наук. – Минск: БПИ, 1990.
6. Луковников В.И., Серeda В.П. Динамические режимы работы асинхронного электропривода. – М.: Изд. ВЗПИ, 1990. – 210 с.

РАЗВИТИЕ МНОГОМЕРНОГО ОПЕРАТОРНОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА СИСТЕМ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

Д. Н. Комяков, А. В. Козлов

Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В работе [1] интуитивно было высказано предположение, что "...рассматривать многомерную передаточную функцию для соединений с обратными связями имеет смысл только для пассивных четырехполюсников, поскольку в случае активных четырехполюсников число независимых переменных увеличивается бесконечно".