

вать знаний о внутреннем устройстве; ограничения для модулей соответствуют их функциональности, модуль тестируется и вводится в эксплуатацию независимо от других систем.

Частотно-регулируемый электропривод с векторным управлением является одним из самых экономичных и надежных электроприводов в мире. Использование как стандартного, так и специального энерго-сберегающего электропривода снижает потребление электричества примерно на 40%. Общий КПД системы может достигать 80...90%, что позволяет снизить потери мощности в среднем на 15–30%. Этот результат является следствием примененных основных инновационных решений:

- редуктор с улучшенными характеристиками;
- новая концепция двигателя – КПД достигает класса IEP (Premium);
- новые электронные компоненты и высокоинтеллектуальные режимы управления двигателем.

Литература

1. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В.М. Терехова. – М.: Изд. центр «Академия», 2005.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2006.
3. Клевцов А.В. Преобразователи частоты для электропривода переменного тока. – Тула: Гриф и К, 2008.
4. Браславский И.Я., Ишиматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / под ред. И.Я. Браславского. – М.: Изд. центр «Академия», 2004.



УДК 621.31:631

С.К. Шерьязов, В.А. Сидоренков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

Представлен анализ составляющих полной мощности, потребляемой электроприемниками с полупроводниковыми преобразователями. Установлено, что действительная мощность на входе данных электроприемников больше и влияет на величину коэффициента активной мощности. Действительный коэффициент активной мощности на входе электроприемника с полупроводниковым преобразователем низкий и зависит от качества конструктивного исполнения и работы преобразователя.

Ключевые слова: электрические цепи, нелинейная нагрузка, активная мощность, коэффициент.

S.K. Sheryazov, V.A. Sidorenkov

DETECTION OF ACTIVE CAPACITY COEFFICIENT IN THE ELECTRIC NETWORK WITH PREVAILING NONLINEAR LOADING

The analysis of the components of the full capacity consumed by electric receivers with semi-conductor converters is presented. It is established that the valid capacity on the entrance of these electric receivers is greater and it influences the size of active capacity coefficient. The valid active capacity coefficient on the electric receiver entrance with the semi-conductor converter is low and also depends on design quality and converter operation.

Key words: electric chains, nonlinear loading, active capacity, coefficient.

Анализ современного состава электроприемников показывает, что все большее распространение получают технологические установки и приборы с полупроводниковыми преобразователями. Данные устройства являются элементами электромагнитной среды, которая состоит из кондуктивно связанных между собой элементов системы электроснабжения, электрооборудования потребителей электрической энергии и некондуктивно связанной окружающей среды.

Известно, что полупроводниковые преобразователи оказывают влияние на показатели качества электроэнергии и главным образом на несинусоидальность формы кривой напряжения. Состав электроприемников электрической энергии с нелинейной характеристикой в значительной мере зависит от типа потребителя.

Наиболее мощными и энергоемкими потребителями являются электролизные установки, для питания которых в большинстве случаев применяются управляемые преобразователи. Вентильные преобразователи относятся к мощным концентрированным источникам высших гармоник тока. В быту широко распространены полупроводниковые преобразователи средней и малой мощности.

Исследованию полупроводниковых преобразователей посвящен ряд научных работ [1–3], где полупроводниковые преобразователи рассматриваются как источники высших гармоник, суммарный ток которых, а следовательно, и поток энергии протекает по направлению от электроприемника к источнику питания. Применительно к технологическим установкам, оснащенным полупроводниковыми преобразователями, выражение для расчета полной мощности имеет вид [3]:

$$S_{\text{мп}}(t) = u(t) \cdot i(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} U_{\text{нк}}(k\omega t) \cdot \sum_{k=0}^{k=\infty} i_k(k\omega t) + \sum_{k=0}^{k=\infty} U_{\text{нк}}(k\omega t) \cdot \sum_{k=0}^{k=\infty} i_k(k\omega t), \quad (1)$$

где $U_{\text{нк}}(k\omega t)$ – мгновенное значение напряжения k -й гармоники на входе преобразователя во время проводящего состояния;

$U_{\text{нк}}(k\omega t)$ – мгновенное значение напряжения k -й гармоники на входе преобразователя во время не проводящего состояния;

$i_k(k\omega t)$ – мгновенное значение тока k -й гармоники на входе преобразователя;

ω – угловая частота гармонических составляющих ряда Фурье.

Полупроводниковые преобразователи характеризуются потребляемой мощностью в проводящем и не проводящем состоянии. Тогда мощность на входе преобразователя может отличаться от мощности на выходе в зависимости от ее рабочего состояния.

Согласно [3], полную мощность на выходе преобразователя в общем виде можно представить как сумму мощностей высших гармоник и постоянной составляющей.

$$S_{\text{вых}} = U_0 \cdot I_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} U_{\text{нк}} \cdot I_k = U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{вых}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{вых}}, I_{\text{вых}}$ – соответственно действующее значение тока и напряжение на выходе преобразователя.

Полупроводниковые преобразователи в не проводящем состоянии потребляют мощность, которую нельзя преобразовать или обеспечить энергообмен. Данная мощность вычисляется по выражению [3,4]

$$\Delta S(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} U_{\text{нк}}(k\omega t) \cdot \sum_{k=0}^{k=\infty} i_k(k\omega t). \quad (3)$$

Мощность ΔS является пассивной составляющей и имеет ряд сходств и отличий от реактивной мощности Q . Так, наличие в электрической сети пассивной мощности ΔS , так же, как и реактивной Q сопряжено с увеличением действующего тока со всеми отрицательными последствиями данного явления. Поскольку пассивная составляющая полной мощности оказывает влияние на величину полного тока, правомерным будет предположение об ее влиянии на величину $\cos \varphi$.

В полупроводниковых преобразователях наблюдается смещение основной гармоники тока из-за сдвига напряжения на выходе относительно основной гармоники напряжения на входе. Данное явление обусловлено тем, что преобразователь задерживает момент включения относительно точки естественной коммутации, что вызывает отставание тока от напряжения.

Вследствие смещения основной гармоники тока возникает мощность сдвига Q_1 , которая проявляется в электрических цепях без реактивных элементов и характеризует процессы обусловленные взаимодействием

вием одинаковых по частоте гармоник тока и напряжения [2,4]. Мощность сдвига можно определить через площадь вольт-амперной характеристики полупроводникового преобразователя [5]:

$$Q_1 = \frac{1}{4\pi} F_{ВАХ}, \quad (4)$$

где $F_{ВАХ}$ – площадь вольт-амперной характеристики полупроводника.

В ходе некоторых исследований [2–6] установлено, что работа полупроводниковых преобразователей характеризуется наличием такой составляющей полной мощности, как мощность искажения T . Она является частью полной мощности и характеризует процессы, обусловленные взаимодействием различных по частоте гармоник тока и напряжения

$$T = U_d \cdot \left(I_0 + \sum_{k=2}^{k=\infty} i(\omega t) \right), \quad (5)$$

где U_d – действующее значение напряжения на зажимах электроприемника;

I_0 – постоянная составляющая тока.

Таким образом, анализ работы электроприемников с полупроводниковым преобразователем показывает на наличие потребляемой мощности, которая не учитывается в традиционно существующей методике. Значит действительная полная мощность, потребляемая электроприемником с полупроводниковым преобразователем, будет больше из-за высших гармонических составляющих и следует ожидать снижение величины коэффициента активной мощности $\cos \varphi$.

Для определения действительной полной мощности, потребляемой электроустановкой с полупроводниковым преобразователем, расчетная формула с учетом уравнения Умова-Пойтинга и выражений (3)–(5) примет вид

$$S' = \sqrt{P^2 + Q^2 + \Delta S^2 + T^2 + Q_1^2}. \quad (6)$$

При работе электроприемников с полупроводниковыми преобразователями действительная полная мощность будет отличаться от расчетного значения, определяемого только по основной частоте. Тогда с учетом особенности работы электроприемников необходимо оценить действительное значение $\cos \varphi$.

Выражение для расчета действительного значения коэффициента активной мощности можно записать как

$$\cos \varphi_d = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + \Delta S^2 + Q_1^2 + T^2}} \cdot \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S'}. \quad (7)$$

Анализ выражения показывает, что действительное значение $\cos \varphi$ будет ниже, чем расчетная величина, определяемая по мощности соответствующей основной частоте. Действительный коэффициент $\cos \varphi$ зависит от значения составляющих полной мощности T , ΔS и Q_1 .

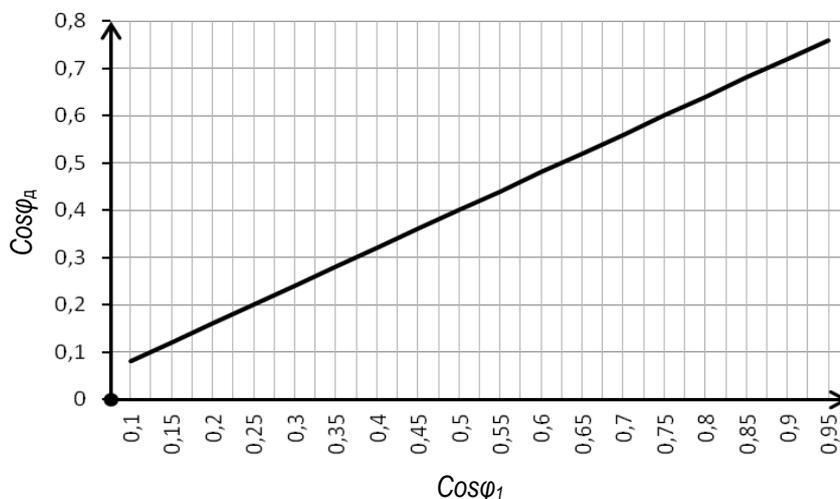
Действительная полная мощность в электрической сети с нелинейной нагрузкой зависит от качества выполнения и работы полупроводникового преобразователя. Составляющие полной мощности T , ΔS и Q_1 зависят от условий работы преобразователя. Тогда, обозначив левую часть произведения как $k_{пр}$, а правую как $\cos \varphi_1$, получим

$$\cos \varphi_d = k_{пр} \cdot \cos \varphi_1, \quad (8)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент показывающий эффективность работы преобразователя;

$\cos \varphi_1$ – коэффициент активной мощности, позволяющий оценить эффективность работы преобразователя на основной частоте.

Коэффициент преобразователя k_{np} зависит от конструкции преобразователя, а так же от способа управления преобразователем или управлением модуляцией на основной частоте, сопровождающейся нелинейными искажениями формы мгновенных значений тока и напряжения в питающей сети [3]. На рисунке приведена зависимость действительного коэффициента активной мощности при $k_{np}=0,8$.



Зависимость действительного коэффициента активной мощности при $k_{np}=0,8$

Анализ полученных результатов показывает, что при наличии электроприемников с нелинейной характеристикой действительное значение коэффициента активной мощности в электрической сети отличается от величины, определяемой по известной методике. Так, при $k_{np}=0,8$ и $\cos\varphi=0,8$ действительное значение коэффициента активной мощности ожидается меньше и составит 0,64.

Таким образом, наличие электроприемников с полупроводниковыми преобразователями снижает качество электроэнергии из-за появления в сети высших гармоник. Недостаточная изученность влияния их на величину коэффициента активной мощности ставит под сомнение правильность показания измерительного комплекса, счетчиков электроэнергии.

Для снижения погрешности измерительного комплекса необходимо учитывать эффективность работы полупроводникового преобразователя в составе электроприемника. Коэффициент k_{np} учитывает влияние высших гармоник тока и напряжения и позволяет определить действительный коэффициент активной мощности нагрузки.

Литература

1. Кучумов Л.А., Кузнецов А.А. Вопросы измерения параметров электрических режимов и гармонических спектров в сетях с резкопеременной и нелинейной нагрузками // Промышленная энергетика. – 2005. – №3.
2. Сулейманов А.О. Реактивная мощность в несинусоидальных режимах однофазной сети // Современная техника и технологии: тр. 8-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – Т.1.
3. Электронные преобразователи для ресурсосберегающих технологий / Т.Л. Алексеева [и др.]. – Иркутск: Изд-во Иргупс, 2010.
4. Effects of Source Voltage Harmonics on Power Factor Compensation in AC Chopper Circuits // Electrical Power Quality and Utilisation. – 2008. – Vol. 13, № 1.
5. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. – М.: Энергия, 1978.
6. Результаты исследования по определению погрешности измерительного комплекса электрической энергии / С.К. Шерьязов [и др.] // Достижения науки – агропромышленному производству: мат-лы междунар. науч.-техн. конф. – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2011. – Ч. 5.