

*Д. Р. Аскеров, В. М. Казакбаев,
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Прези-
дента
России Б. Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕКТОРОВ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В настоящее время в промышленности повсеместно используются вторичные трехфазные источники питания на базе полупроводниковых элементов. Эти устройства при их несомненных преимуществах обладают рядом недостатков: они имеют достаточно высокую стоимость и, кроме того, являются причиной появления высших гармоник тока в питающей сети, что оказывает негативное влияние не только на питающую сеть, но и на других потребителей, ухудшая качество питающей их электро-энергии.

Причиной эмиссии высших гармонических составляющих тока является то, что полупроводниковые вторичные источники питания для сети являются нелинейной нагрузкой: подаваемое напряжение и потребляемый ток имеют различную форму. Так, ток, потребляемый двухзвенными преобразователями частоты (ПЧ) при синусоидальном питании носит импульсный характер (рис 1). В случае различия формы тока и напряжения кривую мгновенной мощности можно разделить на две составляющие: активная мощность и мощность искажений, последняя из которых является аналогом реактивной мощности для такого типа нагрузки [1].

$$S = \sqrt{P^2 + T^2}, \quad (1)$$

где S – полная мощность (ВА);

P – активная мощность (Вт);

T – мощность искажений, которая находится по следующей формуле:

$$T = UI\sqrt{1 - v^2}, \quad (2)$$

где U – питающее напряжение (В);

I – питающий ток (А);

v – коэффициент искажения, который находится по формуле:

$$v = \frac{I_1}{I}, \quad (3)$$

где I_1 – действующее значение тока первой гармоники;

I – действующее значение тока.

Потребление нагрузками мощности искажения вызывает такие нежелательные явления, как увеличение пикового тока питания в линиях электропередачи и ухудшение параметров качества электроэнергии [7] для близкорасположенных потребителей. Данная проблема настолько актуальна, что ограничение эмиссии низкочастотных ($n \leq 40$, где n – номер гармоники) высших гармоник тока в сеть питания, а также эмиссии высокочастотных кондуктивных помех, нормируется международными и российскими государственными стандартами [2, 3].

Для ослабления вредных явлений, связанных с мощностью искажений, применяют корректоры коэффициента мощности (ККМ). Корректором коэффициента мощ-

ности называют дополнительную схему, которая включается в состав электронного источника питания с целью снижения или полного подавления высших гармоник тока. На рынке вторичных источников питания ряд ведущих производителей (ABB, EMERSON, Digi-key, Farnell) выпускает преобразователи частоты со встроенным ККМ, а также ККМ в виде отдельных универсальных модулей.

Различают ККМ двух видов: пассивные (англ. Passive Power Factor Correction, PFC) и активные (англ. Active Power Factor Correction, APFC) [4]. Пассивные ККМ могут иметь различные типы: индуктивность на стороне переменного тока (rectifier with AC-side inductor), индуктивность на стороне постоянного тока (rectifier with DC-side inductor), последовательно-резонансный полосовой фильтр (rectifier with series-resonant band-pass filter), параллельно-резонансный полосно-заграждающий фильтр (rectifier with parallel-resonant band-stop filter), фильтр ловушка (rectifier with harmonic trap filter) и дополнительная индуктивность с конденсатором и диодом (rectifier with an additional inductor, capacitor and diode). Аналогично пассивным корректорам активные ККМ делятся на коррекцию коэффициента мощности при малой частоте и при высокой частоте. Последние классифицируются на понижающие преобразователи (buck converter), повышающие преобразователи (boost converter), преобразователи, которые могут выполнять функцию как понижения, так и повышения (buck-boost converter) и PWM выпрямители (PWM rectifier).

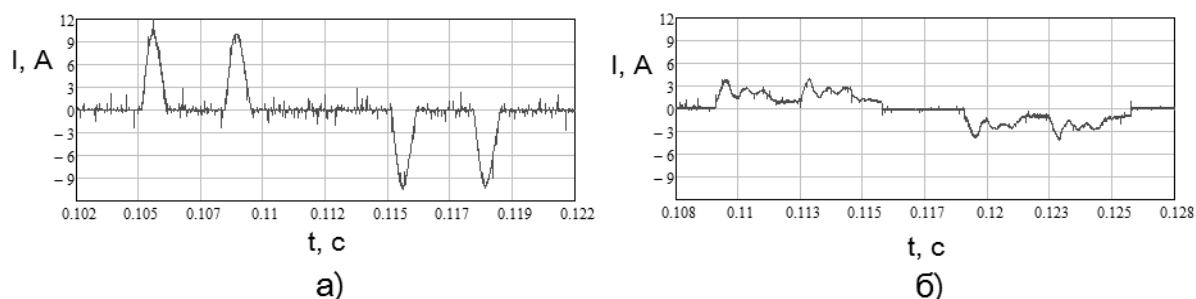


Рис. 1. Графики фазного тока на входе ПЧ: а) без ККМ; б) с ККМ

Наибольшее распространение получили пассивные корректоры, которые по сравнению с активными ККМ имеют меньшую стоимость, не содержат преобразователей напряжения, и потому не создают пульсаций с частотой коммутации. Отрицательной стороной использования пассивных корректоров является некоторое снижение КПД установки. Простейшим пассивным корректором является дроссель с большой индуктивностью, включенный последовательно с питаемой нагрузкой. Дроссель выполняет сглаживание импульсного потребления нагрузки и выделение основной гармоники потребления тока.

В данной работе рассматривается вопрос: насколько технически оправдана комплектация ПЧ со встроенным ККМ. Для реализации этой цели было проведено экспериментальное исследование параметров тока, потребляемого двумя различными ПЧ класса напряжения 400 В с токопотреблением менее 16 А. Один из них – это ПЧ со встроенным ККМ (KSB PumpDrive S 5000K75AH0SA2), второй ПЧ – без ККМ (Emerson M701-034 00031 A). В качестве нагрузки преобразователей использовался двигатель с номинальной мощностью 750 Вт, который работал в номинальном нагрузочном режиме. При помощи датчиков тока (HX 06-P, класс точности 1 %) и напряжения (LV 25-P/SP5, класс точности 0,8 %) фиксировались показания по трем фазам на входе ПЧ. Полученные графики фазного тока для двух рассматриваемых ПЧ показаны на рисунке. 1. Анализируя эти графики, можно заме-

титель, что использование ККМ на входе ПЧ позволило значительно снизить пиковую величину тока в питающей фазе.

Для временных графиков тока (рисунок 1) с целью проверки рассматриваемых систем электропривода на соответствие требованиям [2] был также выполнен гармонический анализ (разложение в ряд Фурье), результаты которого отражены на рисунке 2 и в таблице.

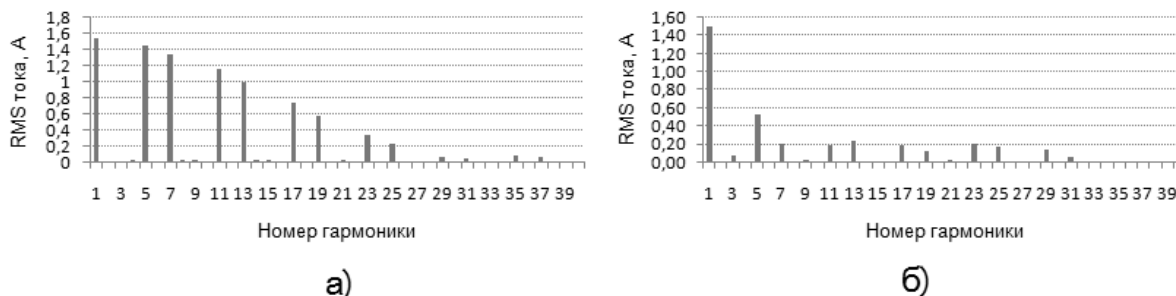


Рис. 2. Гармонический состав тока на входе ПЧ: а) без ККМ; б) с ККМ

Гармонический анализ потребляемого тока

Таблица

№ гармоники	RMS гармоники тока для ПЧ без ККМ, А	RMS гармоники тока для ПЧ с ККМ, А	Максимально допустимая RMS гармоники тока, согласно [2], А
1	1,530	1,50	—
5	1,460	0,54	1,140
7	1,340	0,21	0,770
11	1,170	0,20	0,330
13	0,990	0,24	0,210
17	0,748	0,20	0,132
19	0,576	0,13	0,118

При сравнении полученных величин гармонических составляющих тока обоих преобразователей частоты (таблица) можно заключить, что обозначенные [2] максимально допустимые значения гармоник не соблюдаются как для ПЧ без ККМ, так и для ПЧ с ККМ. Следует отметить, что величины гармоник преобразователя без ККМ, например, величина гармоники № 7 или № 11, превышают допустимые нормы, в то время как ПЧ с ККМ имеет значения тех же гармоник меньше установленных [2], однако начиная с гармоники № 13 последний также превышает регламентированные в стандарте нормы.

Также для двух рассматриваемых ПЧ был рассчитан общий коэффициент мощности:

$$\chi = \frac{P}{S}, \quad (4)$$

где χ - коэффициент мощности;

P – активная мощность;

S – полная мощность.

При значениях потребляемой активной мощности 1064 Вт для ПЧ без ККМ и 1037 для ПЧ с ККМ (некоторое различие в величине активной мощности объясняется различным КПД преобразователей) величины полной мощности различаются примерно в два раза и составляют соответственно 2123,8 ВА и 1165,8 ВА. Значение коэффициента мощности составляет 0,501 и 0,89 соответственно. Видно, что использование ККМ позволило существенно повысить коэффициент мощности на входе ПЧ и почти в два раза снизить нагрузку по полной мощности на сеть, питающую преобразователь.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы. Эмиссия высших гармоник тока вызывает значительное вредное воздействие на потребителей, расположенных близко к источнику эмиссии (преобразователь частоты). Чем меньше величина этой эмиссии, тем меньшее негативное влияние на параметры качества электроэнергии [7] соседних потребителей оказывает такая нагрузка. Несмотря на то, что оба рассмотренных в данной работе преобразователя не удовлетворяют в полной мере нормам эмиссии высших гармоник, согласно [2], из полученных экспериментальных результатов можно сделать вывод о значительном улучшении параметров электромагнитной совместимости (ЭМС) в случае ПЧ с ККМ. Кроме того, для достижения соответствия входа ПЧ с ККМ нормам ЭМС понадобится менее дорогостоящий и габаритный внешний фильтр, чем для ПЧ без ККМ.

В целом при оценке рациональности использования ПЧ со встроенным корректором коэффициента мощности необходимо учитывать следующие факторы:

1) несмотря на более высокую стоимость ПЧ с корректором коэффициента мощности, использование ККМ является эффективной мерой улучшения качества электроэнергии в сетях предприятия, которая также позволяет снизить уровень потребления высших гармонических составляющих тока и значительно уменьшить полную мощность, загружающую сеть предприятия;

2) проблема повышения коэффициента мощности электропривода с полупроводниковыми источниками питания имеет высокую актуальность, которая обусловлена как имеющимися нормами электромагнитной совместимости, так и потребностью потребителей в электроэнергии с высокими параметрами качества.

Список использованных источников

1. Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника: учеб. для вузов / под ред. В. А. Лабунцова. М.: Энергоатомиздат, 1988. 320 с.
2. ГОСТ Р 51317.3.2–2006 (МЭК 61000-3-2:2005). Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе).
3. ГОСТ Р 51318.14.1-2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Бытовые приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства. Радиопомехи промышленные.
4. Power Factor Correction (PFC). ON semiconductor: Handbook. HBD853/D. Rev. 3. September, 2007.
5. Схемотехника однофазных корректоров коэффициента мощности / Климов В. П., Федосеев В. И. // Практическая силовая электроника 2002 № 8, с. 320 с.
6. Жданкин В. Коррекция гармоник входного тока в маломощных сетевых источниках питания // Современные технологии автоматизации СТА, 1998.
7. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.