

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. В. Горицкий

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Т. В. Алферова

Современные системы управления электроприводами используют преобразовательные установки, вентильные и частотно-управляемые двигатели. При этом в токе и напряжении в цепи питания двигателей содержатся высшие гармонические составляющие. Они образуют в системе прямую (1, 4, 7-я и т. д.), обратную (2, 5, 8-я и т. д.) и нулевую (гармоники кратные трем) последовательности. Суммируясь с основной гармоникой, высшие гармоники вызывают повышение действующего значения напряжения на зажимах электроприемников.

Отрицательное воздействие высших гармоник на показатели работы асинхронных двигателей (АД) заключается в том, что они помимо изменения механических характеристик вызывают дополнительные потери. Принято считать, что механические характеристики (коэффициент мощности, вращающий момент) даже при увеличении коэффициента искажения формы кривой напряжения до 10–15 % изменяются незначительно [1]. Однако распределение потерь в АД при этом характеризуется следующими показателями [2]: обмотки статора – 14 %; цепь ротора – 41 %; торцевые зоны – 19 %; асимметричные пульсации – 26 %.

Из приведенных данных видно, что наиболее уязвимой частью является цепь ротора, т. е. от высших гармоник в большей степени перегревается ротор.

Влияние высших гармоник (ВГ) на механические характеристики АД заключается в появлении в статоре движущих сил, создающих на валу вращающие моменты в направлении вращения ротора или в обратном направлении в зависимости от номера гармоники [3]. Результирующий момент на валу АД при этом определяется суммой моментов от всех гармоник по всей характеристике.

Гармоники напряжения и тока приводят к дополнительным потерям в обмотках статора, в цепях ротора, а также в стали статора и ротора. Потери в проводниках статора и ротора при этом больше, чем определяемые омическим сопротивлением из-за вихревых токов и поверхностного эффекта. Токи утечки, вызываемые гармониками в торцевых зонах статора и ротора, приводят к дополнительным потерям. В случае АД со скошенными пазами и пульсирующими магнитными потоками в статоре и роторе высшие гармоники вызывают дополнительные потери в стали. Значение этих потерь зависит от угла скоса пазов и характеристик магнитопровода.

Ток гармоники в статоре машины вызывает движущую силу, приводящую к появлению на валу вращающихся моментов в направлении вращения магнитного поля гармоники. Поэтому вращающиеся моменты, создаваемые гармониками, образующими прямую последовательность, совпадают с направлением вращения ротора, а образующими обратную последовательность направлены противоположно. Вращающиеся моменты, создаваемые гармониками, весьма малы, кроме того, они частично компенсируются вследствие различного направления, поэтому влияние их на средний момент пренебрежимо мало. Вместе с тем они могут привести к значительным вибрациям вала.

Влияние формы кривой напряжения на потери в АД показано в [4] на примере двигателя мощностью 16 кВт, работающего с полной нагрузкой при частоте сети 60 Гц и номинальном напряжении. При синусоидальной форме кривой напряжения полные потери составили 1,303 кВт, а при квазипрямоугольной форме – 1,6 кВт. Следует отметить, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения при квазипрямоугольной форме составляет примерно 100 %, что является недопустимым в системах электроснабжения общего назначения в соответствии с ГОСТ 32144.

Известно [5], что на промышленных предприятиях перегрев асинхронных двигателей в сетях с большим уровнем высших гармоник (с коэффициентом искажения синусоидальности напряжения в 10–15 %) не наблюдается ни при номинальной нагрузке, ни при нагрузке меньше номинальной.

Воздействие ВГ на вращающиеся машины во многом идентично воздействию несимметрии напряжений и токов. Они вызывают дополнительные потери в обмотке и стали статора. Кроме того, присутствие в кривой тока статора ВГ приводит к появлению в зазоре несинхронных магнитных полей, перемещающихся относительно ротора. При этом ВГ 5 и 11-го порядков создают поля обратной последовательности, вращающиеся относительно ротора в противоположном направлении, а составляющие 7 и 13-го порядков создают поля прямой последовательности. Однако, поскольку частота их вращения выше частоты вращения ротора с кратностью порядка гармоники, поля обеих последовательностей наводят на контурах ротора токи повышенной частоты, которые протекают в верхних слоях массивных частей ротора и, замыкаясь по его торцам, вызывают местные перегревы [6].

Частотный привод является одним из распространенных типов регулируемого электропривода. Регулирование частоты вращения в этом случае осуществляется при помощи тиристорных преобразователей частоты, которые могут быть выполнены в виде автономных инверторов, осуществляющих преобразование постоянного тока в переменный, и преобразователей с непосредственной связью, преобразующих переменный ток одной частоты в ток другой частоты посредством переключения встречно-параллельно соединенных силовых вентилях [5].

Преобразователи частоты имеют контур обратной связи постоянного тока с входным преобразователем на стороне питания и выходной преобразователь (обычно функционирующий как инвертор) на стороне нагрузки. И в конфигурации преобразования напряжения и тока контур постоянного тока имеет фильтр, который развязывает ток или напряжение по питанию от выходного. Но, поскольку идеальных фильтров просто не существует, все равно некая связь остается. В результате компоненты тока, связанные с нагрузкой, присутствуют и в связующей цепи постоянного тока и, соответственно, передаются на сторону питания. Эти компоненты по отношению в основной частоте являются субгармониками и интергармониками [7].

Гармонические искажения создаются самим преобразователем частоты ввиду особенностей его конструкции и принципа действия. Выпрямитель преобразователя частоты создает пульсирующее напряжение постоянного тока. При каждом пике

этого напряжения происходит заряд конденсатора в промежуточной цепи постоянного тока. Во время заряда этого конденсатора возникают входные токи со сравнительно большой амплитудой. Ввиду такой несинусоидальной нагрузки происходит искажение синусоиды напряжения питания, причем степень искажения зависит как от величины токовой нагрузки, так и от импеданса сети. Возникающие при этом помехи сети питания представляют собой высокочастотные составляющие – гармоник (обычно 3, 5, 7 и 9-я гармоники) основной частоты питающего напряжения (50 Гц).

Асинхронные электродвигатели, на которых установлены преобразователи частоты, также могут быть источником интергармоник из-за щелей между металлом в роторе и статоре, особенно при насыщении магнитного контура (так называемые щелевые гармоники). При постоянной скорости вращения частоты возмущающих компонентов обычно находятся в пределах 500–2000 Гц, но в период пуска и разгона двигателя их значения могут быть шире. Естественные элементы асимметрии конструкции электропривода (отклонения от детальных чертежных геометрических размеров, несоосность, например) могут также являться причиной возникновения интергармоник (рис. 1).

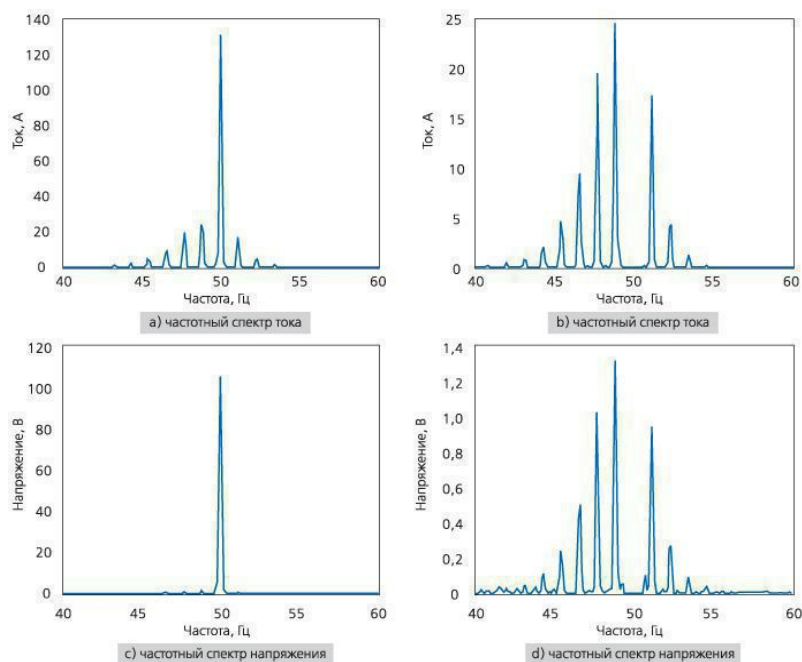


Рис. 1. Результаты спектроизмерения фаз тока и напряжения электродвигателя на его разьемах: *a, c* – полный спектр; *b, d* – спектр с исключенной основной частотой

Таким образом, проблема влияния высших гармонических составляющих на работу АД весьма актуальна. Поэтому в данной работе планируется получить экспериментальные данные и оценить степень влияния высших гармоник на вибрацию асинхронного двигателя.

Литература

1. Управление качеством электроэнергии / И. И. Карташев [и др.] ; под ред. Ю. В. Шарова. – М. : Издат. дом. МЭИ, 2008. – 354 с.
2. Донской, Н. В. Асинхронный двигатель в системах автоматического управления / Н. В. Донской. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. – 284 с.

3. Немцев, Г. А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей / Г. А. Немцев, Е. А. Селезнев, Л. А. Шестакова // Вестн. Чуваш. ун-та. – 2014. – № 2. – С. 46–51.
4. Klingshirn, E. A. Polyphase induction motor performance and losses on non-sinusoidal voltage sources / E. A. Klingshirn, H. E. Jordan // IEEE Trans. – 1968. – Vol. PAS-87. – P. 624–631.
5. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
6. Шидловский, А. К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. – Киев : Навукова думка, 2005. – 209 с.
7. Интергармоники (Interharmonics) / Збигнев Ханзелка, Анжей Бьень. – 2005. – Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3107. – Дата доступа: 11.03.2017.