

*Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, А.В. Николенко, канд. техн. наук, В.В. Кузнецов  
(Украина, Днепрпетровск, Национальная металлургическая академия Украины)*

## **О ВЛИЯНИИ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

### **Введение**

Негативное влияние некачественного питающего напряжения на показатели электромеханических систем хорошо известно [1,2]. В асинхронном электроприводе при наличии несинусоидальности и(или) несимметрии питающего напряжения появляются пульсации момента, развиваемого двигателем, повышается вибрация, приводящая к снижению надежности агрегата. Кроме того, наблюдается увеличение внутренних потерь, что отрицательно сказывается на энергетических показателях установки. Асинхронные двигатели малой и средней мощности (до 100 кВт), как правило, работают в составе нерегулируемого привода вспомогательных производственных механизмов. Установка частотных преобразователей для регулирования их производительности, безусловно, является решением проблемы некачественности питающего напряжения, однако в большинстве случаев она экономически нецелесообразна.

Между тем, количество таких приводов и доля потребляемой ими энергии в процессе производства довольно велики. Вследствие этого меры по энергосбережению в таких агрегатах, а тем более не требующие значительных материальных затрат, будут иметь существенный экономический эффект. Учитывая, что ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» нормирует как интегральные показатели несинусоидальности (коэффициент искажения питающего напряжения), так и коэффициенты каждой гармонической составляющей [3], то задачами исследований стали анализ влияния последних на энергетические показатели асинхронного электродвигателя и разработка мероприятий по их повышению.

### **Результаты исследований**

Для исследования влияния некачественного напряжения проведено моделирование работы электродвигателей с номинальным напряжением 380 В в диапазоне мощностей 0,75 – 250 кВт. Использована модель АД, позволяющая оценивать энергетические и динамические показатели при произвольно заданной форме напряжения питания [4].

В качестве основных оценочных показателей качества работы электродвигателя приняты составляющие потребляемой мощности (активная  $P$ , реактивная  $Q$  и полная  $S$ ), КПД, коэффициент мощности, уровни пульсаций тока

статора и момента. При исследовании влияния высших гармоник задавалось питание для одной из них (вплоть до 15-й) и основной.

Действующее значение высшей гармоники задавалось на уровне 10%-ного номинального напряжения двигателя. Для удобства проведения сравнительного анализа результаты исследований представлены в относительных единицах. При этом за базовую величину каждого показателя (P, Q, S и т.д.) приняты значения, соответствующие идеальному напряжению питания. На рис. 1 в качестве примера изображена гистограмма изменения исследуемых параметров от номера гармонической составляющей для двигателя мощностью 7,5 кВт.

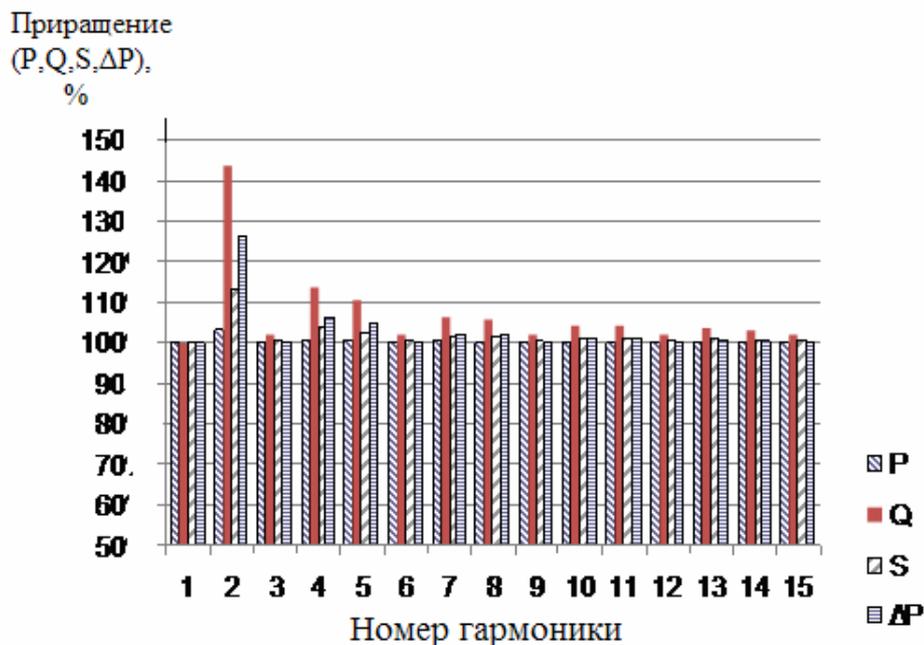


Рис.1 Гистограмма изменения основных энергетических показателей двигателя мощностью 7,5 кВт при наличии соответствующих высших гармоник в его питании

Учитывая, что исследовались двигатели с соединением обмоток статора в звезду при отсутствии нулевого провода (как наиболее распространенный способ подключения обмоток АД в промышленности); кратные трем гармоники, образующие нулевую последовательность напряжения, не вызывали изменения исследуемых энергетических параметров, поскольку они отсутствуют в спектрах токов. Это связано с тем, что для указанных гармоник при отсутствии нулевого провода нет цепи для протекания.

В остальных случаях наличие в спектре питающего напряжения дополнительной гармоники приводит к росту составляющих потребляемых мощностей и суммарных потерь. В процентном соотношении наибольший прирост происходит по реактивной мощности, т.е. появление высших гармоник ухудшает коэффициент мощности двигателя, как это показано на рис. 2 для двигателя той же мощности.

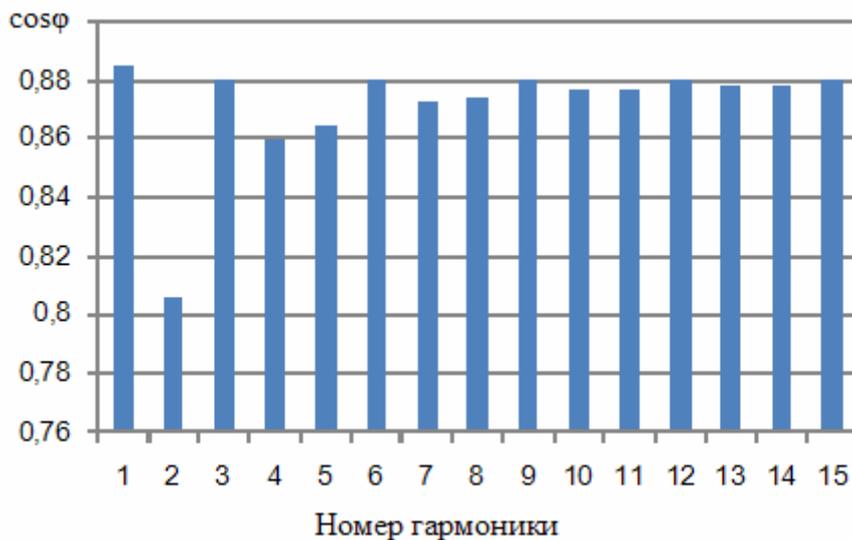


Рис. 2. Гистограмма коэффициента мощности двигателя 7,5 кВт при наличии в питающем напряжении соответствующих дополнительных гармоник

В целом анализ полученных данных показывает, что для двигателей в исследуемом диапазоне мощностей влияние высших гармоник снижается с ростом их частоты. Это объясняется тем, что обмотки АД являются естественным индуктивным фильтром, реактивное сопротивление которого возрастает с частотой. С увеличением номера гармоники в питающем напряжении при постоянстве ее амплитуды среднеквадратическое значение той же гармоники тока падает. Это справедливо также для пульсаций развиваемого момента. На рис. 3 изображены гистограммы указанных параметров для двигателя мощностью 22 кВт.

Наиболее негативное действие на энергетические показатели двигателя и пульсации момента оказывает та же вторая гармоника. Это связано с двумя факторами. Первый, как уже было отмечено, вызван малым сопротивлением обмоток гармоникам тока низкой частоты. При этом в случае постоянства амплитуды доля участия второй гармоники всегда будет больше, чем, например, четвертой. Следующий фактор связан с тем, что составляющие токов второй

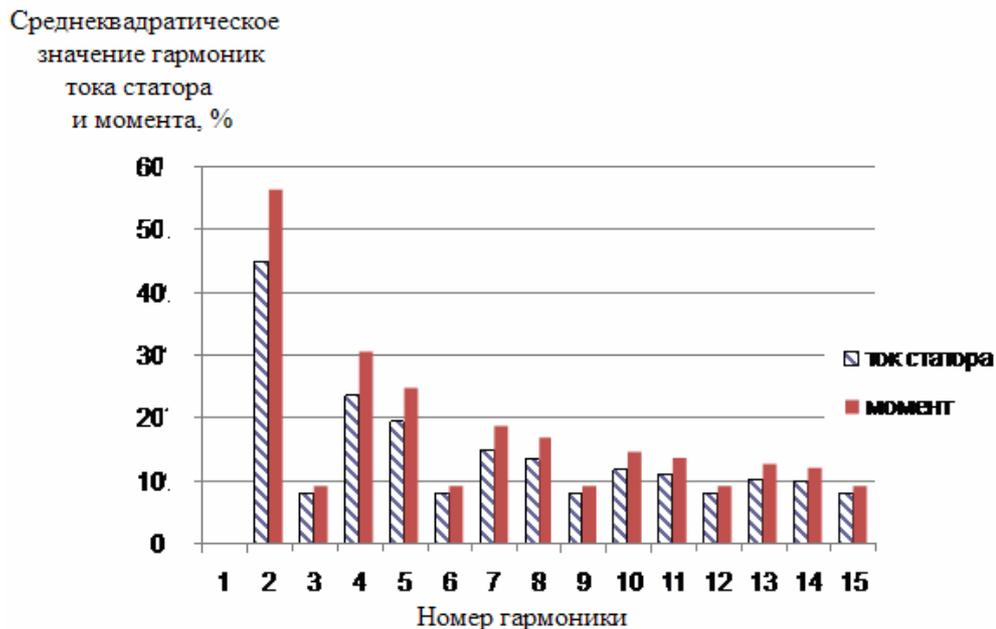


Рис. 3. Гистограммы изменения среднеквадратического значения гармоник тока статора и момента, развиваемого двигателем мощностью 22 кВт с ростом номера гармоники (в % от соответствующих номинальных значений)

гармоники образуют обратную последовательность и таким образом негативно влияют на момент двигателя. Гармоники седьмого порядка и выше некоторым образом сказываются на пульсациях момента АД, однако практически не влияют на его энергетику. Кроме того установлено, что с ростом номинальной мощности снижается «чувствительность» двигателя к высшим гармоникам.

По полученным данным построены аппроксимирующие кривые (рис. 4), подтверждающие, что с ростом мощности двигателя приращение потерь, обусловленных гармоническими составляющими, снижается.

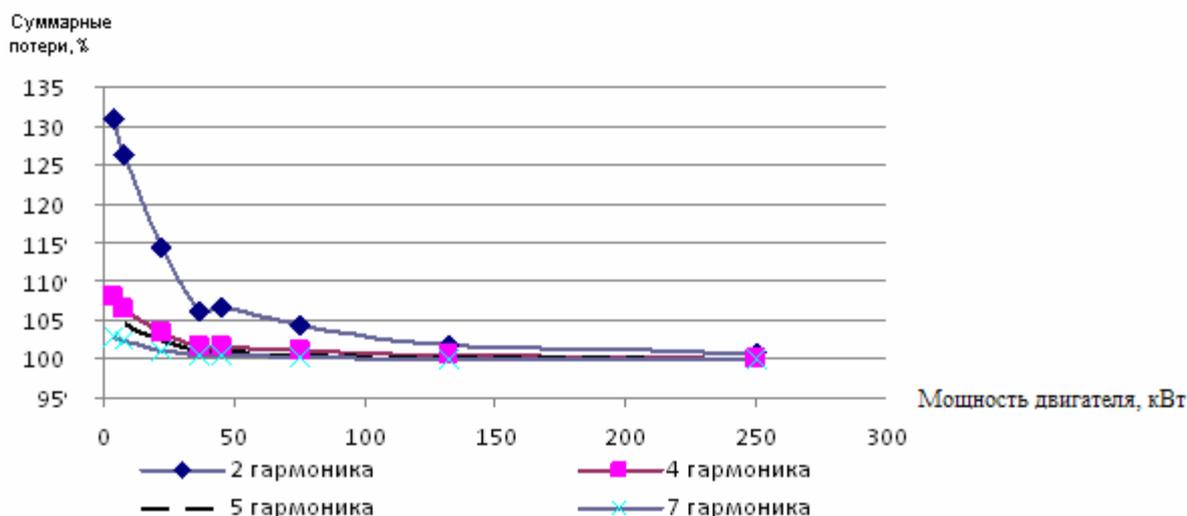


Рис.4. Аппроксимированные кривые суммарных потерь от гармонических составляющих в зависимости от мощности двигателя

Кроме того, для каждой исследуемой гармоники было изучено влияние ее начальной фазы (при постоянстве амплитуды) на энергетические показатели и пульсации момента. Однако полученное изменение показателей не превышает десятых долей процента даже для второй гармоники. В результате можно утверждать, что начальные фазы гармоник практически не влияют на изменение регистрируемых показателей АД.

## Выводы

1. При наличии в питании АД дополнительных гармоник больше всего изменяется уровень потребляемой реактивной мощности (падает коэффициент мощности).

2. С ростом номера гармоники ее действие на все энергетические показатели и уровень пульсаций момента уменьшается. Это связано с ростом индуктивного сопротивления обмоток АД при повышении частоты гармоники.

3. Наиболее негативное воздействие на энергетику и пульсации момента АД оказывает вторая гармоника.

4. Начальная фаза гармоники практически не влияет на показатели АД.

5. С ростом номинальной мощности двигателя снижается его чувствительность к наличию в напряжении питания высших гармоник.

Указанные обстоятельства определяют приоритеты исследований в области энергоэффективности асинхронных двигателей, работающих в условиях некачественного питания. Очевидно, что необходимо подавлять вторую гармонику тока статора. Это существенно улучшит энергетические показатели АД и снизит пульсации момента. Также следует учитывать повышенное влияние некачественного питающего напряжения на энергетику двигателей малой мощности. Суммарная мощность, потребляемая такими двигателями, превышает мощность больших агрегатов, а значит, наличие высших гармоник в питающей сети приводит к повышенным потерям именно в этих двигателях.

## Список литературы

1. О технико–экономической целесообразности работы асинхронных двигателей в сетях с некачественной электроэнергией. / Ю.Г. Качан, А.В. Николенко, В.В. Кузнецов, В.Б. Траппер. // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. — 2008. — Вип.80. — С.58-62.

2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 257 с.

3. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. — К.: Изд-во стандартов, 1998. — 15 с.

4. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. Реализация модели асинхронного двигателя для условий некачественного питания // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. — 2009. — №3. — С. 56-58.

5. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. Моделирование асинхронного двигателя для условий некачественного питания. Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах. // Материалы междунар. науч.–техн. конф. — Севастополь, 2009. — С. 55-56.

