

УДК 621.313

О. Н. Парфенович, канд. техн. наук, И. В. Соколов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ АСИНХРОННЫХ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В статье приведены результаты исследования эмиссии гармонических составляющих тока при работе электроприводов, построенных по системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором».

В последние годы все более остро встает вопрос рационального потребления электроэнергии. Для решения этой проблемы все чаще производят замену морально устаревших электроприводов современными электроприводами на базе частотных преобразователей. Так, согласно [1] применение регулируемого асинхронного электропривода в насосных и вентиляторных установках дает следующие преимущества:

- экономию электроэнергии (до 50 %);
- снижение аварийности гидравлической или пневматической сети за счет поддержания минимально необходимого давления;
- снижение аварийности сети и самого агрегата за счет возможности применения плавного пуска;
- повышение надежности и снижение аварийности электрооборудования за счет устранения ударных пусковых токов;
- снижение уровня шума, создаваемого установкой;
- удобство автоматизации.

Относительно невысокие требования к качеству регулирования давления и расхода в электроприводах нагнетателей обуславливают возможность применения для них относительно простых и недорогих силовых преобразователей.

Наряду с достоинствами силовые полупроводниковые преобразователи обладают таким недостатком, как ухудшение электромагнитной обстановки, а именно, засорение питающей сети высшими гармониками тока. Поэтому при внедрении того или иного преобразователя в электропри-

воде особое внимание следует уделить его электромагнитной совместимости (ЭМС). К настоящему времени нормативная база, регламентирующая нормы ЭМС, например, на территории Республики Беларусь, приведена в соответствие с рекомендациями МЭК. ГОСТы в области ЭМС можно разделить на группы:

1) стандарты, накладывающие ограничения на низкочастотные помехи, передаваемые от источника ЭМС в питающую сеть;

2) стандарты, накладывающие ограничения на радиопомехи, передаваемые от источника ЭМС в радиочастотном диапазоне;

3) стандарты, определяющие устойчивость оборудования к внешним помехам.

Важную роль при внедрении полупроводниковых преобразователей играют стандарты первой группы.

СТБ ГОСТ Р 51317.3.2–2001 [2] накладывает ограничения на максимально допустимое значение гармонических составляющих тока (от 2 до 40 гармоник).

При проведении экспериментальных исследований по измерению гармонического состава тока, потребляемого системой «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» (ПЧ–АД) было доказано, что применение данных электроприводов ухудшает электромагнитную обстановку в плане эмиссии гармонических составляющих тока.

Исследование эмиссии гармонических составляющих тока, вызванной ра-

ботой системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» (ПЧ–АД), проводилось на испытательном стенде и при помощи математической модели в

среде MATLAB.

На рис. 1 приведена функциональная схема испытательного стенда.

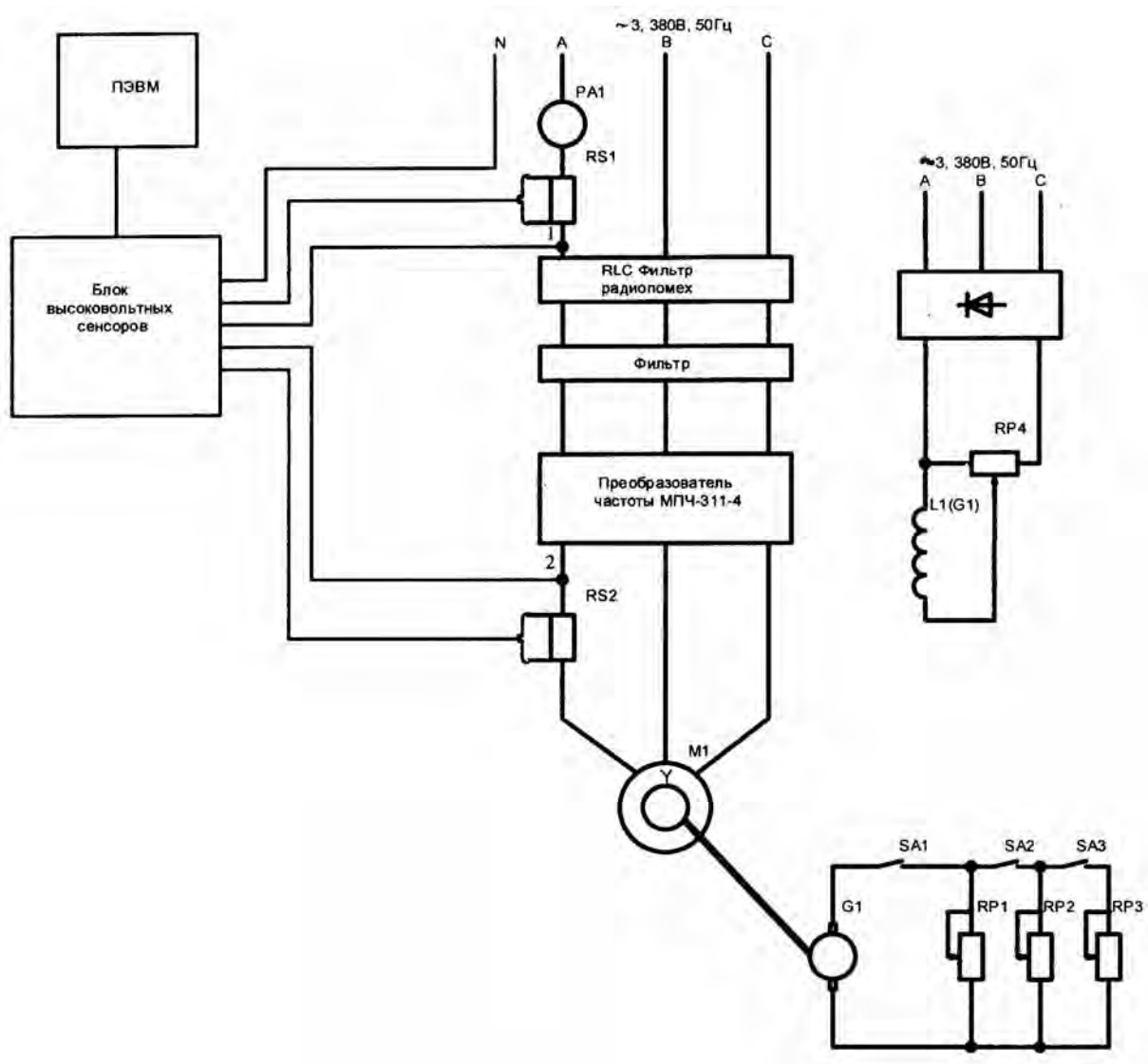


Рис. 1. Функциональная схема испытательного стенда для исследования низкочастотных помех

Стенд для исследования низкочастотных помех, вызванных работой частотного преобразователя на базе инвертора напряжения, построен на базе преобразователя частоты МПЧ–311–4 производства СП «Силект» (г. Брест), работающего на асинхронный электродвигатель АИР100 L4У3 (M1).

На входе электропривода в фазу А включается шунт RS1 (ГОСТ 14265–79), с которого при помощи блока высоковольтных сенсоров (производства ООО «Стрим» (г. Могилев)) снимается сигнал, пропорциональный току и повторяющий его. Между преобразователем и электродвигателем включается

шунт RS2, который предназначен для получения информации о токе между преобразователем частоты (ПЧ) и асинхронным электродвигателем М1. В процессе опытов снимались сигналы напряжения между точкой 1 и нулем, точкой 2 и нулем, точками 1 и 2.

Исследования эмиссии гармонических составляющих тока проводились согласно [2]. Для получения полноты картины эмиссии гармонических составляющих тока измерения проводились на холостом ходу электродвигателя, при моменте нагрузки, равном половине номинального момента, и при номинальной нагрузке на валу электродвигателя. В качестве нагрузки был использован генератор постоянного тока П-52 (G1), якорная цепь которого была замкнута на мощные реостаты. Применение трех реостатов позволило обеспечить широкий диапазон изменения нагрузки испытуемой системы.

Исследования эмиссии гармонических составляющих тока при работе системы ПЧ-АД проводились при следующих частотах питающего напряжения: 12,5; 25; 37,5; 50 Гц. Таким образом, для получения наиболее полной информации о картине ЭМС было проведено 12 опытов. Исследования проводились в установившемся режиме работы.

Некоторые фирмы-производители силового оборудования (например, «Сименс») утверждают, что для систем ПЧ-АД с установленной мощностью до 4 кВт (включительно) установка фильтрующих элементов не требуется. Для проверки этого утверждения эксперимент был проведен повторно, но уже без фильтров, установленных на входе электропривода.

Данные о токах и напряжениях в контрольных точках при помощи блока высоковольтных сенсоров заносились в ПЭВМ, где при помощи программ StrimServer и CANMonitor обеспечивалась первичная обработка данных. Далее, после конвертации, данные о токах и напряжениях обрабатывались на ПЭВМ при помощи пакета MATLAB 6.5. Для обработки данных в пакете MATLAB 6.5 была разрабо-

тана модель анализатора спектра. Обработка данных в пакете MATLAB 6.5 позволила обойтись без дорогостоящего оборудования, такого как анализатор спектра.

После разложения исходного сигнала тока в ряд Фурье и выделения гармонических составляющих тока, стало очевидно, что система электропривода на базе ПЧ-АД без фильтрующих элементов в значительно большей степени загрязняет питающую сеть высшими гармоническими составляющими тока. Следовательно, можно сделать вывод, что эмиссия гармонических составляющих тока растет с уменьшением частоты выходного напряжения. В ряде случаев гармоники 5 и 7, а также гармоники 16–39 превышают нормы. Кроме того, применение фильтра, идущего в комплекте с преобразователем частоты, не оказывается достаточно эффективным.

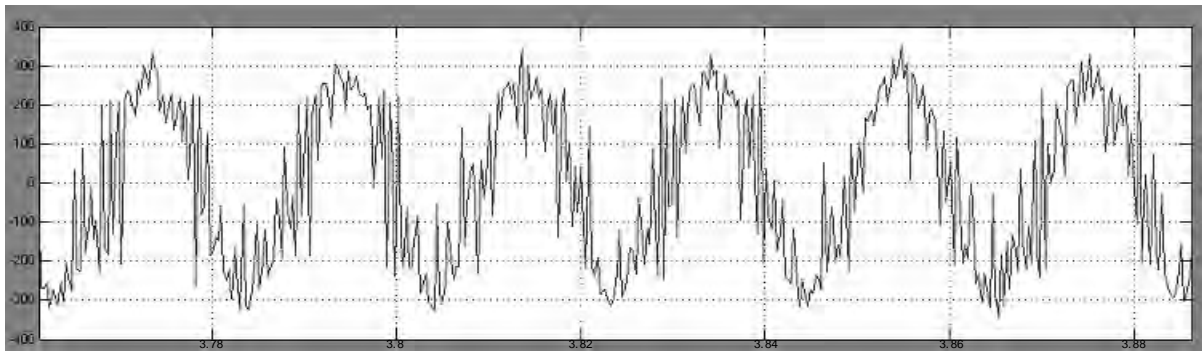
Таким образом, результаты эксперимента подтверждают утверждения, сделанные в [3], о том, что наиболее выраженными высшими гармоническими составляющими в выходном напряжении ПЧ будут гармоники 5 и 7, а также о том, что «в процессе регулирования при уменьшении выходного напряжения гармоники 5, 7, 11, 13 приближаются к основной, что искажает форму напряжения и тока и приводит к увеличению потерь» [3].

На рис. 2 приведены кривые токов и напряжений.

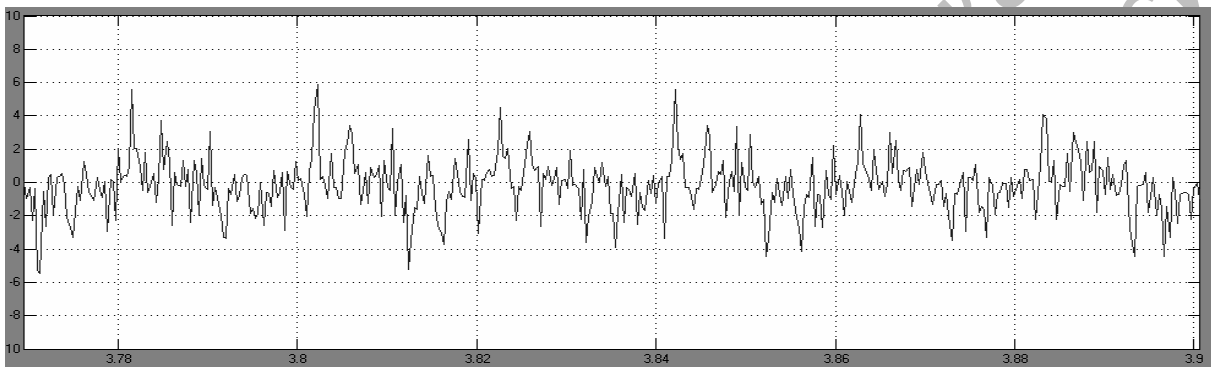
На рис. 3–8 приведены результаты разложения тока, потребляемого ПЧ, в ряд Фурье.

Из рисунков очевидна необходимость более тщательного и детального подхода к ЭМС при применении систем с частотно-регулируемым электроприводом. Очевидно возникновение ситуации, когда поставляемых комплектно фильтров недостаточно, чтобы обеспечить ЭМС. Соответственно при установке таких электроприводов необходимы дополнительные мероприятия по улучшению ЭМС, что влечет за собой дополнительные затраты.

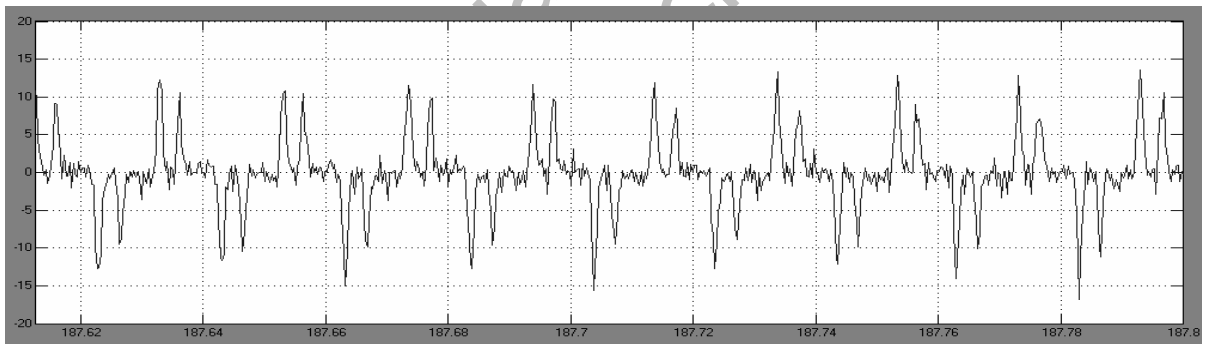
а)



б)



в)



г)

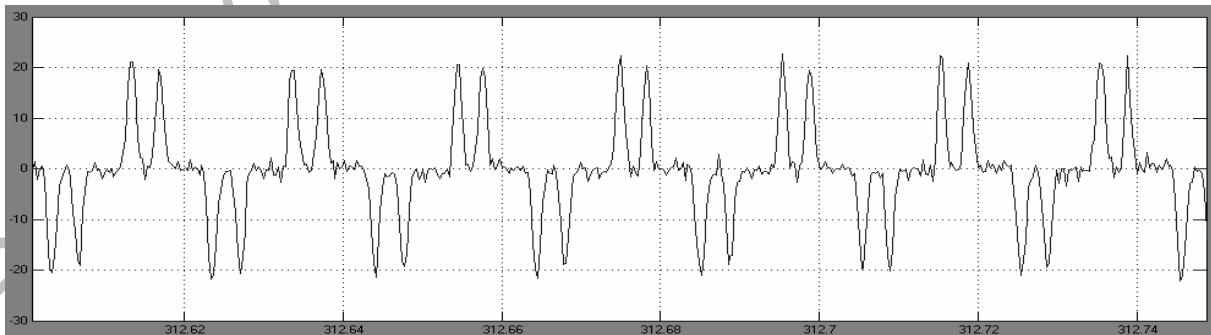


Рис. 2. Кривые напряжения фазы А после ПЧ (а), тока фазы А в режиме холостого хода (б), тока фазы А при $M_c = 0,5 M_n$ (в), тока фазы А при $M_c = M_n$ (г)

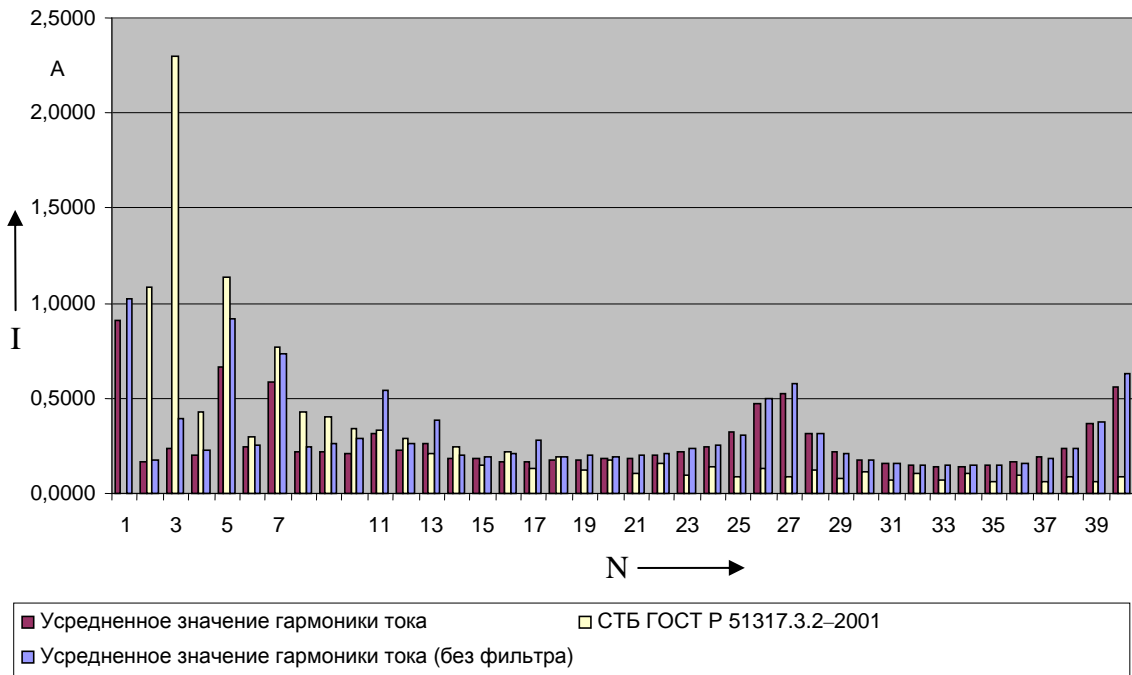


Рис. 3. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ–АД (50 Гц, холостой ход): N – номер гармоники; I – ток

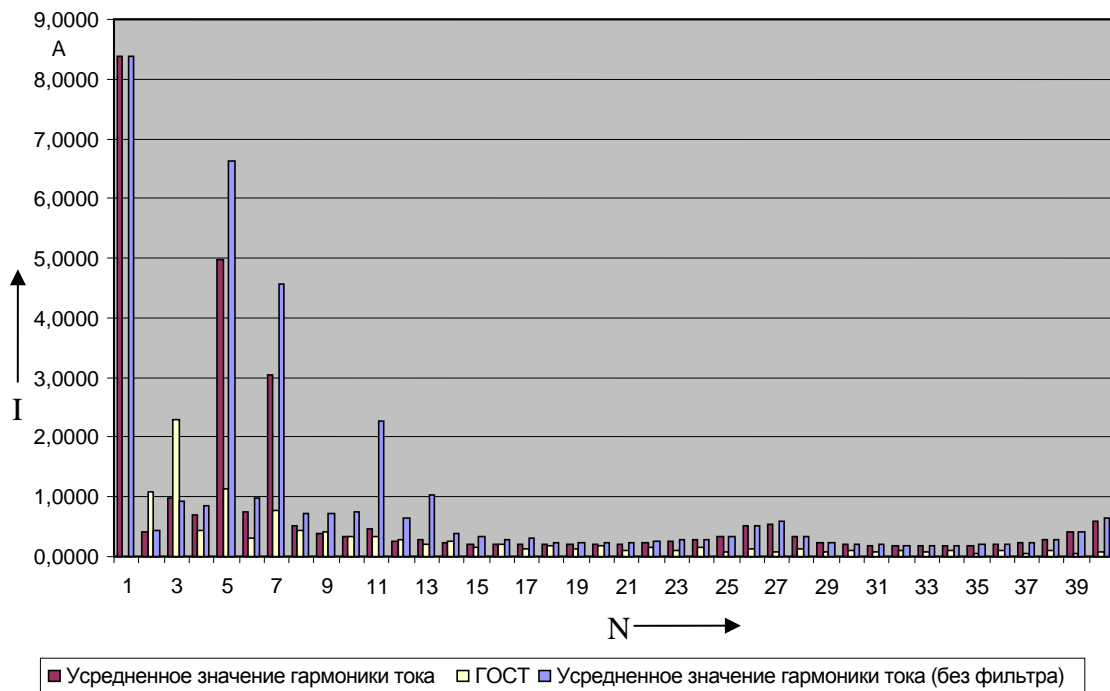


Рис. 4. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ–АД (50 Гц, $M = M_{ном}$, $I = 8,5$ А)

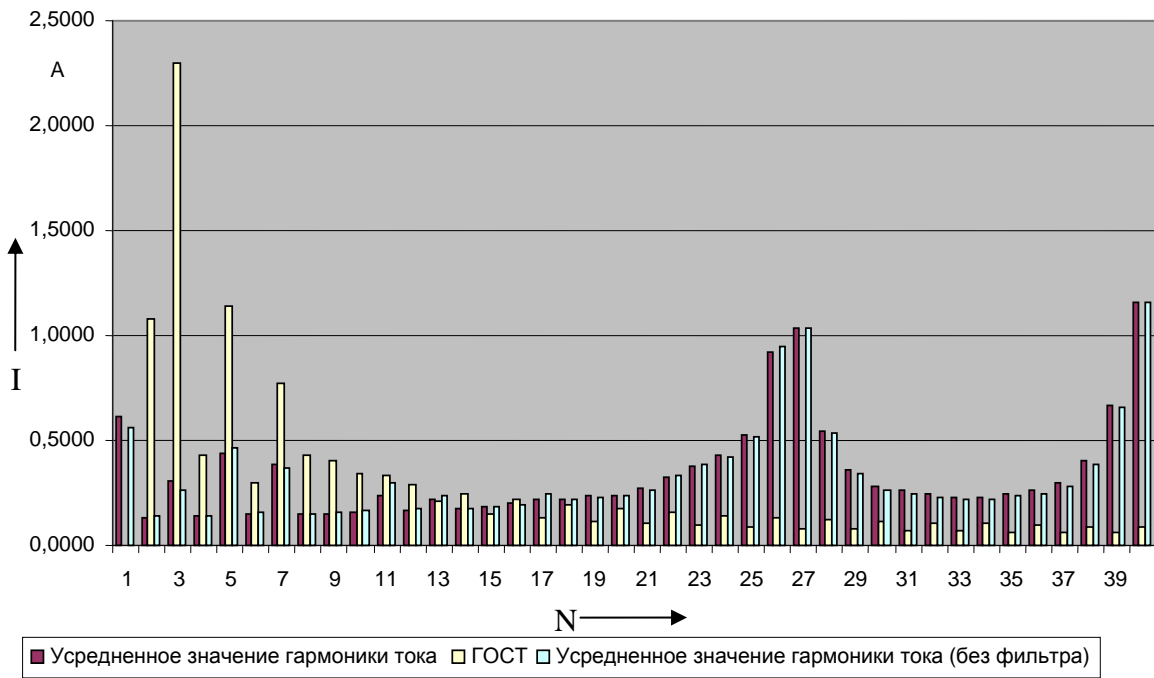


Рис. 5. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ-АД (25 Гц, $M = M_{xx}$, $I = 2,5$ А)

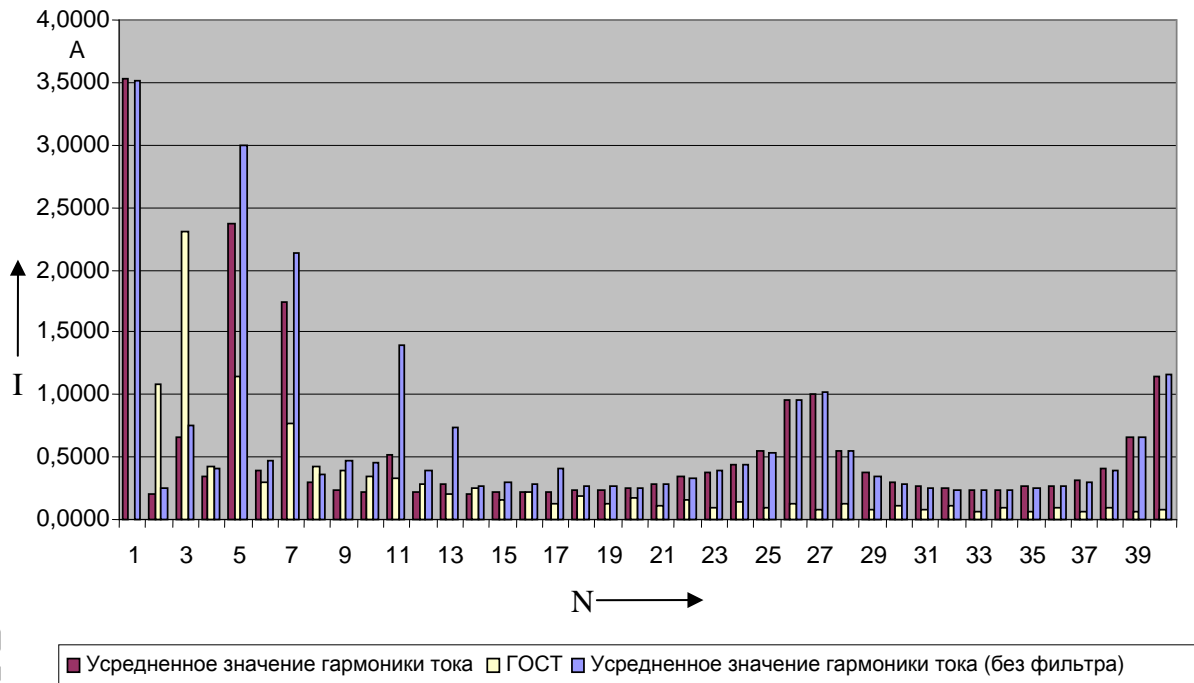


Рис. 6. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ-АД (25 Гц, $M = M_{ном}$, $I = 8,5$ А)

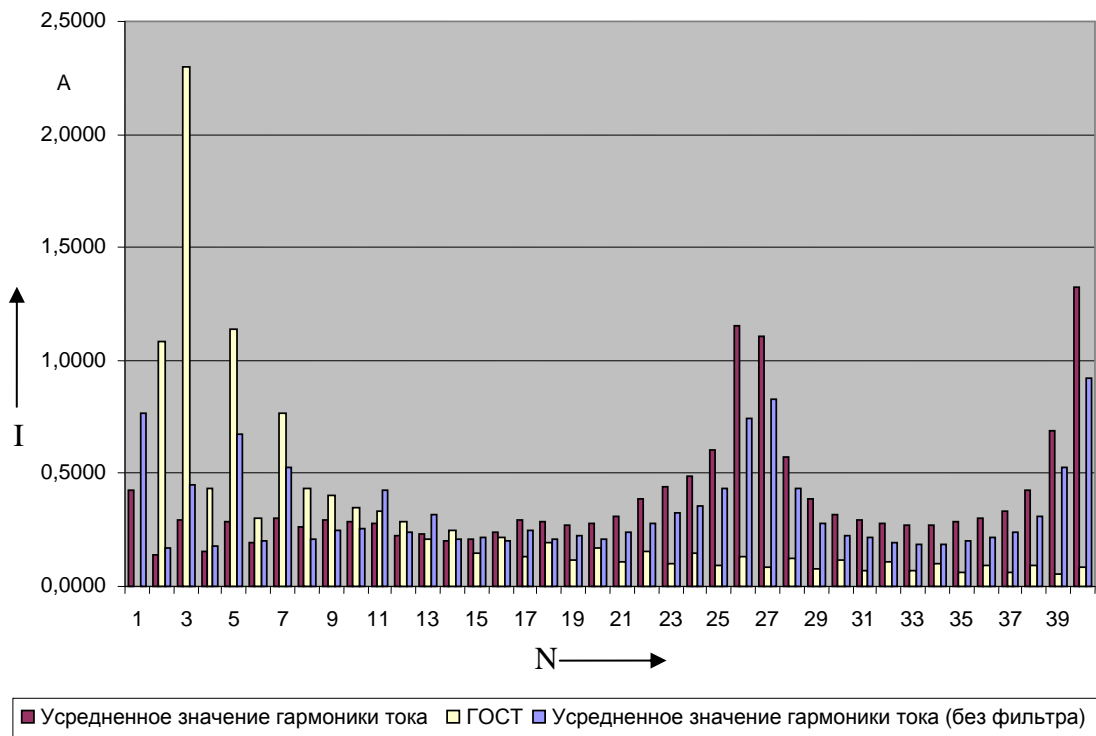


Рис. 7. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ-АД (125 Гц, холостой ход, $I = 2,5 \text{ A}$)

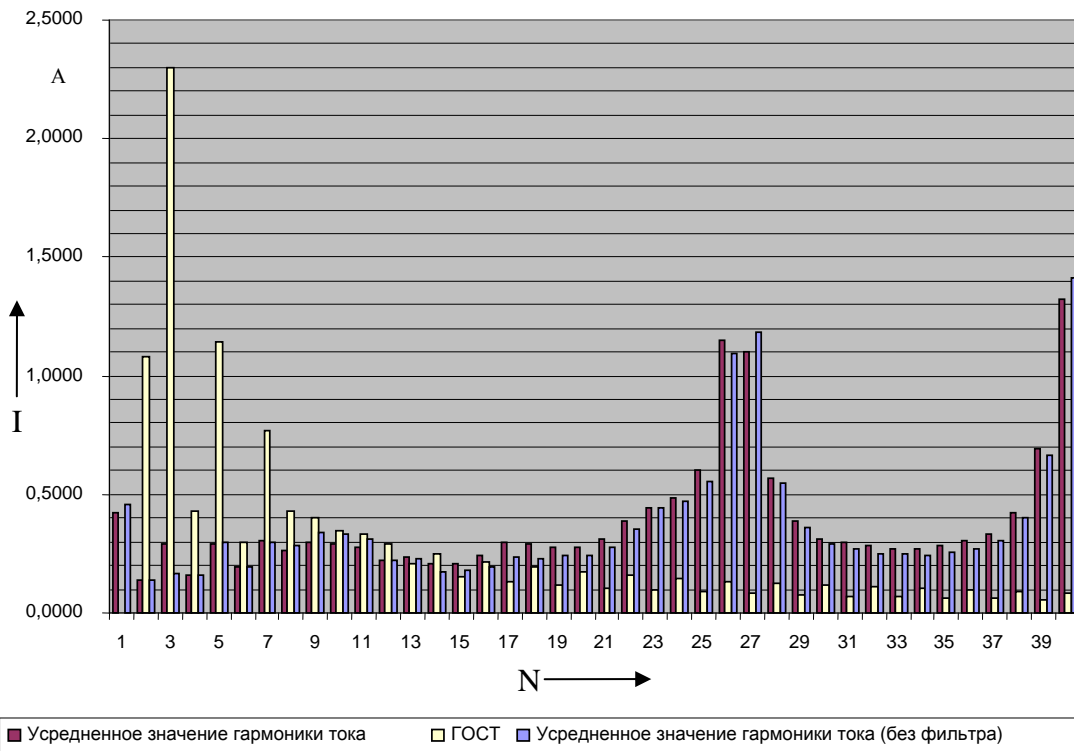


Рис. 8. Гармонический состав тока при работе системы ПЧ-АД (125 Гц, $M = 0,5 M_{н}$, $I = 4,3 \text{ A}$)

Одним из возможных путей решения данной проблемы является установка совместно с поставляемым комплектно фильтром избирательных фильтров. Применение фильтров увеличивает габариты электропривода, что создает проблемы его электромехатронного исполнения, значительно увеличивает стоимость электропривода.

Электромехатронное исполнение электроприводов по системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» (ПЧ–АД) с использованием IGBT модулей при мощности свыше 4–7 кВт считается нецелесообразным, так как силовые IGBT модули, размещенные в корпусе электродвигателя, очень чувствительны к вибрациям и электромагнитным возмущениям.

Возникновение высших гармонических составляющих тока при работе электроприводов по системе ПЧ–АД, кроме негативного влияния на питающую сеть, приводит к ухудшению энергетических характеристик самого электропривода, вызывает ускоренное старение изоляции обмоток асинхронного электродвигателя, что сокращает срок эксплуатации последних в 5–7 раз [1].

Работа с высокой частотой коммутации приводит к возникновению не только низкочастотных помех, распространяющихся по питающей сети и увеличивающих потери энергии, но и помех, распро-

страняющихся в радиочастотном диапазоне, что может вызвать нарушение функционирования иных электронных устройств, находящихся в непосредственной близости от электропривода [4].

Сегодня разработаны современные электродвигатели (например, серия РА), специально предназначенные для работы в составе систем ПЧ–АД, однако, как показывает практика, при модернизации существующих установок замене подлежит только силовой преобразователь, двигатель зачастую остается прежним.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения / И. А. Авербах [и др.]. – Екатеринбург : УПИ, 2002. – 26 с.
2. СТБ ГОСТ Р 51.317.3.2–2001 (МЭК 61000–3–2:1995). Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – Минск : БелГИСС, 2001. – 48 с.
3. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учеб. пособие / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНАпринт, 2001 – 320 с.
4. ГОСТ 30887–2002. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы электрического привода с регулируемой скоростью вращения. Требования и методы испытаний. – Минск : БелГИСС, 2002. – 44 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 30.05.2007

O. N. Parfenovich, I. V. Sokolov
Electromagnetic compatibility
of asynchronous frequency electric drives
Belarusian-Russian University

The results of research of current harmonic constituents emission while working electric drives constructed by system of frequency transformer is asynchronous electric drive with closed rotor.