

УДК 621.314.263

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ЧАСТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Воронин В.А., аспирант
Научный руководитель: Лебедев Г.М., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Широкое применение частотно-регулируемого электропривода в промышленности негативно сказывается на качестве электрической энергии во внутрипроизводственных электрических сетях. Преобразователи частоты (ПЧ), входящие в состав частотно-регулируемого электропривода, искажают форму кривых тока и напряжения, что обусловлено принципом формирования их выходного напряжения.

Гармоники тока, протекающие по элементам электрической сети, вызывают несинусоидальность напряжения в узлах питания, от которых получают электроснабжение другие потребители. Пагубное воздействие высших гармоник на электроустановки достаточно широко освещено в литературе, например, в [1, 2]. Для снижения ущерба от несинусоидальности потребитель вынужден вкладывать средства в установку фильтрокомпенсирующих устройств и/или реализации иных мероприятий. Техничко-экономическое обоснование их установки, а также корректный расчет и настройка требуют информации о гармоническом составе сетевого тока. В связи с чем, исследование эмиссии гармоник в сеть от искажающего оборудования является актуальной задачей.

В настоящее время наиболее распространенным способом реализации частотного управления электродвигателями является использование ПЧ со звеном постоянного тока. Как правило, в их состав входят неуправляемый выпрямитель и автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). В более дешевом исполнении ПЧ выполняется по схеме управляемого выпрямителя и инвертора напряжения с прямоугольно-ступенчатой формой напряжения фаз [3].

Гармонический состав питающего тока ПЧ зависит от многих факторов, которые достаточно хорошо исследованы. Так, в работах [4-6] исследуются такие факторы, как номинальная мощность и коэффициент загрузки питаемого асинхронного двигателя, индуктивность питающей сети, емкость сглаживающего фильтра. В работах [7, 8] отражено влияние топологии и закона управления ПЧ на уровень высших гармоник. Однако работе ПЧ при наличии помех в питающем напряжении посвящено существо меньшее количество работ. Исследование данной проблемы необходимо для оценки уровня помехоустойчивости частотно-регулируемого электропривода, определения величини-

ны ущерба от электромагнитных помех и принятии рациональных решений по управлению качеством электроэнергии.

Целью данной работы является создание и опробование имитационной модели частотно-регулируемого электропривода в среде Matlab – Simulink для исследования его гармонического состава. Моделирование выполнялось для ПЧ со звеном постоянного тока с ШИМ с предмодуляцией третьей гармоники. В качестве нагрузки для ПЧ используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4A90L4 мощностью 2,2 кВт. Основные элементы модели показаны на рис. 1.

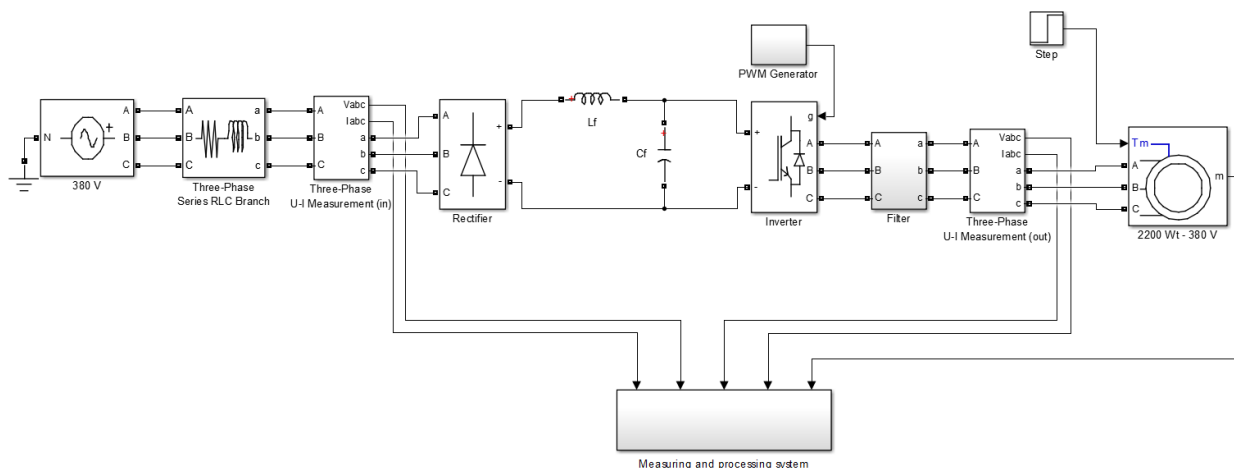


Рис. 1. Модель трехфазного ПЧ с ШИМ в Simulink

Работа модели представлена на примере анализа гармонического состава входного тока ПЧ при изменении выходной частоты и коэффициента загрузки. Результаты моделирования приведены на рис. 2-4.

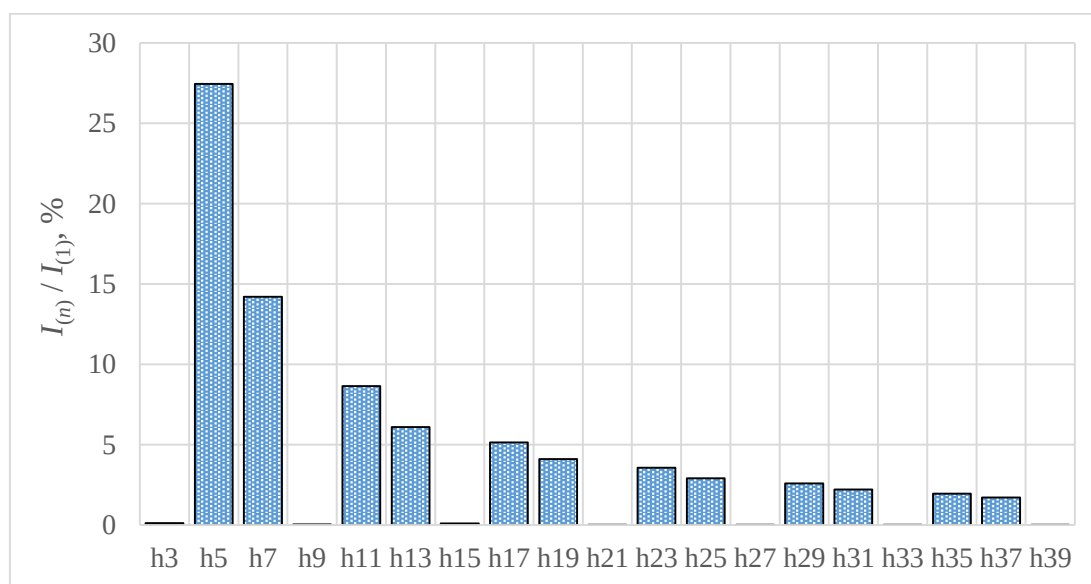


Рис. 2. Спектр гармоник входного тока ПЧ

На рис. 2 показан гармонический состав входного тока ПЧ при номинальной нагрузке электродвигателя и выходной частоте 50 Гц. Суммарный

коэффициент гармонических составляющих тока составляет 34,07 %. В спектре присутствуют нечетные гармоники не кратные трем, доминирующей является 5-я (27,47 %), остальные гармоники расположены по убыванию. В соответствии со стандартом [9], регламентирующим допустимые значения гармонических составляющих потребляемого тока, моделируемый электропривод может быть отнесен к техническим средствам класса В.

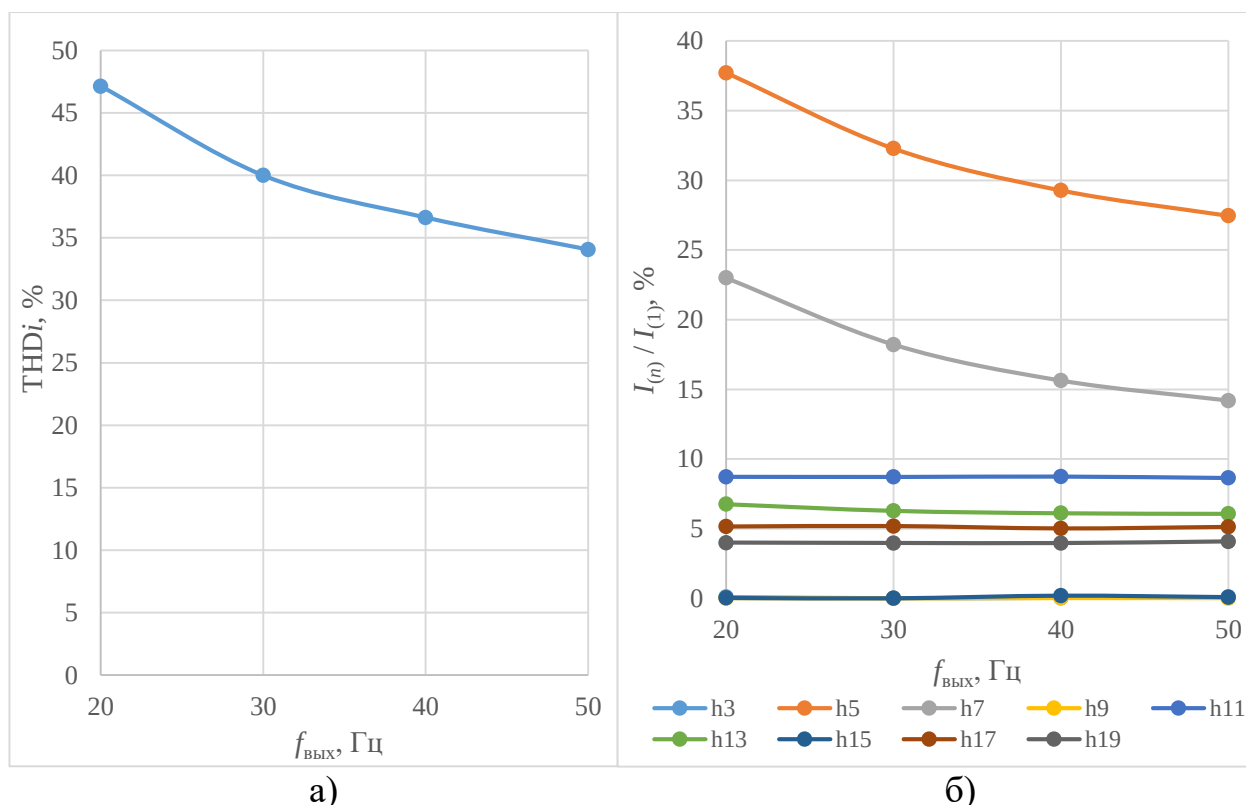


Рис. 3. Результаты моделирования гармоник входного тока ПЧ при изменении выходной частоты

На рис. 3 приведены результаты моделирования гармоник входного тока при изменении выходной частоты ПЧ. Выходная частота ПЧ изменялась в пределах от 20 до 50 Гц, при этом напряжение, подводимое к электродвигателю, изменялось по закону $U/f = \text{const}$. Как следует из рис. 3, а, регулирование скорости асинхронного двигателя сопровождается увеличением гармонических искажений входного тока в 1,38 раза (суммарный коэффициент гармонических составляющих тока (THDi) достигает 47,12 %). Увеличение THDi происходит за счет возрастания 5-й и 7-й гармоники (рис. 3, б).

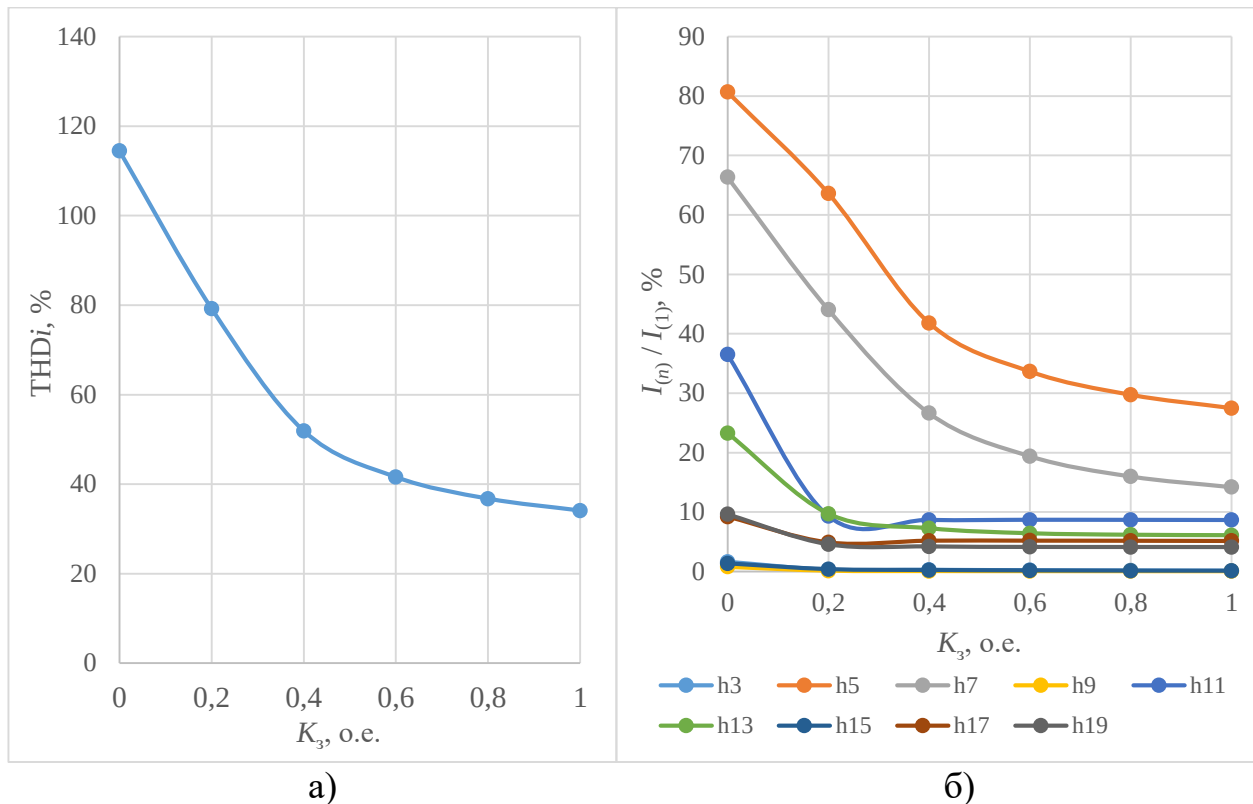


Рис. 4. Результаты моделирования гармоник входного тока ПЧ при изменении коэффициента загрузки

На рис. 4 приведены результаты моделирования гармоник входного тока ПЧ при изменении загрузки электродвигателя от номинальной до холостого хода. Как следует из рис. 4, а, гармоническое искажение входного тока ПЧ существенно изменяется при снижении загрузки, достигая максимума при холостом ходе (THDi увеличивается в 3,36 раза, достигая 114,5 %). На рис. 4, б показано изменение отдельных гармонических составляющих тока. Как следует из полученных зависимостей, наиболее существенно возрастают 5-я, 7-я, 11-я и 13-я гармоники.

Вывод: частотно-регулируемый электропривод является достаточно крупным источником гармонических искажений в промышленных электрических сетях. Одновременная работа группы электроприводов может создать недопустимый уровень высших гармоник в сети предприятия. В связи с этим, многие современные ПЧ оснащены входным фильтром гармоник, снижающим помехоэмиссию ПЧ в сеть.

Полученные в данной работе спектры гармоник в целом соответствуют результатам исследований, проведенных другими авторами (например, [5]). Соответственно данная модель может быть использована для дальнейшего анализа работы ПЧ в том числе при наличии электромагнитных помех в питающем напряжении.

Список литературы:

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – 4-е изд., – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Арриллага, Дж. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 320 с.
3. Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – 2-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
4. Фираго, Б.И. Оценка влияния мощности питающей сети и параметров системы «Преобразователь частоты - асинхронный двигатель» на гармонический состав ее прерывистого входного тока / Б.И. Фираго, К.М. Медведев // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – №6. – С.5-11.
5. Беляев, В.Л. Гармонический состав сетевого тока частотных электроприводов с широтно-импульсной модуляцией / В.Л. Беляев, С.Н. Радимов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – № 3. – С. 469-471.
6. Бараненко, Т.К. Комбинированное имитационное моделирование как метод исследования несинусоидальных режимов в электрических сетях с преобразователями частоты / Т.К. Бараненко, Саравас В.Е. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Електротехніка і енергетика". – 2011. – № 11. – С. 36-40.
7. Саенко, Ю.Л. Проблемы электромагнитной совместимости в системах электроснабжения с мощными преобразователями частоты / Ю.Л. Саенко, Т.К. Бараненко // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2008. – №25. – С.57-62.
8. Садиков, Д.Г. Выбор перспективной топологии построения преобразователя частоты для электроприводного газоперекачивающего агрегата / Д.Г. Садиков, В.Г. Титов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №1. – С. 36.
9. ГОСТ Р 51317.3.2-2006. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2007. – С. 28.