

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

*И.В. Дорощенко*

Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого, Республика Беларусь, Гомель

## **Введение**

Электромагнитная совместимость электрооборудования становится актуальной проблемой вследствие увеличения суммарной мощности электроприводов с регулированием частоты вращения посредством силовых полупроводниковых преобразователей [1, 2, 3]. Повышенные требования к параметрам качества электрической энергии питающей сети ставят актуальной задачей исследования влияния работы испытательных стендов на основе асинхронно-вентильного каскада (АВК) на сеть. Важнейшим фактором в проблеме электромагнитной совместимости являются генерирование преобразователями высших гармоник тока и напряжения и влияние их на качество электроэнергии. Гармонический спектр тока, генерируемый АВК, зависит, в основном, от типа вентильного преобразователя, используемого в схеме. Обеспечение электромагнитной совместимости возможно посредством минимизации высших гармоник напряжения и тока, генерируемых силовыми полупроводниковыми преобразователями в электрическую сеть. Наличие высших гармоник в кривой сетевого напряжения снижает надежность и качество работы электрооборудования технологических установок [1, 3].

В последние годы в электроприводах переменного тока и в системах электропитания различных потребителей широко используют инверторы напряжения, корректоры коэффициента мощности и активные выпрямители, которые способствуют основной мировой тенденции - энергосбережению [4]. Для обеспечения высокого качества электрической энергии на входе и (или) выходе таких преобразователей применяют различные виды широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [5], [6]. Искажения напряжения сети, вносимые

силовыми полупроводниковыми преобразователями для разных схем, характеризуются различным составом их высших гармоник. Поскольку искажение кривой напряжения возникают из-за падения напряжения от токов высших гармонических составляющих на импедансах элементов сети, то спектр частот гармоник напряжения сети совпадает со спектром частот гармоник тока, потребляемого преобразователем из сети [1, 2]. Допустимый коэффициент искажения синусоидальности напряжения определяет ГОСТ 13109 – 97 [3].

Целью данной работы является исследование электромагнитной совместимости электромеханического испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного, а в частности гармонического состава потребляемого и рекуперированного через роторную цепь токов АВК с различными преобразователями в роторной цепи.

Имеющаяся в среде Matlab Simulink модель асинхронного электродвигателя представлена двухфазной моделью обобщенной электрической машины, которая справедлива для схемы включения статорных обмоток «звезда с нейтралью». Для исследования же динамики двигателя при работе с автономным инвертором напряжения и при несимметричных схемах включения необходимо работать с линейными напряжениями. В связи с этим мной использовалась трехфазная математическая модель асинхронной машины, составленная на основании уравнений электрического равновесия статора и ротора и учитывающая указанные выше особенности [7]. При этом для удобства учета коммутации силовых полупроводниковых приборов, уравнения модели разрешены относительно производных потокоцеплений.

С учетом приведенного математического описания асинхронного двигателя [5] и функциональных схем АВК (рис.1 а, б), в программе Matlab Simulink составлены соответствующие имитационные модели электромеханического испытательного стенда на основе АВК. С их помощью был выполнен расчет токов статора и тока рекуперированного в сеть через роторную цепь для двигательного режима работы АВК, а также произведен анализ гармонического состава этих токов. В исследуемых схемах АВК в качестве электрической машины М1 использовался асинхронный двигатель с фазным ротором МТФ-112-6 мощностью 5 кВт и номинальной частотой вращения  $n_H = 930$  об/мин. В качестве вентилей в инверторе UZ2 (рис.1 а) использовались тиристоры, а в инверторе UF (рис. 1 б) применялись IGBT-модули.

На рис. 2 и 3, соответственно, представлены полученные диаграммы фазных токов статора (потребляемого) и тока рекуперированного через роторную цепь, а также гармонический спектр данных токов для двигательного режима АВК при постоянной нагрузке  $M_c = 20$  Н·м и скорости  $0,36 \cdot n_H$ .

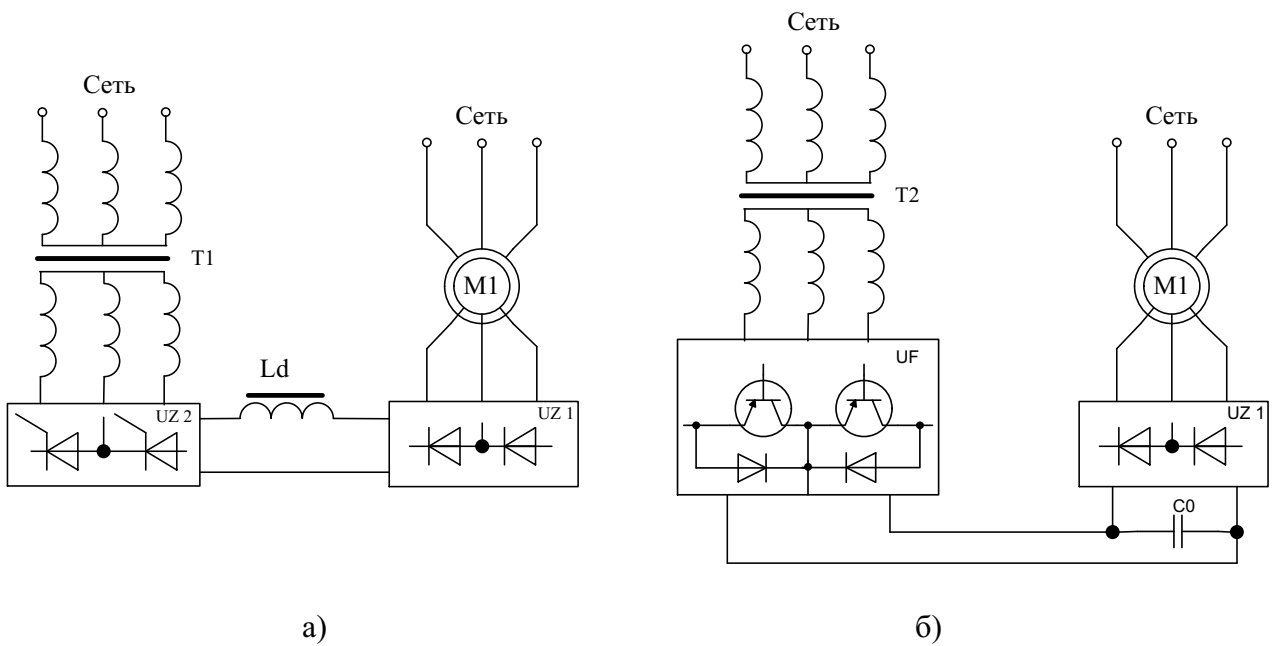


Рис. 1. Функциональные схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК: а) с тиристорным инвертором в роторной цепи; б) с транзисторным инвертором в роторной цепи

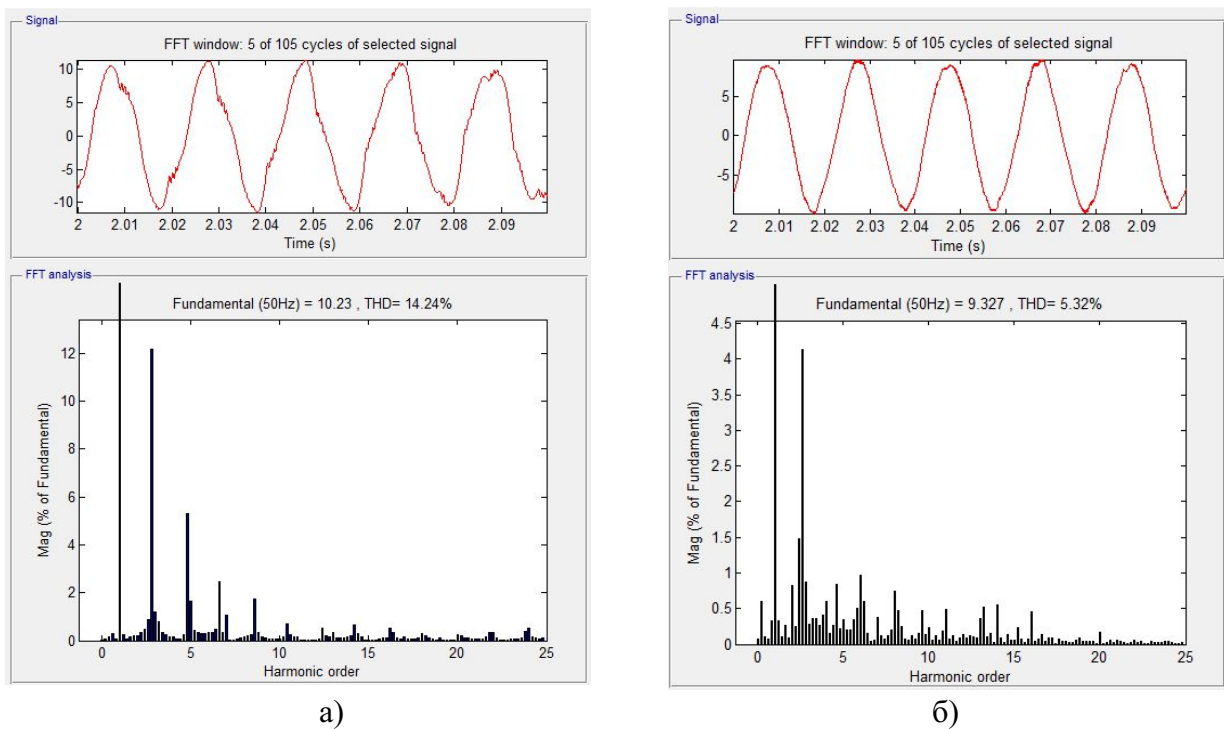


Рис. 2. Форма и гармонический спектр потребляемого тока АВК: а) с тиристорным инвертором в роторной цепи; б) с транзисторным инвертором в роторной цепи

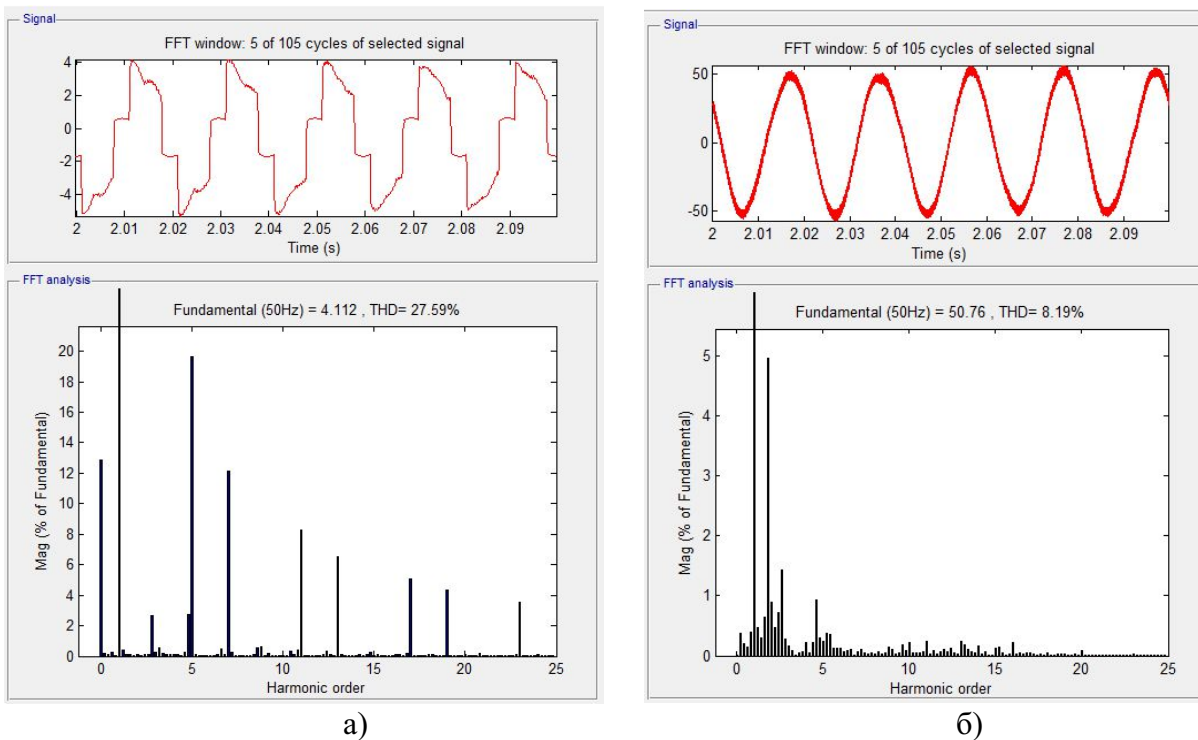


Рис. 3. Форма и гармонический спектр рекуперлируемых через роторную цепь токов АВК: а) с тиристорным инвертором в роторной цепи; б) с транзисторным инвертором в роторной цепи

Анализируя спектры генерируемых в сеть токов (рис. 3), можно увидеть, что для схемы АВК с тиристорным инвертором в роторной цепи, в основном, на искажение синусоидальности формы тока оказывают 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 гармоники. Для схемы АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи и трехфазной ШИМ на искажение синусоидальности формы тока оказывают высшие гармоники – 3, 5.

Аналогичные исследования были проведены и для других значений рабочих скоростей испытательного стенда на основе АВК в диапазоне от  $0,98 \cdot n_H$  до  $0,35 \cdot n_H$ . При этом установлено, что коэффициент искажения синусоидальности кривой потребляемого тока (статора) для схемы АВК с тиристорным инвертором в роторной цепи изменяется в пределах 0,03...14,3%, а для схемы АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи изменяется в пределах 3,7...6,7%. При уменьшении скорости в указанном выше диапазоне коэффициент искажения рекуперлируемого в сеть тока для обеих схем увеличивается. Так, для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с тиристорным инвертором в роторной цепи коэффициент искажения изменяется в пределах 8,7...27,6%, а для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи в пределах 6,8...9,5%. Ухудшение гармонического состава тока при использовании тиристорного инвертора связана с тем, что управление осуществляется импульсно-фазовым способом и коммутация производится 1 раз за период сети, в то время как для транзисторного

инвертора управление осуществляется широтно-импульсным способом на частоте значительно превышающей частоту сети.

### **Выводы**

В результате проделанных исследований установлено, что коэффициент искажения синусоидальности кривой потребляемого тока для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с тиристорным инвертором в роторной цепи составил 14,6%, а для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи составил 6,4%. Коэффициент искажения рекуперированного в сеть тока для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с тиристорным инвертором в роторной цепи составил 25%, а для схемы электромеханического испытательного стенда на основе АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи составил 9,45%. Согласно ГОСТ 13109 – 197 нормально-допустимое значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения составляет 8%, а предельно допустимое значение коэффициента искажения - 12%. Таким образом, нормативу удовлетворяет схема электромеханического испытательного стенда на основе АВК с транзисторным инвертором в роторной цепи. Следовательно, лучшая электромагнитная совместимость обеспечивается по схеме асинхронно-вентильного каскада с транзисторным инвертором в цепи ротора.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Волошко, А.В. К вопросу мониторинга качества электрической энергии / А.В. Волошко, А.Л. Харчук // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. № 3. – С. 76–85.
2. Белов М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, О.И. Земенов, А.Е. Козярук и др.; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.: изд. Центр «Академия», 2006. – 368с.
3. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109–97. – Введ. 01.01.1999. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 31 с.
4. Ушаков, В.Я. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения / В.Я. Ушаков // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. № 4. – С. 5–13.
5. Обухов С.Г., Чаплыгин Е.Е., Кондратьев Д.Е. Широтно-импульсная модуляция в трехфазных инверторах напряжения / С.Г. Обухов, Е.Е. Чаплыгин, Д.Е. Кондратьев // Электричество – 2008. – № 7. – С. 56–59
6. Чаплыгин Е. Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией: Учеб. Пособие / Е. Е. Чаплыгин. М.: из-во МЭИ, 2009. – 56 с.

7. Захаренко В.С. Особенности имитационного моделирования асинхронного двигателя для составления модели с учетом коммутации и при несимметричных схемах включения / В.С. Захаренко, И.В. Дорощенко // Вестник Гомельского гос. техн. универ-та им. П.О. Сухого. – 2011. – № 3. – С. 66 – 74.