

УДК 621.314:537.6/.8

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТРИЖДЫ ЧЕТЫРЕХФАЗНОМ КОМПЕНСИРОВАННОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

Н.Ю. Башмакова

Представлена модель трижды четырехфазного компенсированного преобразователя. Приведены результаты сравнения показателей качества электроэнергии для четырехфазного и трижды четырехфазного компенсированных преобразователей. Приведены временные диаграммы и спектральные характеристики трижды четырехфазного преобразователя.

Ключевые слова: компенсированный преобразователь; двойная частота; показатели качества; спектральные характеристики; гармоники.

Для улучшения показателей качества в системах электроснабжения и для улучшения электромагнитной совместимости с питающей сетью осуществляют переход к многофазным схемам преобразователей. Широкое распространение в настоящее время получили многофазные компенсированные преобразователи. Использование таких преобразователей позволяет обеспечить необходимую степень компенсации потребляемой им из сети переменного тока реактивной мощности, а также достаточный уровень снижения гармонического воздействия на питающую сеть.

Многофазные преобразователи, в данном случае двенадцатифазные, выполняются чаще всего на основе четырех трехфазных элементарных преобразователей (преобразователи типа 4x3), соединенных по нулевым или мостовым схемам.

Обычно конденсаторы компенсирующих устройств включают на одно-, двух-, трех-, четырех-, пяти- и шестикратную частоту, однако повышение частот приводит к раннему возникновению повторной проводимости вентилей при диодном исполнении.

Решением в данной ситуации является использование компенсированного преобразователя с двойной частотой напряжения на конденсаторах. Но в преобразователях (4x3) это связано с необходимостью установки значительной мощности трехфазных реакторов и с существенным отличием формы кривой напряжения на конденсаторах от синусоидальной.

В докладе рассматриваются характеристики двенадцатифазного компенсированного преобразователя, созданного на основе трех четырехфазных (3x4) с двойной частотой напряжения на конденсаторах [1]. Для обеспечения двенадцатифазного воздействия на питающую нагрузку элементарные преобразователи подключаются к сети со сдвигом на 120 электрических градусов.

При создании модели компенсированного преобразователя был взят следующий вариант исполнения: для всего преобразователя используется единый трехфазный магнитопровод. При этом четырехфазные системы вторичных напряжений каждого элементарного преобразователя создаются соединением вентильных обмоток с использованием деления обмоток одного стержня пополам и других фаз в равносторонний зигзаг. Каждый из элементарных преобразователей содержит компенсирующее устройство в виде двухфазного уравнивающего реактора, зашунтированного конденсаторной батареей. Принципиальная схема преобразователя приведена на рисунке 1.

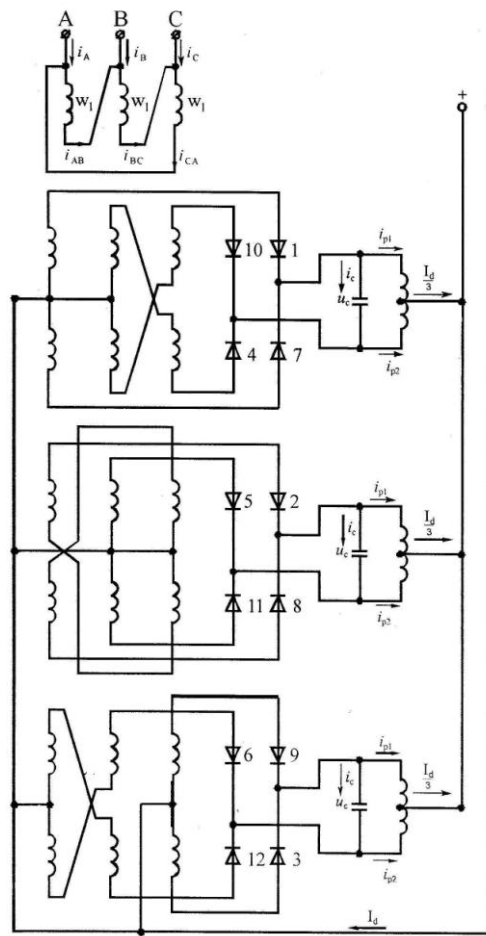


Рис. 3. Схема двенадцатифазного компенсированного преобразователя с единым магнитопроводом трансформатора

В различных двенадцатифазных схемах протекание электромагнитных процессов происходит идентично.

Для исследования гармонического состава трижды четырехфазного компенсированного преобразователя в пакете MATLAB [4] была разработана модель, представленная на рисунке 2.

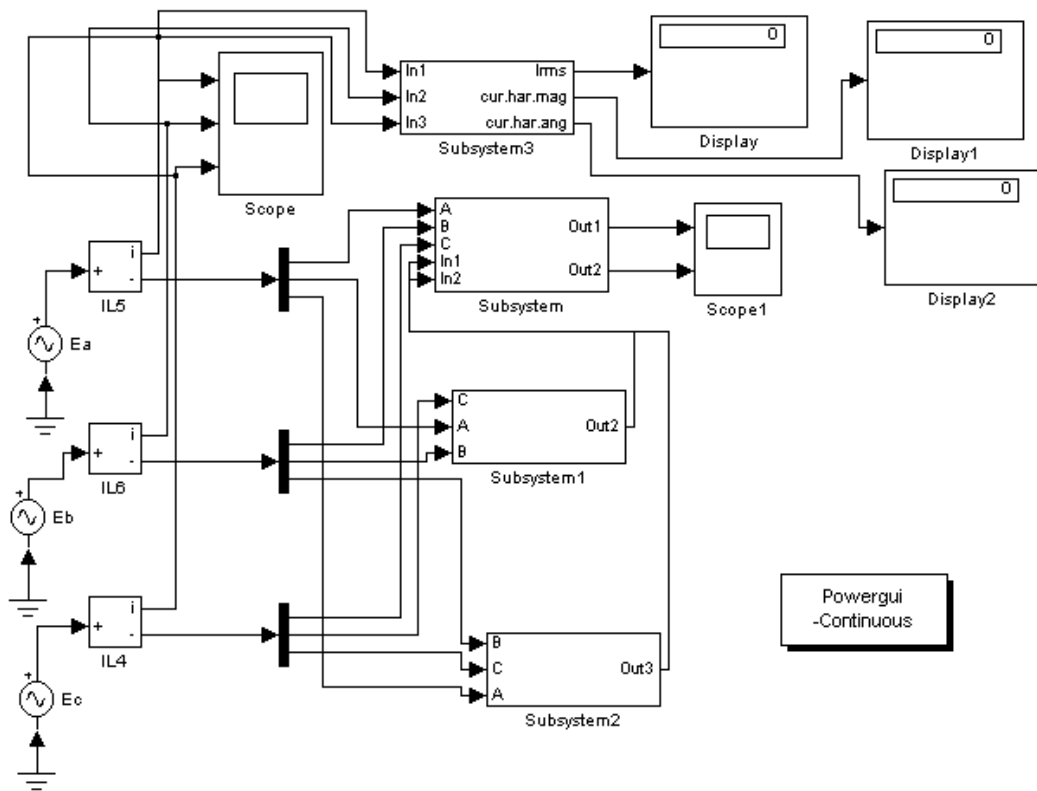


Рис. 4. Модель трижды четырехфазного компенсированного преобразователя

На рисунке 2 приведена модель двенадцатифазного компенсированного преобразователя, созданного на основе трех четырехфазных преобразователей.

Схемами соединения вентиляльных обмоток блоков обеспечен сдвиг коммутационных процессов в вентилях блоков на 120 электрических градусов. В результате трижды четырехфазный преобразователь работает в двенадцатифазном режиме.

Проведем исследование системы по качеству электроэнергии по коэффициенту гармоник тока сети или коэффициенту искажения синусоидальности кривой тока, отключая последовательно сначала один из трех блоков, а затем два блока. Отключение двух блоков позволяет произвести в двенадцатифазном преобразователе моделирование электромагнитных процессов, аналогичных процессам, происходящим в четырехфазном компенсированном преобразователе.

На рисунке 3 представлены характеристики гармонического воздействия преобразователя на питающую сеть и спектры тока питающей сети компенсированного преобразователя при действии всех блоков и при очередном отключении сначала одного, а затем двух из них.

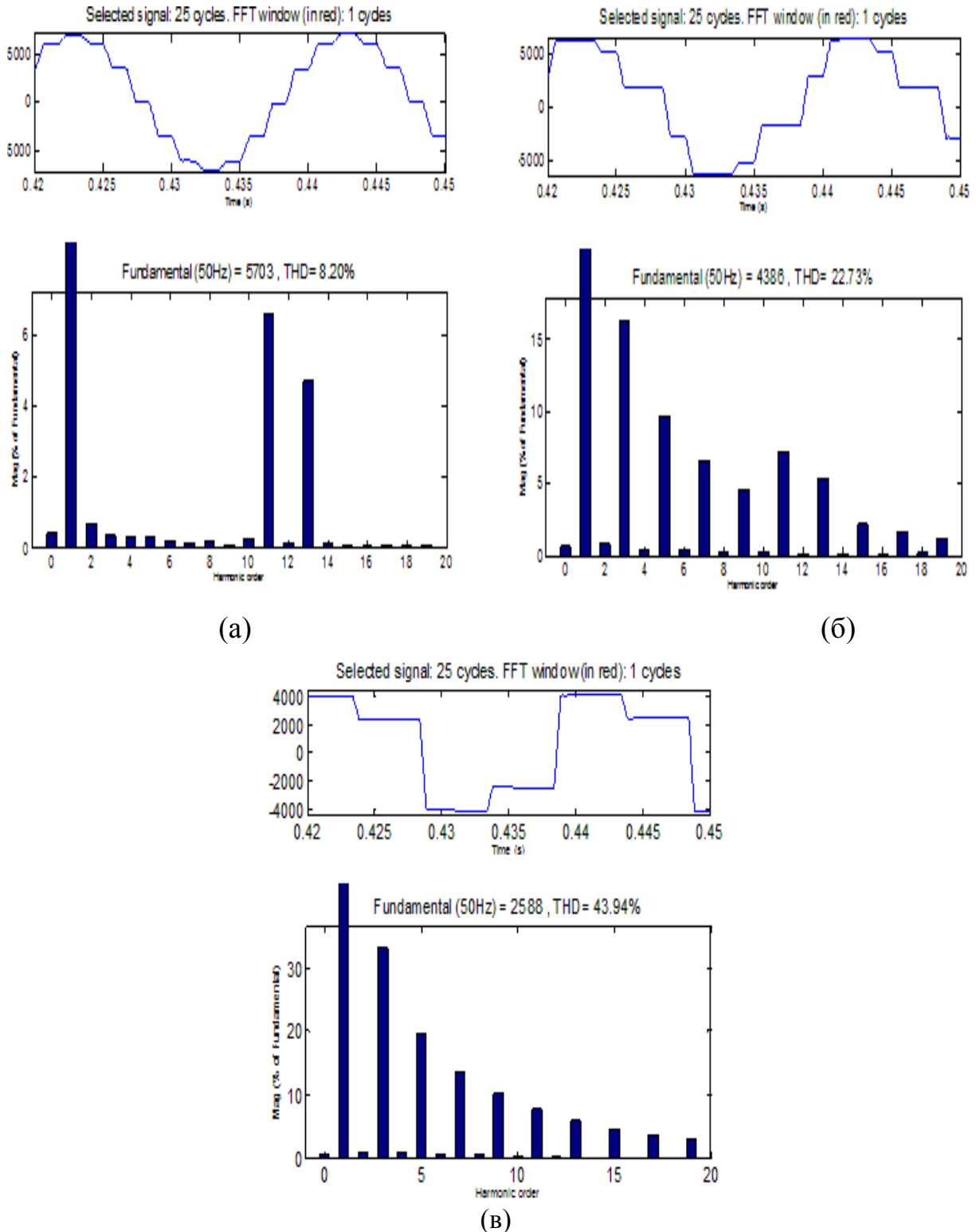


Рис. 5. Спектры тока питающей сети (а) двенадцатифазного КП (3x4), (б) двенадцатифазного КП (2x4), (в) двенадцатифазного КП (1x4)

Для анализа гармонического состава любого сигнала трижды четырех-фазного компенсированного преобразователя был применен блок Powergui-Continuous и его раздел FFT Analysis, который располагается в библиотеке приложения Simulink.

Из представленных выше рисунков видно, что происходит уменьшение коэффициента гармоник сетевого тока при увеличении фазности преобразователя: со значения 43,94 % – в модели (1x4), до 22,73 % – в модели (2x4), а затем до 8,2 % – в модели (3x4).

Таким образом, увеличение фазности компенсированного выпрямителя позволяет добиться уменьшения коэффициента гармоник тока [3] и отсутствия нечетнократных трех гармоник.

В двенадцатифазном компенсированном преобразователе содержится первая гармоника и высшие гармоники, имеющие порядок гармоник $12k \pm 1$ ($k=0, 1, 2, 3, \dots$).

Проведенные аналитические исследования и результаты моделирования электромагнитных процессов в системах электроснабжения с рассматриваемыми преобразователями позволяют сделать следующие выводы:

1. Трижды четырехфазные преобразователи имеют симметричные формы кривых токов А, В и С питающей сети, поскольку симметричные системы гармоник нечетнократных трех, создаваемые отдельными четырехфазными компенсированными преобразователями, компенсируются.

2. Исследования трижды четырехфазных компенсированных преобразователей с различными вариантами получения четырехфазных систем напряжения в блоках показали идентичность протекания электромагнитных процессов в них, причем основные характеристики преобразователей описываются единой теорией схем с одноступенчатой искусственной коммутацией при величине схемного параметра, равного $\pi/2$.

3. Проведенный спектральный анализ подтверждает отсутствие в спектре токов трехфазной сети двенадцатифазного компенсированного преобразователя симметричных составляющих токов гармоник, нечетнократных трех и их присутствие в спектре тока в сети при отключении сначала одного, а затем двух блоков, моделирующих простейшие четырехфазные компенсированные преобразователи.

4. Результаты исследования разработанной модели полностью совпадают с результатами, полученными аналитическим путем и с помощью физической модели [2].

Библиографический список

1. Хохлов, Ю.И. Моделирование электромагнитных процессов в четырехфазном компенсированном преобразователе с двойной частотой напряжения на конденсаторах в пакете Matlab/Simulink / Ю.И. Хохлов, Е.Г. Ашамо // Электрика. – 2006. – № 2. – С. 39–42.

2. Хохлов, Ю.И. Тиристорный выпрямительный агрегат в режимах потребления и генерирования реактивной энергии в условиях электролиза алюминия / Ю.И. Хохлов, Н.Ю. Башмакова, М.А. Дзюба // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2007. – Вып. 7. – № 12. – С. 7–12.

3. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 335 с.

4. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab. SmPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – ДМК Пресс, Питер, 2008. – 288 с.