

11. *Корепанов Е. В.* Приведенная теплопроводность кирпичей с воздушными полостями // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по матер. Между-

нар. науч.-практ. конф. 01 июля 2014 г. Ч. IV. – М. : АР-Консалт, 2014. – С. 129–130.

* * *

E. V. Korepanov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Convection flows and heat exchange in air spaces of construction units

The article presents temperature fields and components of vector potential of velocity in air spaces of wall construction units with different dimensions. Flow modes, structures of temperature field and vector potential in air spaces are determined. Criteria equations for calculating the convection factor in spaces are obtained.

Keywords: convection in closed spaces, equivalent heat conductivity, reduced heat conductivity of brick.

Получено: 02.10.14

УДК 621.314

А. В. Морозов, аспирант

В. К. Барсуков, кандидат технических наук, профессор

В. А. Морозов, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В SIMULINK

Представлены результаты моделирования МПЧ для асинхронного двигателя в среде Simulink MATLAB. Для построения блок-схемы были использованы известные алгоритмы управления.

Ключевые слова: преобразователь частоты, ТОП, Simulink, коэффициент мощности.

Для виртуального моделирования матричного преобразователя частоты (МПЧ) использована среда Simulink, позволяющая адекватно воспроизводить технические системы различной сложности благодаря разнообразию встроенных библиотек блоков. Целью моделирования было исследование свойств МПЧ как потребителя электрической энергии и источника питания асинхронного двигателя.

Создание силовой части преобразователя производилось с использованием библиотеки SimPowerSystem. На рис. 1 представлена Simulink-модель МПЧ, работающего в режиме, при котором питание фаз нагрузки осуществляется от максимального мгновенного линейного напряжения. Данный режим обеспечивается формированием синхроимпульсов, разрешающих открывание соответствующих ключей. Число синхроимпульсов соответствует шести интервалам коммутации за один период сетевого напряжения. Этот способ управления, называемый скалярным [1–3], выбран для моделирования как наиболее простой. При таком управлении появляется возможность регулировать начальную фазу потребляемого тока и, следовательно, коэффициент мощности МПЧ. Simulink-модель содержит генератор сетевого напряжения 1 с преобразователями Controlledvoltagesource 2, датчики входных и выходных токов 3 и 12, измеритель мощности Powermeter с дисплеями 4, блок simout 5, RL потребитель 6, блок коррекции 7, управляющий контроллер с блоком регулирования фазы синхроимпульсов 8, LC-фильтр 9, матрицу ключей 10, асин-

хронный двигатель с измерительным выходом 11, блок Powergui 13 (рис. 1)

Двунаправленные ключи Ideal_Switch взяты из раздела PowerElectronics. В качестве нагрузки подключен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором из раздела Machines, с возможностью изменения электромагнитного момента, скорости ротора, а также токов статора и ротора. На входе МПЧ подключен Г-образный LC-фильтр. Система управления содержит функциональные блоки из различных разделов корневой библиотеки Simulink. Генератор управляющих ШИМ-импульсов заимствован из файла power_pwm.mdl, находящегося в описании блока AsynchronousMachine. Система управления содержит формирователь импульсов синхронизации, который управляется сетевыми напряжениями. Изменение фазы синхроимпульсов возможно за счет регулирования начальной фазы входных напряжений блока. Далее синхроимпульсы совместно с ШИМ-сигналами обрабатываются согласно выбранному закону управления [4].

Моделирование совместной работы МПЧ и активно-индуктивного потребителя Three_Phase_Series_RL_Load (рис. 1) осуществлялось в целях исследования возможностей использования МПЧ для компенсации реактивной мощности. За счет изменения начальной фазы импульсов синхронизации α возможно получение tgφ на входе МПЧ в пределах от –0,5 до 0,6 (рис. 2).

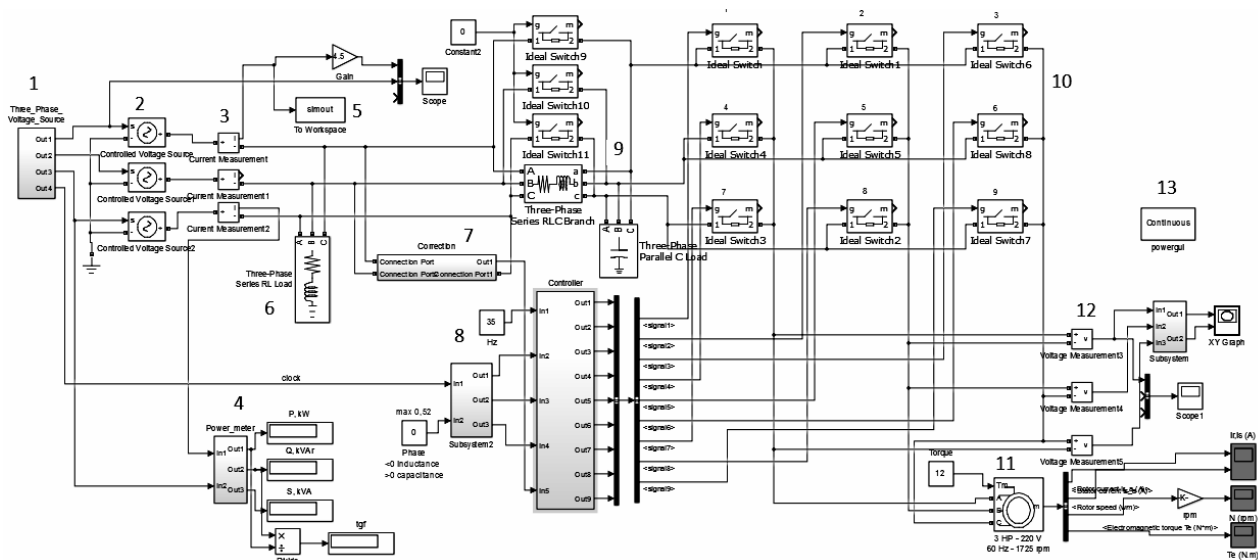


Рис. 1. Simulink модель матричного преобразователя частоты

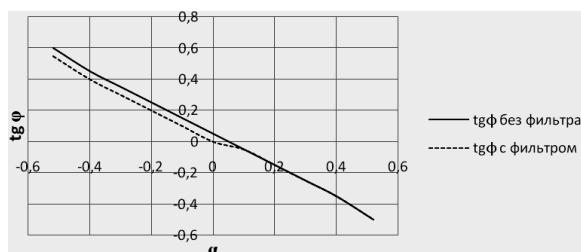


Рис. 2. Зависимость tgφ(α)

При среднем положении синхроимпульсов tgφ находится на уровне от 0 до 0,08 в зависимости от наличия LC-фильтра и его параметров. Измерение потребляемой из сети мощности осуществляется блоком Power (3ph, instantaneous). Таким образом, на основе МПЧ возможно построение системы автоматического поддержания коэффициента мощности в точке общего присоединения (ТОП) при изменении режима потребления сторонними приемниками. Если не учитывать изменение активной составляющей мощности МПЧ при регулировании угла α, то необходимый угол α можно приблизительно определить по формуле:

$$\alpha = -\arctg \left(\left(1 + \frac{P_1}{P_2} \right) (\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) \right), \quad (1)$$

где tgφ₁ – требуемый коэффициент мощности; tgφ₂ – фактический коэффициент мощности при α = 0; P₁ – суммарная активная мощность сторонней нагрузки; P₂ – активная мощность МПЧ.

Если изменение угла α находится в пределах от –30 до 30°, то условие, при котором возможно получение требуемого tgφ₁ за счет регулирования фазы синхроимпульсов выглядит как (2). Следовательно, эффективность регулирования зависит от соотношения мощностей электропривода и сторонних приемников. При этом они должны быть сопоставимы по величине.

$$\left(1 + \frac{P_1}{P_2} \right) (\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) \leq 0,5. \quad (2)$$

Исследование гармонического состава токов и напряжений производилось с помощью функции FFT Analysis блока Powergui [5]. Для гармонического анализа, как правило, представляют интерес входные токи и выходные напряжения преобразователей частоты. Исследуемые сигналы предварительно выводятся в рабочую область MATLAB блоком SimouttoWorkspace. При увеличении α будут возрастать значения высших гармоник в спектральном составе выходного напряжения (рис. 3) в соответствии с [6].

Еще одной целью моделирования было исследование влияния несимметрии питающего напряжения на работу МПЧ, для устранения которого был введен блок коррекции 7 (см. рис. 1). При этом используется функция мгновенного выпрямленного напряжения U_{dm}(t), которая воздействует на синусоидальное опорное напряжение U_msin(ω_ot ± 2π/3) согласно:

$$U_{\text{оп}} = \frac{U_m \sin \left(\omega_o t \pm k \frac{2\pi}{3} \right)}{\frac{U_d(t)}{U_{dm}}}, \quad (3)$$

где U_m sin(ω_ot ± k 2π/3) – исходные опорные сигналы фаз SVM; U_d(t) – закон изменения выпрямленного напряжения; U_{dm} – амплитуда линейного сетевого напряжения.

Такая операция позволяет в определенной мере устранить влияние пульсаций напряжения фиктивного звена постоянного тока при увеличении α, а также несимметрии входных напряжений на двигатель. Коррекция позволяет уменьшить амплитуды всех высших гармоник, за исключением боковых полос, вызванных использованием ШИМ-модуляции, рис. 4.

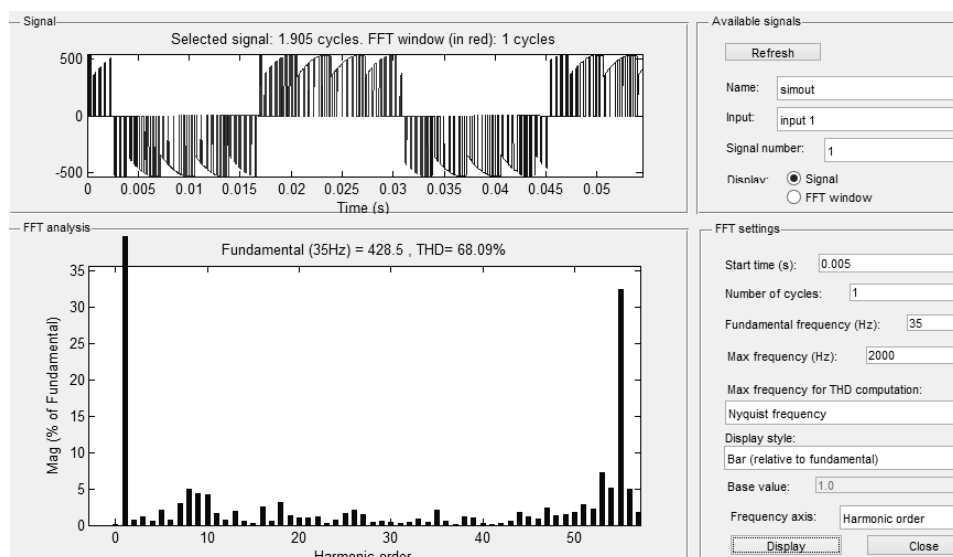


Рис. 3. Частотный спектр выходного напряжения

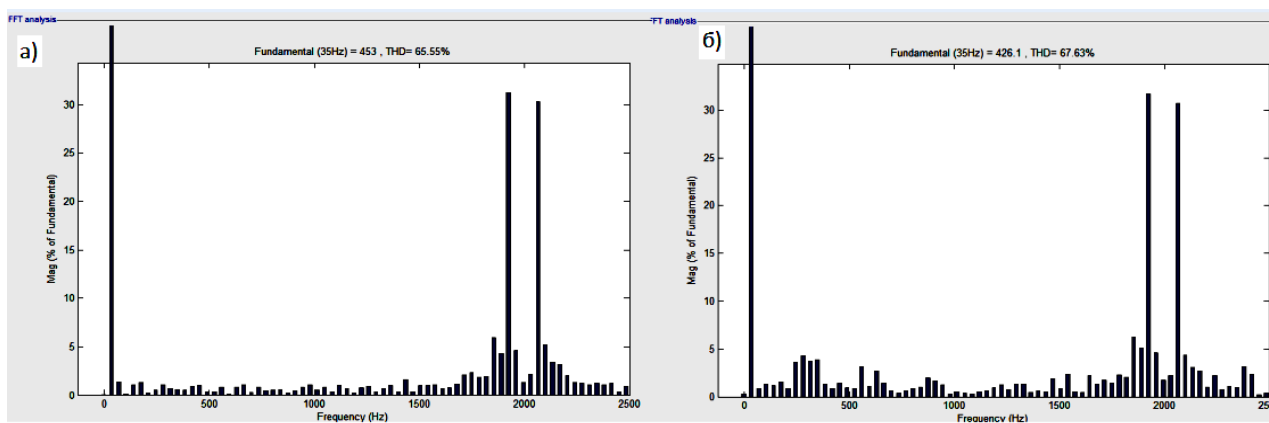


Рис. 4. Гармонический состав напряжения нагрузки при несимметрии напряжений сети ($K_{2U} = 10\%$):
 а – с коррекцией; б – без коррекции

Выводы

Для компьютерного моделирования матричного преобразователя может успешно использоваться среда Simulink/MATLAB. Создание модели МПЧ со скалярным управлением позволило изучить возможности регулирования коэффициента мощности и произвести гармонический анализ напряжений и токов.

Библиографические ссылки

1. Wheeler P. W. Matrix Converters: A Technology Review // Industrial Electronics, IEEE Transactions on. – 2002. – № 4. – P. 276–288.

2. Сидоров С. Матричный преобразователь частоты-объект скалярного управления // Силовая электроника. – 2009. – № 3. – С. 31–35.

3. Морозов А. В., Барсуков В. К., Морозов В. А. Разработка матричного преобразователя частоты // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22). – С. 202–207.

4. Там же.

5. Дьяконов В. Макромоделирование устройств на мощных MOSFET в SimPowerSystems // Силовая электроника. – 2011. – № 2.

6. Морозов А. В., Барсуков В. К., Морозов В. А. Моделирование работы матричного преобразователя частоты в среде графического программирования LabView // Федоровские чтения – 2014 : XLIV Междунар. науч.-практ. конф. – Издательство МЭИ, 2014. – С. 86–95.

A. V. Morozov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. K. Barsukov, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. A. Morozov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Simulation of matrix frequency converter in SIMULINK

The article presents the results of simulating the matrix frequency converter for asynchronous motor by software Simulink/MATLAB. In order to develop the flowchart the well-known control algorithms have been applied.

Keywords: frequency converter, Simulink, power factor.

Получено: 06.10.14