

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ОДНОКАНАЛЬНОГО ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА В MULTISIM

Федоров Сергей Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Кумертауский филиал Оренбургского государственного университета, Кумертау
e-mail: proinfosystem@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена схема одноканального ШИМ-контроллера. В качестве алгоритма формирования ШИМ сигнала был использован способ на основе сравнения линейных синхронизирующих функций положительного типа и синусоидальной модулирующей функции. Была разработана схема имитационной модели одноканального ШИМ-контроллера в Multisim с целью оценки эффективных алгоритмов ШИМ, обеспечивающих улучшение спектрального состава выходного напряжения и управление передаточной характеристикой. Данная модель позволяет использовать синусоидальные и линейные синхронизирующие функции положительного и отрицательного типов. А также широчайший спектр моделирующих функций, таких как: треугольная, линейная, прямоугольная, синусоидальная функции. Приведенная модель позволяет провести детальный анализ работы одноканального ШИМ-контроллера.

Ключевые слова: ШИМ-контроллер, имитационная модель, Multisim, синхронизирующая функция, модулирующая функция.

Для цитирования: Федоров С. В. Имитационное моделирование алгоритма работы одноканального ШИМ-контроллера в Multisim // Шаг в науку – 2021. – № 4. – С. 83–86.

SIMULATION OF THE OPERATION ALGORITHM OF A SINGLE-CHANNEL PWM CONTROLLER IN MULTISIM

Fedorov Sergey Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Kumertau Branch of the Orenburg State University, Kumertau
e-mail: proinfosystem@gmail.com

Abstract. This article describes the scheme of a single-channel PWM controller. As an algorithm for generating a PWM signal, a method was used based on a comparison of linear synchronization functions of a positive type and a sinusoidal modulating function. A scheme of a simulation model of a single-channel PWM controller in Multisim was developed in order to evaluate effective PWM algorithms that improve the spectral composition of the output voltage and control the transfer characteristic. This model allows you to use sinusoidal synchronization functions of positive and negative type, linear synchronization functions of positive and negative type. As well as a wide range of modeling functions, such as: triangular, linear, rectangular, sinusoidal function. The above model allows for a detailed analysis of the operation of a single-channel PWM controller.

Key words: PWM controller, simulation model, Multisim, synchronization function, modulating function.

Cite as: Fedorov, S. V. (2021) [Simulation of the operation algorithm of a single-channel PWM controller in Multisim]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 83–86.

В силовой электронике применяются различные способы и модификации импульсной модуляции (ИМ). Особенно часто используемым видом ИМ, применяемым в статических преобразователях, является широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [1, 2, 4, 6, 8, 10].

При выборе алгоритма ШИМ наиболее важным критерием является качество выходного напряжения. Данный критерий оценивается по спектральному составу или интегральной величине отклонения мгновенных значений выходного напряжения от желаемых средних значений за период модуляции [4].

Таким образом, разработка эффективных алгоритмов ШИМ, обеспечивающих улучшение спектрального состава выходного напряжения и управление передаточной характеристикой, представляется весьма актуальной задачей [4].

Одним из способов анализа эффективности выбранного алгоритма ШИМ является имитационное моделирование ШИМ-контроллера, реализующего тот или иной алгоритм ШИМ. В данной статье была синтезирована имитационная модель одноканального ШИМ-контроллера, представленная на рисунке 1 [5].

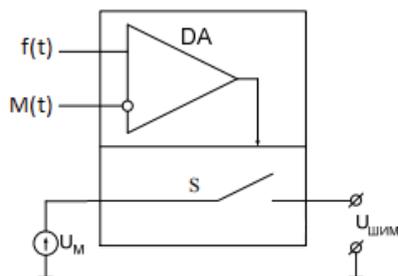


Рисунок 1. Одноканальный ШИМ-контроллер
 Источник: взято из [5]

Данный ШИМ-контроллер является однополярным на базе дифференциального компаратора DA, где

$f(t)$ – синхронизирующая функция,
 $M(t)$ – модулирующая функция,
 S – ключ.

В качестве синхронизирующего сигнала было

использовано линейное напряжение. Данное напряжение имеет вид наклонных параллельных линий $f_{11}, f_{12}, f_{13}, \dots, f_{1n}$, наложенных на модулирующую функцию. Такое напряжение называется синхронизирующим напряжением положительного типа (рисунок 2) [9].

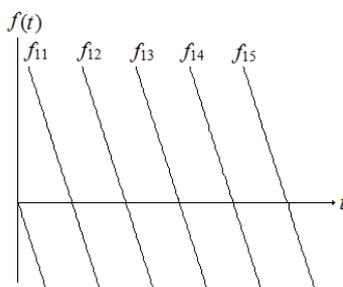


Рисунок 2. Линейные синхронизирующие функции положительного типа
 Источник: взято из [9]

В качестве модулирующей функции была выбрана функция в виде синусоиды. Синусоидальная модулирующая функция определяется из уравнения

$$M(t) = \arcsin[r \cdot \sin(\omega_{\text{ВВХ}}t)],$$

при $r = 0,5$, т.е.

$$M(t) = \arcsin[0,5 \sin(\omega_{\text{РЛН}}t)].$$

Эта функция определена на периоде 2π . График синусоидальной модулирующей функции показан на рисунке 3 [9].

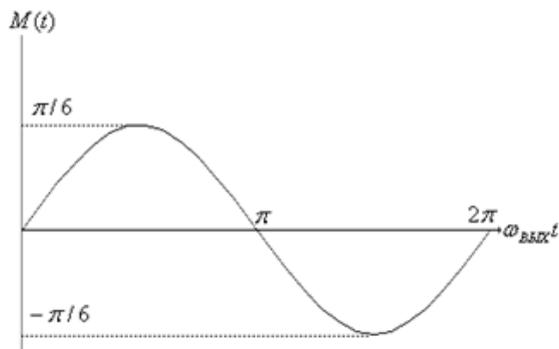


Рисунок 3. Синусоидальная модулирующая функция
 Источник: взято из [9]

Схема имитационной модели одноканального ШИМ-контроллера в Multisim приведена на рисунке 4.

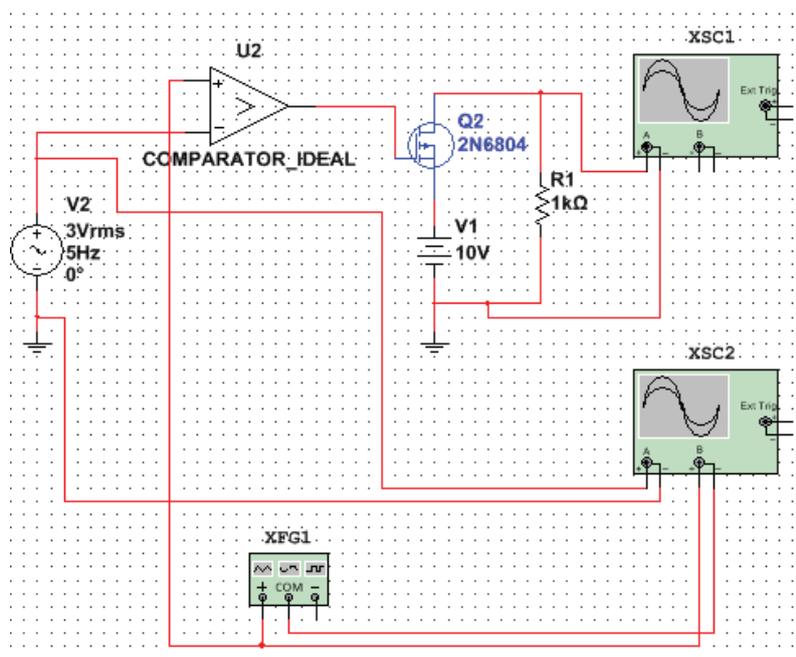


Рисунок 4. Схема одноканального ШИМ-контроллера в Multisim
Источник: разработано автором

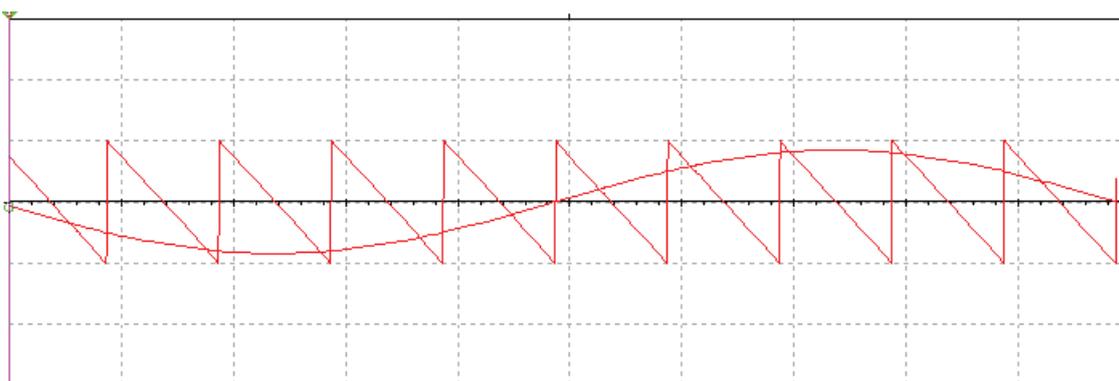


Рисунок 5. Графики модулирующей и синхронизирующей функций
Источник: разработано автором

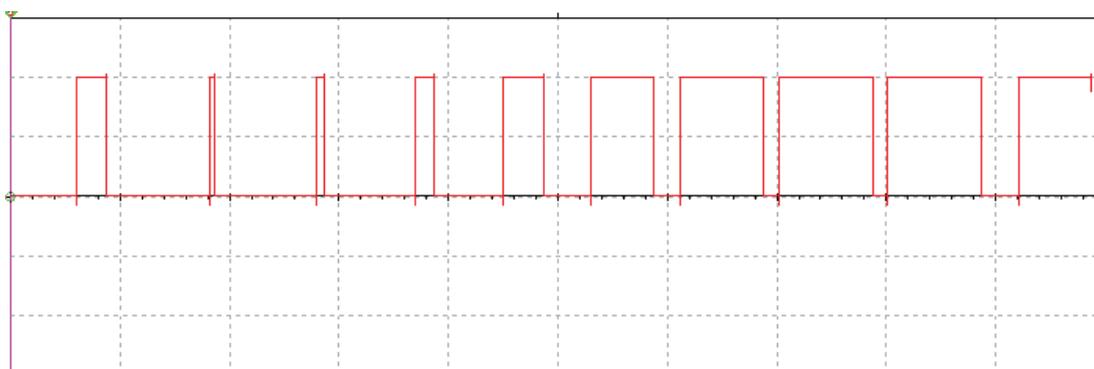


Рисунок 6. График сигнала однополярной широтно-импульсной модуляции
Источник: разработано автором

В качестве сигнала модуляции был взят источник синусоидального напряжения V2 с напряжением 3 В и частотой 5 Гц. Синхронизирующая функция

реализована генератором пилообразного напряжения XFG1. Ключ S реализован на базе транзистора Q2. В качестве компаратора был выбран идеальный

компаратор из библиотеки Multisim [3, 7].

Результат имитационного моделирования, отображаемый на осциллографе XSC2, приведен на рисунке 5.

Результат имитационного моделирования, отображаемый на осциллографе XSC1, приведен на рисунке 6.

Вывод

Разработанная схема имитационного моделирования в Multisim позволяет исследовать влияние различных алгоритмов ШИМ на сигнал с выхода ШИМ-контроллера. Данная модель позволяет использовать синусоидальные и линейные синхронизирующие функции положительного и отрицательного типов. А также широчайший спектр моделирующих функций, таких как: треугольная, линейная, прямоугольная, синусоидальная функции. Разработанная модель позволяет провести детальный анализ работы одноканального ШИМ-контроллера, оптимизировать выбор элементной базы.

В работе [9] на основе имитационной модели

было показано влияние ШИМ на качество выходного напряжения широтно-импульсного преобразователя. Было доказано, что ШИМ приводит не к уменьшению искажения синусоидальности сигнала, а к смещению гармоник в области частот, кратных несущей частоте. Коэффициент гармоник принимает значения в пределах $64,9\% \geq K_r \geq 63,5\%$ для диапазона частот $50 \text{ Гц} \geq \nu > 5 \text{ Гц}$. При этом ШИМ вносит дополнительные искажения сигнала и, как следствие, увеличение коэффициента гармоник. Так K_r принимает значения в пределах $51,1\% \geq K_r \geq 39,1\%$ для диапазона частот $50 \text{ Гц} \geq \nu > 5 \text{ Гц}$ без ШИМ.

В работе [4] на основе имитационной модели доказано, что ШИМ с функциональной разверткой опорного сигнала позволяет, в отличие от известных методов ШИМ с линейной разверткой, управлять передаточной характеристикой «сигнал управления – выходное напряжение» путем изменения вида функциональной зависимости на периоде модуляции и расширять за счет этого на (10–40)% диапазон регулирования выходного напряжения ШИП с нелинейной регулировочной характеристикой.

Литература

1. Алпаров А. У., Благов А. Е. Модифицированная реверсивная широтно-импульсная модуляция // Технические науки – от теории к практике. – 2016. – № 10 (58). – С. 42–54.
2. Виноградов А. Б., Коротков А. А. Алгоритмы управления высоковольтным многоуровневым преобразователем частоты: монография. Иваново.: Издательство ГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2018. 184 с.
3. Катков О. Н., Рыжков А. П., Сафронова Н. А. Особенности моделирования электронных элементов в среде Multisim // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021: Сборник трудов IV Международного научно-технического форума: в 10 т. (Рязань, 03-05 марта 2021 г.). – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2021. – С. 150–152.
4. Кувшинов А. А. Разработка и исследование методов коммутационно-логического управления передаточными характеристиками широтно-импульсных преобразователей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. – Тольятти, 2009. – 202 с.
5. Кувшинов А. А., Абрамов Г. Н. Разработка имитационной модели релейного ШИМ-контроллера в стандарте SPICE // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: труды международной «Конференции по логике, информатике, науковедению – КЛИН-2007» (Ульяновск, 17–18 мая 2007 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – Том 3. – С. 149–156.
6. Принципы построения векторной широтно-импульсной модуляции для трехуровневого инвертора / И. Р. Абулвелев [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 4 (33). – С. 72–77.
7. Рахман П. А., Федоров В. М., Хасанова Л. Р. Исследование работы широтно-импульсного модулятора в программном пакете моделирования электронных схем MULTISIM // Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность – 2020. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 556–559.
8. Федоров С. В. Устройство формирования переключающих функций системы управления матричным преобразователем частоты на основе широтно-импульсной модуляции // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн./ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас». – 2020. – № 2 (178). – С. 21–23.
9. Федоров С. В. Устройство формирования переключающих функций управляющего блока матричного преобразователя частоты для системы частотного управления электроприводом: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. – Уфа, 2015. – 171 с.
10. Шагин А. В., Бодрова А. А., Логвин В. И. Основные методы широтно-импульсной модуляции // Символ науки. – 2015. – № 11. – С. 69–72.

Статья поступила в редакцию: 23.06.2021; принята в печать: 08.11.2021.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.