

SPICE-МОДЕЛЬ ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА K1156EU2**Котковец С.А., Болдырев А.В.***Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: 1057967@rambler.ru*

Предметом исследования в работе является процесс создания SPICE-макромодели отечественного ШИМ-контроллера K1156EU2 средствами программы схемотехнического моделирования MicroCap 12, а также проверка адекватности разработанной модели ее физическому прототипу. В статье кратко представлен метод выбора и настройки моделей функциональных узлов контроллера в связи с особенностями его функциональной схемы и характеристик, заимствованными из технической документации на контроллер K1156EU2. Более подробно с результатами этих исследований можно ознакомиться в предыдущей работе авторов. Для установления степени адекватности макромодели ШИМ-контроллера физическому прототипу в работе предложена схема подключения макромодели к внешним цепям с временно отключенным, а затем подключенным плавным стартом. Последний предотвращает перегрузку выходных цепей ШИМ-контроллера. Новизна исследования заключается в разработке SPICE-макромодели ШИМ-контроллера K1156EU2 для последующего ее применения при проектировании различных устройств преобразовательной техники с использованием специализированных программ схемотехнического моделирования. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная макромодель в части основных характеристик адекватна своему физическому прототипу. Представленные в работе результаты исследований могут быть использованы для разработок других ШИМ-контроллеров, имеющих схожую с K1156EU2 архитектуру.

Ключевые слова: SPICE-модель, ШИМ-контроллер, схемотехническое проектирование, K1156EU2, MicroCap 12

SPICE MODEL OF PWM CONTROLLER K1156EU2**Kotkovets S.A., Boldyrev A.V.***Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: 1057967@rambler.ru*

The subject of research in this work is the process of creating an SPICE macro model of a domestic PWM controller K1156EU2 using the MicroCap 12 circuit simulation program, as well as checking the adequacy of the developed model for its physical prototype. The article briefly presents a method for selecting and configuring models of functional units of the controller in connection with the features of its functional diagram and characteristics, borrowed from the technical documentation for the K1156EU2 controller. More details on the results of these studies can be found in the previous work of the authors. In order to establish the degree of adequacy of the PWM controller macro model to a physical prototype, a scheme for connecting the macro model to external circuits with a temporarily disconnected and then connected soft start is proposed. The latter prevents overloading the output circuits of the PWM controller. The novelty of the study lies in the development of the K1156EU2 PWM controller SPICE macromodel for its subsequent application in the design of various converting equipment devices using specialized circuit simulation programs. The results obtained indicate that the developed macromodel in terms of the main characteristics is adequate to its physical prototype. The research results presented in this work can be used for the development of other PWM controllers having an architecture similar to K1156EU2.

Keywords: SPICE model, PWM controller, circuit design, K1156EU2, MicroCap 12

Одним из этапов проектирования электронных устройств является их моделирование с привлечением программ схемотехнического анализа. Поэтому создание моделей этих устройств с использованием языка описания электронных схем SPICE представляет, как практический, так и теоретический интерес. Необходимость моделирования устройств отечественного производства подтверждается еще и тем, что для большинства из них SPICE-моделей не существует.

Цель исследования

В данной работе рассматривается SPICE-модель для контроллера широтно-импульсного модулятора (ШИМ-контроллера) K1156EU2, разработанная в программе схемотехнического проектирования MicroCap 12. Часть функциональных узлов макромодели была заимствована из библиотеки компонентов программы MicroCap 12, а часть синтезирована с использованием материалов, изложенных в других работах.

Создание данной SPICE-модели позволит проектировать электронные устройства на основе ШИМ-контроллера K1156EU2 не использования SPICE-модели аналогов или усреднённых SPICE-моделей ШИМ-контроллеров, что исключит неточности проектирования и увеличит точность исследования проектируемых устройств.

Благодаря тому, что архитектура ШИМ-контроллера K1156EU2 достаточно традиционна [1, 2], рассматриваемую в работе SPICE-модель можно использовать как основу для разработок ШИМ-контроллеров с похожей архитектурой.

Материалы и методы исследования

Интегральная микросхема (ИМС) K1156EU2 предназначена для управления импульсными источниками вторичного электропитания, использующими частоты до 1МГц. ИМС обеспечивают минимальное время прохождения сигнала через компараторы и внутреннюю логику при максимальной ширине полосы пропускания.

ния и скорости нарастания выходного напряжения усилителя сигнала рассогласования. Контроллеры совместимы с системами с прямой связью по входному напряжению и разработаны для работы в ШИМ-режимах по напряжению или току. Функциональная схема микросхемы K1156EY2 приведена на рис. 1 [2].

На функциональной схеме микросхемы K1156EY2 (см. рис. 1) представлены все компоненты и функциональные узлы. K1156EY2 помимо выходного каскада DA9-DA10 включает в себя генератор пилообразного напряжения (осциллятор),

источник смещения DA1 на 1.25В, схему блокировки от пониженного напряжения питания DA5, источник опорного напряжения, широкополосный усилитель сигналов рассогласования DA2, ШИМ-компаратор DA6, ШИМ-защелку DD3, фазорасщепитель DD5-DD6, узел плавного запуска VT1-VT2-DA7, компараторы ограничения тока DA3 и выключения схемы DA4, компаратор контроля величины опорного напряжения DA8, схему управления выходными ключами DD8-DD9 [2].

Описание выводов представлено в таблице [2].

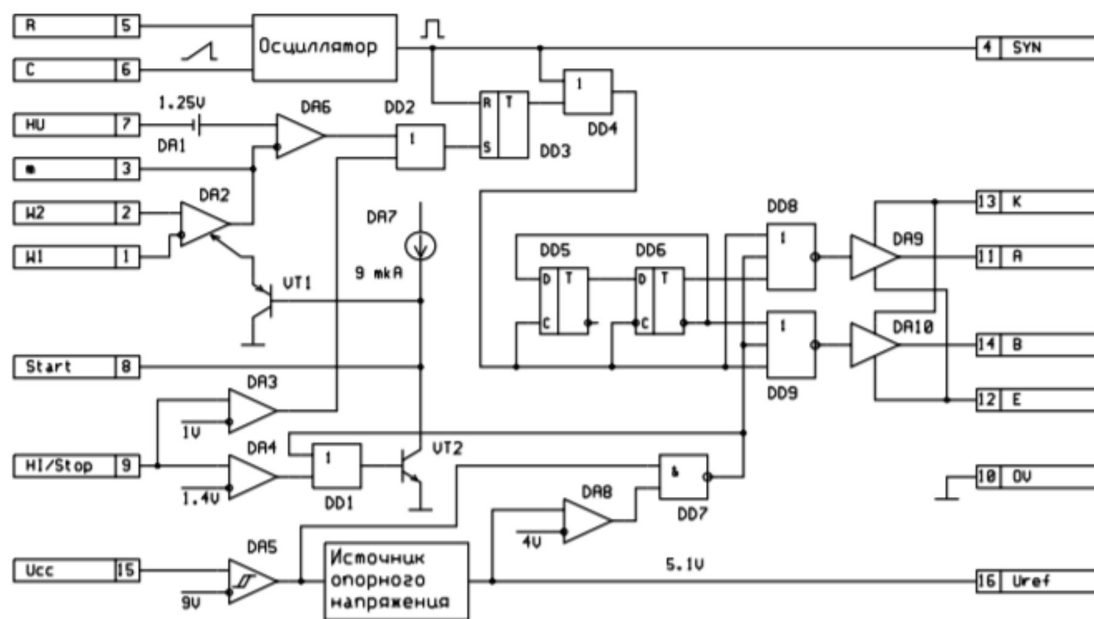


Рис. 1. Функциональная схема K1156EY2

Описание выводов ШИМ-контроллера K1156EY2

Номер вывода	Буквенное обозначение	Описание вывода
1	W1	Инвертирующий вход операционного усилителя
2	W2	Не инвертирующий вход операционного усилителя
3	M	Выход операционного усилителя, инвертирующий вход ШИМ-компаратора
4	SYN	Вход/выход синхронизации
5	R	Вывод подключения времязадающего резистора
6	C	Вывод подключения времязадающего конденсатора
7	HU	Не инвертирующий вход ШИМ-компаратора
8	Start	Вывод плавного запуска
9	HI/Stop	Вывод ограничения тока или останова
10	OU	Общий вывод
11	A	Вывод драйвера А
12	E	Эмиттеры драйверов А и В
13	K	Коллекторы драйверов А и В
14	B	Выход драйверов В
15	Ucc	Вывод питания
16	Uref	Вывод источника опорного напряжения

Создание SPICE-модели осуществлялось поэтапно. Вначале были выбраны и настроены компоненты из библиотеки программы MicroCap 12: компараторы, усилитель рассогласования, триггеры RS и D-типа, логические элементы. Затем, на основе моделей, описанных в работах [3, 4], были синтезированы осциллятор и выходные драйверы. Далее был создан источник опорного напряжения с защитой от пониженного напряжения питания. В результате макромодель ШИМ-контроллера K1156EY2 приобрела вид, представленный на рис. 2.

Как следует из рисунка, все функциональные узлы модели имеют такие же обозначения, что и в технической документации. В качестве ШИМ-защёлки DD3 используется RS-триггер, а в качестве фазорасщепителя DD5-DD6 – два D-триггера. Компоненты O1, O2, O3 являются компонентами с цифровым выходом (O-компонент). Они используются для создания аналого-цифрового интерфейса [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Для установления степени адекватности макромодели ШИМ-контроллера физическому прототипу использовалась

схема ее подключения к внешним цепям, приведенная на рис. 3. В данном подключении временно был отключен плавный старт.

В технической документации указано, что при сопротивлении $R = 3,65 \text{ кОм}$ и ёмкости $C = 1 \text{ нф}$, подключённым к входам осциллятора R_t и C_t , частота осциллятора равна $400 \text{ кГц} \pm 10\%$. При этом, на входе осциллятора C_t пороговое напряжение высокого уровня должно быть не менее 2.6 В и не более 3 В , а пороговое напряжение низкого уровня не менее 0.7 В и не более 1.1 В . Выходное напряжение усилителя ошибок должно быть не менее 4 В , а скорость нарастания выходного напряжения не менее 6 В/мкс . Время нарастания и спада сигнала выходных драйверов должно составлять не более 60 нс [2].

Как видно из временной диаграммы рис. 5, частота осциллятора в модели при сопротивлении $R = 3,65 \text{ кОм}$ и ёмкости $C = 1 \text{ нф}$ равна 417 кГц , напряжение высокого уровня $2,76 \text{ В}$, а низкого 1 В . При этом, выходное напряжение усилителя ошибок ровно 4 В , и это значение достигается за 0.745 мкс . Время нарастания и спада сигнала выходных драйверов также удовлетворяет требуемому. На диаграмме вывод B был смещен на 1 В вверх.

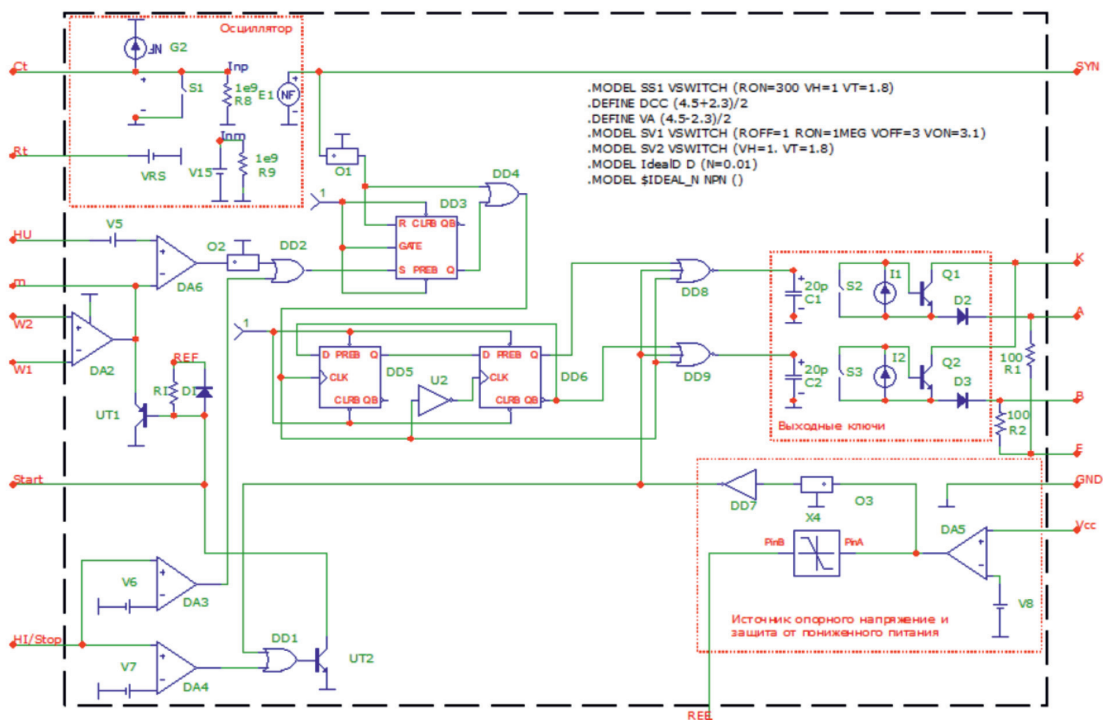


Рис. 2. SPICE-модель ШИМ-контроллера K1156EY2

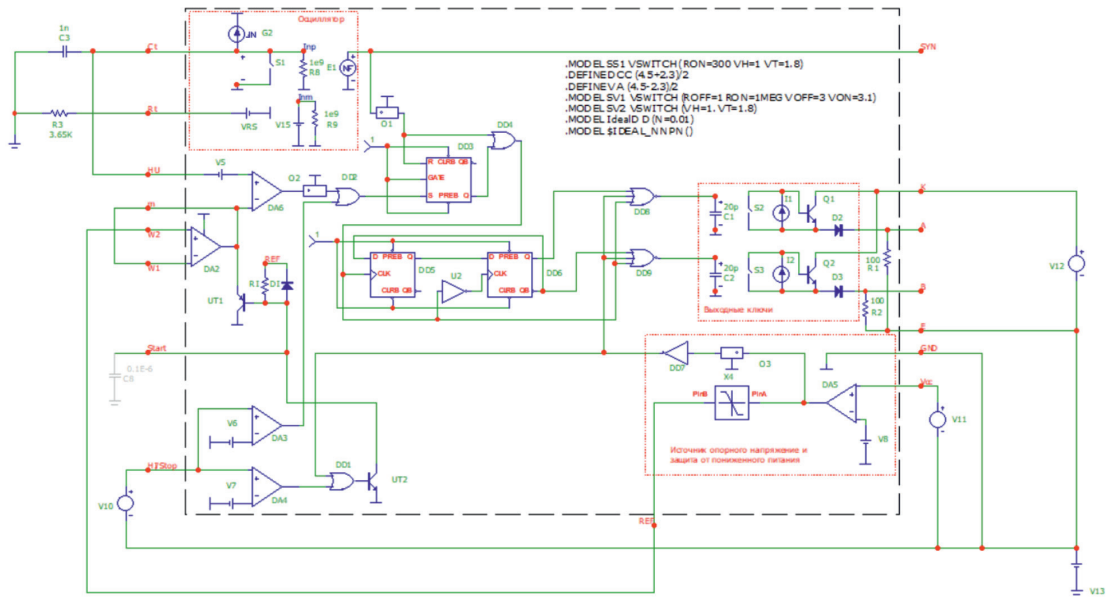


Рис. 3. Схема подключения внешних цепей к макромоделю

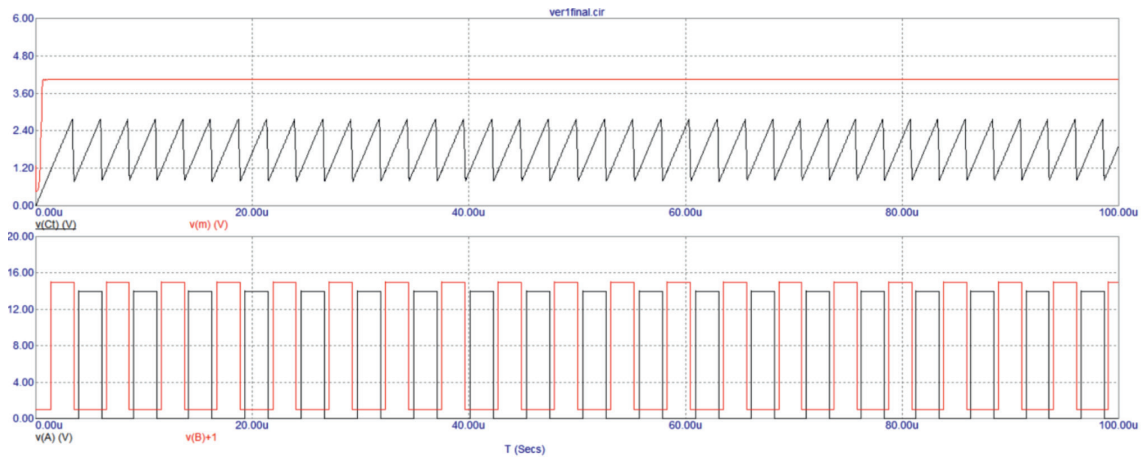


Рис. 4. Временные диаграммы работы макромоделю ШИМ-контроллера

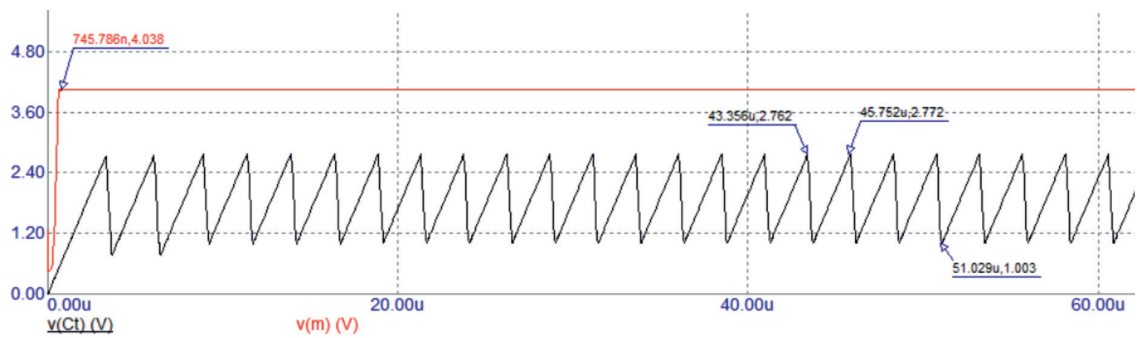


Рис. 5. Временные диаграммы работы осциллятора и усилителя рассогласования ШИМ со значениями главных характеристик

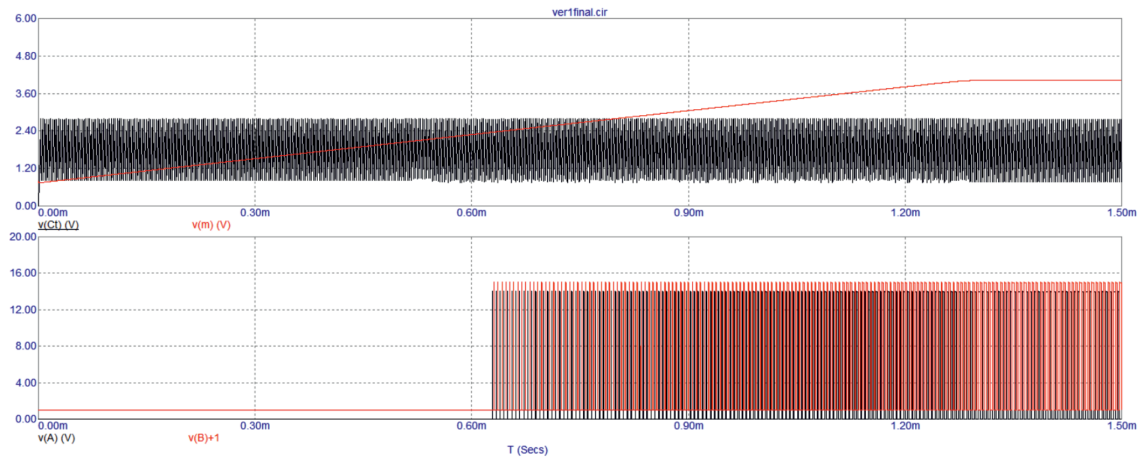


Рис. 6. Временные диаграммы выходных драйверов и напряжения на усилителе рассогласования

Для включения плавного старта, на выводе Start устанавливался конденсатор ёмкостью 0.1мкф. Ограничение напряжения на выводе усилителя рассогласования осуществляется rpp-транзистором UT1, эмиттер которого подключён к выводу усилителя рассогласования, а база к конденсатору плавного старта. По мере заряда внутренним источником тока с номиналом 9 мкА конденсатора плавного старта, возрастает и напряжение на выводе усилителя рассогласования, подаваемого на инверсный вход ШИМ-компаратора. Далее, по мере роста напряжения на выводе усилителя рассогласования, транзистор UT1 закрывается, так как потенциал его базы становится больше потенциала эмиттера, и управление контроллером передаётся усилителю рассогласования [3].

На рис. 6 видно, что благодаря плавному началу напряжение на входе ШИМ-компаратора плавно нарастает, и соответственно длительность импульсов также плавно изменяется. Благодаря плавному началу в ШИМ-контроллере предотвращается перегрузка выходных драйверов.

Заключение

Результаты представленных экспериментов подтвердили адекватность разрабо-

танной SPICE-модели ШИМ-контроллера ее физическому прототипу – микросхеме K1156EY2. Данную SPICE-модель можно использовать для синтеза модели микросхемы K1156EY3, заменив триггеры DD5 и DD6 на ИЛИ-НЕ. Помимо этого, данную модель можно использовать как основу для синтеза ШИМ-контроллеров схожей архитектуры.

Список литературы

1. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению. М.: Додэка-XXI, 2008. – 272 с.: ил.
2. Схемы ШИМ-контроллеров 1156EY2,3; URL: <https://static.chipdip.ru/lib/270/DOC000270692.pdf> (дата обращения 15.07.2019)
3. Амелина М.А., Никерова Е.А. Разработка моделей ШИМ-контроллеров // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал – Т. 12. – Вып. 3. – 2013; URL: <http://www.sci.rostelecom67.ru/user/sgma/MMORPH/N-39-html/amelina/amelina.htm> (дата обращения 17.07.2019)
4. Амелина М.А., Амелин С.А. Проблемы создания SPICE-моделей контроллеров импульсных регуляторов // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал – Т. 12. – Вып. 3. – 2013; URL: <http://www.sci.rostelecom67.ru/user/sgma/MMORPH/N-39-html/amelin/amelin.htm> (дата обращения 17.07.2019)
5. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 619 с.