DOI https://doi.org/10.46845/2541-8254-2026-4(56)-90-90
УДК 621.311.6(470.26)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШИМ-КОНТРОЛЛЕРА TL494 В СРЕДЕ MULTISIM



И. А. Туманов, курсант
E-mail: tumanovigor22@gmail.com
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «КГТУ»

Е. В. Коротей, доцент кафедры СРТС
E-mail: eugeny_korotey@mail.ru
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «КГТУ»

В статье реализована программная модель ШИМ-контроллера TL494 в среде моделирования Multisim. Проведённые модельные исследования основных характеристик схемы в виде зависимостей параметров выходных импульсов от величины входного напряжения показали, что характер этих зависимостей является линейным, что позволяет упростить схему построения управляющего устройства при реализации импульсного источника питания в целом. При изменении сопротивления нагрузки в широких пределах среднее значение выходного напряжения изменяется в пределах 5 %, что говорит о малости выходного сопротивления ШИМ-контроллера, как источника питания, и близости его свойств к свойствам идеального источника.

Ключевые слова: *источник вторичного электропитания, ШИМ-контроллер, компаратор, управляющие импульсы.*

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) характеризуется постоянным усложнением функциональных возможностей устройств при одновременном стремлении к их миниатюризации и повышению энергоэффективности. Ключевую роль в обеспечении надежной работы таких систем играют источники вторичного электропитания (ИВЭ), которые преобразуют электрическую энергию первичных источников (сети переменного тока, аккумуляторов) в энергию с параметрами, необходимыми для питания конкретных узлов аппаратуры: определенным номиналом напряжения, высокой стабильностью и низким уровнем пульсаций. Основными функциональными узлами в структуре ИВЭ традиционно являются выпрямители, стабилизаторы и преобразователи различных типов [1].

Оценка качественных показателей напряжения питания возможна как по результатам натурного эксперимента, предполагающего наличие опытного или промышленного образца, так и по результатам модельного эксперимента на стадии разработки индивидуального источника электропитания. Использование модельного эксперимента для прогнозирования характеристик ИВЭ является актуальной научной задачей и позволяет в значительной степени экономить ресурс при вводе нового источника питания РЭА в эксплуатацию или модернизации уже имеющегося.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является ШИМ-контроллер (на базе широтно-импульсной модуляции) TL494 [2], являющийся одним из важнейших функциональных узлов вторичного

источника электропитания с преобразованием частоты, который обеспечивает корректировку величины выходного напряжения при изменении параметров входного напряжения и нагрузки (потребляемой нагрузкой мощности).

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данная работа является первым этапом решения глобальной задачи построения программной модели импульсного источника электропитания, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы «Программная реализация и исследование вторичного источника электропитания в среде Multisim».

Целью данной работы является построение модели ШИМ-контроллера TL494 и проведение модельных исследований его характеристик с использованием программного обеспечения Multisim.

Для достижения поставленной цели были решены следующие частные задачи:

– определена структура микросхемы TL494 и выбрана элементная база для построения модели ШИМ-контроллера в среде Multisim;

– выполнена отладка работы отдельных функциональных звеньев ШИМ-контроллера;

– выполнена верификация и валидация построенной программной модели ШИМ-контроллера;

– проведено исследование принципов функционирования и основных характеристик ШИМ-контроллера.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Имитационное моделирование в среде Multisim.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенный теоретический анализ принципов построения ШИМ-контроллеров на примере микросхемы TL494 [2] позволил выделить основные функциональные узлы данного блока: генератор пилообразного напряжения, компаратор паузы, компаратор ШИМ, схемы защиты по питанию и опорному напряжению, D-триггер, логические элементы (4ИЛИ, И, ИЛИ-НЕ) и два транзистора с «открытыми» эмиттерами для возможности коммутации нагрузок.

Для реализации компараторов паузы и ШИМ, а также цепей защиты по питанию и опорному напряжению было решено использовать двухтактный компаратор TLV3491, требующий напряжения питания от 2 до 36 В [3]. Предварительные исследования показали, что для нормальной работы данного компаратора необходимо использовать местную нагрузку величиной порядка 1 кОм.

В качестве логических элементов, выполняющих указанные выше функции, были выбраны: 4072BD_5V; 74LS08D и 74LS02D, а D-триггер был реализован на базе микросхемы 74STD [4]. В соответствии с заданным номинальным напряжением питания 10 В, в качестве транзисторов выходных каскадов были выбраны: 2N1711 (рисунок 1) [5].

При подаче на неинвертирующий вход компаратора паузы пилообразного напряжения с частотой следования 1 кГц и типового напряжения 0,12 В на инвертирующий вход на выходе компаратора наблюдалась периодическая последовательность прямоугольных импульсов с периодом следования 1 мс и длительностью 66,0125 мкс (рисунок 2).

При номинальном напряжении питания схемы (10 В) на выходе компаратора защитной схемы формируется низкий логический уровень. Этот сигнал поступает на логический элемент «4ИЛИ», но не изменяет его состояние, что соответствует штатному режиму работы устройства. В случае падения питающего напряжения ниже 4,9 В на выходе компаратора устанавливается постоянный высокий логический уровень. Проходя через элемент «4ИЛИ», данный сигнал блокирует поступление импульсов на D-триггер [6, 7]. В результате на выходе всей схемы формируется низкий логический уровень.

Нижняя цепь защитной схемы функционирует аналогично предыдущему каскаду и обеспечивает дополнительную защиту от глубокого проседания опорного напряжения. Источник опорного напряжения создан на базе: стабилитрона 02DZ4.7 и гасящего резистора сопротивлением 860 Ом.

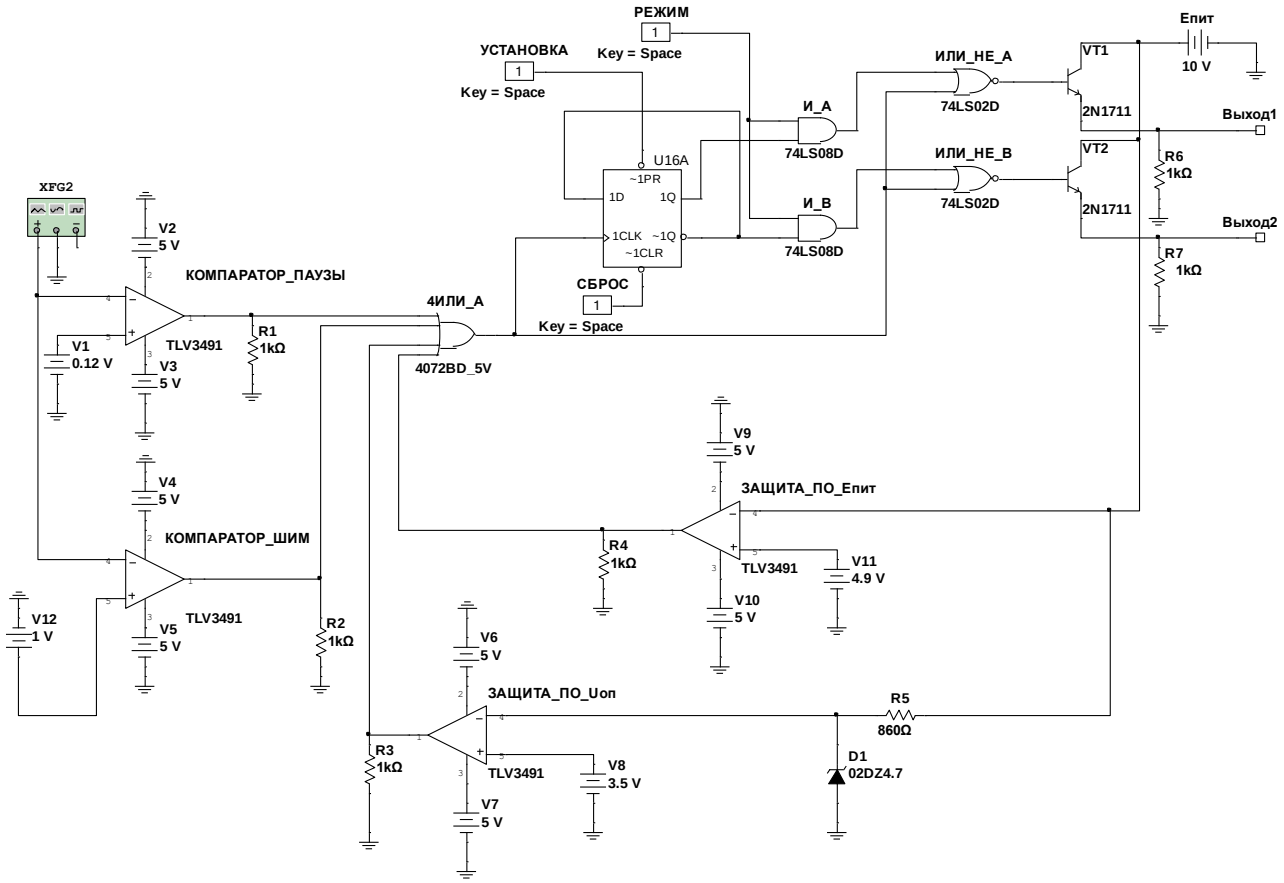

Рисунок 1 – Принципиальная схема ШИМ-контроллера

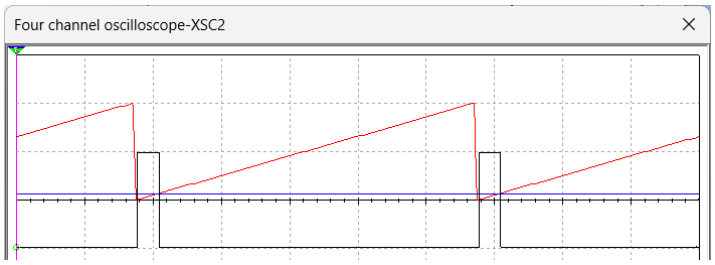

Рисунок 2 – Временные диаграммы входных напряжений и импульсов на выходе компаратора паузы

При установлении на имитаторе «Режим» логической единицы схема работает в двухтактном режиме, а осциллограммы импульсов имеют вид, приведённый на рисунке 3.

Из рисунка видно, что D-триггер срабатывает по фронту поступающих с компаратора ШИМ импульсов, а выходные импульсы с логических схем разнесены во времени на длительность импульса с компаратора ШИМ, причём минимальное расстояние равно длительности импульсов паузы и реализуется в том случае, когда напряжение на входе ШИМ отсутствует.

В однотактном режиме работы импульсы с выхода ШИМ поступают на оба выхода ШИМ контроллера (рисунок 4).

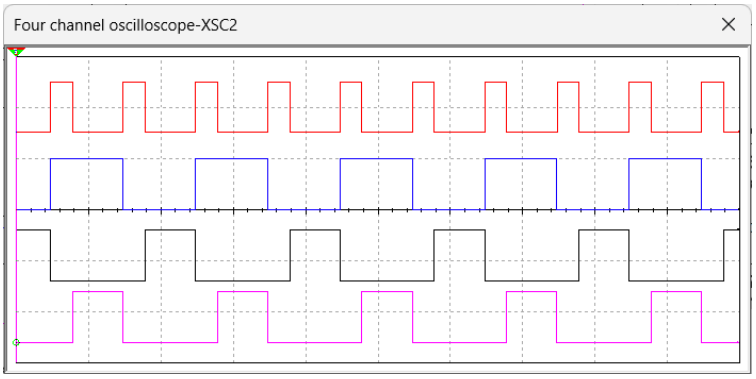

Рисунок 3 – ПППИ: 1 – на выходе компаратора ШИМ; 2 – на прямом выходе D-триггера; 3 и 4 – на выходе схемы, при двухтактном режиме

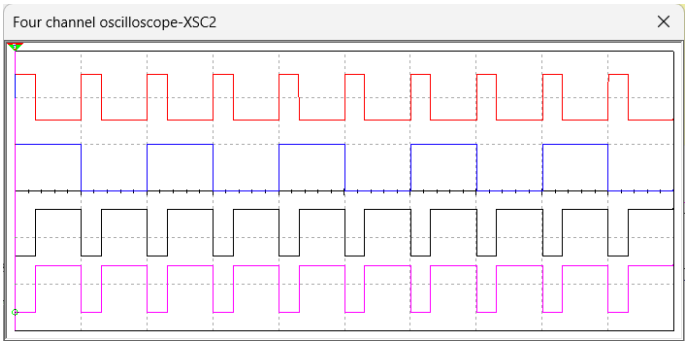

Рисунок 4 – ПППИ: 1 – на выходе компаратора ШИМ; 2 – на прямом выходе D-триггера; 3 и 4 – на выходе схемы, при одноактном режиме

Для собранной схемы ШИМ контроллера были проведены модельные исследования зависимостей длительности выходных импульсов, их скважности и средней величины выходного напряжения от величины напряжения на входе ШИМ. В таблице 1 представлены результаты измерения зависимости длительности и скважности управляющих импульсов от величины входного напряжения.

Таблица 1 – Зависимость длительности управляющих импульсов от подаваемого напряжения на компаратор ШИМ напряжения

$U_{вхШИМ}$, В	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$\tau_{имп}$, мкс	98	197	296	394	499	597	702	798	899
Q	20,4	10,16	6,76	5,08	4	3,36	2,84	2,5	2,22

Экспериментальная зависимость длительности импульса от входного напряжения (рисунок 5) носит линейный характер.

С увеличением входного напряжения ШИМ-модулятора от 0,2 до 1,8 В длительность импульса линейно нарастает от 98 до 899 мкс. Это подтверждает стабильную и корректную работу широтно-импульсного модулятора, при которой длительность формируемого импульса строго пропорциональна величине управляющего напряжения [6].

Рассчитанные значения скважности выходных импульсов Q (рисунок 6) оказались обратно пропорциональны величине входного напряжения, и при увеличении напряжения от 0,2 до 1,8 В величина скважности уменьшается от 20,4 до 2,22, что также соответствует нормальной работе широтно-импульсного модулятора [8].

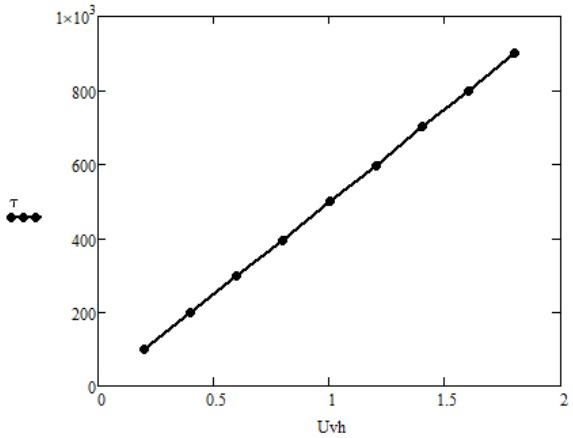

Рисунок 5 – Зависимость длительности выходного импульса от величины входного напряжения

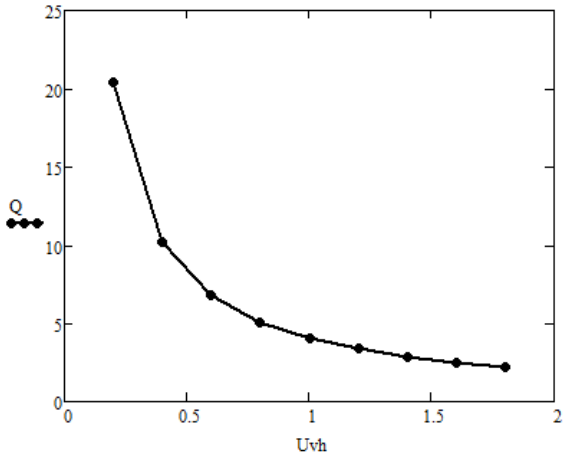

Рисунок 6 – Зависимость входного напряжения от скважности импульсов

В таблице 2 и на рисунке 7 приведены результаты модельных исследований зависимости среднего значения выходного напряжения от величины входного напряжения.

Таблица 2 – Зависимость среднего значения выходного напряжения от величины входного напряжения

U_{oc}, В	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$U_{вых}$, В	1,89	1,68	1,47	1,26	1,05	0,835	0,624	0,412	0,199

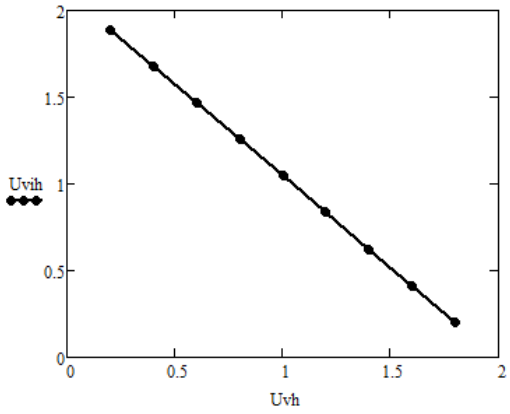

Рисунок 7 – Зависимость выходного напряжения от входного напряжения

Зависимость выходного напряжения от входного носит линейный характер. С увеличением напряжения на входе от 0,2 до 1,8 В выходное напряжение линейно убывает от 1,89 В до 199 мВ [8]. Линейный характер данной зависимости позволяет упростить схему построения управляющего устройства при реализации импульсного источника питания в целом.

Одной из важных характеристик любого источника питания является нагрузочная характеристика, показывающая зависимость выходного напряжения от выходного тока или от сопротивления нагрузки. При уменьшении сопротивления нагрузки с 1 кОм до 10 Ом выходное напряжение оставалось практически неизменным и менялось в пределах от 1,05 В до 996 мВ, т. е. не более чем на 5 %. Это свидетельствует о том что выходное сопротивление ШИМ контроллера, как источника питания, достаточно мало, и по своим свойствам он близок к идеальному.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований удалось реализовать часть будущей модели импульсного источника питания на базе ШИМ контроллера, измерить её основные характеристики в виде зависимостей параметров выходных импульсов от величины входного напряжения. Таким образом, модель показала себя адекватной и может в дальнейшем использоваться для полноценного построения вторичного импульсного источника электропитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеров, Д. П. Современные источники питания ПК и периферии. Полное руководство (+ CD) / Д. П. Кучеров, А. А. Куприянов. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2007. – 352 с.

2. TL494 Datasheet (PDF) // ALLDATASHEET.COM [Электронный ресурс]. – URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12679/ONSEMI/TL494.html (дата обращения 12.04.2026).

3. TLV3491 Datasheet (PDF)// ALLDATASHEET.COM [Электронный ресурс]. – URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/844543/TI1/TLV3491.html (дата обращения 12.04.2026).

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника: учебник для вузов / Ю. С. Забродин. – Москва: Альянс, 2008. – 496 с.

5. Лачин, В. И. Электроника: учеб. пособие / В. И. Лачин, Н. С. Савéлов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 703 с.

6. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / И. С. Гоноровский. – Москва: Дрофа, 2006. – 719 с.

7. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – Москва: Высш. шк., 2008. – 798 с.: ил.

8. Multisim. Руководство пользователя (PDF) // National Instruments Corporation [Электронный ресурс]. – URL: lab127.karelia.ru (дата обращения: 12.04.2026).

SOFTWARE IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF THE TL494 PWM CONTROLLER IN THE MULTISIM ENVIRONMENT

I. A. Tumanov, cadet
E-mail: tumanovigor22@gmail.com
Baltic Fishing Fleet State Academy "KSTU"

E. V. Korotei, Associate Professor of the SRTS Department
E-mail: eugeny_korotey@mail.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy "KSTU"

This article implements a software model of the TL494 PWM controller in the Multisim simulation environment. Simulation studies of the circuit's key characteristics, expressed as dependences of output pulse parameters on input voltage, revealed that these dependences are linear, simplifying the design of the control device when implementing a pulsed power supply as a whole. With wide variations in load resistance, the average output voltage fluctuates within 5 %, indicating the low output resistance of the PWM controller as a power source and its properties are similar to those of an ideal source.

Keywords: *secondary power supply, PWM controller, comparator, control pulses.*