

УДК 621.382.1:004.455

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗАТОРАХ ТОКА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.С. Казаринов, Е.В. Вставская, Дж.А. Саид

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

**Резюме:** Статья посвящена решению задачи уменьшения пульсации выходного тока многоканального стабилизатора на основе моделирования. Приведена структурная схема трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов. Выполнено моделирование стабилизатора в операционной среде VisSim. Произведено сравнение влияния развертки прямоугольных и пилообразных импульсов.

**Ключевые слова:** трехканальный стабилизатор тока, VisSim, моделирование, светоизлучающие диоды, микроконтроллер.

**Благодарности:** Авторы выражают глубокую благодарность директору ООО «НПП Южуралэлектроника» Константинову В. И. и доценту ЮУрГУ, к. т. н. Озерову Л. А. за плодотворные консультации по данной работе.

## SIMULATION STUDY OF PROCESSES IN MULTI-CHANNEL LED CURRENT REGULATOR

L.S. Kazarinov, E.V. Vstavskaya, G.A. Saeed

South Ural State University, Chelyabinsk

**Abstract:** In this paper we study the effect of variation of parameters on stabilizing LED current regulator. Diagram of three-channel LED current regulator is developed. Modeling of three-channel regulator and their results in VisSim are shown. Control channel's system using microcontroller with square and sawtooth impulses is investigated.

**Keywords:** modeling, VisSim, three-channel current regulator, LED, microcontroller.

**Acknowledgments:** The authors would like to express their sincere gratitude to the Director of "NPP Yuzhuralelektronika" Konstantinov V. I. and associate Professor South Ural state University Ozerov L. A. for their consultations on this work.

### Введение

Современные светоизлучающие диоды имеют высокие показатели эффективности световой отдачи. Создание светодиодных энергосберегающих осветительных приборов требует разработки малогабаритных вторичных источников питания на базе устройств современной силовой электроники [1]. Популярность светодиодного освещения в настоящее время обусловлена, с одной стороны, высокой эффективностью светодиодов как преобразователей электрической энергии в световую, с другой – удобством управления

световым потоком путем формирования требуемой диаграммы направленности и применения систем управления интенсивностью светового потока [2].

Массовое производство светодиодов и связанное с этим снижение их себестоимости совместно с увеличением удельной светоотдачи делает современные светодиодные светильники экономически конкурентными наряду с другими типами светоизлучателей [2].

### 1. Схема трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов

Для мощных преобразователей с многими звеньями светодиодными линиями, целесообразно разделять линии светодиодов на несколько каналов. Причина заключается в том, что если светодиоды включены последовательно в одной линии, получается большой перепад напряжения. С одной стороны, это приводит к повышению вероятности отказов, а с другой стороны, не всегда допускается использование высокого напряжения на светодиодной нагрузке. Поэтому в качестве примера был исследован 3-канальный вариант стабилизатора.

Схема трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов содержит понижающий преобразователь, LC-фильтр, источник питания и микроконтроллер. Микроконтроллер управляет каналами системы с помощью формирования широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Микроконтроллер формирует ШИМ на основе сравнения тока светоизлучающих диодов каждого канала с пилообразным сигналом.

Исследуемая в работе схема показана на рис. 1.

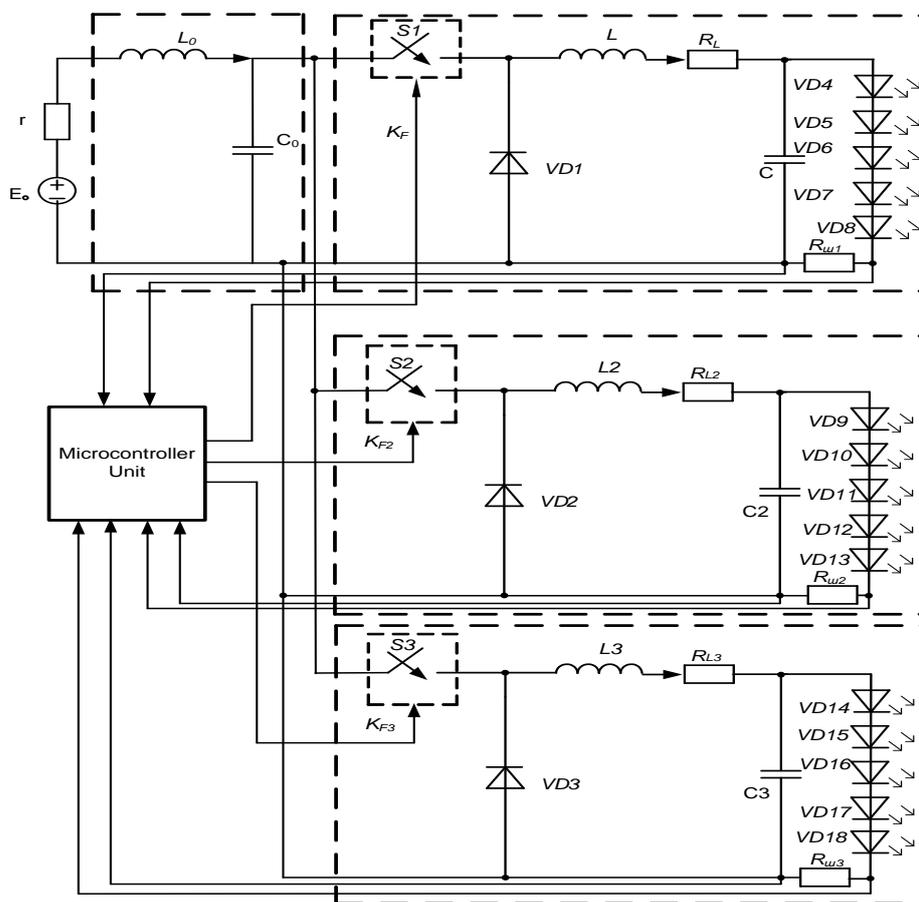


Рис.1. Схема трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов

## 2. Моделирование в *VisSim* источника питания и фильтра трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов

Процессы в цепи питания и фильтра системы описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} L_0 \frac{di_0}{dt} = E_0 - U_{C_0} - i_{L_0} \cdot r, \\ C_0 \frac{dU_{C_0}}{dt} = i_{C_0} = (i_{L_0} - i_L). \end{cases} \quad (1)$$

Схема моделирования в пакете *VisSim* цепи питания и работы фильтра, а также результаты моделирования – входное напряжение, содержащее шумовую составляющую, и напряжение на выходе фильтра – показаны на рис. 2.

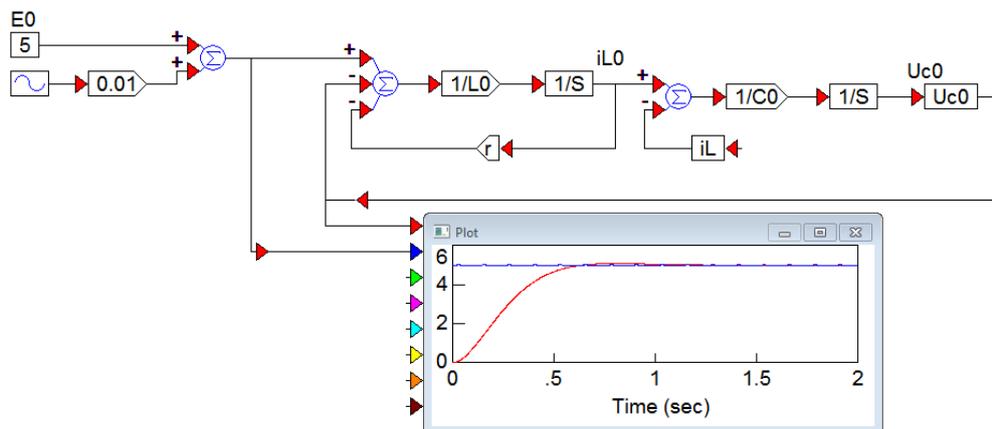


Рис. 2. Моделирование цепи питания и входного фильтра системы в пакете *VisSim*

Из рис. 2 видно, что применение фильтра позволяет уменьшить шумовую составляющую входного напряжения.

## 3. Управление трехканальным стабилизатором тока светоизлучающих диодов с помощью микроконтроллера и генераторы прямоугольных и пилообразных сигналов

Для исследования пульсаций выходного тока светоизлучающих диодов необходимо построить схему моделирования коммутации ключей  $S_1, S_2, S_3$  (см. рис.1).

Сначала рассмотрим разомкнутую систему. Сигналы управления ключами представляют собой ШИМ-сигналы, формируемые с помощью микроконтроллера. В случае разомкнутой системы сигналы управления ключами формируются директивно, как показано на рис. 3.

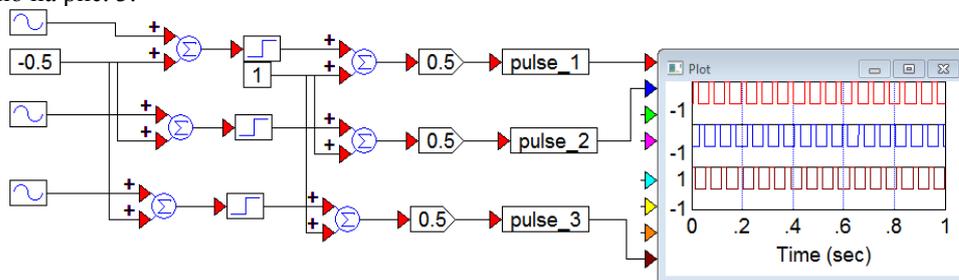


Рис. 3, а. Прямоугольные импульсы в трехфазном режиме в пакете *VisSim*



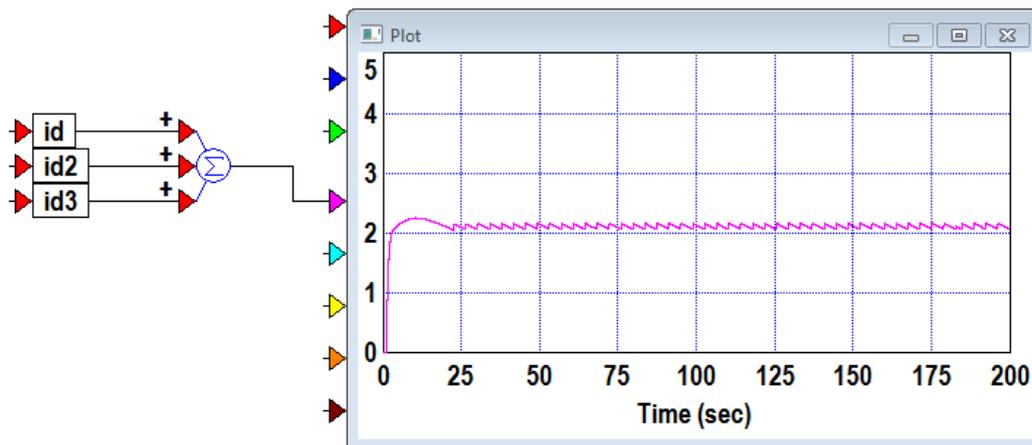


Рис. 5. Моделирование зависимости выходного тока светодиодов в разомкнутой системе с помощью *VisSim*

В случае замкнутой системы формирование сигналов управления ключами производится на основе сравнения тока светоизлучающих диодов каждого канала и сигнала с генератора пилообразных сигналов, как показано на рис. 6.



Рис. 6, а. Пилообразные импульсы в трехфазном режиме в пакете *VisSim*

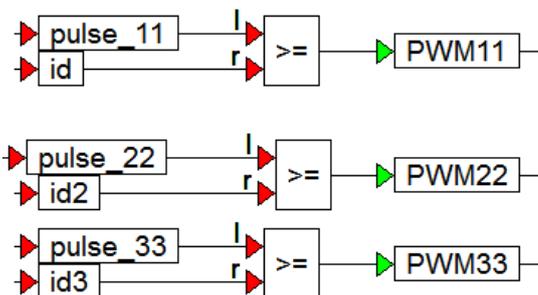


Рис. 6, б. Моделирование ШИМ в пакете *VisSim* с пилообразным сигналом

Результат моделирования трехканального стабилизатора тока светоизлучающих диодов в пакете *VisSim* при использовании пилообразных сигналов в качестве опоры для формирования управляющих сигналов ключей показан на рис. 7.

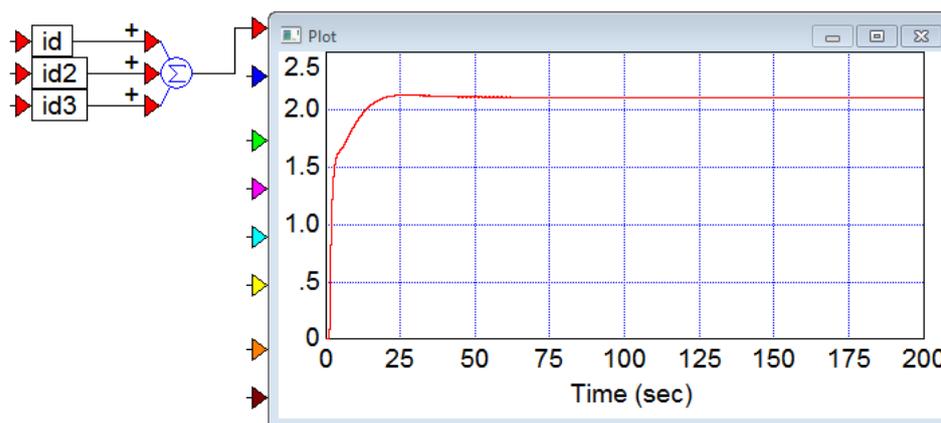


Рис. 7. Моделирование зависимости выходного тока светодиодов в замкнутой системе с помощью *VisSim*

По результатам моделирования пульсации выходного тока составляют 0,01.

Проведенное моделирование в данной работе позволяет сделать следующие выводы.

Уровень пульсаций на рис. 7 составляет почти 0,01, а на рис. 5 уровень пульсаций составляет почти 0,075. Сравнивая уровни пульсаций на рис. 5 и 7, отметим, что уровень пульсаций в замкнутой системе значительно меньше, чем в разомкнутой (примерно в 7,5 раз).

На основе сравнения показано, что использование замкнутой системы для формирования сигналов коммутации ключей значительно снижает уровень пульсаций выходного тока многоканальных стабилизаторов.

### Выводы

Показано, что использование операционной среды *VisSim* позволяет промоделировать не только переходные процессы многоканальных импульсных стабилизаторов, но и произвести расчет пульсаций выходного тока.

На основе моделирования произведено сравнение уровня пульсации в многоканальных стабилизаторах при разных вариантах формирования управляющих сигналов.

На основе моделирования можно подобрать такие номинальные значения параметров многоканального стабилизатора, при которых пульсации выходного тока будут минимальными.

### Литература

1. Саид Дж.А. Моделирование процессов бифуркации режимов стабилизатора тока светоизлучающих диодов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2015. Т. 15, № 3. С. 40–49.[ Said Dzh. A. ( Modelling Bifurcation Processes of the Modes of LED Current Regulator). Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.– 2015.– vol. 15, no. 3.– pp. 40–49.(in Russ.)]
2. Вставская Е.В., Константинов В. И., Константинова О.В., Пожидай М.М. Многоканальные источники тока для светодиодных излучателей // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 4. С. 78–79.[ Vstavskaya E.V. (Multi-channel current sources for LED emitters). Solid-State Lighting. – 2014. –no. 4.– pp. 78 –79.(in Russ.)]
3. Казаринов Л.С., Саид Дж.А. Моделирование стабилизатора тока светоизлучающих диодов в пакете *VisSim* // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2017. Т. 17, №1. С. 146–152.[ Kazarinov L.S., Saeed G.A. (Modeling of a Led

Current Regulator in VisSim). Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.– 2017.– vol. 17, no. 1.– pp. 146–152.(in Russ.)]

4. Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB, Визуальное математическое моделирование. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 386 с.[ D'yakonov V.P. (VisSim + Mathcad + MATLAB. Visual mathematical modeling).– Moscow: SOLON-Press. – 2004. – 386 p.(in Russ.)]

5. Вставская Е.В., Барбасова Т.А., Константинов В.И. Оптимизация режима работы светодиодных светильников // Электротехнические комплексы системы управления. 2011. №4. С. 14–17.[ Vstavskaya E. V., Barbasova T.A., Konstantinov V. I. (Optimization the operating mode of LED lamps). Electrotechnical complexes of the control system. – 2011. – no.4. – pp. 14 – 17. (in Russ.)]

6. X. Wu, J. Zhang, Z. Qian. A simple two-channel LED driver with automatic precise current sharing // IEEE Trans. Ind. Electron. –2011.–vol. 58, no.–10.pp. 4783 – 4788.

7. K. I. Hwu, S. C. Chou, A simple current-balancing converter for LED lighting // IEEE Appl. Power Electron. Conf. (APEC). – 2009. – pp. 587-590.

8. S. Ji, H. Wu, X. Ren, F. C. Lee, Multi-channel constant current (MC3) LED driver // IEEE Appl. Power Electron. Conf. (APEC). – 2011. – pp. 718-722.

9. Цевелюк Е., Котов В. Обзор LED-драйверов для светодиодных ламп широкого применения // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 21. С.40–43.[ Tsevelyuk E., Kotov V. (Overview of LED-drivers for LED lamps). Solid-State Lighting.–2013.– no. 21.– pp.40–43.(in Russ.)]

10. Y. Hu, M. M. A new current-balancing method for paralleled LED strings // IEEE Appl. Power Electron. Conf. (APEC).– 2011.– pp. 705–712.

#### Авторы публикации

**Казаринов Лев Сергеевич** – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и управление». Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), г.Челябинск.

**Вставская Елена Владимировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и управление». Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), г.Челябинск. E-mail: elena\_vstavskaya@mail.ru.

**Саид Джехад Абдо Али** – аспирант кафедры «Автоматика и управление». Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), г.Челябинск. E-mail: gehads@mail.ru.

#### References

1.Said Dzh. A. Modelirovanie protsessov bifurkatsiiirezhimov stabilizator atoka svetoizluchayush chikhdiody [Modelling Bifurcation Processes of the Modes of LED Current Regulator] // VestnikYuUrGU. Seriya «Komp'yuternyetehtnologii, upravlenie, radioelektronika».– 2015. – vol. 15, no.3.– pp. 40–49.

2. Vstavskaya E.V. Mnogokanal'ny eistochnikitokadlya svetodiod nykhizluchateley[Multi-channel current sources for LED emitters] //Poluprovodnikovayasvetotekhnika. – 2014. –no. 4.– pp. 78 –79.

3.D'yakonov V.P., VisSim+Mathcad+MATLAB. Vizual'noematematicheskoomodelirovanie [VisSim + Mathcad + MATLAB. Visual mathematical modeling].– Moscow: SOLON-Press. – 2004. – 386 p.

4.Vstavskaya E. V., Barbasova T.A., Konstantinov V. I. Optimizatsiyarezhimarabotysvetodiodnykhsvetil'nikov[Optimization the operating mode of LED lamps] // Elektrotekhnicheskieskompleksy i sistemyupravleniya. – 2011. – №4. – S. 14 – 17.

5.X. Wu, J. Zhang, Z. Qian. A simple two-channel LED driver with automatic precise current sharing // IEEE Trans. Ind. Electron. 2011. vol. 58, no. 10. pp. 4783 – 4788,

#### Authors of the publication

**Kazarinov Lev Sergeevich**, Chelyabinsk, South Ural State University, Doctor of Technical sciences, Professor, Head of the Automation and Control Department.

***Vstavskaya Elena Vladimirovna***, Chelyabinsk, South Ural State University; Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Automation and Control Department, E-mail: elena\_vstavskaya@mail.ru.

***Saeed Gehad Abdo Ali***, Chelyabinsk; South Ural State University, Postgraduate student of the Automation and Control Department; Tel.: +79226319914, E-mail: gehads@mail.ru.

***Поступила в редакцию***

***21 декабря 2016 г.***