

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДОВ В СРЕДЕ OrCAD

А.В. Глухов, Л.Ю. Рогулин

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций
и информатики» (СибГУТИ), г. Новосибирск; q0987@ngs.ru*

Ключевые слова и фразы: автоматизированное проектирование; драйвер светодиода; имитационное моделирование.

Аннотация: Разработана принципиальная схема драйвера светодиодов с регулированием по среднему значению тока методом широтно-импульсной модуляции с точностью стабилизации до 3 %. Проведены имитационные исследования при внешних воздействиях со стороны источника электропитания и нагрузки, а также натурные испытания в рамках опытно-конструкторской работы ОАО «Новосибирский завод полупроводниковых приборов с особым конструкторским бюро».

Выполнение задачи энергосбережения закономерно привело к бурному развитию светодиодного освещения. Светодиоды также представляют интерес в качестве источников подсветки ЖК-дисплеев телевизоров, ноутбуков и освещения поверхностей зданий. Для подключения диодов в схему любого устройства требуется драйвер – электронная схема, преобразующая энергию внешней питающей цепи к пригодному для питания светодиодов виду. Драйвер во многом определяет качество излучаемого светодиодами света (уровень пульсаций, яркость), длительность безотказной работы, требования к первичной сети, потребляемую мощность и стоимость устройства освещения. С развитием технологий высокопроизводительных светодиодов на передний план выходят температурные аспекты, так как существует максимально допустимая температура активного слоя $p-n$ -перехода, превышение которой может повлечь за собой ускоренное старение приборов, деградацию и выход из строя. Максимально допустимый прямой ток должен обязательно ограничиваться при повышении температуры окружающей среды, чтобы температура активного слоя оставалась ниже критического значения. Предельное значение прямого тока при заданной температуре окружающей среды можно повысить, если дополнительно использовать радиатор охлаждения, что приводит к громоздкости устройства. Регулирование по среднему значению тока обеспечит большой срок службы и уменьшит габариты разрабатываемого устройства.

Автоматизация проектирования и проверка на моделях позволяют существенно сократить время и финансовые затраты на разработку большинства электронных устройств, повышая точность расчетов и сокращая объем экспериментальных исследований. Продуктивное использование современного прикладного программного обеспечения позволяет быстро и надежно моделировать, оптимизировать предлагаемые схмотехнические решения и проверять их жизнедеятельность в нестационарных режимах, без физической реализации устройства. Уровень технического развития современной аппаратуры немыслим без применения систем автоматизированного проектирования (САПР) на этапах разработки элек-

тронных устройств при их производстве. Одной из таких САПР является система OrCAD фирмы Cadence Design Systems (США), которая позволяет разработчикам в достаточно короткие сроки создавать, моделировать электронные схемы, разводить печатные платы и подготавливать их к производству. Имитационные исследования по проверке работы устройств при деструктивных воздействиях в процессе проектирования позволят снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций во время эксплуатации устройства освещения, а созданная принципиальная схема – оптимизировать параметры элементов схемы, повысить достоверность и надежность.

Описание схемы драйвера

Для получения светового потока 1200 лм, аналогичного потоку лампы накаливания мощностью 100 Вт, необходимо включить 12–14 светодиодов, мощностью не менее 1 Вт с номинальной светоотдачей не ниже 100 лм/Вт и рабочем токе 350 мА [1]. Для обеспечения продолжительного срока службы, высокой надежности и стабильности характеристик устройств освещения, используемые в них светодиоды необходимо питать стабильным током. При работе светодиодной лампы возникает проблема отвода тепла, выделяемого в малом объеме светодиода. Перегрев светодиодов на 10 градусов приводит к снижению срока службы примерно в два раза [3]. Одним из требований, предъявляемых к драйверу светодиодов, является функция диммирования, которая по сути является функцией управления яркостью. Данной функции уделяют особое внимание в современных условиях электроосвещения офисных помещений, торговых, промышленных объектов и прочих.

На рисунке 1 представлена функциональная схема драйвера светодиодов с управлением по среднему значению тока. Функциональная схема содержит: светодиодный блок 2, включающий регулирующий транзистор VT1, работающий в ключевом режиме; низкоомный шунт R1 (датчик тока), служащий для контроля и измерения тока светодиода VD1; обратный диод VD2 и LC-фильтр; регулирующий блок 1, питающийся от источника $U_{пит}$. В состав управляющего блока 1 вхо-

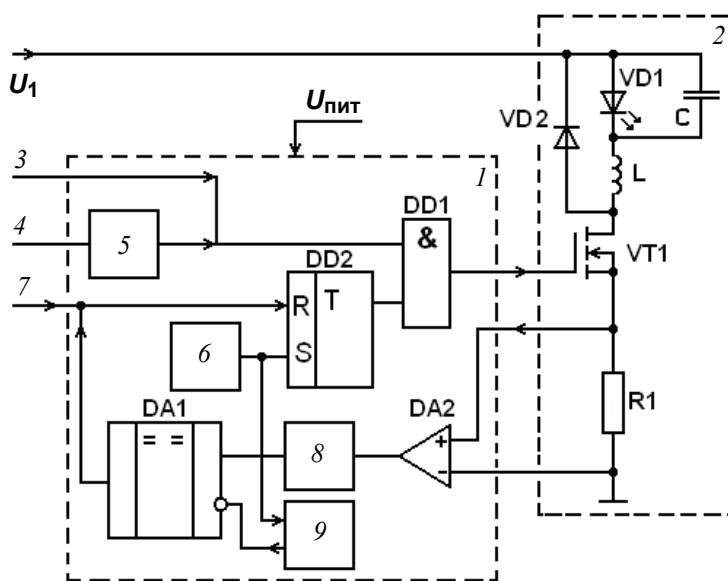


Рис. 1. Функциональная схема драйвера

дят: задающий генератор 6; блок защиты от понижения напряжения, превышения тока, изменений температуры 5 и цепь отрицательной обратной связи по току – операционный усилитель DA2, интегратор 8, генератор пилообразного напряжения 9, компаратор DA1 и RS-триггер DD2.

Увеличение срока службы светодиодов и повышение точности регулирования тока обеспечивается изменением длительности сигнала управления на затворе транзистора VT1, поступающего с выхода схемы совпадений DD1, на один вход которой поступают прямоугольные импульсы с выхода RS-триггера, а на другой – сигнал «сброса» или сигнал диммирования. Проверка работы устройства управления проводилась путем моделирования в среде OrCAD [2]. Имитационная модель драйвера светодиодов (рис. 2) соответствует схеме, представленной на рис. 1.

На выходе задающего генератора dd3 (см. рис. 2) формируются прямоугольные импульсы напряжения амплитудой порядка 5 В (кривая 1, рис. 3), генератор

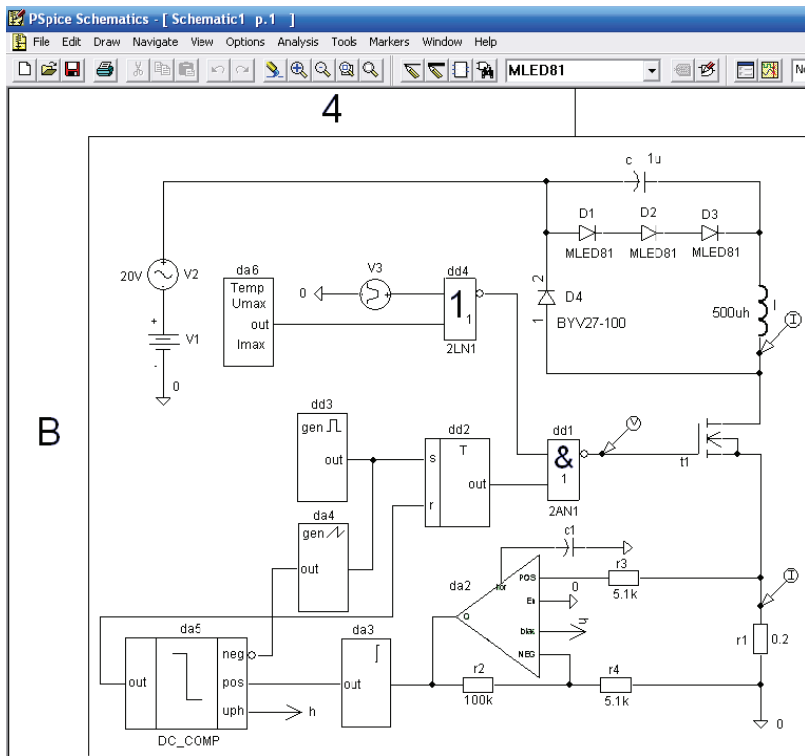


Рис. 2. Имитационная модель драйвера светодиодов

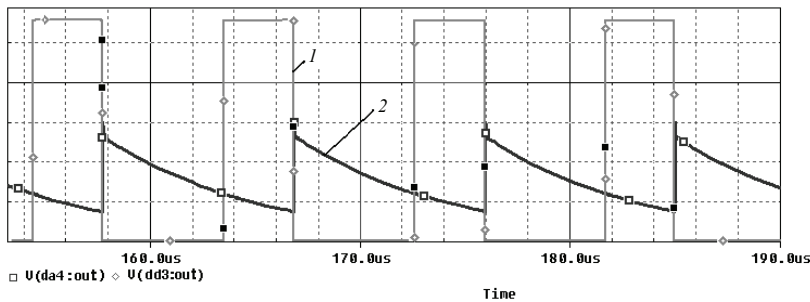


Рис. 3. Временные зависимости сигналов на выходе задающего генератора 1 и генератора пилы 2

пилообразного напряжения формирует синхронную спадающую пилу (кривая 2, см. рис. 3). На выходе интегратора da3 формируется аналоговый сигнал (кривая 1, рис. 4) пропорциональный среднему значению напряжения, снимаемого с датчика тока (кривая 2, см. рис. 4). Стабилизация тока светодиодов осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В компараторе da5 происходит сравнение сигнала с выхода интегратора (кривая 1, рис. 5) и пилообразного напряжения (кривая 2, рис. 5), а на выходе компаратора формируется ШИМ-сигнал сброса RS-триггера (кривая 3, рис. 5). В случае возникновения аномальных режимов срабатывает защита, блокируя затвор транзистора t1 сигналом с выхода da6. Проверка режима диммирования моделировалась путем изменения сигнала источника V3. При проведении имитационных испытаний использовался линейный эквивалент светодиода в виде последовательно включенного резистора 0,6 Ом и источника порогового напряжения 3,15 В, а также имеющиеся модели светодиодов в среде OrCAD.

Если принять, что коэффициент заполнения $\gamma = t_n / T$, где t_n – длительность импульса, а T – период, то на длительность ШИМ-сигнала γT накладывается ограничение $\gamma \leq 0,5$, что исключает вероятность возникновения субгармонических колебаний, частота которых в несколько раз меньше тактовой частоты [4]. Кроме того, стартовый процесс нарастания выходного тока связан с нарастанием напряжения питания регулирующего блока U_i , которое вырабатывается встроенным стабилизатором от напряжения, снимаемого с коллектора силового транзистора VT1 (см. рис. 1) только во время его закрытого состояния, поэтому γ ограничивается на уровне 0,5. Стартовые эпюры напряжения на интеграторе и тока ключа приведены на рис. 6.

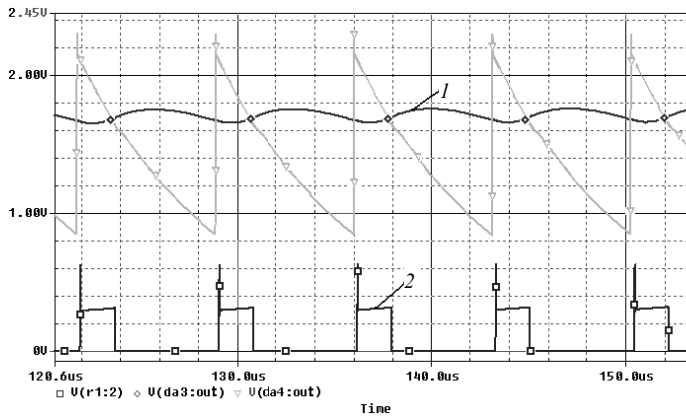


Рис. 4. Временные зависимости сигналов на выходе интегратора 1 и датчика тока 2

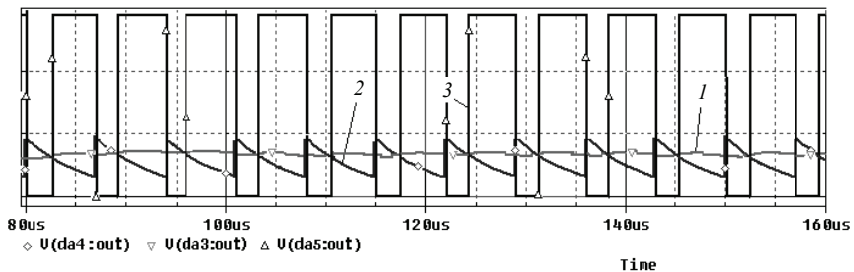


Рис. 5. Формирование ШИМ-сигнала: выход интегратора 1, генератор пилы 2, инверсный сигнал управления 3

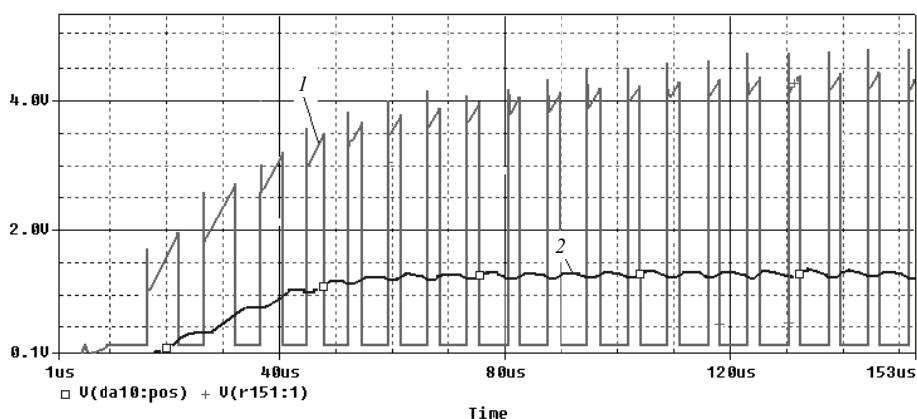


Рис. 6. Нарастание тока транзистора VT1 1 и напряжения интегратора 2 при включении

Светодиодный блок, по сути, представляет собой понижающий импульсный стабилизатор тока. Учитывая, что светодиодная нагрузка может быть представлена линейным эквивалентом с дифференциальным сопротивлением $r_d = 0,6$ Ом и генератором начального смещения $U_{\text{пор}} = 3$ В для каждого светодиода [5], используя теорию импульсных стабилизаторов напряжения при непрерывности тока через индуктивность, нетрудно получить известные расчетные соотношения [6]:

$$\gamma_{\min} \cong \frac{U_{\text{H}} - \Delta U_{\text{H}}}{(U_1 + \Delta U_1)};$$

$$L_{\min} \geq \frac{(U_{\text{H}} + \Delta U_{\text{H}})(1 - \gamma_{\min})}{2I_{\text{Hmin}}f};$$

$$LC = \frac{(U_{\text{H}} - \Delta U_{\text{H}})(1 - \gamma_{\min})}{16U_{\text{H}}f^2},$$

где U_{H} – напряжение на линейном эквиваленте нагрузки; f – частота.

Для проверки правильности работы предлагаемого устройства проведены имитационные и натурные испытания в рамках выполнения опытно-конструкторской работы по техническому заданию ОАО «НЗПП с ОКБ». Результаты исследований показали хорошее совпадение теоретических расчетов и натурных испытаний. Предлагаемое устройство позволяет обеспечить точность стабилизации тока до 3 %, линейность регулировочных характеристик, повторяемость параметров драйверов, использовать накопительные дроссели с индуктивностями от 50 до 500 мкГн и обеспечить диммирование внешним сигналом. Преимуществом данного устройства является более высокая стабильность тока, что не позволяет отдельному светодиоду в последовательном ряду быть перегруженным и тем самым гарантирует большой срок службы. В случае пробоя одного из излучателей, оставшиеся светодиоды будут продолжать функционировать с корректным током.

Выводы

Вышеизложенное подтверждает важность и незаменимость всех этапов автоматизированного проектирования электронных устройств для оптимизации параметров разрабатываемой схемы и проверки жизненных циклов функционирования устройства.

Отличительные особенности разработанного драйвера светодиодов:

- управление током в цепи светодиодов осуществляется по среднему значению, а не по пиковому току катушки индуктивности, что позволяет значительно повысить точность стабилизации тока, линейность характеристик и повторяемость источников тока для светодиодов;
- применение катушек с более низким значением индуктивности;
- обеспечение точности стабилизации выходного тока светодиода до $\pm 3\%$;
- возможность установки выходного тока внешним делителем, подключенным к внутреннему опорному напряжению.

Драйвер выполняет свои функции и сохраняет значения параметров в допустимых пределах с точки зрения современных требований во время и после воздействия специальных факторов. Анализ физических процессов, проведенный посредством имитационного моделирования при деструктивных воздействиях, позволяет сделать вывод о необходимости применения САПР. Предложенное в работе имитационное моделирование соответствует современной методологии автоматизированного проектирования электронных устройств и оптимизации на этапах проектирования, что повышает их надежность и помехоустойчивость.

Список литературы

1. Миронов, С. Интегральные драйверы для светодиодного освещения. Часть I: AC/DC-драйверы [Электронный ресурс] / С. Миронов // Новости электроники. – 2010. – № 10. – Режим доступа к журн. : <http://www.compeljournal.ru/enews/2010/10/2>. – Загл. с экрана.
2. Разевиг, В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0 / В.Д. Разевиг. – М. : Солон-Р, 2000. – 698 с.
3. Вейнерт, Дж. Светодиодное освещение. Справочник / Джонатан Вейнерт. – [Б. м.] : Philips, 2010. – 156 с.
4. Волович, Г.И. Устойчивость импульсных стабилизаторов напряжения / Г.И. Волович // Схемотехника. – 2001. – № 12. – С. 16–20 ; 2002. – № 1. – С. 32–35.
5. Харихаран, С. Формирователь ШИМ-тока с постоянным размахом для питания светодиодов / С. Харихаран // Chip News: Инженерная микроэлектроника. – 2007. – № 6(119). – С. 41–45.
6. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Справочник / под ред. Г.С. Найвельта. – М. : Радио и связь, 1986. – 576 с.

Simulation of LED Drivers in OrCAD

A.V. Glukhov, L.Yu. Rogulin

*Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences,
Novosibirsk; q0987@ngs.ru*

Key words and phrases: computer-aided design; LED driver; simulation.

Abstract: The paper describes the developed concept of LED driver with the regulation by the average value of the current through pulse-width modulation method with the accuracy of stabilization up to 3 %. Simulation studies were carried out under external influences from the power source and the load, as well as full-scale tests under the research and development of Novosibirsk Factory of Semiconductors with Special Design Bureau.

Modellierung der Treiber der Leuchtdioden in der OrCAD-Umgebung

Zusammenfassung: Es ist das prinzipielle Schema des Treibers der Leuchtdioden mit der Regulierung nach der mittleren Bedeutung des Stromes von der Methode der impulsbreiten Modulation mit der Genauigkeit der Stabilisierung nicht schlechter als 3 % erarbeitet. Es sind die Imitationsuntersuchungen bei den äußerlichen Einwirkungen seitens der Quelle der Stromversorgung und der Belastung, sowie die Außentests im Rahmen “des Betriebes der Halbleitergeräte mit dem besonderen Konstruktionsbüro Nowosibirsk” durchgeführt.

Modélage des drivers des diodes émettrices dans un milieu OrCAD

Résumé: Est élaboré le schéma principal du driver des diodes émettrices avec un réglage par la grandeur moyenne du courant d’après la méthode de la modulation de durée avec une précision de la stabilisation qui n’est pire de 3 %. Sont effectués les essais d’imitation avec des action extérieures de la part de la source de l’alimentation électrique et de la charge ainsi que dans le cadre de travail de la SARL “Usine des appareils semi-conducteurs de Novosibirsk avec un bureau de construction particulier”.

Авторы: *Глухов Александр Викторович* – начальник особого конструкторского бюро ФГУП «Новосибирский завод полупроводниковых приборов с особым конструкторским бюро»; *Розулин Леонид Юрьевич* – аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), г. Новосибирск.

Рецензент: *Тырыкин Сергей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств, ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.
