

СВЕТОДИОДНЫЕ ЗНАКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

Осьмушин А. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)» (СГАУ), Самара, Россия (443086, Самара, Московское шоссе, 34), e-mail: Alex_50174@rambler.ru

Рассмотрены светодиодные знаки для управления транспортными потоками и произведен выбор элементной базы для светодиодных дорожных знаков (СДЗ). Показаны преимущества использования светодиодов в качестве источника света, выбраны подходящие типы светодиодов с описанием их преимуществ и недостатков. Проанализированы возможные места установки СДЗ, и, соответственно, тип питания, доступный в этих местах. Принято решение о разработке СДЗ с питанием постоянным током напряжением 12В, как наиболее универсального варианта для использования самостоятельно или в совокупности с преобразователями. Рассмотрены способы питания светодиодов с использованием токоограничивающих резисторов, драйверов на основе линейного стабилизатора и драйверов на базе импульсного стабилизатора. Обоснован выбор однокристальных микроконтроллеров и других электронных элементов в качестве устройств, задающих логику работы СДЗ. Объяснены преимущества выбора в качестве ключевых элементов logic-level полевых транзисторов с изолированным затвором. Описаны произведённые СДЗ и показан вектор дальнейших разработок.

Ключевые слова: светодиодный дорожный знак (СДЗ), светодиод, микроконтроллер, драйвер светодиодов, полевой транзистор.

LED SIGNS FOR TRAFFIC CONTROL

Osmushin A. A.

Samara State Aerospace University n.a. S.P. Korolev, Samara, Russia (443086, Samara, street Moscow Highway, 34), e-mail: Alex_50174@rambler.ru

LED signs for traffic control were discussed and hardware components for LED road signs were selected. The advantages of using LEDs as the light source were showed; the appropriate types of LEDs with a description of their advantages and disadvantages were selected. Possible installation locations of LED road signs and, therefore, the type of power supplies available in those locations were analyzed. Decided to develop a LED road sign project with 12 VDC power supply, as the most versatile option for use alone or in combination with inverters. The methods of LED power with current-limiting resistors, LED drivers based on a linear regulator and LED drivers based on a switching regulator were considered. The choice of single-chip microcontrollers and other electronic components as devices that define the logic of the LED road sign work was justified. Explain the benefits of choice logic-level insulated-gate field-effect transistors (IGFET or MOSFET), as key elements. Produced LED road signs described and shown a vector of further developments.

Key words: LED road sign, light-emitting diode (LED), microcontroller, LED driver, field-effect transistor.

Введение

Современный темп дорожного движения требует активного развития технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) для более точного и гибкого управления транспортными потоками. Одним из таких ТСОДД являются дорожные знаки. Развитие дорожных знаков движется в сторону интерактивных панелей на базе светодиодов, подключенных к интеллектуальной транспортной системе [1]. Такой вид дорожных знаков позволит корректировать методы организации дорожного движения в зависимости от множества факторов, таких как погодные условия, интенсивность движения, наличие заторов или нештатных ситуаций на улично-дорожной сети (УДС) [4]. Кроме того, в последние годы

активно разрабатываются и внедряются в процесс организации дорожного движения (ОДД) более простые модификации светодиодных дорожных знаков (СДЗ), выполняющие важную функцию привлечения внимания водителей транспортных средств.

В данной статье обосновывается применение светодиодов в качестве источника света для разработки дорожных знаков, позволяющих улучшить процесс управления транспортными потоками, и акцентируется внимание на выборе элементной базы для СДЗ.

Обоснование применения светодиодов для использования в СДЗ

Рассмотрим основные преимущества светодиодов над другими источниками света.

- *Высокая световая отдача.* У современных светодиодов этот параметр превышает 160 лм/Вт. Для сравнения, у натриевых газоразрядных ламп – 150 лм/Вт, у люминесцентных ламп – 80 лм/Вт, у ламп накаливания – 20 лм/Вт. Благодаря высокому КПД, светодиоды как нельзя лучше подходят для подсветки дорожных знаков, т.к. их питание осуществляется от бортовой сети автомобиля или отдельного аккумулятора, и, следовательно, необходима экономичность источника света. К тому же, небольшой ток, потребляемый светодиодами, легче коммутировать.
- *Высокая механическая прочность.* У светодиодов отсутствуют чувствительные части (например, нити накаливания) и объёмы с вакуумом или высоким давлением. Благодаря этому светодиоды обладают высокой вибростойкостью и остаются работоспособными при умеренных механических воздействиях. Данные качества позволяют СДЗ работать в условиях вибраций от работающего оборудования, например, в ходе дорожных работ, а также переносить удары при транспортировке.
- *Длительный срок службы* светодиодов (до 50000 часов) позволяет повысить надёжность СДЗ и использовать их в течение длительного промежутка времени без ремонта.
- *Маленькие размеры* светодиодов позволяют легко формировать любое необходимое изображение на дорожном знаке.

Совокупность данных характеристик делает светодиоды наиболее подходящими для использования в СДЗ.

В разработанных на данный момент авторами СДЗ используются круглые выводные сверхъяркие 20mA-светодиоды диаметром 5 мм, а также светодиоды в DIP-4 корпусе («пираньи») с аналогичными характеристиками. Преимуществами светодиодов-«пираний» являются большой срок службы, удобство крепления к листу металла и практически полное отсутствие выпирающих частей с лицевой стороны знака (рисунок 1а). Однако круглые

выводные светодиоды в 2 раза дешевле, и их значительно удобнее соединять в цепочки благодаря длинным выводам (рисунок 1б).

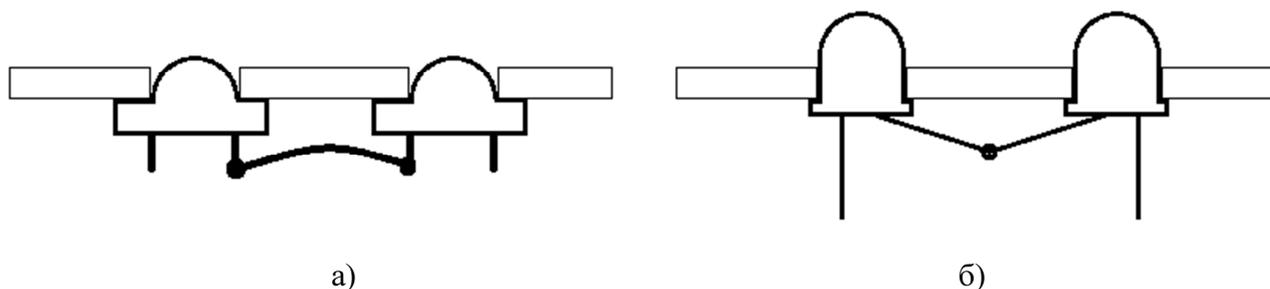


Рисунок 1. Монтаж светодиодов-«пираний» и выводных светодиодов на листе металла

Выбор источника питания СДЗ

Основные места расположения СДЗ – это УДС города, загородные трассы и техника для ремонта и обслуживания дорожного покрытия. Расположенные на УДС СДЗ наиболее часто подключаются к сети освещения переменного тока напряжением 220 В. Установленные на дорожной технике СДЗ питаются либо от бортовой сети автомобилей постоянного тока напряжением 12 В или 24 В, либо от отдельных аккумуляторов с напряжением 12 В, либо от генераторов переменного тока напряжением 220 В. Для установленных на трассах СДЗ (при отсутствии сети освещения) можно организовать питание от солнечных батарей, которые через специальный контроллер заряда будут заряжать аккумулятор напряжением 12 В.

Исходя из приведённых данных, принято решение о разработке СДЗ с питанием от 12 В постоянного тока, а при необходимости подключения к другим источникам питания использовать соответствующие преобразователи.

Способы питания светодиодов

Поставленная задача по разработке качественного, долговечного и экономичного СДЗ решается, в первую очередь, благодаря выбору оптимального питания светодиодов для данного применения. Как известно, для питания светодиодов необходимо ограничивать ток, протекающий через них. Именно от тока, а не от напряжения зависит яркость свечения светодиода, причем падение напряжения на разных экземплярах светодиодов и при разной температуре окружающей среды будет значительно отличаться (рисунок 2) [7].

Очевидно, что если взять светодиоды даже одного производителя (например, А) и подать на них 3,4 В, то через некоторые светодиоды будет протекать ток 22 мА, а через другие – 43 мА. Если светодиоды рассчитаны на ток 30 мА, то часть из них будет светить не в полную силу, а другая часть может быстро выйти из строя из-за превышения максимально допустимого тока.

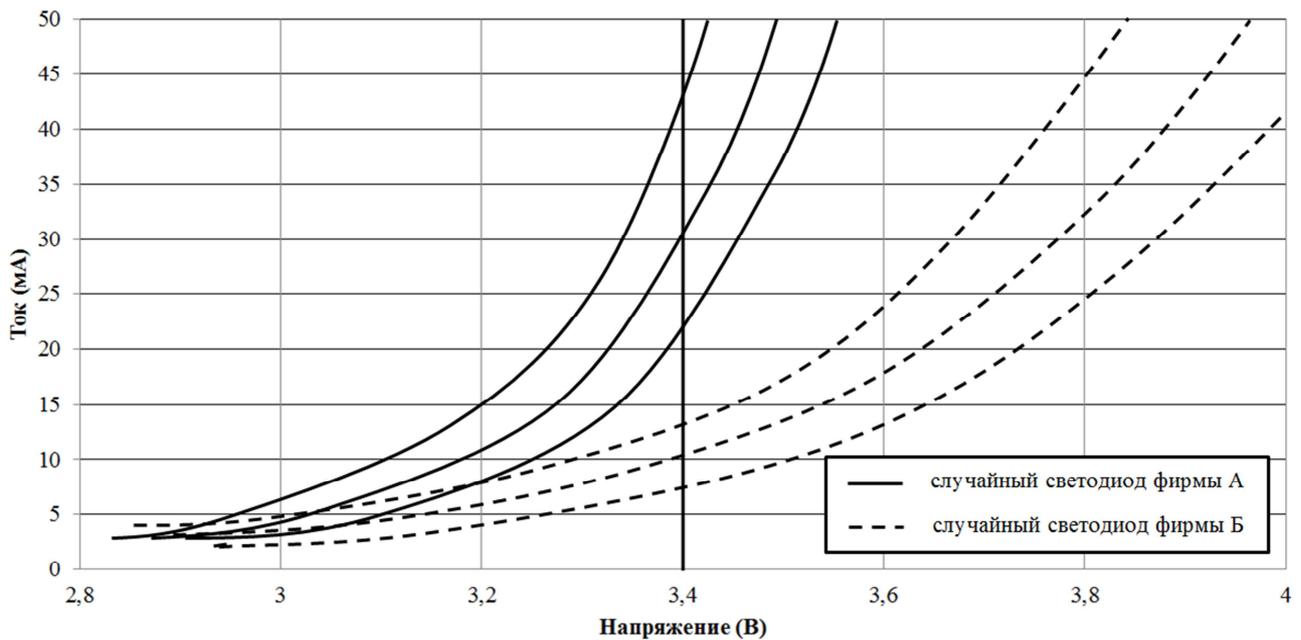


Рисунок 2. Зависимость тока светодиодов от напряжения

Еще одна особенность питания светодиодов, показанная на рисунке 3, – необходимость уменьшения тока при температурах, превышающих 25–30 градусов, что связано с недопустимостью нагрева светодиода выше некоторой определенной температуры.

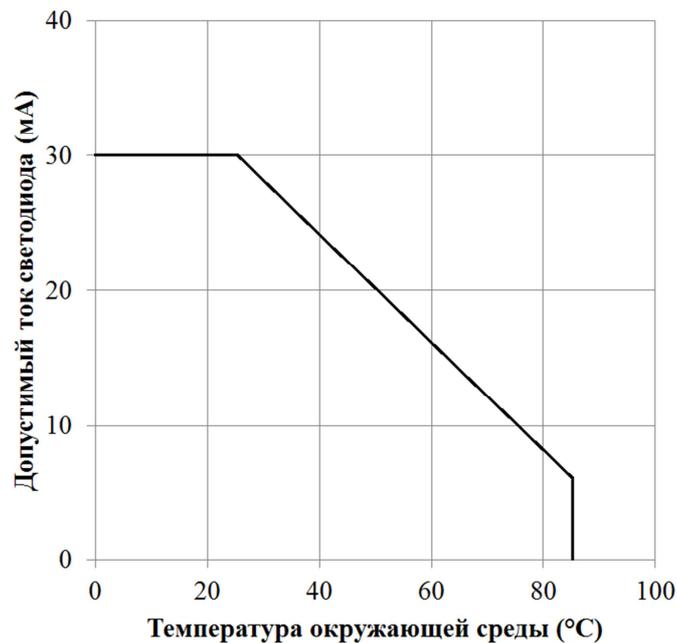


Рисунок 3. Зависимость допустимого тока светодиодов от температуры

Изначально авторами рассмотрен способ питания светодиодов с использованием токоограничивающих резисторов. Необходимо было решить задачу выбора количества светодиодов, подключаемых последовательно к источнику питания, и номинала токоограничивающего резистора. В технической документации на используемые 20 мА светодиоды фирмы ARLight[2] указано минимальное падение напряжения, составляющее 2,9 В, и максимальное – 3,5 В. Номинальное напряжение питания СДЗ – 12 В,

однако, при подключении к бортовой сети автомобиля без дополнительной стабилизации это напряжение может быть повышено вплоть до 16 В. Исходя из этих параметров, было решено объединять светодиоды в последовательные группы по 3 шт. Таким образом, при номинальном токе 20 мА диапазон падений напряжения теоретически составляет 8,7 – 10,5 В. Максимальное напряжение, которое может потребоваться погасить на подключенном последовательно к группе светодиодов резисторе, составляет $16 - 8,7 = 7,3$ В. Таким образом, минимально-допустимое сопротивление токоограничивающего резистора $R = U/I = 7,3/0,02 = 365$ Ом.

В этой связи, решено использовать резисторы номиналом 440 Ом, что позволило предотвратить превышение номинального тока 20 мА при любых условиях. Для упрощения монтажа 2 группы светодиодов объединяются параллельно, и используется токоограничивающий резистор номиналом 220 Ом, что обеспечивает такой же ток, как и в случае использования резистора номиналом 440 Ом последовательно с одной группой светодиодов. Ввиду отсутствия точной зависимости падения напряжения на светодиоде от тока, протекающего через него, рассчитать реальный ток, протекающий через светодиоды, оказалось затруднительно. Экспериментально показано, что при напряжении питания 12 В и температуре окружающей среды 25 градусов через светодиоды протекает ток порядка 7 мА. Опыт эксплуатации разработанных дорожных знаков показал, что этого достаточно для яркого свечения светодиодов. Кроме того, такой ток позволяет существенно повысить срок службы светодиодов, их световую отдачу (при работе светодиода на номинальном токе КПД не является наибольшим) и позволяет смириться с недостатками схемы питания светодиодов на базе токоограничивающих резисторов, а именно – с невозможностью точного поддержания заданного тока и его необходимого снижения при повышенных температурах окружающей среды.

Для улучшения характеристик разработанных СЗД рассмотрены и другие схемы питания светодиодов. Наиболее применимой к СЗД оказалась схема с использованием специализированных драйверов светодиодов NSI50010Y фирмы ON Semiconductor, выполненных в двухвыводном корпусе и позволяющих стабилизировать ток одной цепочки светодиодов на уровне 10 мА [6]. Такие драйверы являются линейными стабилизаторами, и на них также рассеивается мощность, как и на резисторах. Однако у драйверов светодиодов есть ряд преимуществ, таких как поддержание заданного тока вне зависимости от отклонений параметров светодиодов и небольшое снижение тока при увеличении температуры окружающей среды.

Наиболее эффективным способом питания светодиодов является использование драйверов, построенных на принципе импульсного стабилизатора. Такой способ позволяет

практически полностью устранить потери энергии на токозадающих элементах. Например, при использовании токоограничивающих резисторов эти потери на одном резисторе в среднем составляют: $P=I^2*R=0,007^2*440=0,02 \text{ Вт}$. На простейшем СДЗ размещен 51 светодиод, т.е. 17 токоограничивающих резисторов, а значит, мощность, рассеиваемая на них, составляет 0,34 Вт. Падение напряжения на токоограничивающем резисторе $U=I*R=0,007*440=3,08 \text{ В}$, на каждом светодиоде – $(12-3,08)/3=2,97\text{В}$. Мощность одного светодиода $P=U*I=2,97*0,007=0,02 \text{ Вт}$, мощность всех светодиодов СДЗ – $0,02*51=1,02\text{Вт}$. Общая мощность – $1,02+0,34=1,36\text{Вт}$. Таким образом, $0,34*100\%/1,36=25 \%$ мощности тратится на нагрев резисторов. У драйверов на базе импульсного стабилизатора такой недостаток отсутствует, однако, использование таких драйверов на данный момент нецелесообразно из-за серьёзного усложнения схемы питания и, как следствие, повышения стоимости СДЗ.

Способ организации логики работы СДЗ

Для задания логики работы СДЗ принято решение применять электронные компоненты, например, однокристальные микроконтроллеры AVR фирмы Atmel [5]. Использование микроконтроллеров позволяет задать любую необходимую логику работы СДЗс помощью программы управления, написанной на языке ассемблера [3]. Существует возможность выделения некоторых выводов микроконтроллера в качестве входов, что позволяет подключать к нему различные датчики и устройства управления. В СДЗ с более сложной схемой управления транспортными потоками, используемых в интеллектуальной транспортной системе, существует возможность соединения микроконтроллера с устройствами связи, такими как Ethernet/GPRS-модемы, посредством интерфейса UART.

Для управления простейшими СДЗ, которым необходимо только равномерно мигать, целесообразно использовать микросхемы-таймеры. Для СЗД, предназначенных для подключения к бортовой сети дорожной техники, решено использовать микросхему-флэшер указателя поворотов автомобиля, преимуществом которой являются адаптация к напряжению бортовой сети и отсутствие необходимости дополнительной стабилизации напряжения.

Коммутация питания светодиодов

Во всех случаях, кроме постоянного горения, возникает необходимость подключать и отключать группы светодиодов от источника питания. Для этого требуются ключевые элементы, обладающие следующими качествами: возможность коммутации постоянного тока в единицы Ампер, низкое сопротивление при открытом ключе и малый ток поддержания открытого состояния для устранения нагрева и потерь мощности, лёгкость управления электронной логикой. Таким условиям соответствует n-канальный logic-level

полевой транзистор с изолированным затвором, подключенный в качестве нижнего ключа (рисунок 4). Ключ на базе такого транзистора полностью открывается при напряжении затвор-исток не более 3 В, в открытом состоянии обладает сопротивлением в десятки мОм. Благодаря малому току затвора такой транзистор подключается непосредственно к выводам микроконтроллера.

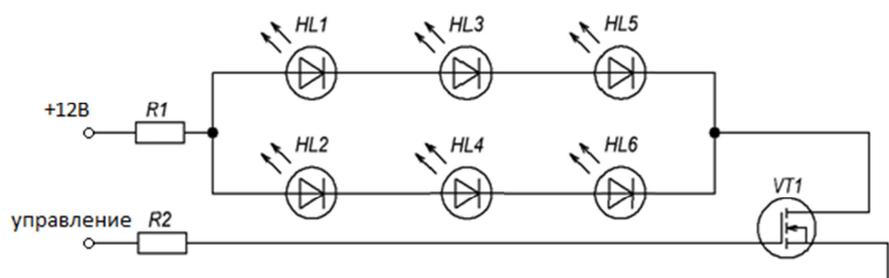


Рисунок 4. Схема подключения ключевого элемента

Экспериментальные образцы

На базе разработанных схем собраны экспериментальные СДЗ различной сложности – дорожные знаки с мигающим изображением (рисунок 5) и анимированный дорожный знак «Пешеходный переход», в котором используются цветные (зеленые и красные) светодиоды для «стоящего» и «идущего» пешехода. Эксплуатация СДЗ подтвердила все основные качества, заложенные в них на этапе разработки: долговечность, достаточную яркость и низкое энергопотребление.



Рисунок 5. Мигающий светодиодный дорожный знак

В настоящее время ведётся разработка удалённо-управляемых СДЗ на базе микроконтроллера, который соединяется с GPRS-модемом со встроенным TCP/IP-стеком для возможности связи с центром управления, из которого можно будет проверять и изменять отображаемую на дорожном знаке информацию. Кроме того, разрабатывается оптимальная схема питания от солнечных батарей для установки СДЗ в случае отсутствия рядом подходящих линий электропередач.

Список литературы

- 1 Михеева Т. И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем [Текст] / Т. И. Михеева. – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008. – 380 с.
- 2 Светодиоды 4.8 мм широкий угол. [Электронный ресурс].–URL: <http://www.arlight.ru/catalog/leds/239/>.
- 3 Осьмушин А. А. Программа управления группами светодиодов для микроконтроллера AVR / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011619357. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2011.
- 4 Осьмушин А. А. Управление транспортными потоками с помощью светодиодных дорожных знаков [Текст] / А. А. Осьмушин, О. К. Головнин, М. С. Макарова, И. А. Агафонцев. – Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. РГРТУ. – Рязань, 2011. – С. 227–228.
- 5 Atmel AVR 8- and 32-bit Microcontrollers. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>.
- 6 Constant Current Regulator & LED Driver. [Электронный ресурс].–URL:http://www.onsemi.ru.com/pub_link/Collateral/NSI50010Y-D.PDF.
- 7 Why Drive White LEDs with Constant Current? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/3256>.

Рецензенты:

Титов Борис Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации и управления перевозками на транспорте, ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)», г. Самара.

Хайтбаев Валерий Абдурахманович, доктор экономических наук, профессор кафедры организации и управления перевозками на транспорте, ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)», г. Самара.