

СТАБИЛИЗАТОР ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ

Беспалов Н. Н., Мирский К. В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

Тел. (834-2) 24-17-77, 24-37-05. E-mail: bnn48@mail.ru

Аннотация. В статье приводится описание стабилизатора тока, пригодного для питания светодиодов, рассчитанных на ток 20 мА. Приводятся результаты моделирования схемы в программе Electronics Workbench, а также характеристики стабилизатора, полученные на макете.

Ключевые слова: светодиод, вольт-амперная характеристика, источник тока, моделирование, яркость свечения, надежность, КПД.

Постановка задачи

Результатом интенсивного развития технологий в области производства оптоэлектронных приборов на основе полупроводниковых светоизлучающих кристаллов стало широкое использование этих приборов в системах отображения информации, а также в световой сигнализации, декоративной подсветке и освещении. Большой выбор цветов свечения, комбинация мощного излучения с любой формой пространственного распределения и получения любого оттенка цвета в широком динамическом диапазоне световых потоков, большой срок службы по сравнению с другими источниками света открывают огромные перспективы использования светоизлучающих диодов в качестве источников света для этих устройств.

Основной характеристикой светодиода является зависимость яркости свечения от уровня протекающего через светодиод тока. Качественно эта характеристика совпадает с вольт-амперной характеристикой (ВАХ). На рисунках 1а и 1б приведены типовые ВАХ светодиода и зависимость силы света от протекающего тока.

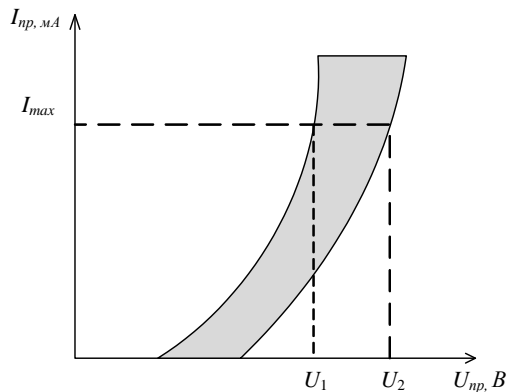


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика светодиода (показана зона разброса)

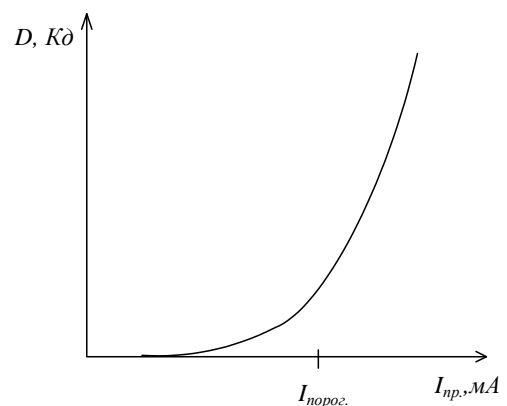


Рис. 2. Типовая зависимость силы света от прямого тока

На графике, описывающем зависимость силы света от величины протекающего тока выделяются две области: нелинейная зона малых токов характеризующаяся быстрым ростом напряжения на светодиоде и малым уровнем свечения и практически линейная рабочая зона. В рабочей зоне напряжение на светодиоде с изменением тока изменяется мало. На графике ВАХ светодиода показана зона разброса характеристик. При номинальном значении тока через прибор напряжение для разных приборов разное, и может отличаться на 10 %.

Для наиболее эффективного использования светодиода необходимо пропускать через прибор ток, равный номинальному. При снижении прямого тока световой поток, излучаемый светодиодом, будет уменьшаться, что нежелательно. С другой стороны, при увеличении тока сверх номинального увеличивается нагрев кристалла, что может привести к существенному

перегреву кристалла светодиода и, как следствие, к снижению надёжности. Установка номинального тока через светодиод путём прямой подачи на него некоторого постоянного напряжения является задачей чрезвычайно сложной, так как при их изготовлении из-за нестабильности технологии невозможно получить приборы с одинаковыми величинами параметров ВАХ (рис. 1). Кроме того, ВАХ светодиода изменяется с изменением температуры и в процессе наработки в связи со старением материалов. Таким образом, для питания светодиода необходима стабилизация тока через прибор.

Стабилизация рабочего тока через светодиод осуществляется внешними элементами, простейшим из которых является постоянный резистор, включенный последовательно со светодиодом. Такие резисторы требуется подключить к каждому светодиоду, либо к каждой группе последовательно соединённых светодиодов. Достоинство такого способа подключения светодиодов заключается в его простоте. Недостатки в невозможности точно задать ток через светодиод на необходимом уровне и снижение КПД за счёт потерь на резисторе. При групповом включении такой способ питания приведёт к неравномерному свечению группы светодиодов, что недопустимо. Кроме того, рабочий ток будет зависеть от колебаний напряжения питания. Использование активных систем стабилизации тока позволяет с необходимой точностью задавать ток через светодиод или группу последовательно включённых приборов вне зависимости от колебаний напряжения питания.

Светодиоды, применяемые для освещения, обычно включают группами для увеличения светового потока. Групповое включение усложняет задачу питания светодиодов. Самым удобным видом включения с точки зрения стабилизации тока является последовательное соединение с питанием от стабилизатора тока. Было принято решение разработать простой стабилизатор тока для линейки последовательно соединённых светодиодов с целью использования его в светодиодном светильнике.

Полученные результаты

Было проанализировано множество схем стабилизаторов тока, в итоге была выбрана схема, представленная на рис. 3. Её достоинствами являются простота, малое число элементов, возможность подстройки тока стабилизации, возможность изготовления на любые питающие напряжения (в соответствии с максимальным напряжением коллектор–эмиттер регулирующего транзистора), возможность выполнения в интегральном исполнении.

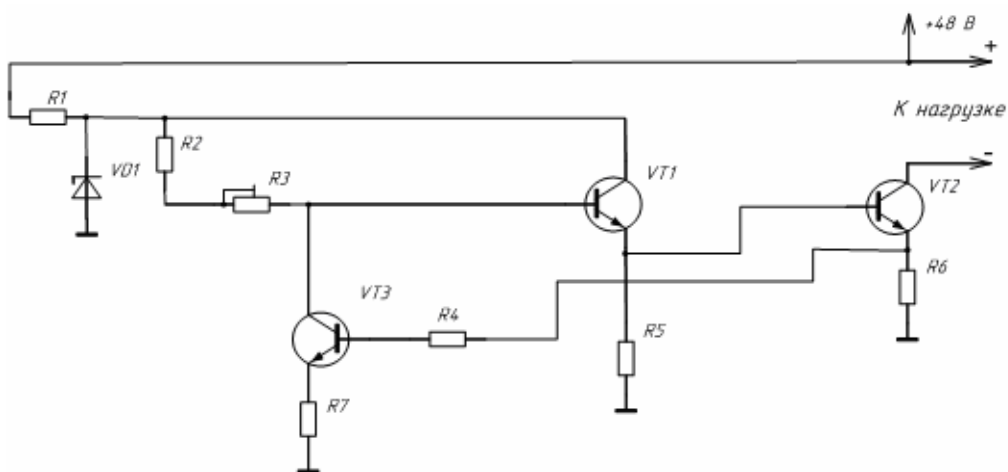


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема стабилизатора тока

На схеме транзистор VT2 используется как регулирующий элемент в цепи активного стабилизатора тока. Сигнал напряжения, пропорциональный току нагрузки, снимается с резистора R6 и через резистор R4 подаётся на базу транзистора VT3. Транзистор VT3

выполняет функцию отрицательной обратной связи. Стабилитрон $VD1$ необходим для стабилизации опорного напряжения. Резистор $R1$ задаёт режим работы стабилитрона. Резисторами $R2$ и $R3$ задаётся ток стабилизации.

В качестве регулирующего транзистора $VT2$ выбран $KT815B$ исходя из максимального напряжения коллектор – эмиттер, $U_{кэ} = 70$ В и максимальной рассеиваемой мощности без радиатора $P_{к} = 1$ Вт. Стабилитрон $VD1$ необходим для стабилизации опорного напряжения. Выбран стабилитрон $KC411A$, имеющий относительно малый ток стабилизации $I_c = 5$ мА и напряжение стабилизации $U_c = 7,7$ В. Для обеспечения большего КПД необходимо снизить ток, потребляемый схемой от стабилитрона. Для этого транзисторы $VT1$ и $VT3$ должны иметь как можно больший коэффициент усиления $h_{21э}$. Выбран транзистор $KT3102Б$ со следующими характеристиками: $h_{21э} = 200 .. 500$, $U_{кэ max} = 50$ В, $I_{к max} = 100$ мА.

Для подбора элементов схемы была создана модель схемы в системе Electronics Workbench. Созданная модель представлена на рис. 4.

На модели были получены необходимые номиналы резисторов: $R1 – 33$ кОм, $R2 – 36$ кОм, $R3 – 10$ кОм, $R4 – 910$ кОм, $R5 – 200$ кОм, $R6 – 100$ Ом, $R7 – 10$ кОм. Все резисторы мощностью 0,25 Вт.

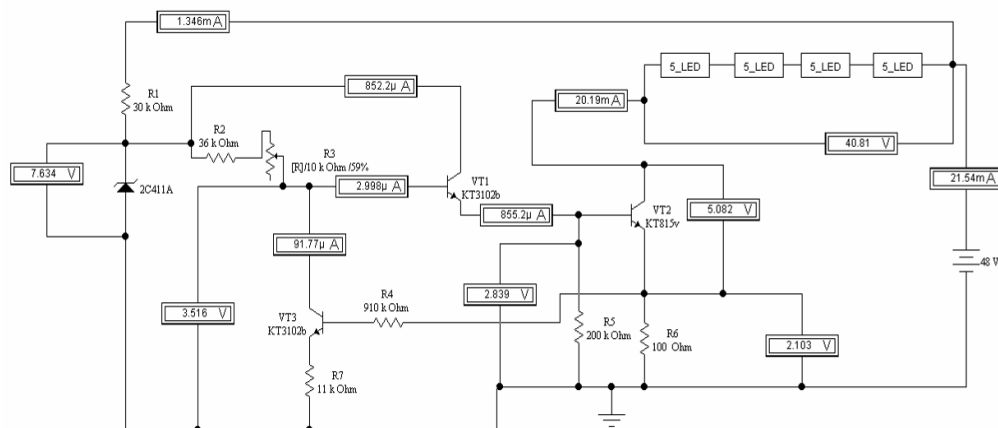


Рис. 4. Модель стабилизатора тока в системе Electronics Workbench

На основании составленной модели был собран макет стабилизатора тока, нагруженного на несколько последовательно соединённых светодиодов белого свечения. Параметры светодиодов: $I_n = 20$ мА, $U_{np} = 3,4..3,6$ В. В процессе исследования макета были получены следующие зависимости при разном количестве последовательно включённых светодиодов:

- зависимость тока нагрузки от напряжения питания;
- зависимость КПД стабилизатора тока от напряжения питания.

Указанные зависимости отражены на рис. 5 и 6.

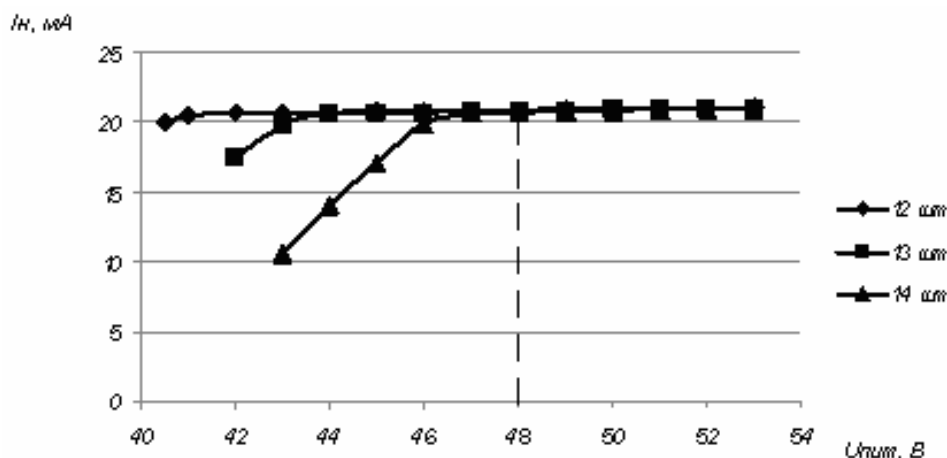


Рис. 5. Зависимость тока нагрузки от напряжения питания

КПД, %

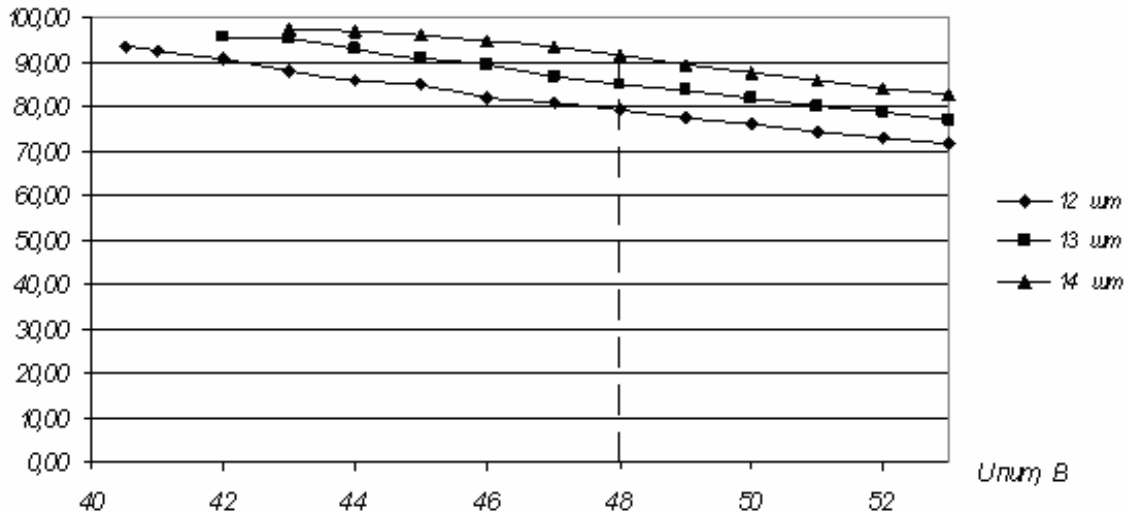


Рис. 6. Зависимость КПД стабилизатора тока от напряжения питания

На основании данных, полученных в результате моделирования можно сделать вывод, что стабилизатор тока обеспечивает стабилизацию выходного тока во всём заданном диапазоне изменения напряжения питания. При включении в кластер последовательно 14-ти светодиодов стабилизатор тока осуществляет стабилизацию выходного тока при напряжении питания 47 В и выше. При напряжении питания ниже 47 В регулирующий транзистор выходит из линейного режима работы в режим насыщения и перестаёт регулировать ток. При последовательном включении 13 светодиодов, стабилизация выходного тока выполняется при напряжении не ниже 44 В. При количестве светодиодов равном 12 стабилизация тока осуществляется до напряжения 41 В. Но при включении в кластер последовательно 12 светодиодов снижается КПД стабилизатора тока. Следовательно, при номинальном напряжении питания 48 В необходимо использовать кластер из 13 светодиодов, чтобы обеспечить стабилизацию выходного тока в пределах изменения напряжения питания $\pm 10\%$. При этом КПД стабилизатора тока в номинальном режиме равен 85%. Однако, если повысить стабильность питающего напряжения, то возможно использовать схему в режиме питания 14 светодиодов. При этом КПД при номинальном напряжении 48 В составит уже величину 92%.

В итоге разработана принципиальная схема стабилизатора тока, которая способна питать линейку из 12-14 последовательно включённых светодиодов стабильным током 20 мА, имеющая КПД в номинальном режиме при напряжении питания 48 В от 79% до 92%.

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. — 2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 496 с. — ISBN 978-5-9221-0851-5.
2. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Физматлит, 2007. — 420 с.
3. Коган Л. М. Светодиодные осветительные приборы // Светотехника, 2002. №5. С. 16–20.
4. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 416 с: ил. (Серия «Библиотека инженера»).