

Новые драйверы питания светодиодов, построенные на микросхеме HT7L5600 компании HOLTEK

➔ Компания Holtek Semiconductor Inc. (Тайвань) специализируется на проектировании и производстве изделий современной микроэлектроники с широким спектром их применения в системах телекоммуникации, телефонии, дистанционного управления, в компьютерных приложениях и в изделиях общего и бытового назначения. Основная продукция компании — это RISC-микроконтроллеры для встраиваемых применений, микросхемы памяти, драйверы управления дисплеями, а также заказные микросхемы специального назначения ASIC, предназначенные для средств связи. В статье представлена новая микросхема компании, предназначенная для построения драйверов питания светодиодов, рассматриваются ее характеристики и возможности.



Н е так давно Holtek Semiconductor Inc. запустила в производство новую микросхему HT7L5600 [1], на базе которой строятся драйверы питания светодиодов, используемые в различных светодиодных светильниках. Такие светильники широко используются в освещении не только жилых помещений, но и помещений офисов, торговых и промышленных предприятий, учебных заведений и т. п. Светодиодные светильники значительно экономят электроэнергию, обеспечивают высокую яркость и экологически безопасны. В основе их производства лежат современные передовые технологии, которые позволяют достичь высокой производительности и большой долговечности изделий.

HT7L5600 представляет собой одноступенчатый, изолированный ШИМ-контроллер питания светодиодов, который без использования каких-либо дополнительных схем обеспечивает высокий коэффициент мощности (свыше 0,9). Регулирование мощности осуществляется путем управления внешним силовым МОП-транзистором (MOSFET) и производится за счет обработки информации на первичной стороне, что значительно упрощает конструкцию системы светодиодного освещения, исключая компоненты обратной связи на вторичной стороне, в том числе обычно используемый в таких случаях оптрон. Чрезвычайно низкий ток в состоянии покоя и малый пусковой ток (всего 10 мкА) уменьшают рассеивание мощности и снижают общее потребление энергии, что обеспечивает высокую эффективность используемого решения для различных приложений. Высокая функциональная интеграция минимизирует количество внешних компонентов, что дает значительные преимущества с точки зрения стоимости и площади печатной платы.

Применение в драйверах питания светодиодов микросхемы HT7L5600 обеспечивает:

- использование изделий в широком диапазоне входного переменного сетевого напряжения (85–265 В);
- высокую эффективность мощности (свыше 90%);
- высокую точность регулирования постоянного тока светодиодов (менее $\pm 3\%$);
- малое потребление рабочего тока;

- эффективную нагрузочную способность;
- малый коэффициент нелинейных искажений.

Микросхема HT7L5600 имеет ряд встроенных защитных функций:

- блокировку питания при пониженном напряжении UVLO (Under-Voltage Lockout);
- защиту от перегрузки по току OCP (Over Current Protection);
- защиту от короткого замыкания SCP (Short Circuit Protection);
- защиту от перенапряжения OVP (Over Voltage Protection);
- защиту от коротких замыканий и обрывов в светодиодных линейках;
- интегрированную защиту от перегрева OTP (Over Temperature Protection).

Структурная схема микросхемы приведена на рис. 1, назначение ее выводов — в таблице 1, а расположение выводов на корпусе SOT-23-6 — на рис. 2.

Точная регулировка тока через светодиоды производится путем обработки информации на первичной стороне. Выходной ток может быть рассчитан по формуле

$$I_{OUT} \sim 1/2 \times V_{FB}/R_{CS} \times N_p/N_s,$$

где: V_{FB} — внутреннее опорное напряжение, равное 300 мВ; R_{CS} — сопротивление измерительного резистора установки внешнего тока; N_p — число витков первичной обмотки трансформатора; N_s — число витков вторичной обмотки трансформатора.

Встроенная функция UVLO предназначена для защиты ШИМ-контроллера и основана на принципе гистерезиса. Контроллер выключается, когда напряжение VCC превышает 24 В и когда оно становится меньше 7,5 В. Гистерезисная характеристика гарантирует, что устройство может питаться от входного напряжения

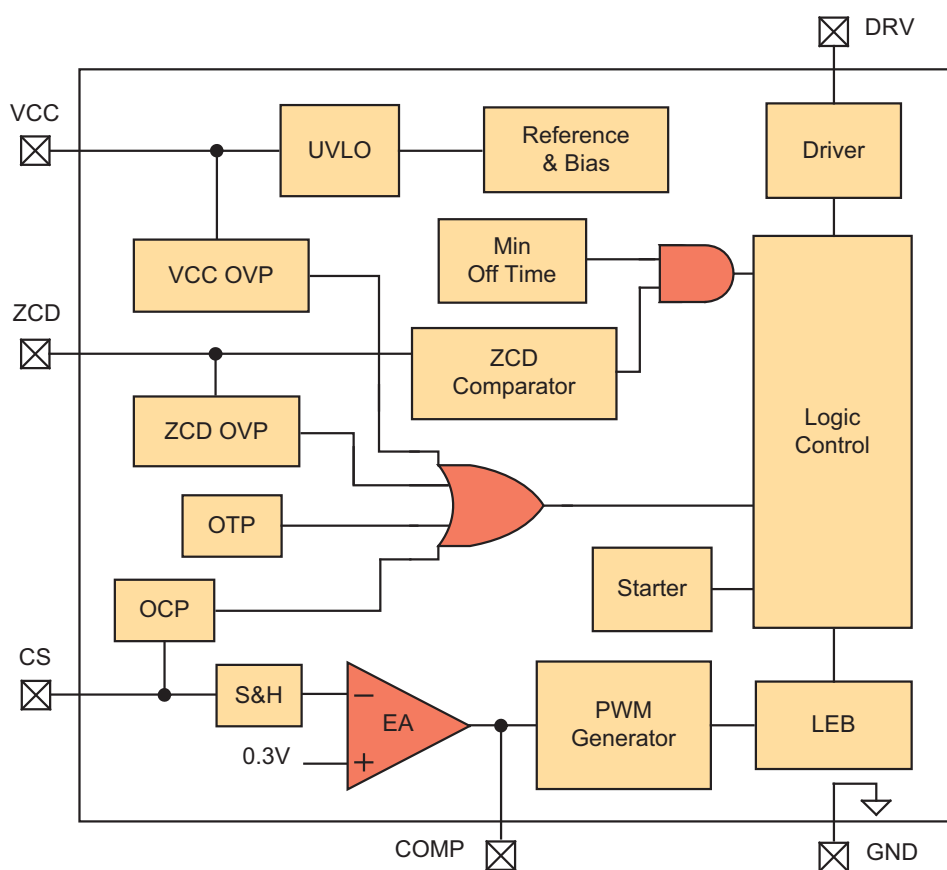


Рис. 1. Структурная схема микросхемы HT7L5600

во время пуска, а когда выходное напряжение увеличивается до определенного значения после пуска, питание микросхемы производится от вспомогательной обмотки трансформатора.

В режиме граничной проводимости BCM (Boundary Condition Mode) внешний силовой MOSFET включается за счет обнаружения пересечения нулевого уровня тока, протекающего через вспомогательную обмотку трансформатора. Ток нулевого перехода может быть обнаружен с помощью напряжения на выводе ZCD. Когда ток, протекающий через обмотку, находится в точке пересечения нуля, напряжение

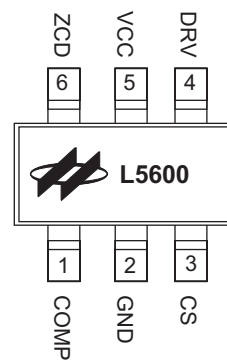


Рис. 2. Расположение выводов на корпусе SOT-23-6 (вид сверху) микросхемы HT7L5600

Таблица 1. Назначение выводов микросхемы HT7L5600

Номер вывода	Обозначение вывода	Описание вывода
1	COMP	Компенсационный вывод петли обратной связи. Между ним и общим проводом должен быть подключен конденсатор емкостью 0,47 мкФ.
2	GND	Общий провод.
3	CS	Вывод установки чувствительности выходного тока с помощью подключенных к нему внешних измерительных резисторов. Для того чтобы установить выходной ток как можно более точно, погрешность сопротивления этих резисторов должна быть не более ±1%, а соответствующие линии печатной платы должны быть как можно более короткими.
4	DRV	Выход управления на внешний MOSFET. Чтобы устройство могло работать с большинством типов MOSFET, максимальное выходное напряжение на этом выводе ограничивается 16 В.
5	VCC	Напряжение питания 10–20 В.
6	ZCD	Вход компаратора детектора нулевого тока (Zero Current Detector), на который подается часть сигнала обратной связи со вспомогательной обмотки трансформатора.

на этом выводе будет быстро падать. Микросхема обнаруживает спадающий фронт и включает питание MOSFET. Режим BCM обеспечивает низкие коммутационные потери и высокую эффективность преобразования.

Напряжение на выводе ZCD устанавливается с помощью делителя, состоящего из условного верхнего резистора R_{TOP} , условного нижнего резистора R_{BOT} и вспомогательной обмотки трансформатора. После того как напряжение ZCD превысит 3,2 В, спустя некоторое время гашения (1 мкс), необходимое для того, чтобы полностью затухли паразитные колебания (звон) на индуктивности, срабатывает схема OVP. Затем устройство останавливает переключение, но оно может быть сброшено повторным запуском напряжения на выводе VCC.

Напряжение OVP можно определить с помощью уравнения

$$V_{OUT_OVP} = 3,2 \times (1 + R_{TOP}/R_{BOT}) \times N_S/N_A + V_D$$

где: N_S — число витков вторичной обмотки трансформатора; N_A — число витков вспомогательной обмотки трансформатора; V_D — напряжение смещения диода во вторичной цепи.

Посредством вывода VCC обеспечивается защита во избежание чрезмерной перегрузки из-за светодиодов со слишком большим током или полностью пробитых. Выходное напряжение падает, когда в одном или нескольких светодиодах линейки имеется замыкание, что приводит

к уменьшению напряжения на выводе VCC. После того как оно упадет ниже 7,5 В, устройство SCP прекратит работу. В таких ситуациях процесс запуска будет поддерживать потенциал вывода VCC через резистор запуска, и устройство перейдет в режим блокировки UVLO. При включенной блокировке ($UVLO_{ON}$) напряжение на выводе VCC обычно равно 18 В (реально это напряжение находится между 16 и 18 В). Когда блокировка выключена ($UVLO_{OFF}$), напряжение на выводе VCC составляет 7,5 В, а типовое значение порогового напряжения схемы защиты OVP — 24 В. Таким образом, рабочее значение напряжения VCC должно находиться между этими двумя значениями (7,5 и 24 В).

При каждом переключении MOSFET неизбежно генерируется всплеск напряжения на измерительном резисторе, что могло бы привести к отключению драйвера. Поэтому во избежание перебоев срабатывания производится гашение переднего фронта импульсов обратного хода LEB (Leading Edge Blanking) длительностью 400 нс. В течение этого периода компаратор отключается и не имеет возможности отключить драйвер.

Функция тепловой защиты OTP включается для предотвращения повреждений от чрезмерного перегрева. Когда температура перехода превышает порог в 150 °С, функция тепловой защиты немедленно отключает драйвер. После того как напряжение на выводе VCC падает ниже 7,5 В, контроллер будет сброшен.

Рассмотрим теперь конкретную конструкцию светильника с драйвером,

реализованным на базе микросхемы HT7L5600, на примере светодиодной трубки направленного освещения LED-TUBE T8 мощностью 24 Вт на напряжение 220 В [2]. Она используется в светильниках офисного типа (ЛПО, ЛВО), различных витринах, холодильных установках, коробах и т. п. вместо люминесцентных ламп с цоколем G13.

Основные параметры драйвера приведены в таблице 2.

Ниже приведены некоторые соображения и рекомендации разработчика по конструированию драйвера и выбору его компонентов.

Драйвер представляет собой преобразователь тока на первичной стороне, выполненный по обратноходовой топологии (Flyback Topology), т. е. с передачей энергии на обратном ходу. Такую топологию можно назвать одной из самых популярных для построения импульсных источников питания, так как одно из достоинств обратноходового преобразователя (ОП) — простота схемы. Управление на первичной стороне позволило не только получить более высокую эффективность, но и, как уже было сказано, уменьшить число внешних компонентов.

Основным элементом ОП является трансформатор, хотя в данном случае он играет роль накопителя энергии и выполняет функции дросселя: при закрытом силовом MOSFET вторичная обмотка отдает в нагрузку энергию, которая запасалась при открытом MOSFET, когда первичная обмотка была подключена к напряжению питания. Благодаря использованию трансформатора, в ОП обеспечивается гальваническая развязка между первичной и вторичной цепями, что позволяет отказать и от применения оптрона.

При коэффициенте заполнения 50% амплитуда пульсаций тока, протекающего через выходной сглаживающий конденсатор, примерно в 1,6 раза превышает выпрямленный ток нагрузки. Поэтому эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) этого конденсатора должно быть мало. Отсюда следует, что для надежной работы необходимо на выходе включить параллельно как минимум два электролитических конденсатора.

Индуктивность рассеяния первичной обмотки трансформатора должна быть как можно меньше. При открытом ключе в ней запасается энергия, которая не передается во вторичную обмотку и при закрытии

Таблица 2. Основные параметры драйвера

Параметр	Значение
Диапазон входного переменного напряжения, В	90-265
Выходная мощность, Вт	24
Максимальная выходная мощность, Вт	35
Диапазон частот входного переменного напряжения, Гц	47-63
Выходное постоянное напряжение на светодиодной линейке, В	25-52
Выходной ток, мА	560 (типичное)
Максимальный выходной ток, мА	830
Максимальная пульсация выходного тока, мА	272
Точность выходного тока при температуре +25 °С, %	±1
Точность выходного тока в диапазоне температур -20...+85 °С, %	±2
Минимальная частота переключения преобразователя, кГц	40
Эффективность мощности, %	>85
Коэффициент мощности	>0,92
Суммарные гармонические искажения, %	18
Потери мощности в дежурном режиме, Вт	0,3
Потери мощности в режиме срабатывания защиты от короткого замыкания, Вт	0,7

ключа вызывает всплески перенапряжения. Поэтому приходится выбирать силовой MOSFET с достаточно высоким максимально допустимым напряжением и использовать демпфирующие цепи, которые некоторым образом снижают энергоэффективность преобразователя.

Поскольку отношение пикового значения тока к среднему в ОП существенно больше, нежели в других преобразователях, то приходится выбирать MOSFET, величина максимально допустимого тока которого больше, чем в других преобразователях.

Драйвер имеет встроенную активную функцию коррекции фактора мощности — PFC (Power Factor Correction). В русскоязычной технической литературе можно встретить также термины «компенсация реактивной мощности», «коэффициент коррекции мощности» (ККМ) или просто «коэффициент мощности».

Собственно коэффициентом мощности называется отношение активной мощности (мощности, потребляемой источником питания безвозвратно) к полной, т. е. к векторной сумме активной и реактивной мощностей. По сути, коэффициент мощности — это отношение полезной и полученной в итоге мощностей, и чем он ближе к единице, тем выше эффективность источника питания.

Наиболее существенную коррекцию мощности оказывает активная схема PFC, которая повышает $\cos \varphi$ до 0,95 и выше. Именно она применяется в рассматриваемом драйвере и содержит повышающий ОП, который управляется построенным на базе HT7L5600 контроллером.

Помимо того что активная схема PFC обеспечивает близкий к идеальному коэффициент мощности, она допол-

нительно стабилизирует выходное напряжение драйвера: устройство становится заметно менее чувствительным к пониженному сетевому напряжению (именно поэтому допускается такой широкий диапазон входного напряжения). Использование активной схемы PFC, кроме того, улучшает реакцию источника питания во время кратковременных (доли секунды) «провалов» сетевого напряжения — в такие моменты источник работает за счет энергии конденсаторов на выходе выпрямителя, эффективность использования которых увеличивается более чем в два раза.

Рассмотрим теперь приведенную на рис. 3 принципиальную схему драйвера, используемого в упомянутой светодиодной трубке LED-TUBE T8.

На ее входе включен предохранитель F1 на ток 2 А, защитный варистор TVR07561 и состоящий из конденсаторов CX1, CX2, CY1, CY2 и дросселя LF1 сетевой фильтр. Переменное напряжение питающей сети выпрямляется диодным мостом BR1 и конденсатором C5. Выпрямленное напряжение через фильтр L1 C4 и первичную обмотку N_p трансформатора T1 подается на сток MOSFET Q1 типа FQPF7N65C (ток 7 А, напряжение 650 В) фирмы Fairchild Semiconductor. Одновременно часть выпрямленного напряжения через соединенные последовательно пусковые резисторы R6, R9 подается на вывод VCC микросхемы HT7L5600, чем обеспечивается начальный запуск работы контроллера. Очень низкий пусковой ток I_{START} микросхемы позволяет выбрать большее значение сопротивления пусковых резисторов, что уменьшает рассеяние мощности. В то же время

чем ниже их сопротивление, тем выше скорость нарастания пускового тока, и это влияет на эффективность системы. Рекомендованное разработчиком номинальное сопротивление пусковых резисторов должно быть в диапазоне 300–600 кОм.

В процессе последующей работы контроллера питание микросхемы производится напряжением, формируемым выпрямлением импульсов вспомогательной обмотки N_A трансформатора диодом D4 и конденсаторами EC3, C9. Включенный между выводом VCC и общим проводом конденсатор EC3 используется для стабилизации работы устройства. Его емкость должна быть более 10 мкФ.

Делитель напряжения, состоящий из включенных последовательно резисторов R5, R8, R15 и соединенных параллельно измерительных резисторов R16, R17, R18, подключен к дросселю L1 и определяет режим микросхемы по выводу CS.

Цепь R19–R3–C2–D3 демпфирует первичную обмотку трансформатора.

Управляющие импульсы с вывода DRV микросхемы через ограничительную цепь R13–R14 D5 подаются на затвор MOSFET.

Импульсы с вторичной обмотки N_s трансформатора выпрямляются соединенными параллельно диодами D1, D2 и конденсаторами EC1, EC2. После фильтра, состоящего из дросселя LF2 и резисторов R2, R7, на конденсаторе C3 формируется постоянное выходное напряжение. Допустимое значение напряжения на этом конденсаторе должно быть больше, чем допустимое предельное значение выходного напряжения холостого хода (без нагрузки).

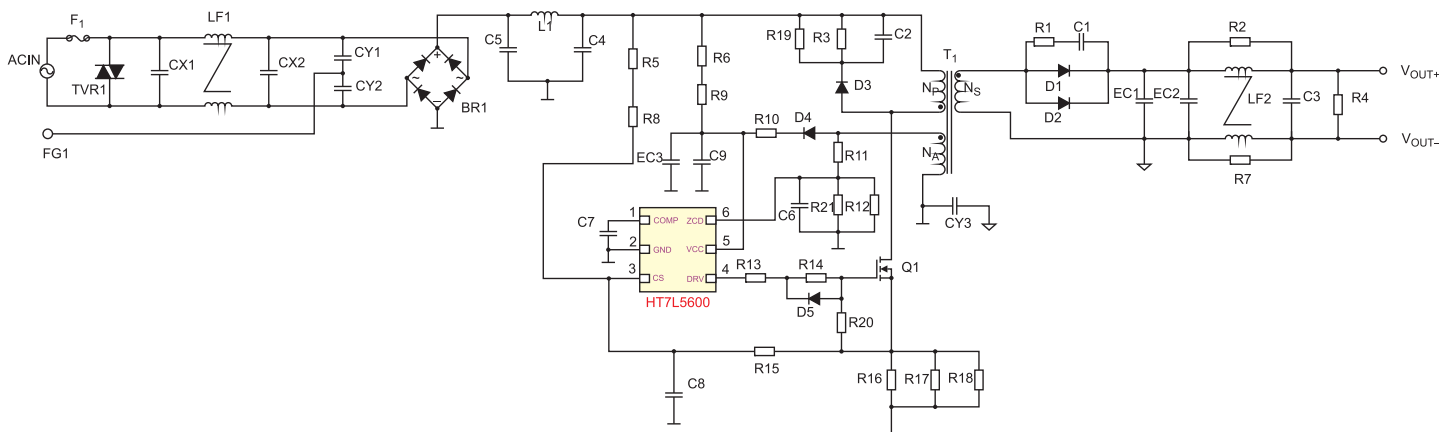


Рис. 3. Принципиальная схема драйвера, используемого в светодиодной трубке LED-TUBE T8



Рис. 4. Внешний вид платы драйвера со стороны деталей



Рис. 5. Внешний вид платы драйвера со стороны печатных проводников



Рис. 6. Рисунок печатной платы с расположением элементов на ней

Сопротивление измерительного резистора (включенные параллельно резисторы R16, R17, R18 в формуле обозначены как $R_{16} \parallel R_{17} \parallel R_{18}$) определяется из уравнения

$$I_{LEDOUT} \sim 0,86 \times 1/2 \times V_{FB} / (R_{16} \parallel R_{17} \parallel R_{18}) \times N_P / N_S$$

и равно 0,36 Ом.

Сопротивления резисторов R11, R12, R21 в цепи вывода ZCD определяются из уравнения

$$3,2 \text{ В} > V_{ZCD} = V_{LEDOUT_Max} \times (N_A / N_S) \times R_{12} / (R_{11} + R_{12}).$$

В итоге общее сопротивление цепи R11/(R11+R12||R21) оказывается равным 0,13 Ом, сопротивление резистора R11 — 62 кОм,

а параллельно соединенных резисторов R12||R21 — 9,03 кОм.

Внешние виды платы драйвера со стороны деталей и со стороны печатных проводников показаны на рис. 4 и 5 соответственно, а рисунок печатной платы с расположением элементов на ней — на рис. 6.

В заключение статьи приведем некоторые рекомендуемые разработчиком драйвера параметры трансформатора:

- площадь поперечного сечения $A_e = 58 \text{ мм}^2$;
- индуктивность первичной обмотки $L_p = 520 \text{ мГн}$;
- соотношение числа витков первичной обмотки ко вторичной $N = 2,35$;
- число витков первичной обмотки $N_p = 80$;
- число витков вторичной обмотки $N_s = 34$;
- число витков вспомогательной обмотки $N_A = 16$. ●

Литература

1. www.holtek.com/documents/10179/abe518df-2558-450a-acde-e196b552721f
2. www.holtek.com/documents/10179/2701338/ha0388e.pdf