

# Двухканальный стабилизированный диммер

Михаил Милославский  
г. Москва  
E-mail: MMiloslavsky@yandex.ru

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Введение

Несмотря на бурное развитие сверхярких светодиодов, в широкой продаже пока не появились светодиодные лампы, способные заменить бытовые лампы накаливания. Получившие довольно широкое распространение энергосберегающие люминесцентные лампы, при всех своих достоинствах, обладают, во-первых, высокой стоимостью, во-вторых, требуют сложную схему управления регулировкой яркости [1]. Отечественные и зарубежные регуляторы ламп накаливания имеют целый ряд недостатков:

- управление только одним каналом;
- отсутствие стабилизации яркости;
- наличие помех радиоприему, звон нитей ламп, жужжание встроенного фильтра.

Эти же недостатки (либо все, либо по отдельности) присущи схемам, опубликованным в радиолюбительской литературе, периодической печати и в Интернете.

### 1.2. Постановка задачи

Автору потребовалось создать регулятор яркости ламп накаливания (за рубежом называемый "диммер" – dimmer), свободный от указанных недостатков, и предназначенный для установки в двухканальный светильник (рис. 1).

Разработка устройства велась с учетом следующих требований (все с одинаковым приоритетом):

- Простота схемы (минимальное количество компонентов)
- Функциональная насыщенность, многообразие регулируемых параметров
- Устойчивость к броскам сетевого напряжения, долговечность
- Отсутствие либо минимальный нагрев компонентов (пожаробезопасность)
- Низкое энергопотребление

При проектировании устройства не ставилась задача минимизировать его стоимость.

Несколько слов о том, откуда и почему взялись эти требования. Малое число используемых деталей – это необходимость, вызванная малыми размерами корпуса



Рис. 1. Внешний вид светильника

светильника. Расширенный список функций и обилие всевозможных регулируемых параметров – не что иное, как желание дать возможность любому пользователю настроить и использовать устройство в соответствии со своими потребностями и желаниями, а не ограничиваться тем набором, который обычно закладывают производители в свои изделия. Защита от повышения напряжения в сети – насущная необходимость, связанная с невысоким качеством российского электроснабжения. Долговечность – без комментариев. Небольшой нагрев компонентов – во-первых, из-за плотного примыкания к обоям на стенах (учитывается круглосуточный режим работы, в том числе без присмотра); во-вторых, для снижения потребляемой мощности (нагрев – это лишние потери); в-третьих, для упрощения расчетов (везде подразумевалась температура окружающей среды 25°C).

### 1.3. Технические характеристики

Созданный в соответствии с перечисленными требованиями регулятор обладает следующими техническими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Количество каналов	2
Мощность ламп	60 Вт на каждый канал
Напряжение сети	220 В ± 10%
Частота сетевого напряжения	50 Гц ± 0,4 Гц
Потребляемая мощность	не более 0,92 Вт (при номинальном напряжении сети)
Диапазон регулировки напряжения	12...88% (может быть расширен до 1,4...99,6%)
Изменение выходного напряжения в диапазоне входного от 198 В до 242 В	1 В (при максимальной яркости лампы)

## 1.4. Достоинства

Помимо традиционных для данного класса устройств функций, таких, например, как плавное включение-выключение ламп и запоминание их яркости, в регуляторе реализованы дополнительные функции, перечисленные далее наряду с другими преимуществами:

- Два независимых режима работы каждого канала
- Возможность отключения запоминания яркости (для любого режима любого канала)
- Автоматическое включение при возобновлении подачи электроэнергии (отключаемое)
- Автоотключение по прошествии заданного интервала времени (два способа)
- Имитация присутствия хозяев (возможен случайный выбор яркости и интервалов времени)
- Хорошая повторяемость, не требуется налаживание схемы
- Отсутствие дефицитных элементов

Дистанционное управление в список не входит, так как устройство предназначено для использования на расстоянии вытянутой руки.

Работа устройства описана максимально подробно. Автор исходил из принципа “лучше избыток информации, чем ее недостаток”. Тем не менее, некоторые очевидные моменты опускаются в расчете на то, что читатель имеет опыт работы с микроконтроллерами. Проект содержит интересные оригинальные решения, а также ссылки на опыт зарубежных авторов, не публиковавшийся ранее на русском языке.

## 1.5. Принцип работы

Основу устройства, принципиальная схема которого изображена на **рис. 2**, составляет микроконтроллер ATmega16L семейства AVR корпорации ATMEL (далее по тексту МК). Управление осуществляется двумя не фиксируемыми в нажатом положении кнопками, по одной на каждый канал.

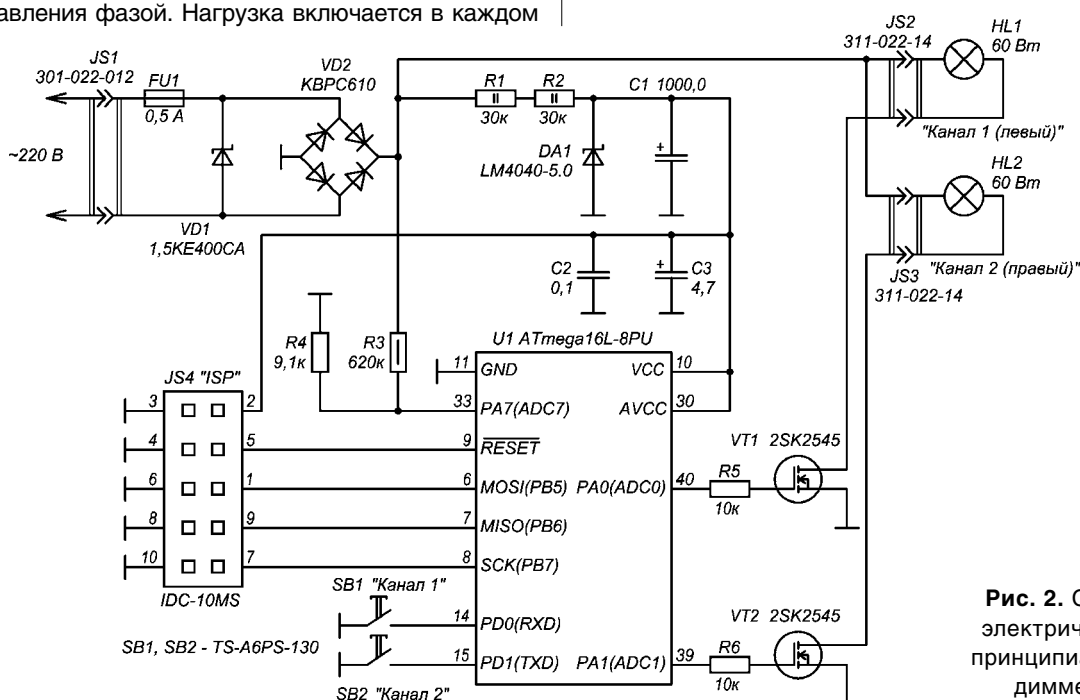
Регулировка мощности основана на реверсивном принципе управления фазой. Нагрузка включается в каждом

полупериоде сети в момент перехода сетевого напряжения через нуль и выключается через определенный интервал времени в зависимости от требуемого уровня яркости. Коммутация нагрузки осуществляется мощными MOSFET транзисторами. Такое решение имеет целый ряд преимуществ перед классической схемой прямого фазового регулирования на основе триака:

- “мягкое” управление транзистором позволяет снизить уровень помех и звон нити лампы – не нужен громоздкий сетевой фильтр, снижающий эффективность и зачастую являющийся источником неприятного жужжания;
- благодаря нарастанию напряжения с нуля и малому звону нити, лампы служат намного дольше;
- для управления MOSFET транзистором требуется гораздо меньший ток;
- более низкое падение напряжения на переходе транзистора сокращает тепловыделение;
- отсутствие понятия “ток удержания” позволяет плавно регулировать малую яркость.

Стабилизация мощности (т.е. яркости) основана на использовании формулы  $P = U^2/R$ . Если принять, что сопротивление нити накала постоянно [2], то, измеряя и корректируя в каждом полупериоде среднее напряжение на лампе, можно добиться стабилизации яркости. Изменение сопротивления нити при включении здесь не учитывается, так как при этом, равно как и при регулировке яркости, стабилизация не нужна. Строго говоря, сопротивление нити зависит от температуры, а также изменяется в некоторых пределах в течение каждого полупериода [3]. Однако практическая проверка показала, что эти факторы можно не учитывать – на качестве стабилизации они не отражаются.

В принципе вместо напряжения можно измерять ток через нагрузку, в соответствии с формулой  $P = I^2 \cdot R$ . Но это требует дополнительного компонента (шунта), а выигрыша ни в чем не дает.



**Рис. 2.** Схема электрическая принципиальная диммера

Напряжение меряется не на самой лампе, а на выходе диодного моста, к которому она подключена. Это возможно, поскольку падение напряжения на канале транзистора мало и им можно пренебречь.

Максимальное напряжение, которое можно подать на лампу, несколько снижено, чтобы было за счет чего осуществлять стабилизацию при уменьшении напряжения сети.

Диодный мост выполняет три функции:

- создает пульсирующее однополярное напряжение для питания нагрузки;
- выпрямляет сетевое напряжение для питания схемы;
- обеспечивает сетевое напряжение удвоенной частоты (100 Гц), используемое МК для определения момента перехода фазы сети через нуль.

Детектирование перехода сетевого напряжения через нуль осуществляется тем же делителем напряжения и тем же каналом встроенного в МК АЦП, которые предназначены для измерения напряжения на лампе. Это позволяет отказаться от встроенного компаратора и уменьшить тем самым потребляемый ток. Фильтрация сетевых помех реализована программно.

Блок питания выполнен по бестрансформаторной схеме с гасящим резистором (балластом). Использовать в качестве балласта конденсатор в данной схеме не получится, так как для этого требуются два диодных моста (один для блока питания, другой для ламп) с объединенными выводами земли, что приведет к короткому замыканию.

В качестве регулирующего элемента применен прецизионный микромощный источник опорного напряжения +5 В параллельного типа (далее по тексту ИОН). По сравнению с обычным стабилитроном, выбранный ИОН имеет два важных преимущества. Во-первых, одновременно со стабилизатором питания МК получается стабильное опорное напряжение АЦП [3]. Во-вторых, на порядок уменьшается потребляемый регулирующим элементом ток (с 1 мА до 0,1 мА).

Устройство имеет защиту от короткого замыкания, превышения мощности нагрузки и повышения сетевого напряжения.

## 1.6. Терминология

Использованные в описании термины имеют следующие значения:

*Функция (feature)* – то или иное удобство, предоставляемое пользователю. Пример функции – Имитация Присутствия Хозяев. Функция может иметь несколько режимов.

*Режим (mode)* – это выбираемый пользователем способ поведения функции. Например, функция Имитация Присутствия Хозяев может работать в режиме постоянных значений яркости, длительности включенного и выключенного состояний, или в режиме, когда эти значения выбираются случайно.

*Состояние (state)* – это составная часть каждого режима. Примеры: канал может находиться во включенном или выключенном состоянии (в любом режиме); при включении/выключении канала он находится в состоянии плавного увеличения/уменьшения яркости; при включенном канале и нажатой кнопке канал находится в состоянии изменения яркости.

*Нажать кнопку (ClickButton)* – означает нажать ее и затем отпустить не позже чем через 1 секунду (это время определяется значением константы `cButtonOnHoldSense`).

*Удерживать кнопку (HoldButton)* – значит нажать ее и удерживать в нажатом положении не менее 1 секунды (это время определяется значением константы `cButtonOnHoldSense`).

*Процедура* – фрагмент кода, который начинается с одноименной метки, и продолжается, как правило, до следующей метки. Например, процедура `PhaseDetect` – это участок кода программы от метки `"PhaseDetect:"` до метки `"ADCSampling:"`.

*Основная программа* – участок кода в блоке `Main.asm` от первой команды процедуры `ADCExit` до первой команды процедуры `PhaseDetect`.

## 2. УПРАВЛЕНИЕ

Каждый из двух каналов диммера имеет два режима работы. Каналы и их режимы работают одинаково, но независимо друг от друга, каждый со своими настройками. Поэтому далее рассматривается работа на примере одного канала или режима. Названия ячеек EEPROM, в которых хранятся настройки, даны в общем виде. Номер канала/режима либо не указывается совсем, либо обозначается буквой "X" или "x".

Допустимый диапазон настроек, их размерность, а также значения по умолчанию указаны в описании соответствующих ячеек EEPROM в файле `Dimmer.asm`. Порядок изменения значений некоторых из них приведен в разделе **НАСТРОЙКА**.

Существует несколько общих правил, которые относятся к любым функциям и режимам работы:

- если не указано в описании, длительность нарастания и спада яркости при включении и выключении определяется

значениями ячеек `eTurnOnSpeedModeXChX`;

- во время включения и выключения канала он не реагирует на манипуляции с кнопкой;
- точность выдерживаемых интервалов зависит от стабильности частоты питающей сети и, как правило, составляет не хуже  $\pm 10$  секунд в сутки.

Устройство готово к работе через 4 секунды после подачи сетевого напряжения. В случае кратковременного (около 1 секунды) пропадания напряжения сети устройство возобновляет свою работу сразу, без задержки.

### 2.1. Включение и выключение

Режим, в котором включится канал, определяется способом управления кнопкой. При нажатии кнопки включается первый режим, при удерживании – второй.

Яркость нарастает плавно, что в значительной степени продлевает срок службы лампы. Яркость увеличивается

до тех пор, пока не сравняется с той, которая была при последнем использовании данного режима. Уровень яркости сохраняется в ячейке eLastBright. Эта же ячейка определяет величину яркости при первом включении диммера в сеть, а также, если запоминание яркости было отключено.

Благодаря отдельным настройкам каналов и их режимов, появляется возможность задать четыре разных уровня освещения для различных ситуаций. Например: просмотр телепередач, чтение, ночное освещение, дежурный свет в комнате.

Длительность нарастания яркости, т.е. время за которое включится канал, определяется значением ячейки eTurnOnSpeedMode1 или eTurnOnSpeedMode2, в зависимости от выбранного режима. Это позволяет настроить разную скорость изменения яркости с учетом различного уровня внешней освещенности. Например, можно выбрать максимальную скорость для первого режима, чтобы обеспечить быстрое включение канала при наличии освещения в комнате от других источников, и минимальную скорость для второго режима, чтобы глазам было легче адаптироваться при включении лампы в полной темноте.

Выключается канал нажатием на кнопку. Скорость спада яркости определяется значением ячейки eTurnOffSpeedMode1 или eTurnOffSpeedMode2, в зависимости от текущего режима. Это позволяет настроить наиболее комфортное изменение яркости с точки зрения восприятия или в зависимости от ситуации. Например, минимальная скорость будет полезна, чтобы после выключения канала успеть выйти из комнаты не в темноте или чтобы плавным гашением воссоздать атмосферу кинозала.

Если бит ebTurnPrevState установлен, то при возобновлении подачи электропитания после сбоя, канал включится автоматически (через 4 сек.). При этом будет восстановлен тот режим и та яркость, которая существовала на момент сбоя. Если же отключение электроэнергии произошло во время включения или выключения канала, то после возобновления питания канал не включится.

## 2.2. Регулировка и запоминание яркости

Регулировка яркости происходит при удерживании кнопки. При этом скорость изменения яркости определяется значением ячейки eBrightChangeSpeed.

Диапазон регулировки яркости задается ячейками eBrightnessMin и eBrightnessMax. Причем даже в том случае, если уровень яркости, запомненный в ячейке eLastBrightX\_X, лежит за пределами этого диапазона.

По достижении крайних значений изменение яркости на короткое время приостанавливается, чтобы иметь возможность зафиксировать ее на минимальном или максимальном уровне. Длительность этой задержки определяется значениями ячеек eMinBrightDelay и eMaxBrightDelay.

Направление изменения яркости при удерживании кнопки зависит от состояния бита ebBrightDirMode. Если бит равен 0, направление не меняется, т.е. остается таким

же, каким было во время предыдущей регулировки. Если бит равен 1, направление изменяется на противоположное. Первая регулировка после включения канала всегда направлена в сторону увеличения яркости (если, конечно, ее текущий уровень ниже максимального).

Через 2,5 секунды после окончания регулировки установленная яркость сохраняется в памяти, ее уровень записывается в ячейку eLastBrightX\_X.

Имеется возможность отключить запоминание. Это может оказаться полезно, если, например, требуется, чтобы тот или иной режим того или иного канала всегда включался на максимальную яркость, но при этом сохранялась возможность регулировки. Возможен также и другой сценарий: предположим, что первый режим используется для чтения (яркость чуть выше средней), а второй – для просмотра телепередач (яркость чуть ниже средней). Иногда требуется, к примеру, что-то зашить. Для этого нужно включить максимальную яркость. Если запоминание яркости не отключать, то при следующем включении, например, первого режима яркость будет максимальной, а надо, чтобы она была, как и раньше, чуть выше средней, так как чтение используется намного чаще шитья.

Отключить запоминание яркости можно сбросом бита ebSaveBrightMxChx. В этом случае уровень яркости будет определяться значением той же самой ячейки eLastBrightX\_X с тем лишь отличием, что ее содержимое не будет перезаписываться. При этом пределы регулировки яркости остаются в диапазоне, определяемом ячейками eBrightnessMin и eBrightnessMax.

Если требуется, чтобы яркость, задаваемая в ячейке eLastBrightX\_X, была стабилизирована, следует выбирать ее значение с учетом рекомендаций, относящихся к подбору максимальной яркости (см. раздел **НАСТРОЙКА**).

## 2.3. Автоотключение

Если канал не был выключен в течение количества часов, заданных в ячейке eOffTimeoutHours (1...24 ч.), он выключается автоматически. Отсчет времени начинается сразу после отпускания кнопки при включении канала. Возможны два способа автоотключения, выбираемые с помощью бита ebAutoOffMode.

**Способ 1** (ebAutoOffMode=0). Яркость постепенно уменьшается до полного выключения канала. Время, за которое это происходит, определяется значением ячейки eOffTimeMode1. Время выключения зависит также от исходного уровня яркости.

**Способ 2** (ebAutoOffMode=1). Сначала яркость уменьшается на фиксированное значение, задаваемое в процентах от исходной яркости в ячейке eBrightDecrPercent (10...90%). Если после этого в течение количества минут, указанных в ячейке eOffTimeMode2 (1...240 мин.), автоотключение не будет отменено, канал выключается.

Чтобы отменить автоотключение, следует удерживать кнопку. При этом яркость восстановится до исходного уровня, и начнется новый отсчет времени. Нажатие кнопки вместо ее удерживания приведет к немедленному выключению канала.

Если во время автоотключения произойдет пропадание напряжения сети, то после его возобновления канал не включится. Если же напряжение пропадет в момент отмены автоотключения, то канал включится (если это разрешено битом `ebTurnPrevState`).

## 2.4. Имитация присутствия хозяев

Данная функция (сокращенно ИПХ) предназначена для автоматического включения и выключения светильника через заданные промежутки времени. Эта функция – единственное исключение из общего правила, согласно которому оба канала работают независимо друг от друга. Здесь они управляются одновременно, при этом используется единый набор настроек. Ручная регулировка яркости (путем удерживания кнопок) в данной функции недоступна. Это сделано специально для того, чтобы отличать функцию ИПХ от других функций и режимов работы устройства. Стабилизация яркости в данной функции также может не осуществляться, так как ее уровень может принимать любое значение, вплоть до максимального (255), т.е. превышать значение, заданное в ячейке `eBrightnessMax`. Однако, по большому счету, стабилизация в данном случае не нужна, так как функция используется, когда никого нет дома.

Включается функция удерживанием обеих кнопок, когда оба канала выключены. При этом оба канала включаются на одинаковую яркость, определяемую ячейкой `eOwnersAtHomeBright`.

Продолжительность работы во включенном состоянии определяется значением ячейки `eOwnersAtHomeOnPeriod` (1...240 мин.). Отсчет времени начинается с начала включения каналов. По истечении заданного времени оба канала выключаются. Продолжительность выключенного состояния определяется ячейкой `eOwnersAtHomeOffPeriod` (1...240 мин.). Отсчет времени начинается с начала выключения каналов. Как только это время истечет, оба канала снова включаются. Цикл будет повторяться до тех пор, пока функция не будет отключена.

Отключается функция нажатием любой кнопки. Если в этот момент каналы были включены, они выключаются. Если же каналы были выключены, то тот канал, которому соответствует нажатая кнопка, включается в обычном первом режиме. При выключенных каналах функцию можно также отключить удерживанием кнопки. В этом случае соответствующий канал включится в обычном втором режиме.

Можно сделать так, чтобы уровень яркости и время работы во включенном и выключенном состоянии изменялись каждый раз по случайному закону. Для этого нужно установить бит `ebRandomOAH`. Такая возможность

повышает эффективность функции, поскольку со стороны невозможно отследить какую-либо закономерность – каждый цикл включения/выключения не похож на предыдущий.

Независимо от того, включен ли режим случайного выбора или нет, минимальная яркость составляет примерно 25% от максимально возможной. В данном случае под максимально возможной понимается яркость лампы, включенной в сеть напрямую, поскольку в функции ИПХ яркость может принимать значения вплоть до максимального уровня 255. Ограничение минимальной яркости позволяет убедиться в работе функции при ярком внешнем освещении. Кроме того, если яркость сделать меньшей, то ее уровня будет недостаточно для заметного освещения окна комнаты в темное время суток.

Длительность нарастания и спада яркости при включении и выключении функции, а также во время ее работы зависит от того, в каком режиме последний раз использовались каналы. Например, если первый канал был задействован в первом режиме, а второй канал во втором, то длительность нарастания и спада яркости первого канала будет определяться значениями ячеек `eTurnOnSpeedMode1Ch1` и `eTurnOffSpeedMode1Ch1`, а второго канала – значениями ячеек `eTurnOnSpeedMode2Ch2` и `eTurnOffSpeedMode2Ch2`.

Отключение электроэнергии не влияет на работу функции. Если питание пропадет при включенных каналах, то после его возобновления каналы включатся. При активном режиме случайного выбора яркость будет выбрана случайно и может не совпасть с предыдущей. Если питание пропадет при выключенных каналах, то после его возобновления каналы не включатся, но начнется новый отсчет времени работы в выключенном состоянии.

Аналогично этому, если питание пропадет в момент включения каналов (во время нарастания яркости), то после его возобновления каналы включатся, а если в момент выключения – то нет.

Если питание пропадет в момент включения самой функции, то после его возобновления каналы включатся. Поэтому, если функцию потребовалось включить, например, перед отъездом в отпуск, и в этот момент пропало напряжение в сети, ждать пока оно появится не нужно – функция самостоятельно возобновит свою работу, как только восстановится напряжение в сети. Соответственно, если питание пропадет в момент выключения функции (независимо от того, в каком состоянии находятся каналы), то после возобновления питания функция окажется отключенной.

Во всех случаях отсчет времени работы во включенном и выключенном состоянии после возобновления подачи электроэнергии начинается заново.

## Литература

1. "Dimmable Fluorescent Ballast" – User Guide, 10/07, Atmel Corporation  
- [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc7597.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7597.pdf)
2. А. Евсеев. "Стабилизированный регулятор мощности" // Радио, 2002 г., №4, стр. 36.
3. М. Марков. "АЦП с интерфейсом RS-232" // Радио, 2005 г., №2, стр. 26  
- <ftp://ftp.radio.ru/pub/2005/02/ADC675.zip>



Продолжение в №11/2008