

# Интегральные схемы компании International Rectifier

## для управления яркостью люминесцентной лампы

**В статье рассматриваются инновационные решения компании International Rectifier (IR) для реализации электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) с регулированием яркости для люминесцентных ламп. Спрос на ЭПРА с управляемой яркостью свечения люминесцентной лампы достаточно большой. Это связано не только с популярностью декоративного освещения, но и с проблемой энергосбережения. Пользователи сегодня все чаще хотят иметь балласты с регулируемой мощностью. Компания IR сейчас — признанный лидер в области решений для энергосберегающего освещения на люминесцентных лампах.**

**Александр Стратиенко**

san@rtcs.ru

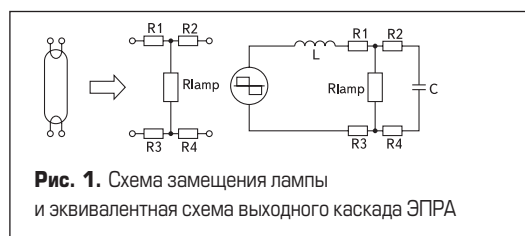
**Виталий Шевченко**

svl@rainbow.com.ua



В сформировавшейся англоязычной терминологии регулирование мощности люминесцентных ламп называется Fluorescent Lighting Dimming. Термин «диммирование», или «димминг», в русскоязычных источниках часто используется для обозначения плавного изменения яркости светильника при включении и выключении. Для четкости терминологии будем понимать под диммированием регулирование яркости вообще.

При разработке диммируемого электронного балласта для люминесцентной лампы вопрос о методе управления является отправной точкой. Любой из методов должен обеспечивать линейность управления мощностью, плавность изменения яркости свечения и стабильность свечения лампы. Возможны два метода управления — аналоговый и цифровой, оба часто используются в ЭПРА. Как в аналоговом, так и в цифровом димминге способом управления мощностью, подводимой к лампе, является изменение частоты коммутации выходного полумостового транзисторного каскада. Выходной контур состоит из последовательно включенных индуктивности и конденсатора. Эквивалентная схема выходного каскада ЭПРА показана на рис. 1.

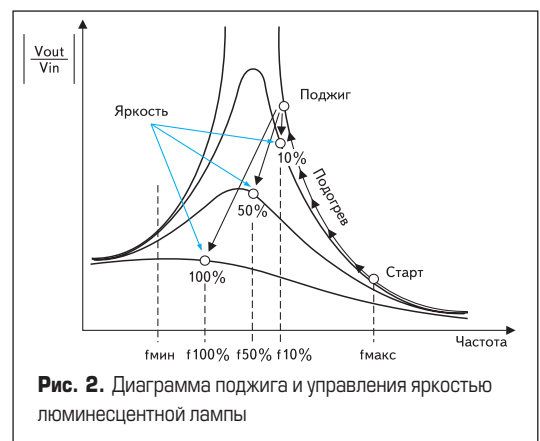


Когда разряда в лампе нет, сопротивление  $R_{lamp}$  велико и резонансный контур  $L, C, R_{lamp}$  имеет высокую добротность. Процесс поджига лампы заключается в плавном снижении частоты коммутации от значения  $f_{max}$ . При этом траектория перемещения рабочей точки происходит по резонансной кривой с высокой добротностью — участок «подогрев» на характеристике (рис. 2). С уменьшением частоты увеличивается размах напряжения на конденсаторе  $C$ , и, при достижении определенной его величины, происходит поджиг лампы.

Сопротивление  $R_{lamp}$  становится значительно меньше, соответственно уменьшается и добротность резонансного контура (пологие кривые на рис. 2). Теперь регулировать мощность, подводимую к лампе, и ее яркость можно изменением частоты. Таков общий принцип построения диммируемых ЭПРА.

Для успешной разработки и правильного выбора параметров резонансного контура необходимо знать основные параметры лампы. В таблице 1 приведены типовые значения для лампы типоразмера T5 мощностью 35 Вт.

Так называемый цифровой димминг (digital dimming) предполагает управление выходным полумостовым каскадом с помощью микроконтроллера. Мерцание лампы при управлении от микроконтроллера будет заметно, даже если он будет работать с высокой производительностью, при этом частота коммутации может изменяться только ступенчато. Эта



**Таблица 1.** Типовые значения для лампы типоразмера T5 мощностью 35 Вт

Параметр	Значение	Описание
$t_{ph}$ , с	~1	Время подгрева нити лампы
$V_{ign}$ , В	900	Амплитуда напряжения поджига
$P_{100\%}$ , Вт	35	Мощность, рассеиваемая на лампе при 100% яркости
$V_{100\%}$ , В	310	Амплитуда напряжения на лампе при 100% яркости
$P_{5\%}$ , Вт	0,7	Мощность, рассеиваемая на лампе при 5% яркости
$V_{5\%}$ , В	425	Амплитуда напряжения на лампе при 5% яркости
$R_{Lamp100\%}$ , Ом	1,4	Эквивалентное сопротивление лампы при 100% яркости
$R_{Lamp5\%}$ , Ом	129	Эквивалентное сопротивление лампы при 5% яркости
$R_{1,2,3,4}$ , Ом	10	Сопротивление холодных нитей накала

проблема заставляет отказываться от использования контроллеров в таких балластах. Возможно применение более производительного контроллера, но в этом случае решение получается слишком дорогим, ведь необходимы еще и источник питания, а также драйвер верхнего и нижнего ключа.

При аналоговом управлении возможно плавное изменение частоты. Понятно, что это возможно только при использовании специализированной интегральной схемы (ИС). Такая ИС уже содержит драйвер верхнего и нижнего ключа, схему питания, логику защиты и управления балластом. Аналоговые методы управления ЭПРА (аналоговый димминг) в свою очередь предполагают либо регулирование тока через лампу, либо регулирование угла сдвига фаз между напряжением и током. В любом случае управляющим воздействием является частота коммутации, различие заключается в способе организации обратной связи — по току или по фазе. Оба способа обеспечивают плавное диммирование с минимальным значением мощности менее 5% от номинальной. Однако устойчивость горения разряда на минимальной мощности зависит от характеристик конкретной лампы, срока ее службы и температуры.

Обратная связь по току использует сигнал рассогласования: разность между заданным и измеренным значениями тока лампы, который подается на генератор, управляемый напряжением (ГУН). Последний изменяет частоту полумоста в нужном направлении до компенсации сигнала рассогласования. Такой контур регулирования поддерживает заданную яркость свечения. Добавление фильтра первого порядка в цепь обратной связи повышает устойчивость системы к воздействию помех и обеспечивает равномерное свечение лампы при любом значении яркости. Обратная связь по току лампы обеспечивает хорошие результаты при изменении внешних условий, поскольку частота подстраивается под заданное значение яркости. Используя этот способ управления, можно обеспечить стабильную работу не только ламп T8 и T12, но и ламп меньшего диаметра — типа T5, а также компактных.

Обратная связь по фазе основана на измерении сдвига фаз между напряжением на выходе полумоста и током резонансного контура. Здесь сигнал обратной связи по частоте сравнивается с сигналом задающей частоты, а их разница подается на вход генератора, управляемого напряжением (ГУН). Рассогла-

**Таблица 2.** Микросхемы для диммируемых ЭПРА

Функции и особенности	IR21592(3)	IRS2530D	IRS2158D
Программируемые параметры			
Время подгрева катодов	+	+	+
Частота при подгреве	-	-	+
Регулирование тока поджига	-	-	+
Рабочая частота	+	+	+
«Мертвое время»	-	-	+
Особенности			
Фиксированное «мертвое время», мкс	1,8 (1,0)	2,0	Прогр.
Защита от неподжига	+	По перегрузке по току	+
Защита от обрыва нитей лампы	+	По перегрузке по току	+
Защита от снижения напряжения питания	+	+	+
Отключение	+	-	+
Счетчик ошибок	-	-	+
Предельное состояние лампы в конце срока службы	-	-	+
Обнаружение перегрузки по току сравнением пикового и среднего значения тока нижнего ключа	-	+	-
Защита от жесткой коммутации полумоста	Обнаружение перегрузки по току, переход в состояние FAULT	Адаптивная, увеличением частоты (non-ZVS)	Обнаружение перегрузки по току: счетчик событий
Способ регулирования мощности	Стабилизация угла сдвига фаз	Стабилизация тока	Стабилизация тока
Встроенный бутстрепный диод	-	+	+
Область применения	Прецизионные диммируемые ЭПРА с линейным законом регулирования	Локальное освещение, недорогие ЭПРА	Прецизионные диммируемые ЭПРА

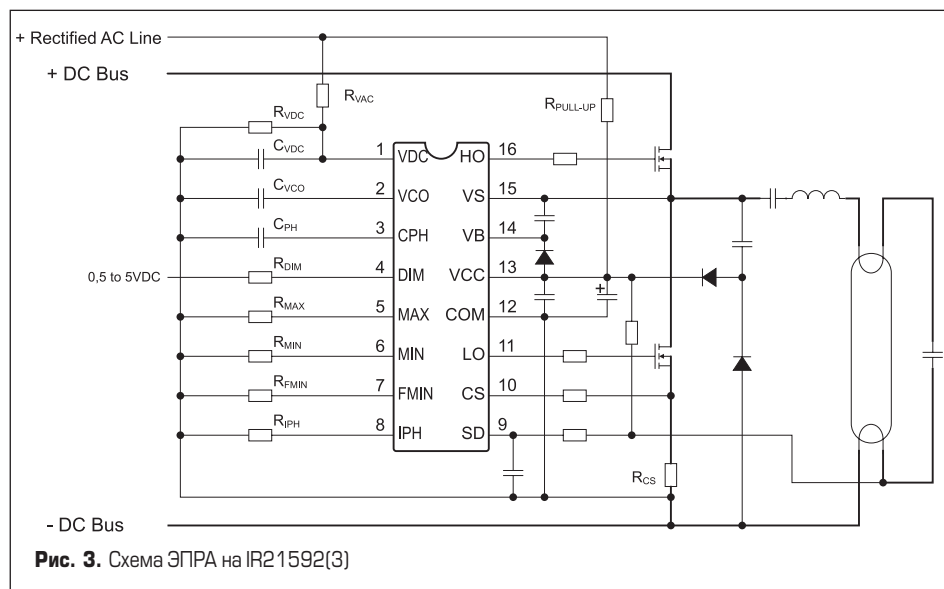
сование между требуемой фазой и фазой выходного каскада заставляет ГУН изменять в нужном направлении частоту, определяемую передаточной функцией, так, чтобы это рассогласование стремилось к нулю. При достижении желаемого результата фазовый детектор вырабатывает только короткие импульсы, которые заставляют интегратор на входе ГУН удерживать фазу тока выходного каскада в точности равной заданной. При этом не контролируются ни ток, ни напряжение на лампе. Обратная связь по фазе обеспечивает линейную зависимость выходной мощности от величины управляющего сигнала.

Горение лампы сопровождается ионизацией газового промежутка и его разогревом. Параметры ВАХ дуги в горячей и холодной лампе будут отличаться, что приведет к изменению всех настроек ЭПРА. В этом случае способ регулирования с обратной связью по току более предпочтителен, так как ток лампы контролируется непосредственно, что позволяет поддерживать мощность лампы на заданном уровне независимо от температуры.

Пользуясь фазовым способом управления, разработчик должен обращать внимание на работу лампы в граничных режимах. На этапе производства ЭПРА необходимо предусмотреть возможность регулирования минимальной и максимальной мощности, отдаваемой в лампу. Однако подстройка данных параметров приводит к усложнению производственного процесса и удорожанию изделия.

При стабилизации тока разработчику необходимо установить только минимальный уровень димминга, что обеспечивает надежную работу ЭПРА.

Несмотря на все преимущества ЭПРА с аналоговым диммированием, их использование сдерживалось ранее из-за отсутствия приемлемого по цене и сложности решения на специализированных ИС. Ранее предлагаемые ИС для диммируемых балластов имели габаритный корпус, а схемы были сложны в настройке. Компания International Rectifier провела ряд исследований в этой области и приступила к серийному производству ИС IRS2530D и IRS2158D.



**Рис. 3.** Схема ЭПРА на IR21592(3)

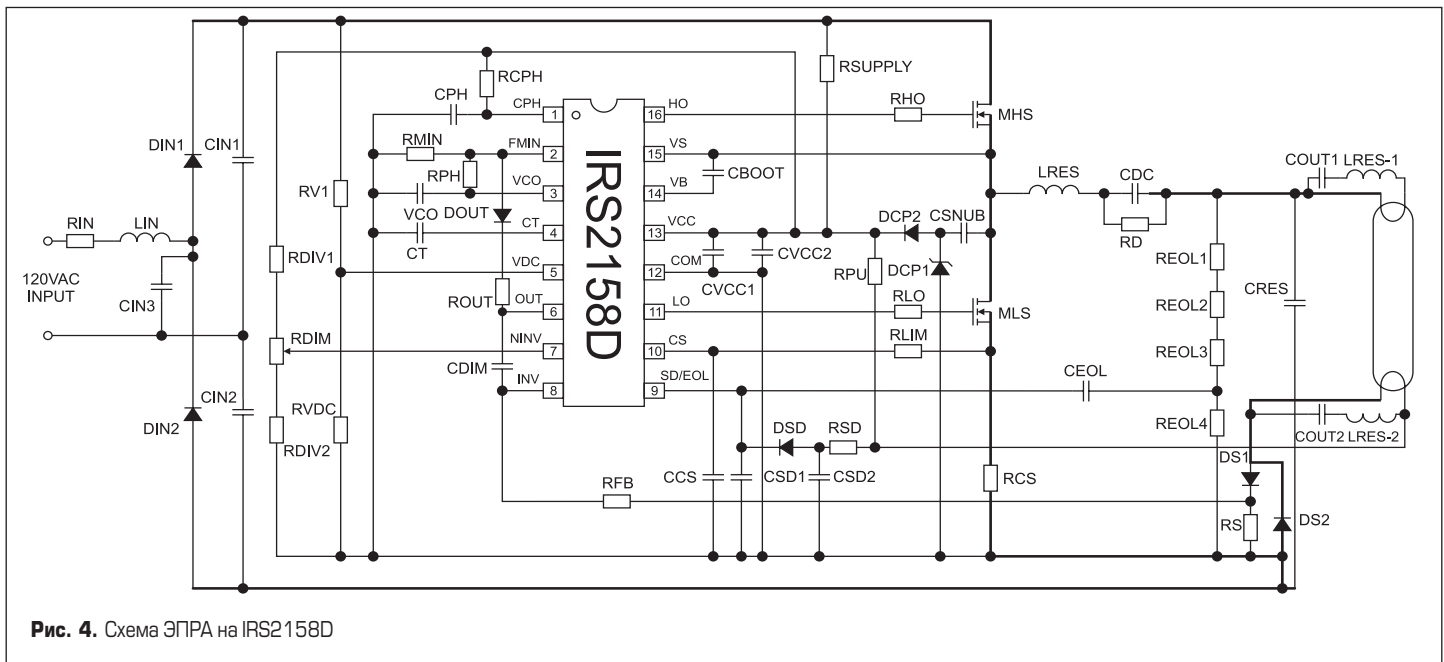


Рис. 4. Схема ЭПРА на IRS2158D

Линейка ИС для диммируемых ЭПРА представлена тремя приборами — IR21592(3), IRS2530D, IRS2158D, каждый из которых создавался для своего класса применений. Отличия трех микросхем сведены в таблицу 2 и рассмотрены далее более подробно.

IR21592 и IR21593 — первые микросхемы, в которых реализована линейная зависимость между величиной сигнала управления яркостью и мощностью, подводимой к лампе от выходного каскада ЭПРА (рис. 3). Отличие между IR21592 и IR21593 состоит только в значении выходной частоты, последняя микросхема работает на частотах до 230 кГц и предназначена для малогабаритных ЭПРА. Микросхема реализует режимы, необходимые для достижения длительного срока службы лампы — подогрев (PREHEAT), поджиг (IGNITION), диммирование (DIM). Для предотвращения сбоев и жесткой коммутации в выходном полумостовом каскаде при напряжении питания менее 12,5 В предусмотрен режим блокирования (UVLO) драйверов транзисторов выходного каскада. При обнаружении перегрузки по току или перегреву лампы ИС переходит в режим FAULT и может находиться в нем неограниченно долго до тех пор, пока не будет произведена смена или повторное подключение лампы или же не будет снято напряжение питания.

Внешними компонентами задаются длительность фазы подогрева и величина тока подогрева катодов лампы, минимальная частота коммутации полумоста, минимальная и максимальная мощности, подводимые к лампе. Такой богатый набор параметров позволяет корректно управлять любой люминесцентной лампой, доступной на рынке.

Необходимо отметить важный момент при разработке ЭПРА на IR21592(3). Микросхема переходит в режим регулирования яркости (DIM) только при достижении тока через лампу на 20% выше порога, который задается внешним резистором, подключенным к выводу IPH. Это условие является для внутренней логики критерием успешного поджига. Если это условие не выполнено, ИС может находиться в состоянии IGN до тех пор, пока

не сработает защита от перегрева, срабатывающая при определенной величине тока через лампу. Таким образом, выбор токоизмерительного резистора  $R_{cs}$  является важным условием правильной работы ЭПРА. С одной стороны, завышенное значение  $R_{cs}$  будет вызывать необоснованное срабатывание защиты и переход ЭПРА в состояние FAULT. С другой стороны, уменьшение значения  $R_{cs}$  может приводить к состоянию, когда логика IR21592 не зафиксирует поджиг (который на самом деле произойдет), и в то же время размах напряжения на  $R_{cs}$  будет недостаточным для срабатывания защиты по перегреву. В этом случае ИС продолжает оставаться в режиме IGN до тех пор, пока лампа не выйдет из строя.

Микросхема IRS2158D во многом похожа на IR21592. Оба прибора разработаны для регулирования яркости лампы в широких пределах: от 3–5% до 100% по мощности (но не яркости!). IR2158 в отличие от предшественницы, IR21592, имеет ряд существенных отличий. Прежде всего, IRS2158D регулирует мощность, отдаваемую в лампу стабилизацией ее тока, а не углом сдвига фаз между током и напряжением, как в IR21592.

Преимущества такого способа регулирования уже описаны нами. Кроме того, введено ограничение по длительности режима IGN

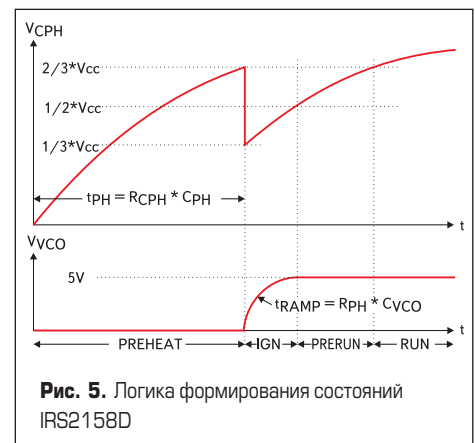


Рис. 5. Логика формирования состояний IRS2158D

и добавлен режим Pre-RUN, предшествующий рабочему режиму RUN (рис. 5). IRS2158D имеет логику обработки ошибок и определения предельного состояния люминесцентной лампы (EOL — End Of Life). В IRS2158D введен также счетчик аварийных событий — перегрузок по току. Если сигнал на выводе CS превышает пороговое значение в течение 60 циклов частоты коммутации, логика ИС переходит в состояние FAULT. Еще одна очень полезная особенность этой микросхемы — наличие внутреннего операционного усилителя, предоставленного разработчику. Используя его,

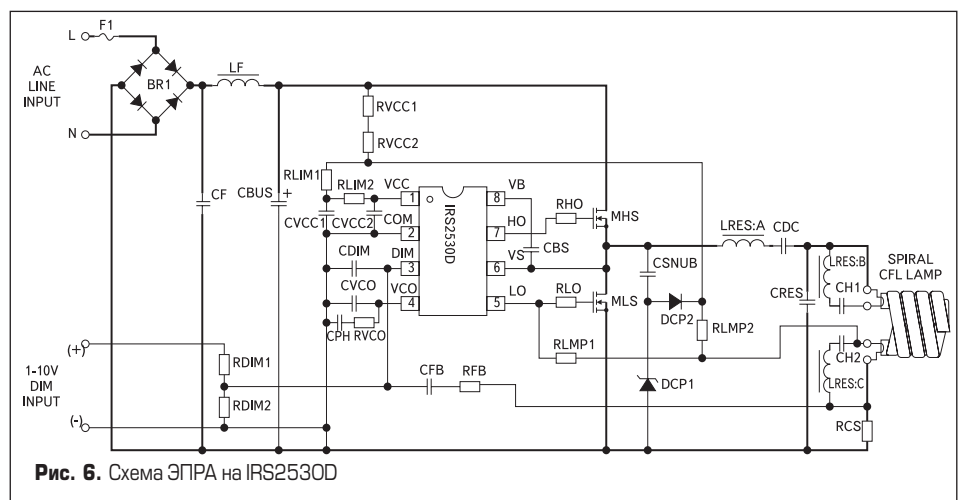
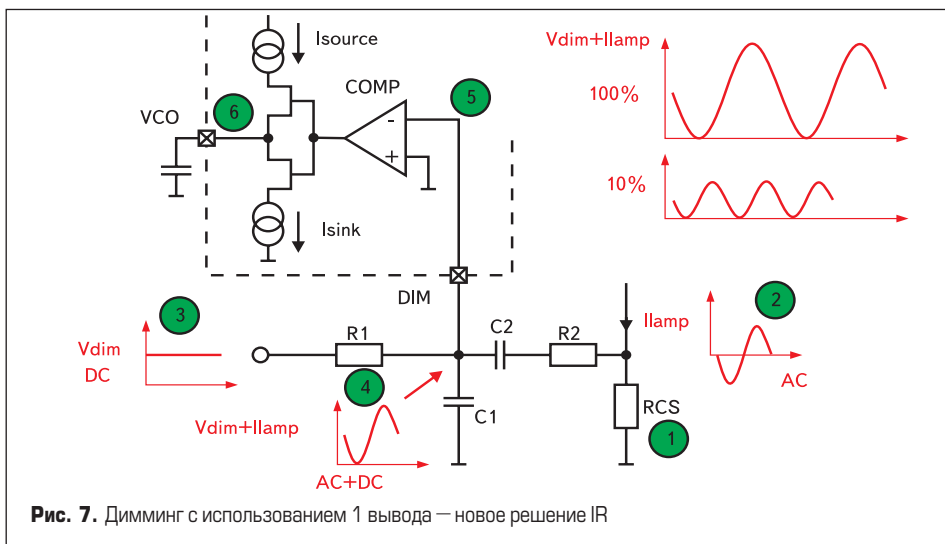


Рис. 6. Схема ЭПРА на IRS2530D



можно реализовать диммирование с ОС по току или построить нерегулируемый ЭПРА с более сложным алгоритмом обработки аварийных ситуаций и обнаружением предельных состояний лампы.

IRS2530D — микросхема для ЭПРА с меньшим диапазоном регулирования яркости. Она предназначена в первую очередь для бюджетных применений с диапазоном изменения мощности на лампе от 10 до 100%. На данный момент это самое недорогое решение для ЭПРА с диммированием. Микросхема имеет 8-выводный корпус и требует минимального количества внешних компонентов (рис. 6).

Инновационные решения, запатентованные International Rectifier, позволили использовать для регулирования яркости всего 1 вывод. Этот способ заслуживает более детального рассмотрения. Чтобы поместить микросхему в 8-выводный корпус, для диммирования остается только 1 вывод. Остальные 7 уже заняты: питание (2 вывода), управление внешними транзисторами (4 вывода), внутренний ГУН (1 вывод). Конечно, удобнее всего иметь 3 вывода для регулирования яркостью, например, используя внутренний ОУ, как в IRS2158D. Но стоимость микросхемы зависит от числа выводов корпуса.

Упрощенная схема контура регулирования представлена на рис. 7. Ток через лампу — переменный, и его форма имеет вид (2). Сигнал тока  $I_{lamp}$  снимается с резистора (1), развязывается с помощью конденсатора C2 и приобретает постоянную составляющую, суммируясь с сигналом заданной яркости  $V_{dim}$  (4). Суммарный сигнал  $V_{dim} + I_{lamp}$  подается на вход компаратора (5). Причем, благодаря сдвигу сигнала тока вверх на величину  $V_{dim}$ , минимальное значение сигнала  $V_{dim} + I_{lamp}$  примерно равно нулю. Поэтому сравнение происходит с потенциалом «земли», а это значит, что можно сэкономить на выводе опорного напряжения. При любом значении заданной яркости ток лампы изменяется ГУН таким образом, что форма тока через лампу привязана своим минимальным значением к потенциалу «земли» (диаграммы 100% и 10% яркости на рис. 7).

Интересен также способ определения случаев жесткой коммутации полумоста и появления сквозного тока. Как видно на схеме, шунт в полумостовом каскаде отсутствует. Его роль выполняет нижний ключ, его сопротив-

ление открытого канала  $R_{DS\ on}$ . Чтобы убрать зависимость от параметров конкретного ключа и температуры, используется измерение соотношения среднего и пикового значения тока. Когда пиковое значение более чем в 5,5 раза больше среднего, схема фиксирует перегрузку по току и переходит в состояние FAULT. Такая технология измерения тока позволяет определять случаи насыщения резонансного дросселя, обрыва нитей накала или извлечения лампы.

В IRS2530D реализована защита от жесткой коммутации полумоста в случаях, когда резонансный контур близок к переходу на емкостную сторону резонансной кривой или контур уже имеет емкостной характер. Это может произойти при неверном подборе дросселя или конденсатора в резонансном контуре. Тогда в момент открытия нижнего ключа напряжение может быть слишком большим, что приведет к возникновению «пиков» тока. Поэтому в каждом цикле коммутации нижнего ключа измеряется напряжение на выводе VS, и если оно более 4,5 В, IRS2530D производит коррекцию частоты. Частота коммутации увеличивается, контур становится индуктивным и выбросы тока устраняются. Эта процедура называется non-Zero Voltage Switch protection.

Для ускорения освоения работы с описанными интегральными схемами, компания International Rectifier предлагает демонстрационные наборы.

Демонстрационный набор IRPLDIM4E представляет собой миниатюрный электронный балласт для ламп мощностью 26 Вт и позволяет работать от сети 220 В. Схема демонстрационного набора обеспечивает все необходимые функции для подогрева, поджига и диммирования лампы. Набор включает в себя пассивный LC-фильтр радиопомех и выпрямитель переменного напряжения. Внешний вид демонстрационного набора IRPLDIM4E представлен на рис. 8.

IRPLDIM4E собран на ИС IRS2530D и обеспечивает диммирование люминесцентной лампы, автоматический подбор частоты для обеспечения режима подогрева и поджига лампы, защиту от включения при отсутствии лампы или ее повреждении, а также снижении напряжения питающей сети < 85 В. В случае замены



лампы происходит автоматический перезапуск. Для выбора необходимого уровня яркости на плате имеется подстроечный резистор.

Демонстрационный набор IRPLDIM5E включает в себя диммируемый ЭПРА люминесцентной лампы на IRS2530D со схемой управления на микроконтроллере. Микроконтроллер обеспечивает четыре уровня яркости, выбор одного из уровней происходит перебором при включении демонстрационного набора. При необходимости, можно запомнить необходимый уровень яркости. Внешний вид демонстрационного набора IRPLDIM5E представлен на рис. 9.



Демонстрационный набор IRPLDIM3 предназначен для управления люминесцентной лампой мощностью 25 Вт, включает в себя корректор коэффициента мощности, диммируемый ЭПРА с изолированным входом управления. Для управления лампой на плате используется ИС IRS2158D. Платы демонстрационных наборов полезны также тем, что демонстрируют правильную топологию печатной платы. Внешний вид платы демонстрационного набора IRPLDIM3 представлен на рис. 10.



Для ускорения расчетов балластов компания International Rectifier предоставляет программу Ballast Designer. Она обеспечивает не только расчет всех элементов схемы балласта, но и производит моделирование основных процессов, протекающих в его работе. Скачать программу можно бесплатно на сайте производителя.