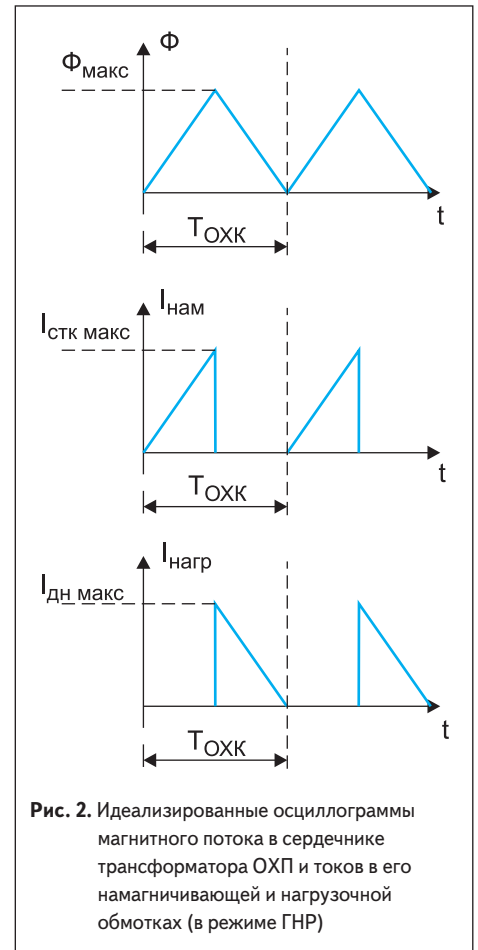
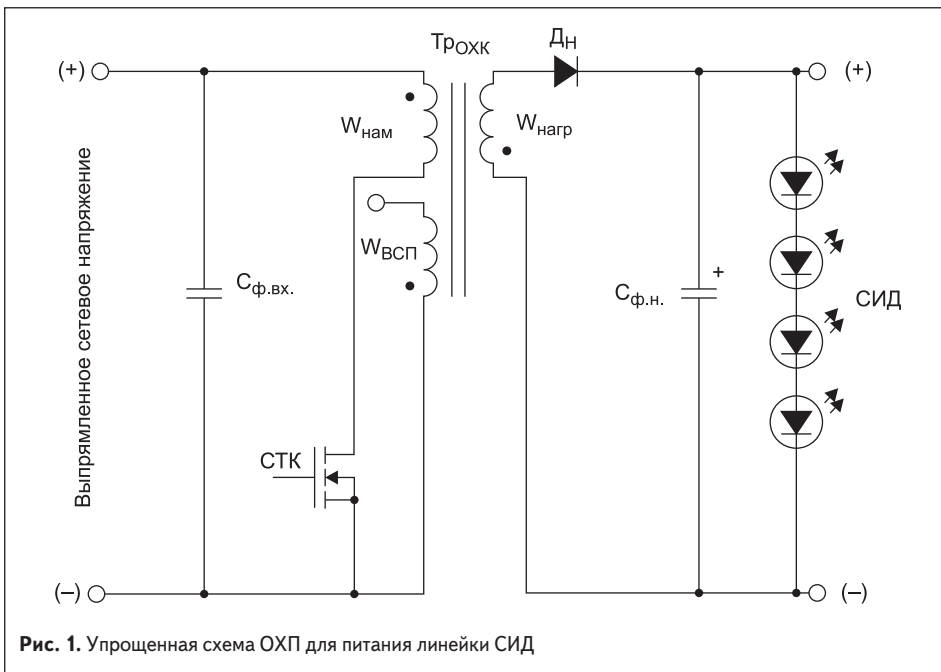


Построение обратноходового светодиодного драйвера на контроллере IRS2983S от International Rectifier

Среди различных искусственных источников света по совокупности характеристик экономичности, долговечности, экологическим свойствам наиболее предпочтительными являются светильники на основе светодиодов [1]. Светодиодное освещение — это одна из наиболее динамично развивающихся областей техники. Постоянно улучшаются технические параметры, надежность, снижаются цены и увеличиваются объемы производства и применения источников света на основе светоизлучающих диодов (СИД). Это достигается в том числе благодаря совершенствованию источников электропитания СИД, которые, с учетом специфики применения, должны удовлетворять определенным требованиям как по качеству входного тока, так и по выходным характеристикам [1]. Общими

требованиями к подобным источникам питания, называемым также драйверами, являются минимальная себестоимость, соответствие действующим стандартам по электробезопасности, электромагнитной совместимости и энергосбережению, приемлемый уровень надежности и наличие адекватных защит при аномальных внешних воздействиях. Зачастую важными дополнительными условиями становятся работоспособность в широком диапазоне температур и малые габариты. В большинстве случаев оптимальное сочетание технических и экономических характеристик таких источников питания для построения светодиодных светильников с потребляемой мощностью до 100 Вт обеспечивается топологией flyback (обратноходовой преобразователь — ОХП) [1]. Она привлекательна удобной регулировочной характеристикой

и возможностью обойтись применением единственногомоточного компонента — многообмоточного дросселя, называемого также трансформатором ОХП, поскольку он обеспечивает гальваническую развязку нагрузки от питающей сети. ОХП способен приемлемо работать в очень широком диапазоне изменения входного и выходного напряжений. В частности, может быть использован для создания



однокаскадного активного корректора коэффициента мощности (ККМ), при создании естественной стойкости к режиму КЗ на выходе. Относительно более жесткие условия эксплуатации силовых компонентов, повышенный уровень собственных потерь и генерируемых помех, характерные для ОХП по сравнению с альтернативными топологиями импульсных преобразователей, не имеют большого значения при мощностях до нескольких десятков ватт.

Особенно привлекательно применение ОХП, система управления которого принудительно поддерживает работу в гранично-непрерывном режиме (ГНР). Это обеспечивает эффективное ограничение среднего тока нагрузки при перегрузке или КЗ на выходе, мягкое обратное восстановление выпрямительного диода в цепи нагрузки (следовательно, происходит радикальное уменьшение высокочастотных помех и зна-

чительное снижение коммутационных потерь, возможность применения недорогих диодов с умеренной скоростью обратного восстановления и малым прямым падением напряжения), дополнительное снижение потерь включения силового транзисторного ключа (СТК) благодаря синхронизации моментов его коммутации с минимумами напряжения на нем, удобство построения одностадийного ККМ (достаточно работать с постоянным временем проводимости СТК, чтобы средний ток, потребляемый ОХП из питающей сети, довольно точно следовал за напряжением сети, то есть естественным образом получается высокий коэффициент мощности) [1]. В целом, ОХП в режиме ГНР имеет ощутимо лучшее использование силовых компонентов по сравнению с вариантом ОХП, действующим на фиксированной частоте в режиме прерывистого тока (РПТ) — для обеспечения должных запасов от попадания в режим непрерывного тока при максимальной нагрузке и минимальных питающем и выходном напряжениях.

Упрощенная электрическая схема ОХП, работающего в качестве драйвера линейки СИД, показана на рис. 1 [2]. Многообмоточный дроссель $Tr_{ОХП}$ имеет три обмотки: обмотка намагничивания $W_{нам}$, нагрузочная обмотка $W_{нагр}$ и многоцелевая вспомогательная обмотка $W_{всп}$. На интервале времени, называемом «прямым ходом», когда СТК подключает обмотку $W_{нам}$ к выпрямленному сетевому напряжению (к конденсатору $C_{ф.вх.}$), ток в этой обмотке нарастает, и в дросселе запасается энергия магнитного поля. В это время диод D_n закрыт, а нагрузка питается от конденсатора $C_{ф.н.}$. При запираании СТК ток в обмотке $W_{нам}$ прерывается и запасенная магнитная энергия наводит в обмотке $W_{нагр}$ ток, про-

текающий через диод D_n , подзаряжая $C_{ф.н.}$ и питая нагрузку — линейку СИД. Этот процесс называется «обратным ходом». После полного исчерпания энергии дросселя (снижения тока в обмотке $W_{нагр}$ до нуля) СТК снова включается, и процессы повторяются. Изменения во времени магнитного потока в сердечнике Φ , токов в обмотке $W_{нам}$ ($I_{нам}$) и обмотке $W_{нагр}$ ($I_{нагр}$) схематично представлены на рис. 2 [2]. Процессы повторяются с периодом $T_{ОХП}$. На рис. 3 в упрощенном виде показаны характерные напряжения в ОХП, работающем в ГНР[2]: напряжение управления СТК $U_{упр стк}$, напряжение между силовыми электродами СТК $U_{си стк}$, напряжение на вспомогательной и нагрузочной обмотках (они синфазны и отличаются лишь масштабом, пропорционально числам витков $W_{всп}$ и $W_{нагр}$). На прямом ходе $I_{нам}$ нарастает приблизительно линейно, со скоростью, пропорциональной входному напряжению. Если ОХП работает с постоянной длительностью прямого хода, амплитуда тока намагничивания повторяет входное напряжение, а средний потребляемый из сети ток не сильно отличается от синусоиды, даже если не принимать специальных мер, характерных для полноценных активных ККМ[1]. На рис. 4 показаны соответствующие упрощенные осциллограммы [2]. Следует иметь в виду, что вблизи переходов сетевого напряжения через ноль, когда входное напряжение и амплитуда тока $I_{нам}$ становятся очень малыми, ОХП переходит в РПТ, чтобы не допустить чрезмерного роста частоты коммутации $f_{ОХП}$.

Специально для эффективной и экономичной реализации драйвера линейки СИД в виде ОХП, работающего в ГНР, International Rectifier разработала ИМС контроллера IRS2983S [3], обеспечивающего все необходимые функции

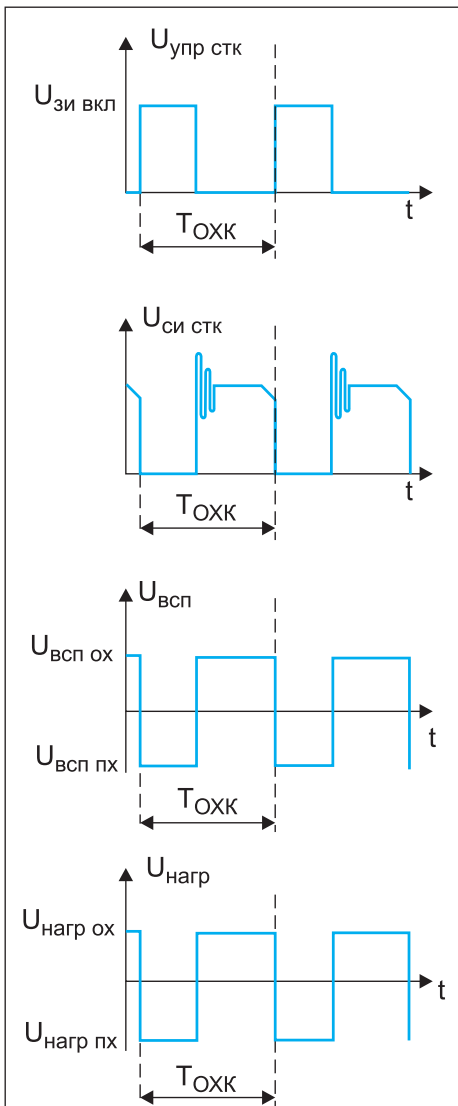


Рис. 3. Идеализированные осциллограммы напряжений в цепи управления и силовой цепи СТК, а также на вспомогательной и нагрузочной обмотках трансформатора ОХП

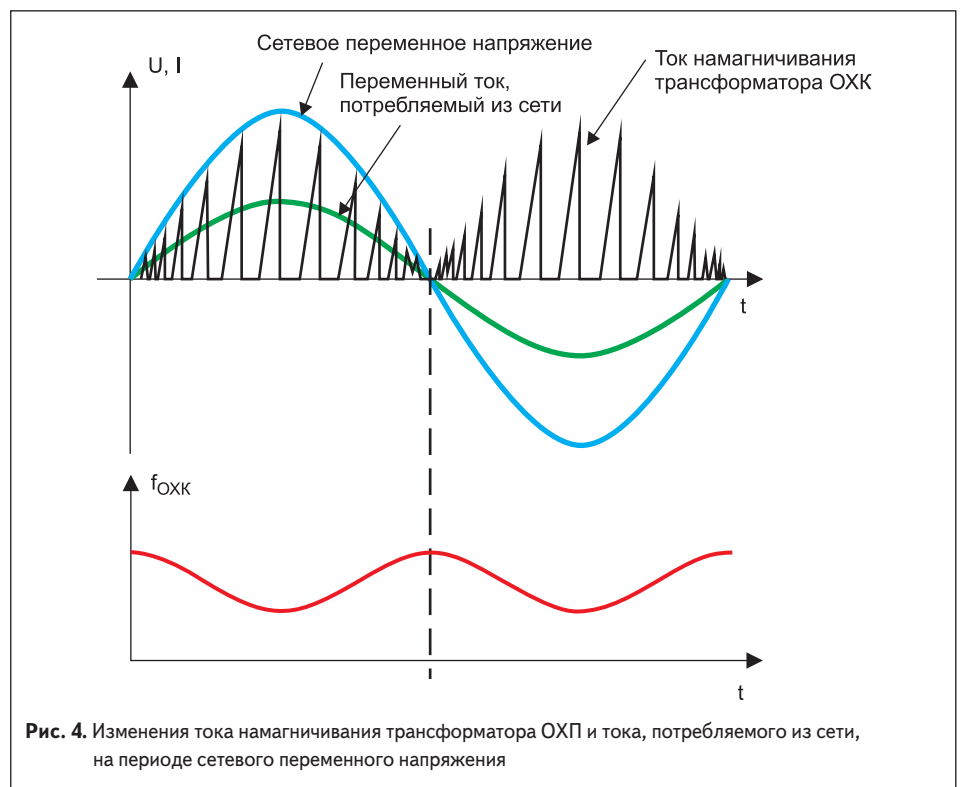


Рис. 4. Изменения тока намагничивания трансформатора ОХП и тока, потребляемого из сети, на периоде сетевого переменного напряжения

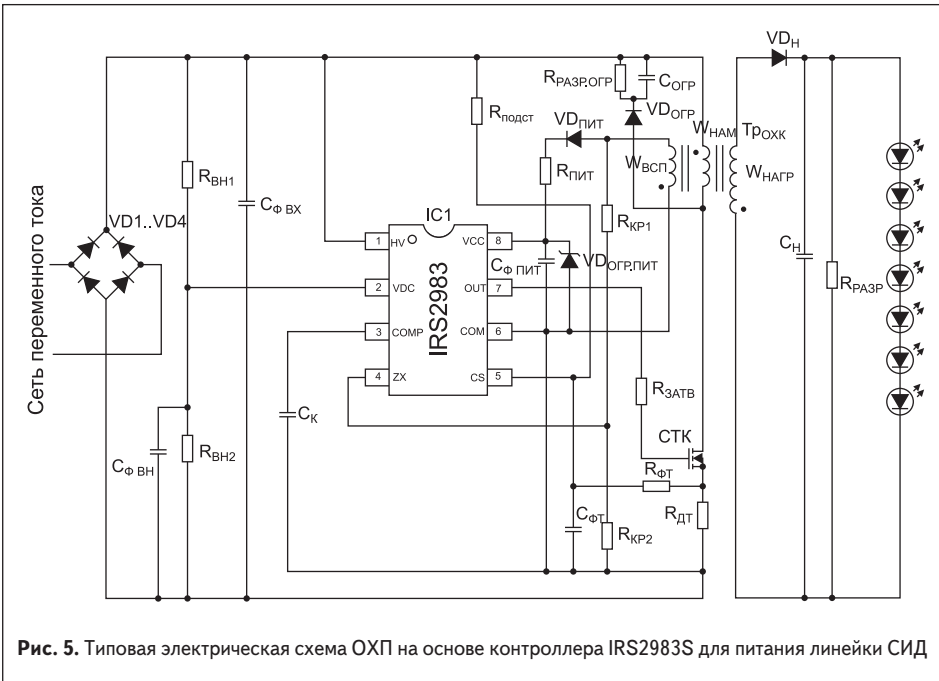


Рис. 5. Типовая электрическая схема ОХП на основе контроллера IRS2983S для питания линейки СИД

управления, защиты и организации питания. Типовая схема решения (без входного помехоподавляющего фильтра) показана на рис. 5 [2]. Контроллер реализует функцию стабилизации параметров нагрузки — светового потока, генерируемого СИД, без использования какой-либо информации на вторичной стороне ТрОХП. Это упрощает и удешевляет ОХП, а также улучшает его электробезопасность. Идея состоит в том, чтобы стабилизировать среднюю мощность, подводимую к линейке СИД. С учетом достаточно малого динамического сопротивления СИД это одновременно стабилизирует ток нагрузки без необходимости его непосредственного из-

мерения. Стабилизация величины мощности, подаваемой на линейку СИД, наиболее адекватно способствует постоянству их светового потока, в том числе с учетом разброса характеристик отдельных приборов и изменения внешних условий [2]. Чтобы реализовать данную задачу, контроллер IRS2983S имеет в своем составе блоки для вычисления текущей величины высокого напряжения питания ($R_{ВН1}$, $R_{ВН2}$, $C_{Ф ВН}$), среднего значения тока, потребляемого ОХП на периоде $T_{ОХП}$ ($R_{ДТ}$, $R_{ФТ}$, $C_{ФТ}$), мгновенной потребляемой ОХП мощности, а также интегрирующий регулятор потребляемой мощности ($C_{К}$). При должном выборе компо-

нентов делителя высокого напряжения, датчика тока СТК, цепей фильтрации и компенсации, средняя потребляемая ОХП мощность стабилизируется на заданном уровне, а выходная мощность пропорциональна ей с учетом примерно постоянной величины КПД ОХП. Точную подгонку независимости выходной мощности, подаваемой на нагрузку (линейку СИД) от входного напряжения, осуществляют сопротивлением $R_{ПОДСТ}$.

Важную роль в достижении высокой экономичности и малой стоимости решения играет интегрированная функция динамического самопитания контроллера от высокого напряжения (вывод HV на рис. 5) и его малое собственное потребление: 150 мкА в режиме UVLO (Under Voltage LockOut — защита от падения напряжения управления) и 2,5 мА — при штатной работе. Таким образом, устраняется необходимость в неэкономичной внешней цепи запуска, а время готовности ОХП к работе после подачи питания сокращается до приемлемого уровня — 0,5 с до момента зажигания светильника [3]. В штатном режиме контроллер получает питание от выпрямителя ($R_{ПИТ}$, $VD_{ПИТ}$, $VD_{ОГР ПИТ}$, $C_{Ф ПИТ}$), подключенного к вспомогательной обмотке. Еще одна функция обмотки $W_{ВСП}$ — обеспечение работы ОХП в ГНР. Для этого она через делитель $R_{КР1}$ и $R_{КР2}$ подключена к выводу ZX контроллера. Окончание обратного хода выявляется по смене полярности напряжения на $W_{ВСП}$ (рис. 3). Одновременно реализуется и функция защиты ОХП от опасного повышения выходного напряжения, например в случае обрыва нагрузки. Рекомендуется устанавливать порог срабатывания этой защиты примерно на 25% выше номинального уровня [2]. Вход CS контроллера, помимо обеспечения информации о среднем токе, потребляемом ОХП, служит для защиты СТК от опасного повышения мгновенного тока в обмотке $W_{НАМ}$, в частности, при насыщении дросселя и других возможных неисправностях. Порог срабатывания этой защиты составляет 1,25 В и определяется по падению напряжения на резисторе $R_{ДТ}$.

Для обеспечения функции активного ККМ, ОХП работает от выпрямленного синусоидального напряжения сети, без применения большого накопительного конденсатора. $C_{Ф ВХ}$ представляет собой пленочный конденсатор небольшой емкости (десятьки нанофард) и служит только для фильтрации импульсного тока, потребляемого преобразователем. Выходной накопительный конденсатор $C_{Н}$ обеспечивает фильтрацию пульсаций мощности ОХП на удвоенной частоте сети (из-за выполнения функции активного ККМ), поэтому его емкость должна быть достаточно велика, чтобы получить приемлемо малые колебания светового потока СИД [2]. Цепь ограничения максимального напряжения на выключателе СТК ($VD_{ОГР}$, $C_{ОГР}$, $R_{РАЗ ОГР}$) служит для обеспечения надежной работы СТК, а ее параметры определяются индуктивностью рассеивания $TрОХП$ (обмотки $W_{НАМ}$ относительно $W_{НАГР}$).

Диаграмма состояний ОХП — драйвера СИД на основе контроллера IRS2983S показана на рис. 6 [2, 3]. После подачи сетевого питания на схему вначале происходит заряд конденса-

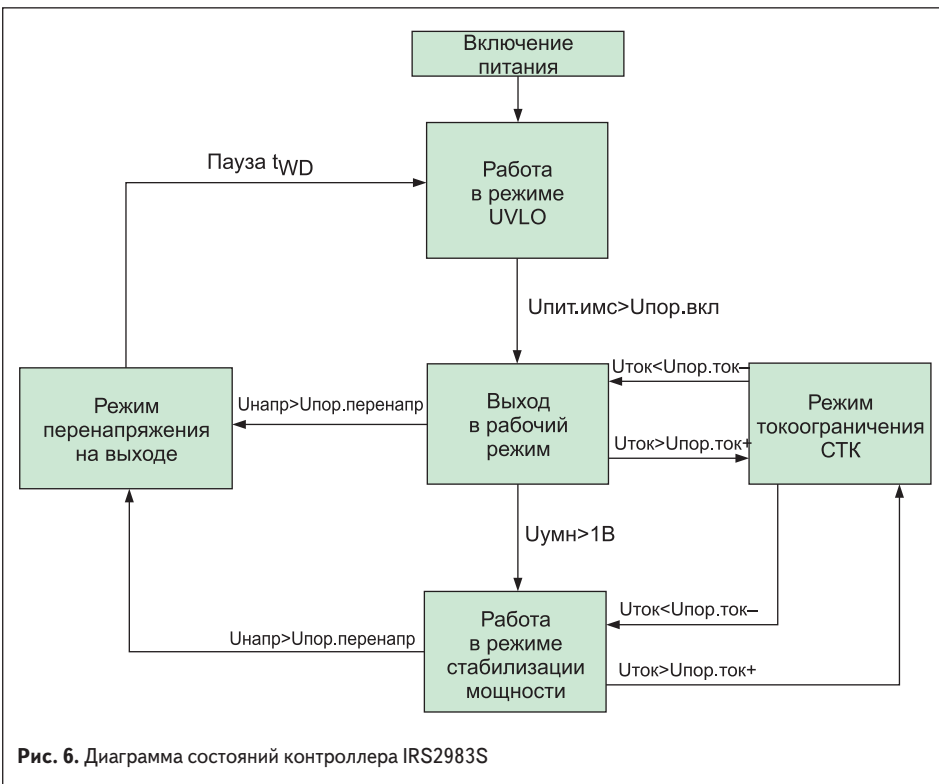


Рис. 6. Диаграмма состояний контроллера IRS2983S

тора $C_{\text{Ф ПИТ}}$ через подсистему динамического самопитания. Пока напряжение на нем не достигнет порога включения $U_{\text{пор. вкл}}$, контроллер работает в режиме UVLO — недостаточного напряжения питания микросхемы. При этом большинство блоков в ней выключено, СТК не работает, конденсатор $C_{\text{К}}$ в составе интегрирующего регулятора мощности разряжен, а ток собственного потребления минимальный. При достижении напряжением питания микросхемы $U_{\text{пит.имс}}$ величины $U_{\text{пор. вкл}}$ ОХП начинает набор мощности. По мере заряда большой емкости $C_{\text{Н}}$ происходит подхват питания микросхемы от вспомогательной обмотки. Параллельно идет процесс установления режима работы регулятора мощности, после чего наступает не ограниченный по времени нормальный режим работы драйвера — светильник горит. В случае обнаружения чрезмерного увеличения тока СТК, контроллер переходит в режим токоограничения. После устранения причин, вызвавших перегрузку, происходит возврат в штатный режим: непосредственно или через переходный процесс восстановления режима регулятора мощности. В случае обрыва цепи нагрузки или некоторых других неисправностей напряжение на выходе ОХП значительно возрастает. Это выявляется во время обратного хода и приводит к блокировке работы ОХП на время $t_{\text{ВД}} = 100$ мкс и разряду конденсатора

$C_{\text{К}}$. Контроллер оказывается в режиме перенапряжения на выходе, а из него переходит в состояние UVLO, предпринимая новую попытку выйти в штатный режим работы. Таким образом при опасных неисправностях ОХП, вызывающих перенапряжение на выходе, происходит «икание» драйвера с малым коэффициентом заполнения, что безопасно для компонентов источника питания и нагрузки, как в электрическом, так и в тепловом отношении.

Особенности проектирования драйвера во многом зависят от заданных критериев оптимальности разработки и объемов производства. Инженеры International Rectifier предлагают достаточно подробную процедуру проектирования ОХП для питания линейки СИД на основе IRS2983S [2]. Приводятся расчет основных компонентов схемы, обеспечивающих требуемые функциональные параметры и адекватные уровни защиты, выбор силовых компонентов, типовой расчет многообмоточного дросселя с рекомендациями по выбору типоразмера сердечника в зависимости от мощности драйвера, рассматриваются вопросы фильтрации помех и защиты от перенапряжений в сети питания, вопросы конструирования печатной платы. Также имеется референсный проект драйвера с выходной мощностью около 7 Вт и универсальным входом (активный ККМ, напряжение питающей сети 120–300 В_{эфф}) [2].

Эти материалы позволяют быстро и с малыми затратами адаптировать ОХП под требования конкретного разработчика.

Заключение

Создание и изготовление высокопроизводительных и экономичных драйверов питания СИД является весьма важной задачей. Для ее быстрого и эффективного решения компания International Rectifier предлагает использовать контроллер обратногоходового преобразователя IRS2983S, обеспечивающий все необходимые механизмы защиты и позволяющий организовать стабильное питание фиксированной светодиодной нагрузки без применения сложных и дорогостоящих изолированных цепей обратной связи. ●

Литература

1. Коротков С., Лукин А. Источники питания для светодиодного освещения // www.mmp-irbis.ru/content/istochniki-pitaniya-svetodioda.php
2. Bakalagos E. Primary side regulated LED driver using the IRS2983S/International Rectifier// Application Notes AN-1195. 30.01.2014.
3. LED flyback control IC/International Rectifier// Data Sheet IRS2983SPBF. 29.01.2014.