

Александр Щерба | shcherba@prosoft.ru

Новый контроллер MP4021A

для светодиодного драйвера от Monolithic Power Systems

В статье приведены характеристики и особенности применения контроллера MP4021 от компании Monolithic Power System при построения драйвера для питания мощных светодиодов. Даны описания основных режимов работы и алгоритмы защиты драйвера.

Компания Monolithic Power Systems (MPS) — один из лидеров в разработке и производстве высокоэффективных компонентов аналоговой и силовой электроники на базе BiMOS- и DMOS-технологий. Линейка выпускаемой продукции включает DC/DC-преобразователи различного назначения, линейные стабилизаторы, специализированные драйверы заряда Li-ion аккумуляторов, супервизоры питания, драйверы подсветки мониторов, усилители мощности звуковой частоты D-класса и др.

Ключевым направлением MPS является разработка и производство микросхем для питания мощных светодиодных источников света [1]. Светодиодные источники света, широко применяющиеся в настоящее время, обладают высокой эффективностью, длительным временем эксплуатации и высокой надежностью. В отличие от традиционных источников света (ламп накаливания), для своей работы они требуют источник постоянного тока — специальный светодиодный драйвер. Светодиодные драйверы выполняют преобразование напряжения сети переменного тока в постоянный ток на светодиоде, поддерживают его неизменное значение и выполняют энергосберегающие функции.

Чтобы достичь высокого КПД преобразования и компактных размеров, в качестве светодиодных драйверов активно применяются импульсные понижающие преобразователи. Для сети переменного тока импульсные источники питания являются нелинейной нагрузкой, а это значит, что форма потребляемого тока будет отличаться от синусоидальной (рис. 1), кроме того, фаза

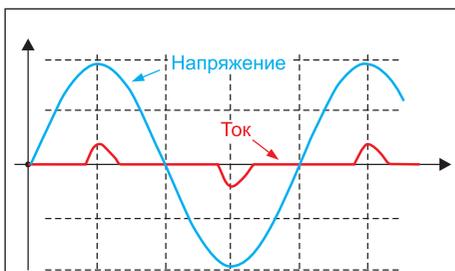


Рис. 1. Форма входного напряжения (синий график) и тока потребления (красный график) для нелинейной нагрузки

потребляемого тока может смещаться относительно фазы напряжения в сети. По этой причине для уменьшения гармонических искажений, создаваемых импульсным источником тока, используются специальные схемы — корректоры коэффициента мощности (ККМ).

В простейшем случае корректором коэффициента мощности может служить так называемый пассивный ККМ, представляющий собой фильтр, состоящий из индуктивности и конденсаторов, который должен пропускать основную гармонику сети переменного тока (50 Гц) и фильтровать гармоники высокого порядка (100, 150, 200 Гц и т. д.), но такое решение будет отличаться большими габаритами и низкой эффективностью. Добиться более высокой эффективности и компактных размеров позволяет использование активного ККМ. Идея состоит в использовании импульсного повышающего преобразователя, который должен будет обеспечивать во входной цепи требуемую форму тока.

Светодиодный драйвер на базе контроллера MP4021A с активным ККМ

Микросхема MP4021A от компании MPS представляет собой контроллер для управления мощным светодиодным драйвером с гальванической развязкой. Отличительной особенностью контроллера является встроенный активный ККМ и отсутствие оптопары для контроля выходного напряжения драйвера. Кроме того, на кристалл микросхемы интегрирована защита от перегрева, короткого замыкания или обрыва в цепи светодиодов. Специальный алгоритм управления позволяет осуществлять защиту по току или напряжению в каждом цикле преобразования.

Схема драйвера представляет собой типовой AC/DC обратноходовый (Flyback) преобразователь, работающий в граничном режиме (Boundary Mode) (рис. 2) [2]. Ключевой особенностью граничного режима преобразования является переключение силового ключа при «нулевом токе», что позволяет значительно снизить потери при преобразовании, а также уменьшить коммутационные шумы на самом ключе и на выпрямительном диоде преобразователя.

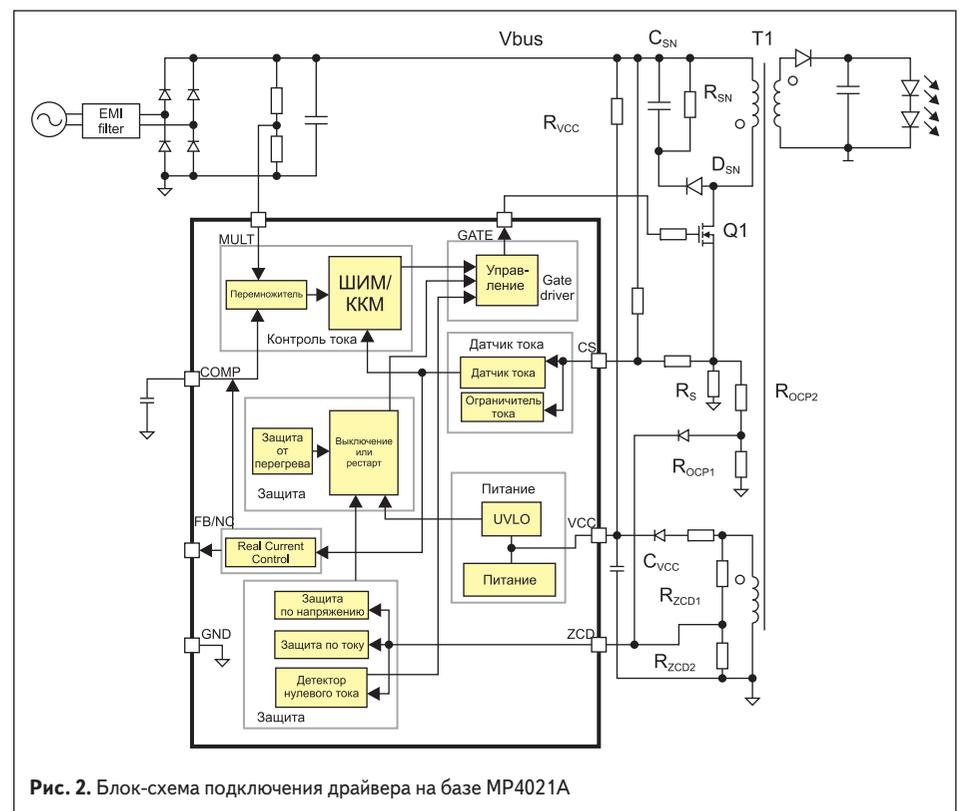


Рис. 2. Блок-схема подключения драйвера на базе MP4021A

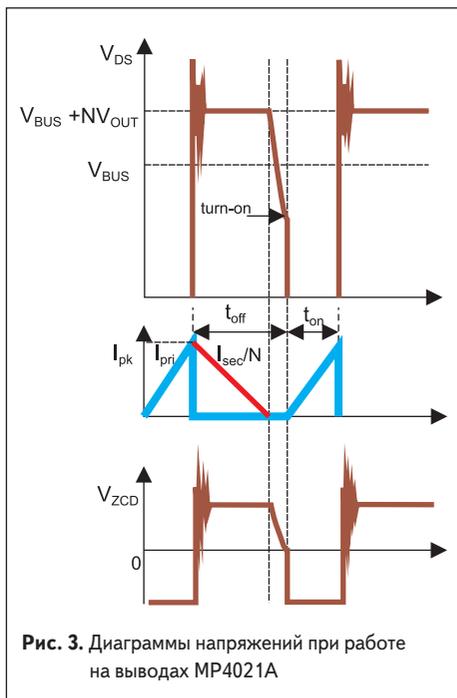
Работа схемы начинается с заряда конденсатора C_{VCC} в цепи питания V_{CC} через резистор R_{VCC} . При достижении напряжения равного 13,6 В срабатывает управляющая логика, которая передает сигнал контроллеру на начало преобразования.

Цикл преобразования начинается с замыкания внешнего MOSFET-ключа Q1 в течение времени t_{on} выпрямленное входное напряжение V_{bus} будет приложено к первичной обмотке трансформатора T1 (рис. 2). Ток на ключе будет возрастать линейно от нуля до пикового значения I_{pk} , затем ключ разорвет цепь и энергия, запасенная в трансформаторе, через диод, подключенный в цепи вторичной обмотки трансформатора T1, потечет в цепь нагрузки со светодиодами; ток на вторичной обмотке будет падать линейно от значения I_{sec} до нуля (рис. 3). Когда ток на вторичной обмотке достигнет нуля, детектор нулевого тока (Zero-Current Detector), подключенный через делитель напряжения на резисторах R_{ZCD1} и R_{ZCD2} к вспомогательной обмотке трансформатора T1 (рис. 3), генерирует сигнал включения внешнего MOSFET-ключа, и цикл преобразования повторяется. Как результат такого режима работы, достигается высокая эффективность преобразования, снижение пиковых токов и уменьшение электромагнитных помех (ЭМП). Выбросы тока, возникающие в трансформаторе в момент переключения ключа, будут гаситься цепью на элементах D_{SN} , R_{SN} , C_{SN} .

Считывание информации о значении тока во вторичной обмотке, а значит и на светодиодах, осуществляется микросхемой MP4021 с помощью резистора R1, подключенного последовательно в цепь первичной обмотки между источником силового ключа и землей.

$$I_0 \approx NV_{FB}/2R_s,$$

где: N — отношение числа витков первичной и вторичной обмотки трансформатора; V_{FB} — опорное напряжение (типичное значение 0,4 В); R_s — значение резистора.

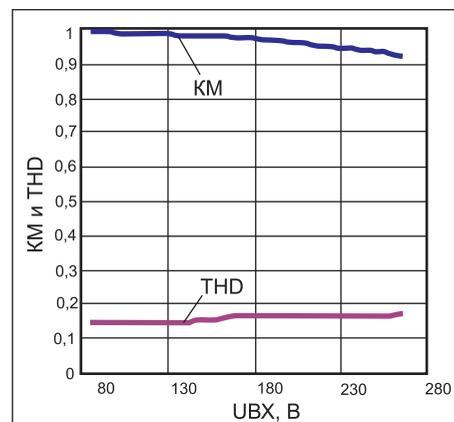
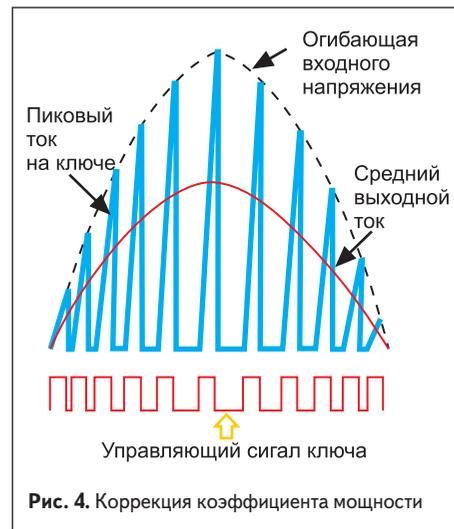


Корректор коэффициента мощности

Работа преобразователя в импульсном режиме может приводить к искажению синусоидальной формы входного тока или сдвигу фаз между напряжением и током потребления светодионного драйвера. Такое несовпадение фаз вызывает гармонические искажения, которые, попадая обратно в сеть переменного тока, могут отрицательно повлиять на работоспособность других устройств, подключенных к сети.

Для предотвращения такого эффекта в микросхему MP4021 интегрирован активный ККМ, который, используя специальный алгоритм управления силовым ключом, приводит в соответствие значения тока потребления и его фазу к синусоидальной форме входного напряжения сети переменного тока (рис. 4). Коэффициент мощности тем выше, чем выше такое соответствие.

Специальный перемножитель, интегрированный на кристалл микросхемы (рис. 2), принимает на вход MULT информацию о синусоидальной огибающей входного напряжения, поступающего от выпрямительного моста (шина Vbus) через резисторный делитель и информацию о пиковом



токе первичной обмотки трансформатора (на выводе CS) и вырабатывает специальный корректирующий сигнал на силовой ключ (рис. 4). Таким образом достигается высокий коэффициент мощности (рис. 5) при высокой эффективности преобразования светодионного драйвера без использования дополнительного ключа для коррекции мощности.

Контроль входного напряжения

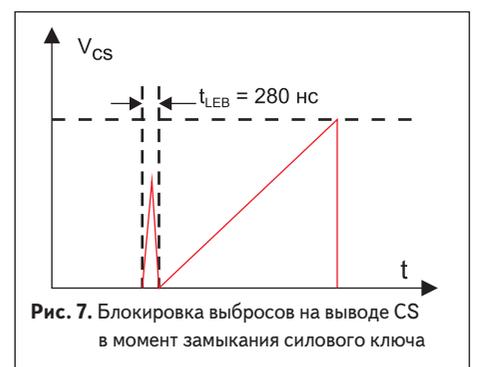
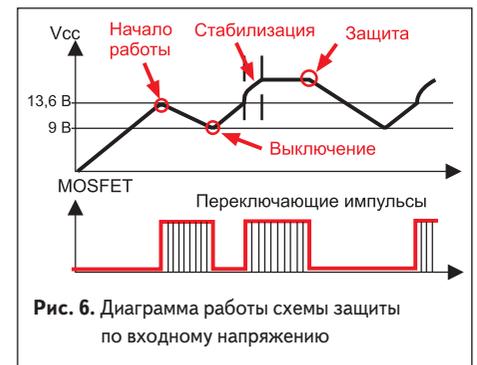
Изменение входного напряжения будет отражаться на выводе V_{CC} падение напряжения в сети переменного тока вызовет падение напряжения на выводе V_{CC} . Работа микросхемы прекратится, как только напряжение на шине V_{CC} упадет ниже 9 В (рис. 6). Режим преобразования автоматически запустится при 13,6 В. При превышении напряжения на шине V_{CC} значения 23 В сработает защита, и работа преобразователя прекратится.

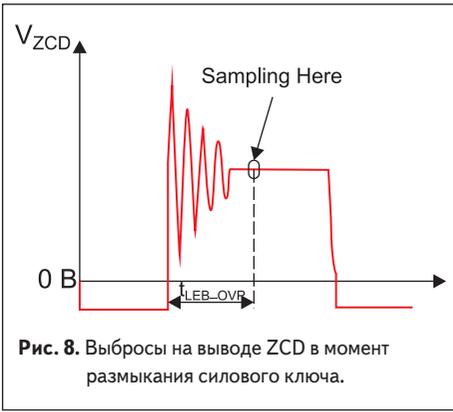
Подавление выбросов на фронтах импульсов

Чтобы избежать преждевременного прекращения коммутационного импульса при замыкании MOSFET-ключа за счет наличия в нем паразитной емкости, на кристалл микросхемы интегрирована схема блокировки выбросов (Leading Edge Blanking), блокирующая вывод CS в момент включения ключа в течение времени $t_{LEB} = 0,28$ мкс (рис. 7).

Защита от перенапряжения и обрыва в цепи светодиодов

Защита от обрыва в цепи светодиодов должна предотвратить выход из строя компонентов в условиях неконтролируемого роста напряжения в цепи нагрузки светодионного драйвера. Вместо прямого контроля напряжения на выходе драйвера, контроль осуществляется



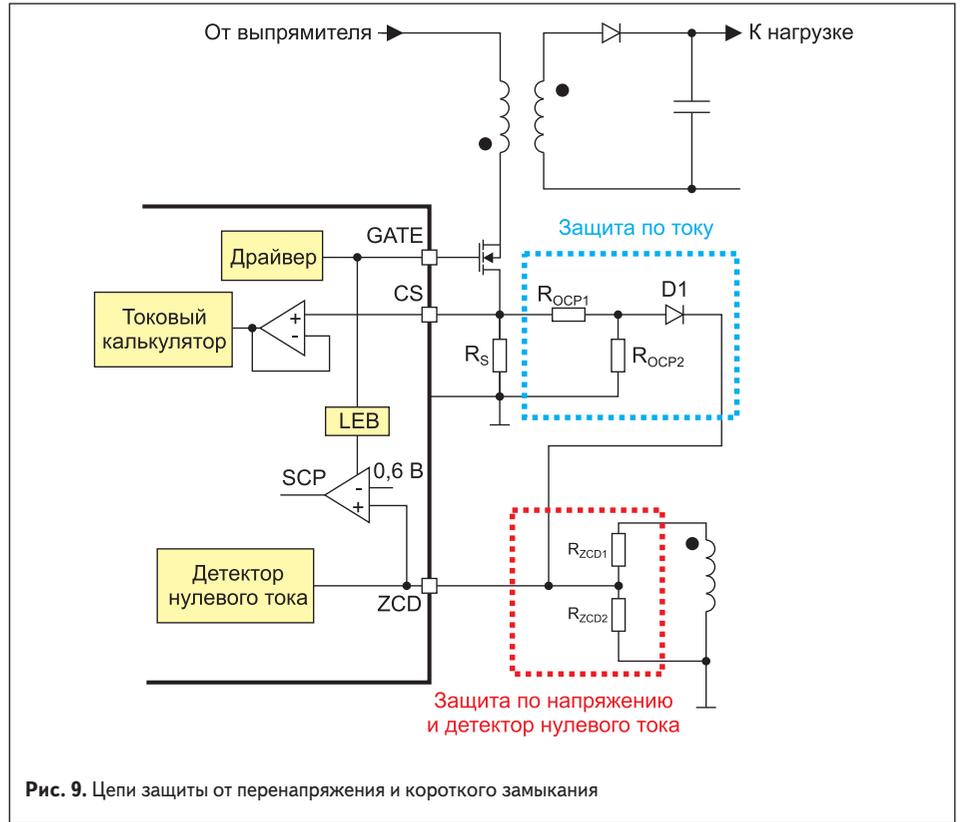


с использованием вспомогательной обмотки трансформатора, на которой напряжение будет прямо пропорционально выходному напряжению. Защита срабатывает после того, как на выводе ZCD напряжение превысит 5,4 В, после чего силовой ключ будет заперт, работа драйвера прекратится и возобновится вновь после того как неполадка будет устранена и напряжение на выводе ZCD упадет ниже 5,4 В.

Напряжения срабатывания защиты можно рассчитать, используя формулу:

$$V_{OUT_OVP} \times \frac{N_{AUX}}{N_{SEC}} \times \frac{R_{ZCD2}}{R_{ZCD1} + R_{ZCD2}} = 5,4 \text{ В,}$$

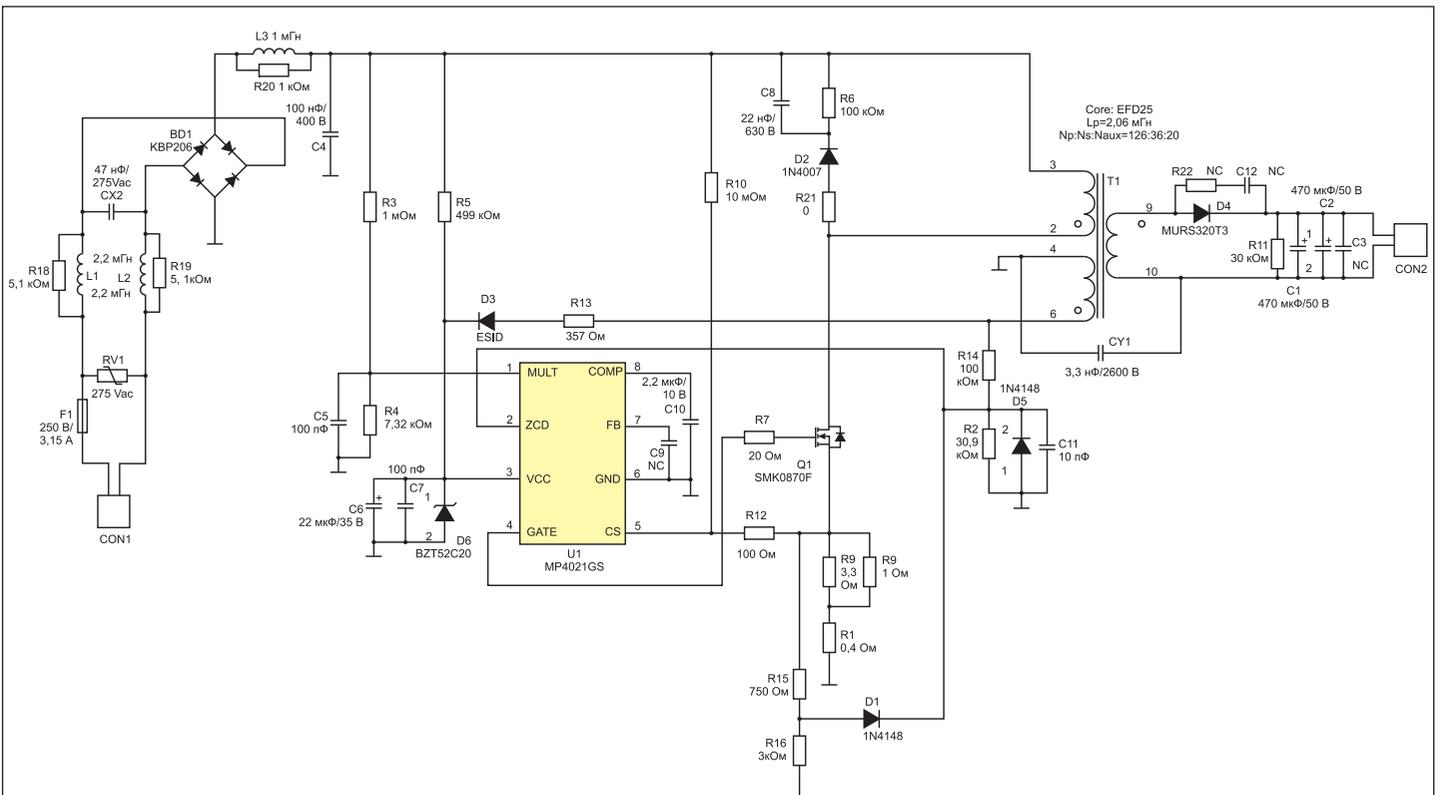
где: V_{OUT_OVP} — напряжение срабатывания защиты; N_{AUX} — число витков вспомогательной обмотки трансформатора Т1; N_{SEC} — число витков вторичной обмотки трансформатора Т1; R_{ZCD1} и R_{ZCD2} — номиналы резисторов делителя на выводе ZCD.



Для предотвращения ложного срабатывания схемы защиты от паразитных выбросов напряжения, возникающих в момент размыкания силового ключа, предусмотрена блокировка схемы на время $t_{LEB_OVP} = 1,5 \text{ мкс}$ (рис. 8).

Защита от короткого замыкания в цепи нагрузки

В качестве защиты от короткого замыкания предусмотрена цепь D1, R_{OCP1} и R_{OCP2} (рис. 9). Когда силовой ключ закрыт, диод D1 блоки-



рует защиту перегрузки по току. Но в случае короткого замыкания в цепи нагрузки, когда силовой MOSFET-ключ открыт, напряжение от делителя R_{OC1} и R_{OC2} , поступающее через диод D1 на вывод ZCD, возрастет настолько, что изменит свой знак с отрицательного на положительный и достигнет порогового значения 0,6 В. В этот момент сработает защита, драйвер отключится, а микросхема MP4021 перейдет в ждущий режим работы. Как только напряжение на выводе VCC опустится ниже 9 В, микросхема попытается возобновить свою работу.

Следует обратить внимание, что значение резисторов, устанавливающих порог срабатывания защиты по току (R_{OC1} и R_{OC2}), должен быть намного меньше (рекомендовано в 10 раз), чем резисторов, отвечающих за порог срабатывания защиты от перенапряжения на выводе ZCD (R_{ZCD1} и R_{ZCD2}).

Типовая схема включения

Для построения мощного светодиодного драйвера на базе микросхемы MP4021A с гальванической развязкой и активным ККМ требуется минимальное количество компонентов. Принципиальная электрическая схема для питания девяти мощных светодиодов суммарной мощностью 15 Вт представлена на рис. 10.

Небольшое количество компонентов позволяет собрать высокоэффективный светодиодный

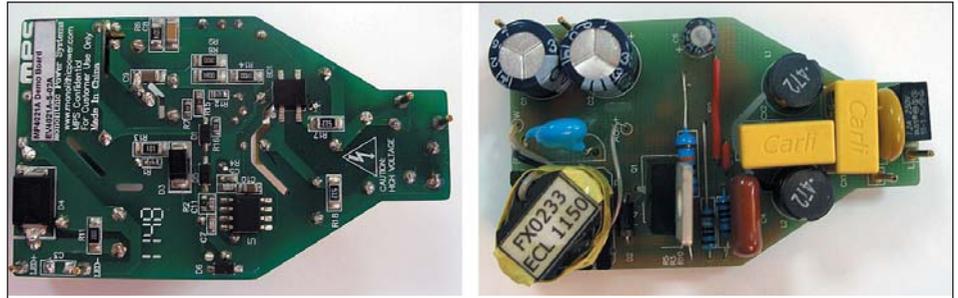


Рис. 11. Печатная плата отладочной платы EV4021A-S-02A ($U_{вх} = 85-265$ В, $U_{вых} = 21$ В, $I_{вых} = 350$ мА)

драйвер на печатной плате в форме лампы накаливания (рис. 11) для использования со стандартным цоколем E27 [3].

Заключение

Микросхема MP4021A, разработанная компанией MPS, позволяет создавать мощный драйвер для питания светодиодов от сети переменного тока с гальванической развязкой и активным ККМ. Для надежной работы в микросхему интегрирована защита от перегрузки по току, перегрева, короткого замыкания или обрыва в цепи светодиодов. Высокая степень интеграции микросхемы не требует большого количества внешних компонентов и делает возможным

изготовление компактных драйверов с низкой себестоимостью под стандартный цоколь E27 для замены ламп накаливания. ●

Литература

1. www.monolithicpower.com/Lists/Isolated%20ACDC%20Lighting/AllItems.aspx
2. MP4021 Primary Side Control Offline LED Controller with Active PFC. Monolithic Power Systems Rev.1.11. 2001. www.MonolithicPower.com.
3. EV4021A-S-02A Universal Input, 7.5W Primary-side-control with Active PFC Off-line LED Driver Evaluation Board. Monolithic Power Systems. Rev.1.0. 2012.