

**МУСКАТИНЬЕВ А. В., ПОДГОРНОВ Д. А.,
ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ**

Аннотация. В статье предлагается принципиальная схема источника питания светодиодного светильника, предназначенного для использования в медицинских учреждениях. Его отличительными чертами являются повышенная электрическая изоляция, применение пассивного корректора мощности, максимальный коэффициент стабилизации тока нагрузки. Выполнен сравнительный анализ пассивных корректоров мощности, приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: светодиодный светильник, пассивный корректор мощности, электронный трансформатор.

**MUSKATINYEV A. V., PODGORNOV D. A.,
POWER SUPPLY FOR LED LAMP**

Abstract. The article proposes a schematic diagram of the source for powering a LED lamp designed for use in medical institutions. Its distinguishing features are increased electrical insulation, the use of passive power corrector, and the maximum coefficient of stabilization of the load current. A comparative analysis of the passive power correctors is performed. The simulation results are presented.

Keywords: LED lamp, passive power corrector, electronic transformer.

К светодиодным светильникам, предназначенным для использования в медицинских учреждениях, предъявляют повышенные требования по электрической изоляции от напряжения сети. Степень стабилизации тока нагрузки также является немаловажным фактором в пользу светильника, поскольку приводит к увеличению срока его службы. Приведенные отличительные черты существенно влияют на конфигурацию функциональной и принципиальной схемы светильника. Рассмотрим это влияние на конкретном примере проектирования источника питания для светильника, реализованного на светодиодах типа 3W-290 Lm-3,6 В-700 mA-4300 К [1]. Внешний вид светодиода показан на рисунке 1. Свечение – теплое, белое. Предполагается использовать в светильнике 10 диодов, включенных последовательно. Тогда мощность P_n , выделяемая в нагрузке составит, примерно, 25 Вт. Для такого уровня потребляемой мощности использование корректора коэффициента мощности необязательно. Однако его применение будет предусмотрено. Питание светильника осуществляется от сети переменного тока 220 В $\pm 20\%$ с гальванической развязкой и повышенной электрической изоляцией. При выборе силовой части схемы и драйвера управления ключами необходимо добиться коэффициента

стабилизации тока нагрузки не более 3% и возможности регулировки яркости свечения светильника.

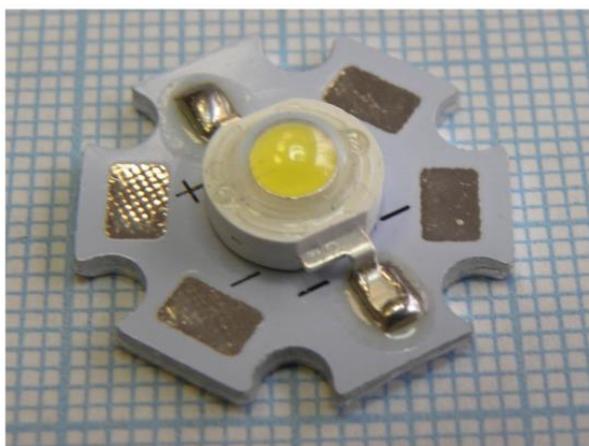


Рис. 1. Внешний вид используемого светодиода.

С учетом перечисленных требований была разработана функциональная схема источника питания светодиодного светильника, показанная на рисунке 2. Отличительной



Рис. 2. Функциональная схема источника питания.

особенностью схемы является применение электронного трансформатора, состоящего из полумостового преобразователя и непосредственно высокочастотного трансформатора. Применение такого модуля позволяет обеспечить надежную гальваническую развязку от сети и сформировать оптимальное напряжение питания для силового каскада. Кроме этого, непосредственная связь нагрузки с силовым каскадом позволяет получить максимальный коэффициент стабилизации по току.

В схеме применен пассивный корректор коэффициента мощности (ККМ), позволяющий снизить реактивную нагрузку источника на питающую сеть и повысить помехозащищенность, что актуально для медицинских электронных приборов.

Принципиальная схема источника питания представлена на рисунке 3. В качестве

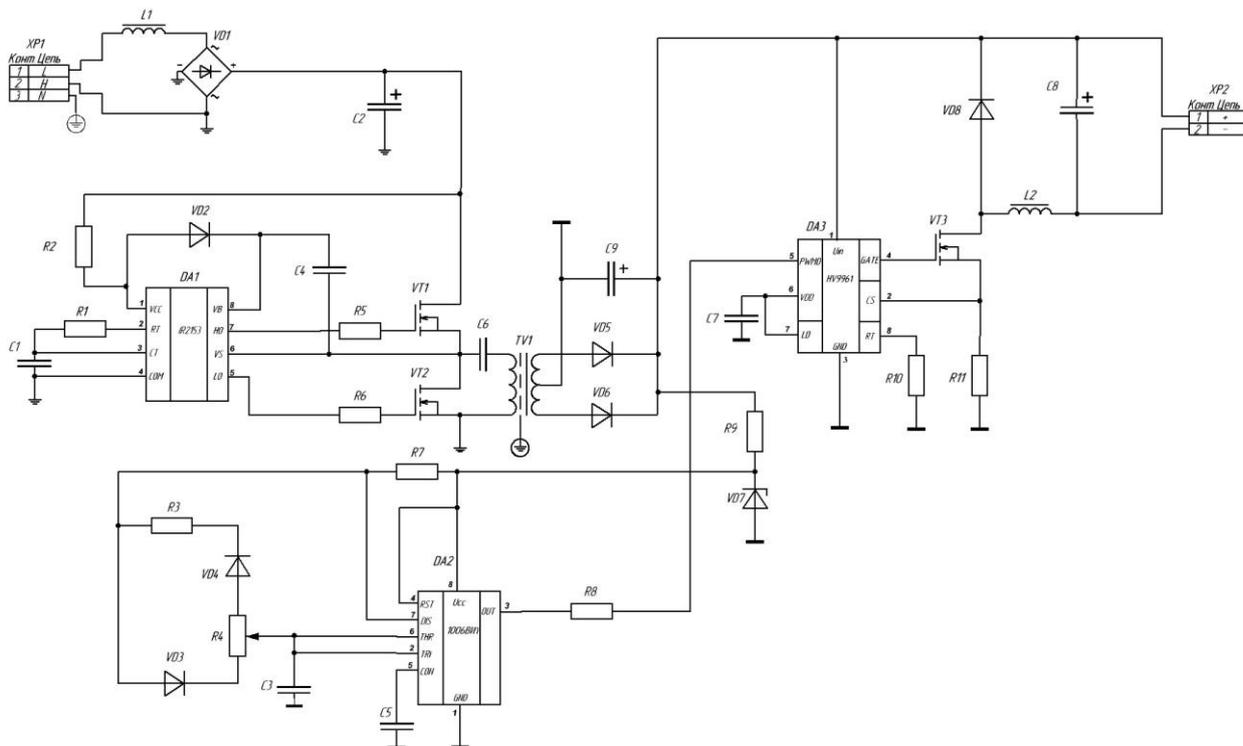


Рис. 3. Принципиальная схема источника питания.

схемы управления силовым ключом VT3 применен драйвер HV9961 фирмы Supertex. Он позволяет управлять внешним MOSFET транзистором, обеспечивая ток нагрузки до 1 А. Величина тока ограничивается суммарным зарядом со стороны затвора силового транзистора, который не должен превышать 25 нК для частоты переключения ≤ 100 кГц и быть менее 15 нК для частоты ≥ 100 кГц [2]. Ток нагрузки I_n (для нашего случая 700 мА) задается в соответствии с выражением:

$$I_n = 0,275 B/R11. \quad (1)$$

В инструкции для пользователей тип драйвера в совокупности с силовыми элементами VT3, L2, C11 и VD8 определяют как обратноходовой понижающий преобразователь. Однако по структуре силовой части он больше напоминает схему «чоппера» [3] с наличием цепи обратной связи по току. Элементом R10 задается время выключенного состояния t_{off} (а не частота) выхода драйвера Gate, предназначенного для управления силовым транзистором VT3. Выражение для определения указанного параметра может быть представлено как [2]:

$$t_{off} (\text{мкс}) = [R10(\text{ком}) / 25] + 0,3 \quad (2)$$

Время включенного состояния t_{on} косвенно зависит от ряда других параметров (индуктивности дросселя L_2 , входного напряжения U_{ex} , напряжения на нагрузке U_n), что в конечном итоге определяет номинальное значение периода $T = t_{off} + t_{on}$ и частоты переключения транзистора $VT3$, а также их отклонение относительно номинальных величин в процессе стабилизации тока нагрузки. При оценке приведенных параметров следует ориентироваться на ряд ограничений, указанных в инструкции пользователя [2, 4]. В первую очередь, это касается рабочего диапазона коэффициента заполнения D , выражаемого соотношением:

$$D = t_{on} / (t_{off} + t_{on}). \quad (3)$$

Режим стабилизации тока нагрузки с максимальной точностью 3% обеспечивается при изменении параметра D в диапазоне 0,1 – 0,75 [2]. Если в качестве номинального значения принять параметр $D = 0,5$, то из (2) вытекает, что $t_{on} = t_{off}$. Тогда можно ввести понятие номинального значения входного напряжения $U_{ном}$ драйвера и номинальной частоты работы силового ключа f_o , которые соответственно определяются как:

$$U_{ном} = U_n / D ; f_o = 1/2t_{off} \quad (4)$$

Последним важным параметром, который необходимо определить, это индуктивность дросселя фильтра L_2 . Для его вычисления можно использовать известное соотношение $L_2 = U_L * \Delta t / (\Delta I_L)$. За время выключенного состояния силового ключа в выходном LCD фильтре можно считать, что $U_L = U_n$, а $\Delta t = t_{off}$. Полный размах тока в дросселе ΔI_L примем равным 0,3 I_n . Окончательно получаем:

$$L_2 = U_n * t_{off} / (0,3 I_n). \quad (5)$$

Регулировку яркости светильника с использованием драйвера HV9961 можно выполнять подачей постоянного напряжения на вход LD, или применять модулирующий сигнал ШИМ, подаваемый на вход PVMD. В схеме выбран второй способ – формирование сигнала ШИМ таймером 1006 ВИ1. Схема позволяет регулировать коэффициент заполнения выходного импульса в пределах от 0,1 до 0,9. Частота генератора с ШИМ может быть выбрана в широких пределах, например, (100 – 10000) Гц.

Электронный трансформатор светильника содержит высокочастотный понижающий трансформатор TV1, ключевые транзисторы VT1 и VT2, включенные по полумостовой схеме и драйвер управления ключами с встроенным задающим генератором IR2153.

Пассивный корректор коэффициента мощности (ККМ) состоит из элементов $L1$ и $C2$ [5]. Расчет параметров элементов ККМ может быть определен с использованием эмпирических зависимостей, приведенных ниже:

$$L1 = 1/(4\pi^2 f^2); C2 * R_n \approx 3T_c = 60 \text{ мс}, \quad (6)$$

где: T_c – период сетевого напряжения, равный 20 мс;

f – резонансная частота $LIC2$ фильтра, выбранная равной первой гармонике выпрямленного напряжения 50 Гц;

R_n – сопротивление нагрузки ККМ.

Для мощности P_n в нагрузке светильника равной 25 Вт и напряжении на выходе выпрямителя порядка 300 сопротивление нагрузки ККМ ориентировочно составляет $R = 3600$ Ом. С учетом выражений (6) параметры элементов ККМ для светильника равны: $L1 = 500$ мГ, $C2 = 17$ мкФ (примем 20 мкФ).

На рисунке 4 относительно входного напряжения U_c показана форма тока, потребляемого из сети I_c источником питания без входного дросселя (рис. 4а) и с ККМ, параметры элементов которого определены выше (рис. 4б).

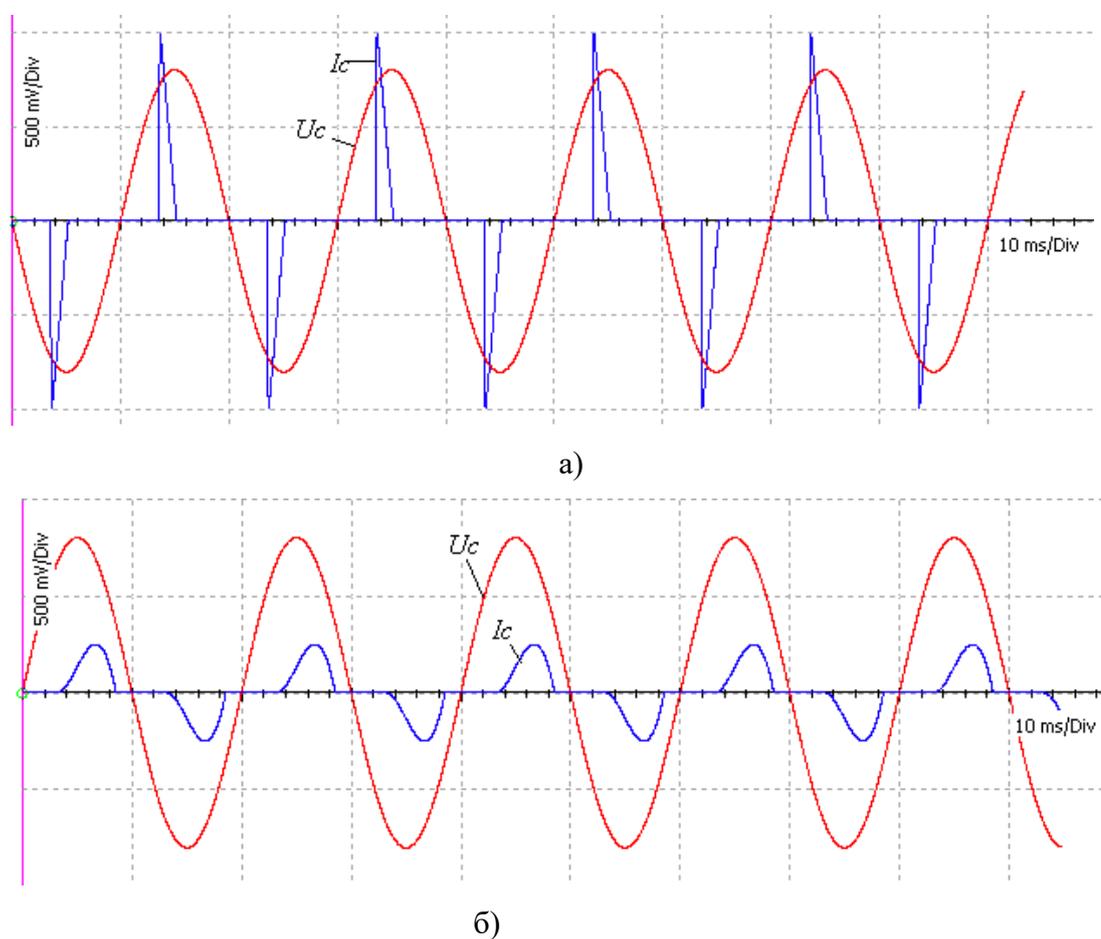


Рис. 4. Форма токов, потребляемых из сети источником питания.

Из представленного рисунка видно, что амплитуда потребляемого из сети тока на рисунке 4а) в 4 раза больше по сравнению с рисунком 4б). Форма тока на рисунке 4б) более сглажена и близка к синусоиде. Однако оценка эффективности применения ККМ по

параметру коэффициента мощности $KM = \cos \varphi$ невозможна вследствие отличия формы тока от синусоиды. Для подобных систем применяется иная форма записи коэффициента мощности (PF – power factor):

$$PF = 1 / \sqrt{1 + (THD)^2}, \quad (7)$$

где THD – суммарное значение коэффициента нелинейных искажений в абсолютных единицах (*total harmonic distortions*).

Параметр THD определяется при моделировании электронных схем, например, в среде Multisim, в разделе Фурье-анализ. Указанный параметр вычисляется в процентах как суммарное значение коэффициента нелинейных искажений по формуле:

$$THD = \left[\sqrt{\left(\sum_{i=2} V_i^2 \right)} / V_1 \right] * 100\%. \quad (8)$$

То есть параметр вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов каждой гармоники, начиная со второй, и делением результата на амплитуду основной гармоники.

Результаты Фурье-анализа проводились для числа гармоник равного 9. Дальнейшее увеличение этого параметра незначительно изменяло результат. Анализ схемы без ККМ, то есть только выпрямителя, нагруженного на рассчитанную емкость фильтра 20 мкф, показал ожидаемый худший результат. Для нее параметр THD равен 153% (1,53), а значение KM (PF) в соответствии с (7) равно величине 0,55. Для схемы на рисунке 1 с элементами, составляющими ККМ, параметр THD определен как 65% (0,65), а значение KM (PF), рассчитанное по формуле (7), соответствует 0,86.

Полученные результаты указывают на эффективность применяемой конфигурации ККМ по сравнению с обычной схемой. Дальнейшие исследования показали, что увеличение индуктивности дросселя уменьшает значение THD и улучшает форму входного тока. Окончательное решение следует принимать с учетом допустимых массогабаритных показателей и цены светильника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светодиодные модули и сборки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.promelec.ru/catalog/1961/1962/1972/1/> (дата обращения 05.06.2019).
2. Драйвер светодиодов с режимом регулирования по среднему току [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://supertex-i.ru/doc/HV9961_ru.pdf (дата обращения 05.06.2019).
3. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 327 с.

4. Медник А., Краснополянский Л. Взаимозаменяемость и функциональные различия между импульсными драйверами светодиодов HV 9910B и HV9961 производства Supertex Inc // Полупроводниковая светотехника. – 2009. – № 1. – С. 26–29.
5. Твердов И. Пассивные корректоры коэффициента мощности для однофазных и трехфазных модулей питания // Компоненты и технологии. – 2009. – № 4. – С. 94–97.