

Д.Е.ЛЕХНЕР, студент гр. НЭб-251 (КузГТУ)

Научный руководитель А.В. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

СТРУКТУРА МИНИАТЮРНОГО МОДУЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В данной работе представлен обзор структурных схем источников питания, рассмотрены основные и широко применяемые топологии изолированных и неизолированных источников питания, их преимущества и недостатки. По результатам анализа делается выбор структурной схемы для миниатюрного изолированного источника питания (до 25 Вт) для систем автоматики.

Введение

Поскольку электронным компонентам необходимо стабилизированное постоянное напряжение, источник питания (ИП) становится ключевым узлом любой схемы. Его характеристики определяют основные параметры всего изделия: габариты, стоимость, КПД, срок службы и электромагнитную совместимость.

Типы источников питания

Линейные (трансформаторные) источники питания – отличаются простой конструкцией, но имеют два ключевых недостатка: низкий КПД ($\leq 50\%$) из-за рассеивания излишков энергии в виде тепла на стабилизаторе, а также большие габариты и массу, обусловленные использованием низкочастотного трансформатора.

Импульсные источники питания – лишены этих проблем. Они работают по другому принципу: преобразуют входное напряжение (переменное AC-DC или постоянное DC-DC) в высокочастотное, что позволяет использовать компактные дроссели или трансформаторы. В результате они обладают высоким КПД, малыми габаритами и массой.

Импульсные источники питания можно разделить на два типа: с гальванической развязкой (используется импульсный трансформатор или двухобмоточный дроссель) и без гальванической развязки (используются дроссели). В данной работе предполагается выбор структурной схемы импульсного источника питания для систем автоматики, требующих гальванической развязки элементов системы, поэтому далее рассматриваются только импульсные источники питания первого типа.

Виды изолированных импульсных источников питания

Обратноходовой (Flyback)

Энергия накапливается в двухобмоточном дросселе (рисунок 1) при открытом ключе (прямой ход), а передается в нагрузку, когда ключ закрыт (обратный ход).

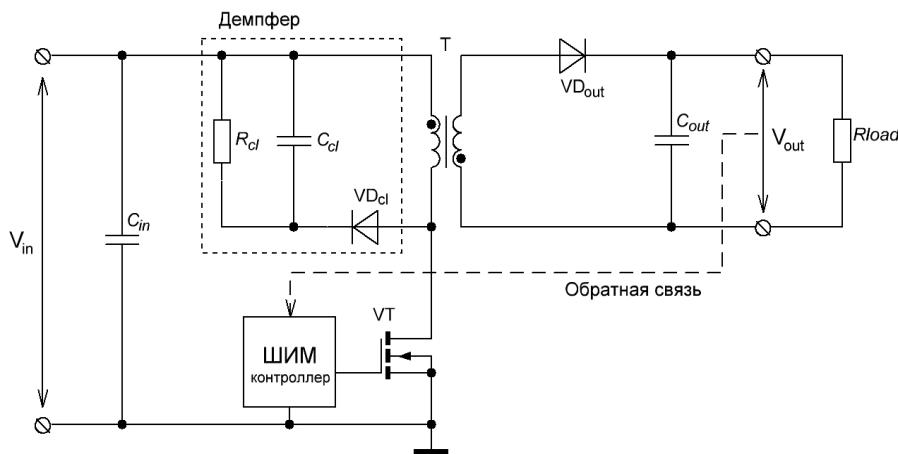


Рис. 1. Обратноходовый импульсный источник питания

Применение: импульсные источники питания малой мощности (до 80 Вт).

Достоинства: очень простая и дешевая схема, устойчива к короткому замыканию и емкостной нагрузке.

Недостатки: большие габариты и масса из-за дросселя, дроссель должен быть с воздушным зазором, повреждает нагрузку при выходе из строя, не работает без нагрузки.

Прямоходовый (Forward)

Передача энергии от сети к нагрузке происходит за один такт, при открытом ключе (рисунок 2). Количество энергии, передаваемой в нагрузку, определяется коэффициентом заполнения широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

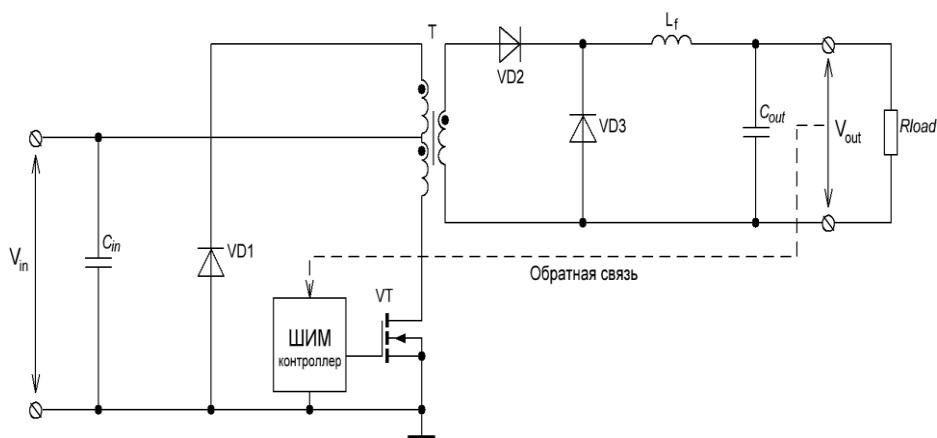


Рис. 2. Импульсный источник питания по топологии Forward

Применение: источники питания средней мощности (до 300 Вт).

Достоинства: схема проще схемы двухтактного источника питания; КПД выше, чем у обратноходового источника питания; габариты импульсного трансформатора меньше габаритов дросселя в обратноходовой схеме; импульсный трансформатор без воздушного зазора.

Недостатки: схема требует быстрой защиты от короткого замыкания; в схеме используется транзистор с высоким напряжением.

«Пуш-пул» (Push-Pull)

Источник питания с топологией «Push-Pull» является самым простым из двухтактных (рисунок 3). Принцип работы состоит в создании переменного магнитного поля в сердечнике импульсного трансформатора путем попаренного включения транзисторов VT1 и VT2.

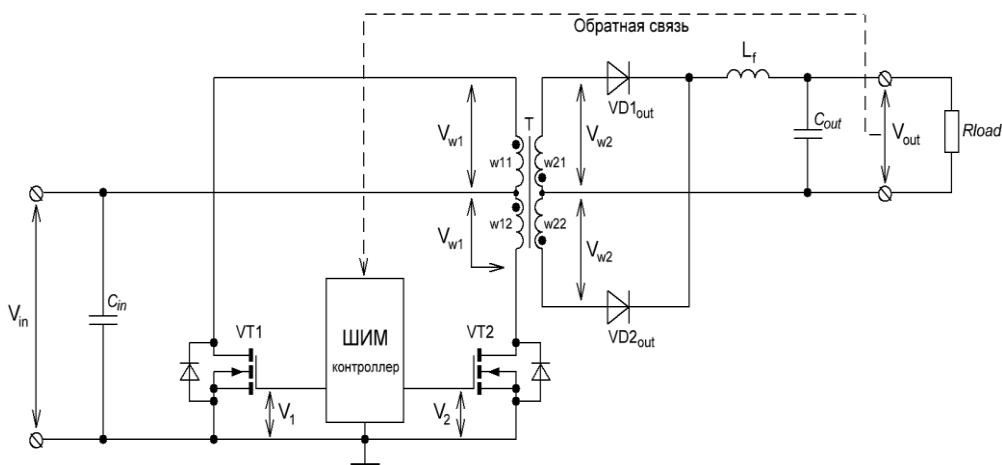


Рис. 3. Импульсный источник питания по топологии Push-Pull

Импульсные диоды $VD1_{out}$ и $VD2_{out}$ выпрямляют импульсное напряжение.

Применение: источники питания любой мощности с низким входным напряжением (до 100 В).

Достоинства: для управления ключами не требуется сдвиг уровня напряжения; импульсный трансформатор без воздушного зазора.

Недостатки: требуется выдержка времени между включениями ключей ("мертвое время"); напряжение на ключах выше входного в 2 раза; габариты импульсного трансформатора больше, чем габариты импульсного трансформатора в других двухтактных схемах.

«Косой полумост» (Two-Switch Forward)

Ключи VT1 и VT2 (рисунок 4) открываются одновременно, при этом происходит передача энергии в дроссель L1 и нагрузку. При закрытии указанных транзисторов энергия, запасенная в дросселе через диод VD4 идет на конденсатор C_{out} и нагрузку.

Данная схема является однотактной схемой, однако при возврате энергии, запасенной с индуктивности рассеяния трансформатора, обратно в конденсатор C_{in} , происходит размагничивание трансформатора, поэтому его можно делать без воздушного зазора. Для данной схемы обязательно использовать диод $VD4$ и дроссель $L1$.

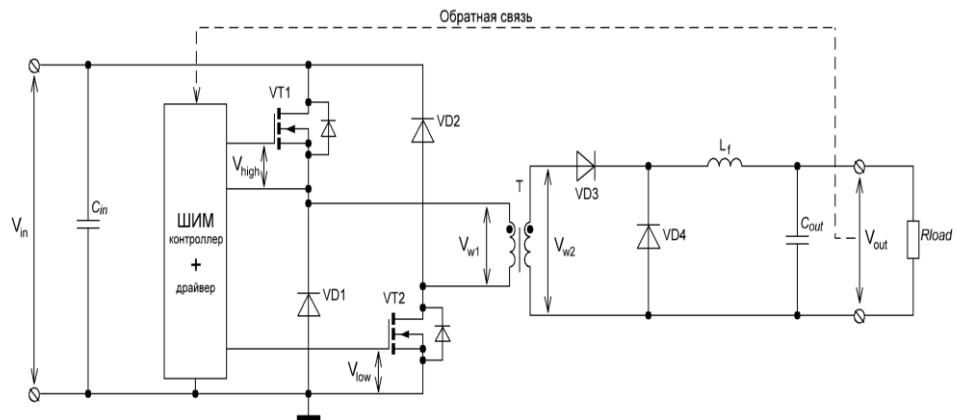


Рис. 4. Импульсный источник питания по топологии Two-Switch Forward

Применение: источники питания средней и большой мощности (250 Вт и более).

Достоинства: напряжение на ключах не превышает входное, не нужна обмотка для размагничивания, нет сквозных токов.

Недостатки: габариты трансформатора больше, чем в двухтактных схемах; требуется быстрая защита от короткого замыкания.

Полумост (Half-Bridge)

Принцип работы состоит в том, что при помощи конденсаторов $C1$ и $C2$ создается источник двуполярного питания (рисунок 5), который подключается к трансформатору при помощи ключей $VT1$ и $VT2$, открывающихся попеременно. Поскольку это двухтактная схема, на выходе используется двухполупериодный выпрямитель на диодах $VD1_{out}$, $VD2_{out}$ и двух полуобмотках импульсного трансформатора.

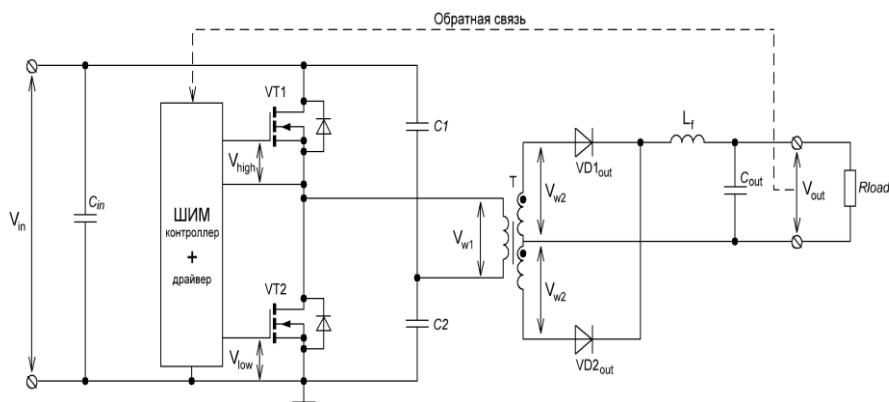


Рис. 5. Импульсный источник питания по топологии Half-Bridge

Применение: источники питания средней мощности (от 100 до 500 Вт).

Достоинства: напряжение на ключах не превышает питающее, малые габариты трансформатора, высокий КПД.

Недостатки: для управления ключами нужна схема сдвига напряжения или специальный драйвер полумоста; электролитические конденсаторы С1 и С2 имеют большую емкость и габариты; конденсаторы С1 и С2 также снижают надежность источника питания.

Мост (Full-Bridge)

В мостовой схеме формирование высокочастотного переменного напряжения происходит за счет включения транзисторов VT1 и VT4 в первом такте работы и транзисторов VT2 и VT3 – во втором. При этом на первичной обмотке трансформатора появляется переменное напряжение с амплитудой, равной напряжению на входе схемы.

Применение: импульсные источники питания большой мощности.

Достоинства: высокий КПД; малые габариты и масса; импульсный трансформатор без воздушного зазора; напряжение на транзисторе не превышает напряжения питания.

Недостатки: самая сложная схема управления; для управления транзисторами требуются схемы смещения уровней или специальные драйверы полумостов; для избежания протекания через первичную обмотку трансформатора постоянной составляющей тока требуется последовательно включенный с первичной обмоткой трансформатора пленочный конденсатор (на схеме не показан).

Выводы

Несмотря на то, что линейные источники питания дешевле и проще в изготовлении, они имеют два серьезных недостатка: низкий КПД и большие массогабаритные показатели, что не позволяет их использовать в качестве современных миниатюрных источников питания, где требуются небольшие габариты и высокий КПД.

Если же рассматривать, какая лучше всего топология импульсного источника подходит под задачи стабилизации питания электронных устройств автоматики, то это Push-Pull. В пользу данной топологии говорят следующие факторы: простота управления транзисторами; небольшие габариты и масса импульсного трансформатора, импульсный трансформатор без воздушного зазора; имеется гальваническая развязка.

Список литературы:

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛООН-Пресс, 2005. – 416 с.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

318-6

21-22 ноября 2025 г.

2. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272 с.

3. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: "МК-Пресс", 2007. – 288 с.

Информация об авторах:

Лехнер Даниил Евгеньевич, студент гр. НЭб-251, КузГТУ, г. Кемерово, 650000, ул. Весенняя, д. 28, lekhnerd2000@gmail.com

Григорьев Александр Васильевич, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, gav.eav@kuzstu.ru