

Повышающие преобразователи ПОСТОЯННОГО ТОКА

Кен МАРАСКО (Ken MARASCO)
ken.marasco@analog.com

Статья является дополнением к ранее опубликованной работе по понижающим преобразователям постоянного тока [1] и касается специфики схемотехники повышающих преобразователей.

Для получения высокого напряжения в системах с питанием от батарей или аккумуляторов используют последовательное включение нескольких питающих элементов. Однако из-за ограничений, накладываемых на габариты устройств, это не всегда возможно.

Выход — в использовании повышающих импульсных преобразователей постоянного тока. Принцип их действия основан на применении магнитного поля катушки индуктивности для поочередного запасания энергии и передачи ее в нагрузку с другим уровнем напряжения. Благодаря малым потерям они хорошо подходят для задач, где требуется высокий КПД. Для снижения пульсаций выходного напряжения к выходу преобразователя подключаются конденсаторы. Повышающие импульсные преобразователи, обсуждаемые в этой статье, используются для получения более высокого напряжения, в то время как понижающие импульсные преобразователи, обсуждавшиеся в предыдущей статье [1], нужны для получения более низкого напряжения. Напомним, импульсные преобразователи, имеющие внутренние ключи на полевых транзисторах, называются регуляторами, а устройства, для которых необходимы внешние полевые транзисторы, — контроллерами импульсных преобразователей.

Повышение напряжения становится возможным благодаря свойству катушки индуктивности противостоять изменениям тока. В процессе заряда катушка индуктивности играет роль нагрузки и запасает энергию, а в процессе разряда она играет роль источ-

ника энергии. Напряжение в фазе разряда зависит от скорости изменения тока, а не от исходного заряжающего напряжения. Это позволяет получить выходное напряжение, отличное от напряжения на входе.

Повышающий регулятор, упрощенная схема которого приведена на рис. 1, состоит из двух ключей, двух конденсаторов и катушки индуктивности.

Во избежание нежелательного «сквозного тока» управление ключами осуществляется таким образом, что только один из них активен в отдельно взятый момент времени. В фазе 1 (t_{ON}) ключ В разомкнут, а ключ А замкнут. Катушка индуктивности подключена к «земле», и ток протекает от V_{IN} на «землю». Поскольку напряжение на катушке индуктивности имеет положительную полярность, ток возрастает, и в катушке индуктивности запасается энергия. В фазе 2 (t_{OFF}) ключ А разомкнут, а ключ В замкнут. Катушка индуктивности подключена к нагрузке, и ток протекает от V_{IN} в нагрузку. Поскольку напряжение на катушке индуктивности имеет отрицательную полярность, ток убывает, и энергия, запасенная в катушке индуктивности, передается в нагрузку. Указанные параметры двухфазового режима работы представлены на рис. 2 в виде временных диаграмм.

Импульсный преобразователь может работать в непрерывном или прерывистом режиме. При работе в непрерывном режиме (continuous conduction mode, CCM) ток через катушку индуктивности никогда не падает до нуля. При работе в прерывистом режиме (discontinuous conduction mode, DCM) ток через катушку индуктивности может падать

до нуля. Уровень пульсаций тока, обозначенный на рис. 2 как ΔI_L , определяется по формуле $\Delta I_L = (V_{IN} \times t_{ON})/L$. В нагрузку попадает постоянный ток, равный среднему значению тока через катушку индуктивности, а ток пульсаций протекает через выходной конденсатор.

Схема повышающего импульсного преобразователя включает в себя генератор, контур

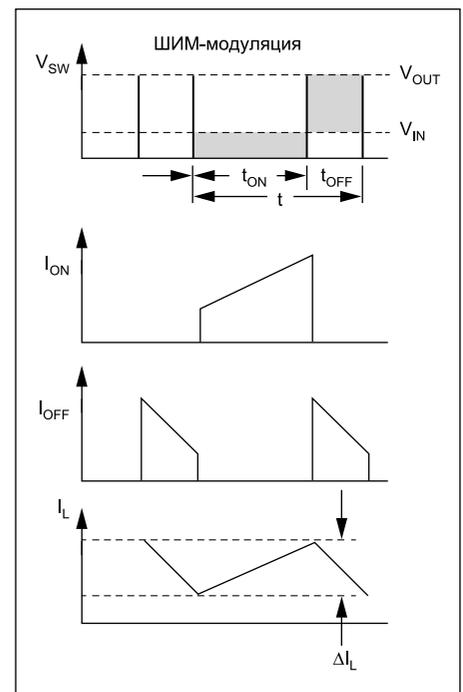


Рис. 2. Временные диаграммы работы повышающего преобразователя

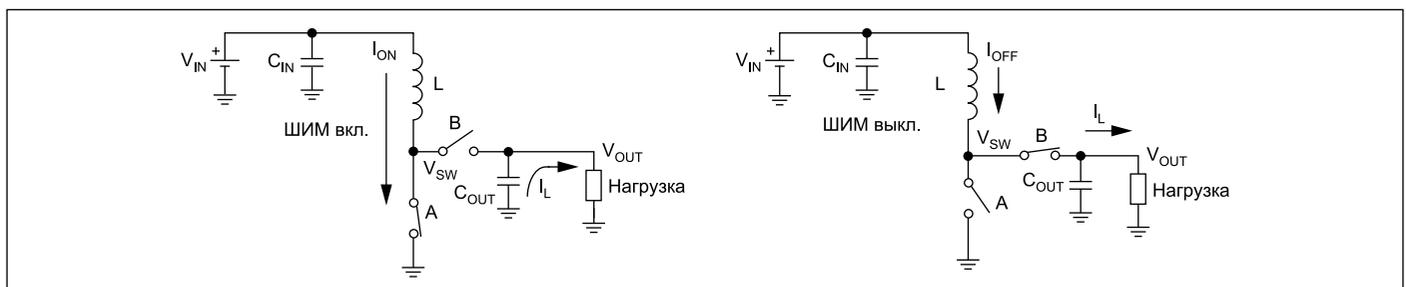


Рис. 1. Схема повышающего преобразователя, отражающая две основные фазы его работы

управления с ШИМ и коммутируемые полевые транзисторы (рис. 3).

Преобразователи, в которых в качестве ключа В используется диод Шоттки, называются асинхронными, а преобразователи, в которых в качестве ключа В используется полевой транзистор, — синхронными. В схеме на рис. 3 ключи А и В реализованы с помощью внутреннего полевого транзистора с каналом N-типа и внешнего диода Шоттки соответственно, и, таким образом, она представляет собой асинхронный повышающий импульсный регулятор. В системах с пониженным энергопотреблением, в которых требуются изоляция нагрузки и малый ток в неактивном состоянии, можно добавить внешние полевые транзисторы, как показано на рис. 4. Подача напряжения ниже 0,3 В на вывод EN устройства отключает преобразователь и полностью отсоединяет вход от выхода.

Основным рабочим режимом в современных повышающих синхронных импульсных преобразователях является режим широтно-импульсной модуляции. При этом частота импульсов поддерживается постоянной, а их длительность (t_{ON}) изменяется для регулировки выходного напряжения. Средняя мощность, выдаваемая в нагрузку, пропорциональна коэффициенту заполнения импульсной последовательности:

$$D = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF}) = (V_{OUT} - V_{IN}) / V_{OUT}$$

Например, при желаемом выходном напряжении 15 В и доступном входном напряжении 5 В:

$$D = (15 - 5) / 15 = 0,67 \text{ (67\%)}$$

Вследствие закона сохранения энергии входная мощность равна сумме мощности, выдаваемой в нагрузку, и любых потерь. Ввиду высокой эффективности преобразования небольшими потерями при вычислении мощности можно пренебречь. Таким образом, входной ток можно аппроксимировать выражением:

$$I_{IN} = (V_{OUT} / V_{IN}) \times I_{OUT}$$

Так, например, если ток нагрузки равен 300 мА при выходном напряжении 15 В, то $I_{IN} = 900$ мА при входном напряжении 5 В, то есть примерно в три раза больше выходного тока. Таким образом, с ростом выходного напряжения доступный ток нагрузки убывает.

Для стабилизации выходного напряжения в повышающих преобразователях используется обратная связь по напряжению или по току. Управляющий контур позволяет поддерживать уровень выходного напряжения при изменении нагрузки. Повышающие импульсные преобразователи для систем с малым энергопотреблением обычно работают с частотой импульсов в диапазоне от 600 кГц

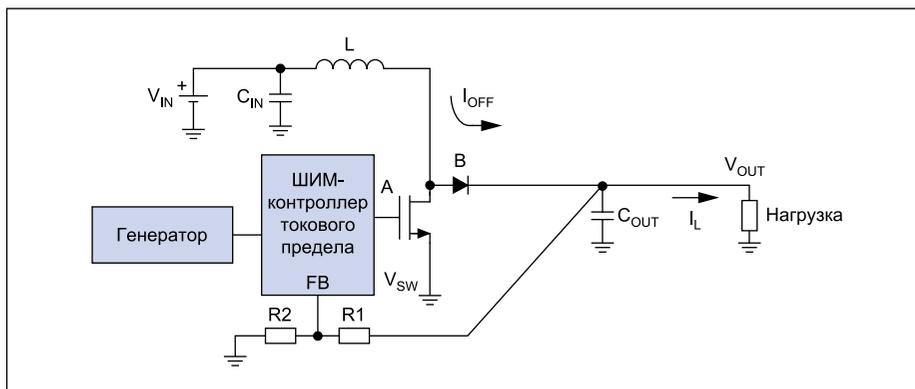


Рис. 3. Схема повышающего импульсного преобразователя

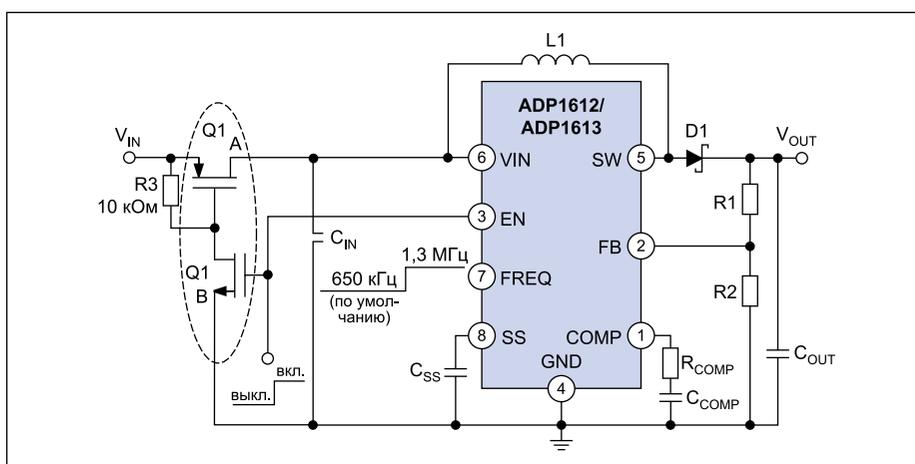


Рис. 4. Типичная схема включения ADP1612/ADP1613

до 2 МГц. Работа на высокой частоте коммутации позволяет использовать катушки индуктивности меньших габаритов, однако при каждом удвоении частоты КПД падает примерно на 2%. В повышающих импульсных преобразователях ADP1612 и ADP1613 частоту коммутации можно выбрать при помощи вывода FREQ. При подключении вывода FREQ к «земле» устанавливается частота 650 кГц, при которой достигается максимальный КПД, а при подключении вывода FREQ к V_{IN} устанавливается частота 1,3 МГц, позволяющая уменьшить габариты внешних компонентов.

Катушка индуктивности, являющаяся ключевым компонентом повышающего импульсного преобразователя, запасает энергию в интервале t_{ON} и передает эту энергию на выход через выходной выпрямитель в интервале t_{OFF} . Для достижения компромисса между малым уровнем пульсаций тока через катушку индуктивности и высоким КПД в техническом описании ADP1612/ADP1613 рекомендуется использовать катушки индуктивности с номиналом от 4,7 до 22 мкГн. В общем случае, при одинаковых размерах, катушка с малой индуктивностью обладает большим током насыщения и меньшим последовательным сопротивлением, однако при этом она также имеет больший пиковый ток, что может при-

водить к снижению КПД, повышенным пульсациям и росту шума. Для уменьшения габаритов катушки индуктивности и повышения стабильности лучше использовать повышающий импульсный преобразователь, работающий в прерывистом режиме. Пиковый ток через катушку индуктивности (максимальный входной ток плюс половина тока пульсаций) должен быть ниже номинального тока насыщения катушки, а максимальный постоянный входной ток должен быть ниже предельного рабочего среднеквадратического тока катушки индуктивности.

Ключевые спецификации и определения повышающего импульсного преобразователя

Диапазон входных напряжений

Диапазон входных напряжений повышающего импульсного преобразователя определяет наименьшее полезное входное напряжение питания.

Ток по цепи заземления (рабочий ток)

I_Q — это постоянный ток смещения, не поступающий в нагрузку. Устройства с малым значением I_Q дают больший КПД. Параметр I_Q может быть указан в спецификации для различных условий работы.

Ток в неактивном режиме

Это входной ток, потребляемый при неактивном уровне сигнала на выводе разрешения. Малое значение этого тока важно для поддержания долговременной работы в режиме ожидания, когда устройство находится в «спящем» режиме.

Коэффициент заполнения импульсной последовательности

Рабочий коэффициент заполнения импульсной последовательности должен быть меньше максимального коэффициента заполнения импульсной последовательности; в противном случае стабилизация выходного напряжения поддерживаться не будет. Так, например при $V_{IN} = 5\text{ В}$ и $V_{OUT} = 15\text{ В}$, $D = (V_{OUT} - V_{IN}) / V_{OUT} = 67\%$. Максимальный коэффициент заполнения импульсной последовательности у ADP1612 и ADP1613 составляет 90%.

Диапазон выходных напряжений

Точнее — диапазон поддерживаемых выходных напряжений. Выходное напряжение повышающего импульсного преобразователя может быть фиксированным или регулируемым. Во втором случае для задания желаемого выходного напряжения используются внешние резисторы.

Предельный ток

В спецификациях на повышающие импульсные преобразователи обычно указывается предельный пиковый ток, а не ток нагрузки. Обратите внимание на то, что чем больше разница между V_{IN} и V_{OUT} , тем меньше доступный ток нагрузки. Максимальный доступный выходной ток определяется пиковым предельным током, входным напряжением, значением частоты коммутации и номиналом катушки индуктивности.

Стабилизация по входному напряжению

Стабилизация по входному напряжению — это изменение выходного напряже-

ния, вызываемое изменением входного напряжения.

Стабилизация по току нагрузки

Стабилизация по току нагрузки — это изменение выходного напряжения, вызываемое изменением выходного тока.

Мягкий запуск

Важно, чтобы повышающие импульсные преобразователи имели функцию мягкого запуска, которая бы обеспечивала контролируемое линейное нарастание выходного напряжения во избежание чрезмерных выбросов выходного напряжения. Интервал мягкого запуска некоторых повышающих импульсных преобразователей можно регулировать при помощи внешнего конденсатора. Когда конденсатор мягкого запуска заряжается, он ограничивает пиковый ток. Регулируемый мягкий запуск позволяет изменять время запуска в соответствии с требованиями системы.

Отключение при перегреве (Thermal Shutdown, TSD)

Если температура полупроводникового перехода становится выше определенного предельного значения, схема отключения при перегреве отключает преобразователь. Повышенная температура полупроводниковых переходов может быть следствием работы при повышенном токе, плохого охлаждения печатной платы или высокой температуры окружающей среды. Схема защиты от перегрева имеет гистерезис, который предотвращает возврат схемы в нормальный рабочий режим до тех пор, пока температура кристалла не станет ниже предустановленного значения.

Блокировка при пониженном напряжении (Undervoltage lockout, UVLO)

Если входное напряжение становится ниже порогового значения, то микросхема автоматически отключает ключ цепи питания

и переходит в режим пониженного энергопотребления. Это предотвращает возможное ошибочное поведение при низких входных напряжениях и включение мощного устройства в условиях, когда невозможно обеспечение его нормальной работы.

Заключение

ИМС повышающих импульсных преобразователей для схем с пониженным энергопотреблением избавляют разработчиков от ряда проблем при проектировании преобразователей постоянного тока, позволяя использовать апробированные решения. Примеры расчета параметров проекта и номиналов компонентов даются в разделе технического описания ИМС, посвященном ее практическому применению. Еще больше упростить задачу проектирования позволяет инструмент проектирования ADIsimPower [4]. Дополнительную информацию можно получить, связавшись с инженерами по применению компании Analog Devices или посетив технический форум компании EngineerZone по ссылке ez.analog.com. Руководства по выбору повышающих импульсных преобразователей компании Analog Devices, технические описания и статьи по применению можно найти на www.analog.com/power. ■

Литература

1. Мараско К. Эффективное применение понижающих преобразователей постоянного тока производства компании Analog Devices // Компоненты и технологии. 2011. № 10.
2. www.analog.com/en/power-management/switching-regulators-integrated-fet-switches/products/index.html
3. www.analog.com/en/power-management/switching-controllers-external-switches/products/index.html
4. <http://designtools.analog.com/drPowerWeb/dtPowerMain.aspx>
5. Marasco K. How to Apply Low-Dropout Regulators Successfully. Analog Dialogue. 2009. Vol. 43. № 3.