

## Новые высокоэффективные повышающе-понижающие преобразователи от фирмы Texas Instruments

Сергей ПИЧУГИН  
s.pichugin@compel.ru

Фирма Texas Instruments обладает признанным авторитетом в области разработки и производства микросхем источников питания, как линейных, так и импульсных. В статье сделан краткий обзор современных микросхем для построения повышающе-понижающих стабилизаторов, которые Texas Instruments предлагает вниманию разработчиков.

Источники питания на повышающе-понижающих (buck-boost) преобразователях напряжения незаменимы в тех случаях, когда напряжение на входе источника может во время работы быть как ниже, так и выше выходного напряжения. То есть если входное напряжение выше выходного, то преобразователь должен понижать напряжение, и наоборот: если входное напряжение ниже выходного, то преобразователь должен работать как повышающий. Особенно востребованы такие преобразователи в массовых современных мобильных устройствах с батарейным питанием, где напряжение батареи в конце работы может отличаться от напряжения «свежей» батареи на единицы вольт. Продлевая жизнь химических источников тока, высокоэффективные источники питания батарейных устройств помогают не только экономить деньги потребителя, но и уменьшить загрязнение окружающей среды, сокращая количество выброшенных на свалку отслуживших батарей и аккумуляторов.

Существуют различные способы построения повышающе-понижающих преобразователей. Очевидный способ — это последовательное включение повышающего и понижающего преобразователей. При этом выходное напряжение первого преобразователя должно лежать за пределами изменения напряжения на входе, а требуемое выходное

напряжение будет формироваться на выходе второго преобразователя. Очевидные недостатки такой схемы — сложность, большое количество деталей (в том числе два контроллера), высокая стоимость и пониженный КПД. Кроме того, при последовательном соединении импульсных стабилизаторов необходимо принимать меры по недопущению сквозных токов через два включенных ключевых элемента, то есть необходимо определенным образом синхронизировать работу двух стабилизаторов [1].

Другая разновидность повышающе-понижающих преобразователей — это преобразователи с топологией SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter). Упрощенная схема такого устройства показана на рис. 1. Эти преобразователи распространены достаточно широко, в последнее время появляется большое количество литературы по их расчету и применению. Для такой схемы необходим только один контроллер. Как видно из рисунка, в топологии SEPIC используются две индуктивности, что ведет к увеличению габаритов и стоимости устройства. Эти индуктивности могут быть намного больше и дороже, чем используемые в схеме полупроводниковые компоненты.

Для использования в преобразователях с топологией SEPIC можно применять большинство микросхем компании Texas Instruments, предназначенных для работы в повышаю-

щих (boost) преобразователях. При этом необходимо помнить, что некоторые из этих микросхем для SEPIC использовать нельзя из-за различных особенностей, оптимизирующих работу в повышающей топологии. Так, например, в SEPIC не будет работать преобразователь TPS61120 из-за специального алгоритма запуска. При включении этой микросхемы на ее выходе открывается ключ, который должен заряжать выходной конденсатор до входного напряжения. В топологии SEPIC нет прямого пути прохождения постоянного тока с входа на выход, соответственно, выходной конденсатор таким способом никогда не зарядится [2]. Об этом фирма предупреждает в специальном указании, которое можно найти на ее сайте. Надежнее всего ориентироваться на микросхемы, для которых в справочных данных явно указана возможность работы в топологии SEPIC, например преобразователи серии TPS61130–TPS61133.

С целью максимально возможной миниатюризации источников питания мобильных устройств очень удобно использовать повышающе-понижающие преобразователи с одной индуктивностью. Для понимания принципа работы таких устройств рассмотрим по отдельности работу повышающего и понижающего преобразователей.

На рис. 2 показана упрощенная схема повышающего преобразователя. Когда ключ Sw

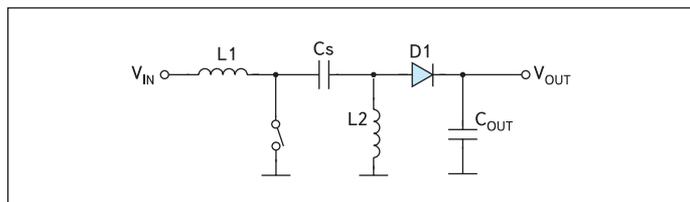


Рис. 1. Упрощенная схема преобразователя SEPIC

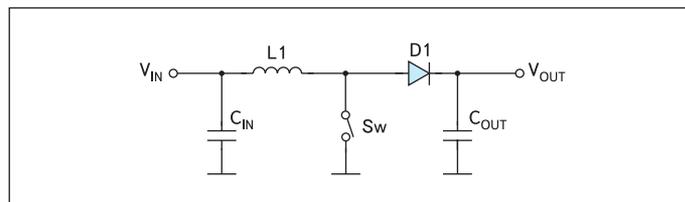


Рис. 2. Упрощенная схема повышающего (boost) преобразователя

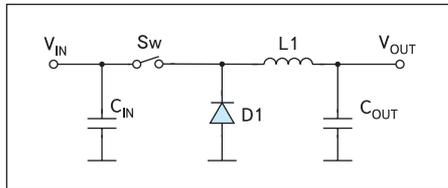


Рис. 3. Упрощенная схема понижающего (buck) преобразователя

замкнут, через индуктивность  $L1$  течет ток от источника питания  $V_{in}$ , в ней запасается энергия. Диод  $D1$  отключает выход схемы от  $Sw$ , и выходное напряжение поддерживается за счет заряда, накопленного в выходном конденсаторе  $C_{out}$ . Когда ключ  $Sw$  размыкается, ток через  $L1$  продолжает течь, так как в силу фундаментальных свойств индуктивности он не может измениться мгновенно. Но теперь этот ток течет через открывшийся диод  $D1$  и заряжает конденсатор  $C_{out}$ . Для уменьшения потерь из-за падения напряжения на диоде  $D1$  вместо последнего можно использовать мощный полевой транзистор (ПТ), открывая и закрывая его в противофазе с ключом  $Sw$ .

В понижающем (buck) преобразователе, упрощенная схема которого показана на рис. 3, также есть два ключевых элемента, транзистор и диод, причем диод тоже можно заменить полевым транзистором (так называемое синхронное выпрямление). Когда ключ  $Sw$  замкнут, ток через него и индуктивность  $L1$  течет в нагрузку, подключенную к точке  $V_{out}$ , а также заряжает выходной конденсатор  $C_{out}$ . Когда  $Sw$  размыкается, ток через  $L1$ , аналогично, не может измениться мгновенно, и, следовательно, он продолжает течь через нагрузку и диод  $D1$ .

На рис. 4 показана упрощенная схема преобразователя, объединяющего обе эти топологии [3]. Она содержит H-образный мостовой каскад, включающий в себя повышающую и понижающую части, которые подключаются к одной и той же индуктивности.

Устройство автоматически переключается от понижающей топологии к повышающей и обратно в зависимости от входного напряжения. В нем всегда используется один активный ключ, один выпрямляющий ключ, один ключ постоянно открыт и один ключ постоянно заперт. Таким образом, когда входное напряжение выше, чем выходное, устройство работает как понижающий преобразователь, а когда входное напряжение становится ниже входного, то оно превращается в повышающий преобразователь. Ни в одном из режимов не могут быть одновременно открыты все четыре ключа [4].

Фирма Texas Instruments выпускает два семейства повышающе-понижающих преобразователей для работы от литиевых, NiCd и NiMH химических источников тока TPS63000–TPS63002 [4] и новейшие TPS63010–TPS63012 [5], а также микросхему для рабо-

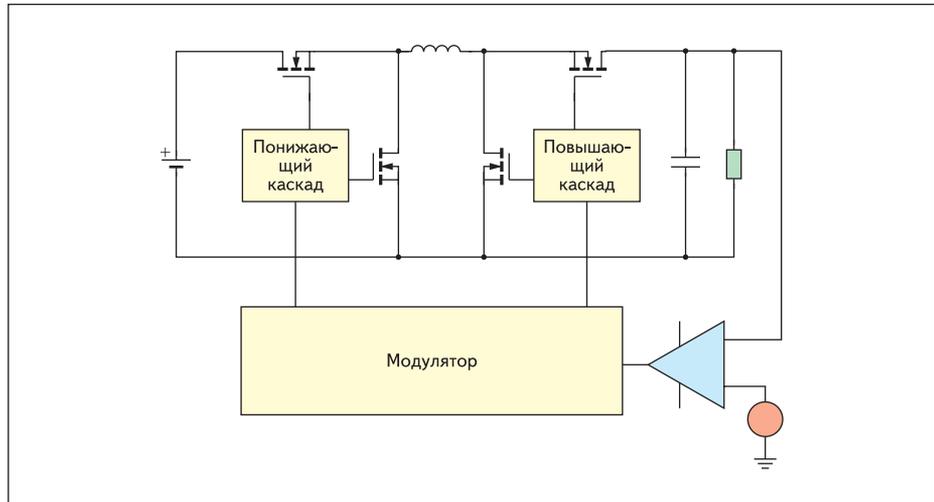


Рис. 4. Упрощенная схема повышающе-понижающего преобразователя с одной индуктивностью

Таблица 1. Основные параметры повышающе-понижающих преобразователей с одной индуктивностью фирмы Texas Instruments

Тип	$V_{in\ min}$ , В	$V_{in\ max}$ , В	$V_{out\ min}$ , В	$V_{out\ max}$ , В	$V_{out\ fixed}$ , В	$I_{out\ max}$ , А	$F_{sw\ max}$ , кГц	$I_q\ typ$ , мА	Корпус
TPS63012	2,0	5,5	2,9*	3,4*		1,2	2400	0,04	20DSBGA
TPS63011	2,0	5,5	2,8*	3,3*		1,2	2400	0,04	20DSBGA
TPS63010	2,0	5,5	1,2	5,5		1,2	2400	0,04	20DSBGA
TPS63002	1,8	5,5	5	5	5	1,2	1500	0,03	10SON
TPS63001	1,8	5,5	3,3	3,3	3,3	1,2	1500	0,03	10SON
TPS63000	1,8	5,5	1,2	5,5		1,2	1500	0,04	10SON
TPIC74100-Q1	1,5	40	5	5	5	1	440	0,1	20HTSSOP

\* Возможность выбора одного из двух выходных напряжений.

ты в источниках питания автомобильной электроники — TPIC74100-Q1. Наиболее важные справочные данные этих микросхем приведены в таблице 1.

В микросхемах TPS63000–TPS63002 и TPS63010–TPS63012 схема управления ключами позволяет преобразователю работать с максимальной эффективностью в наиболее важной рабочей точке, когда входное напряжение приближается к выходному. У многих аналогичных схем повышающе-понижающих преобразователей в этих условиях можно наблюдать падение эффективности и/или колебания выходного напряжения. У этих же микросхем переход между понижающим и повышающим режимами происходит плавно, импульс в импульс. Это обеспечивает непрерывную работу ШИМ во всем диапазоне входных напряжений без перекрытий или «мертвого» времени между двумя режимами.

Основные особенности этих микросхем:

- КПД до 96%;
- выходной ток 1200 мА в понижающем режиме при 3,3 В на выходе ( $V_{in}$  от 3,6 до 5,5 В);
- выходной ток 800 мА в повышающем режиме при 3,3 В на выходе ( $V_{in} > 2,4$  В);
- автоматический переход из повышающего режима в понижающий и обратно;
- собственный ток потребления — меньше 50 мкА;

- наличие версий с постоянными выходным напряжением и регулируемым от 1,2 до 5,5 В;
- режим энергосбережения при работе на небольшую нагрузку;
- возможность принудительной работы при постоянной частоте и внешней синхронизации.

Основные отличия между семейством TPS63000–TPS63002 и более современными микросхемами TPS63010–TPS63012 состоят в следующем:

- У новых микросхем значительно увеличена максимальная частота переключений (2400 против 1500 кГц), что позволяет использовать пассивные элементы (индуктивности и конденсаторы) с меньшими размерами и стоимостью.
- Новые микросхемы выпускаются в корпусах DFBGA (die-size ball grid array) существенно меньших размеров (2,65×2,25×0,625 мм против 3,15×3,15×1 мм).

Типовая схема включения микросхем серии TPS63000–TPS63002 с фиксированным выходным напряжением показана на рис. 5 [4]. Видно, что для создания высококачественного малогабаритного (площадь в несколько квадратных миллиметров) повышающе-понижающего преобразователя понадобилась одна микросхема и три внешних компонента. Схема включения для семейства TPS63010–TPS63012 выглядит аналогично,

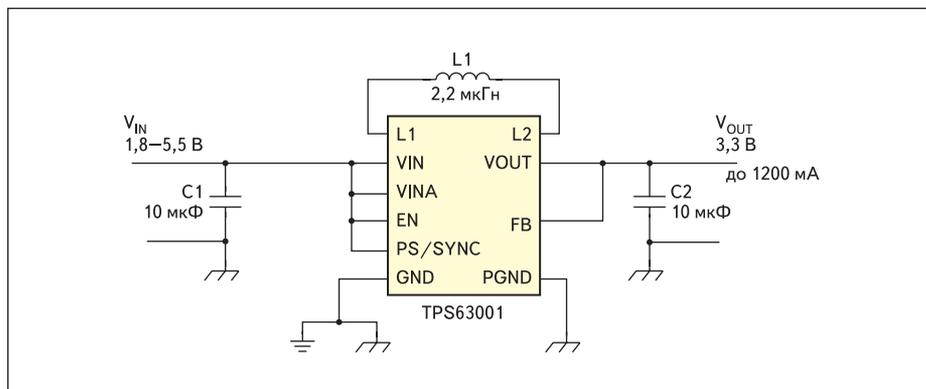


Рис. 5. Типовая схема включения микросхемы TPS63001

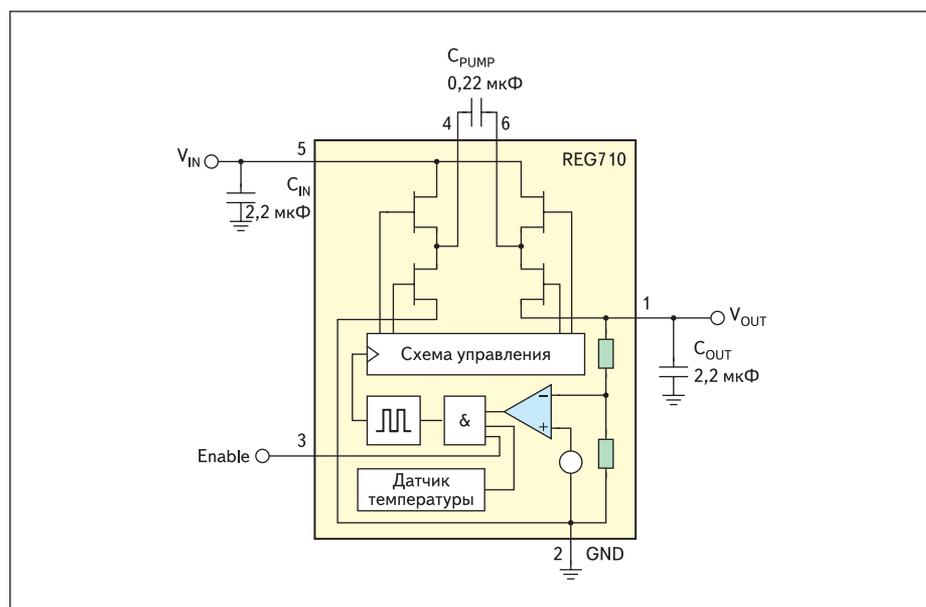


Рис. 6. Упрощенная блок-схема и схема включения микросхем семейств REG710 и REG711

но габариты полученного источника питания будут еще меньше.

Широкий диапазон входных напряжений, от 1,8 до 5,5 В, позволяет работать с наиболее распространенными химическими источниками тока: литий-ионными и литий-полимерными аккумуляторами, одиночными литиевыми элементами и наборами из двух или трех щелочных, никель-кадмиевых или никель-металлгидридных элементов. Кроме то-

го, такие преобразователи удобно подключать к стандартным напряжениям питания: +3,3 и +5 В.

Топология с управлением по среднему току обеспечивает быстрые переходные процессы и малые пульсации как в понижающем, так и в повышающем режимах. Погрешность регулирования выходного напряжения составляет ±1% во всем диапазоне нагрузок и входных напряжений.

Для защиты от короткого замыкания используется прогрессирующее ограничение тока (foldback current limiting), которое уменьшает выходной ток от максимального значения 1,7 А до 800 мА, когда выходное напряжение падает на 3%. Благодаря этому снижается мощность, потребляемая устройством при перегрузке по выходу. При снятии перегрузки устройство возвращается к нормальной работе. Преимущество такого подхода — возможность заряжать выходные конденсаторы очень большой емкости.

Режим энергосбережения (power-save mode) позволяет сохранять высокий КПД даже при выходном токе ниже 300 мА. В этом режиме преобразователь переключается, пока выходное напряжение не превысит заданное значение на некоторую небольшую величину. После этого переключения прекращаются, пока выходное напряжение не снизится на заданную величину.

И, наконец, последний тип малогабаритных повышающе-понижающих преобразователей, который мы рассмотрим, — это емкостные повышающе-понижающие преобразователи с накачкой заряда (Charge Pump). Такие преобразователи обеспечивают меньшие токи и меньший КПД, чем уже рассмотренные преобразователи с индуктивностями. Но, с другой стороны, они, в общем случае, занимают меньшую площадь и стоят дешевле.

В продукции фирмы Texas Instruments этот тип преобразователей представлен микросхемами семейства REG710 [6] и REG711 [7]. Упрощенная блок-схема этих устройств вместе со схемой включения показана на рис. 6. Здесь мы также видим всего три внешних компонента, но теперь это только конденсаторы, причем небольшого размера.

Рассмотрим работу таких преобразователей. Когда входное напряжение больше, чем требуемое выходное, устройство работает как импульсный стабилизатор с частотным регулированием (рис. 7). Транзисторы Q1 и Q3 выключены, Q4 включен, а Q2 переключается с требуемой частотой.

Когда входное напряжение меньше требуемого выходного напряжения, устройство работает в повышающем режиме, как показано на рис. 8.

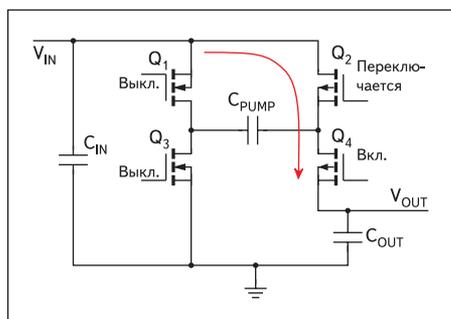


Рис. 7. Упрощенная схема работы REG710/REG711 в понижающем режиме

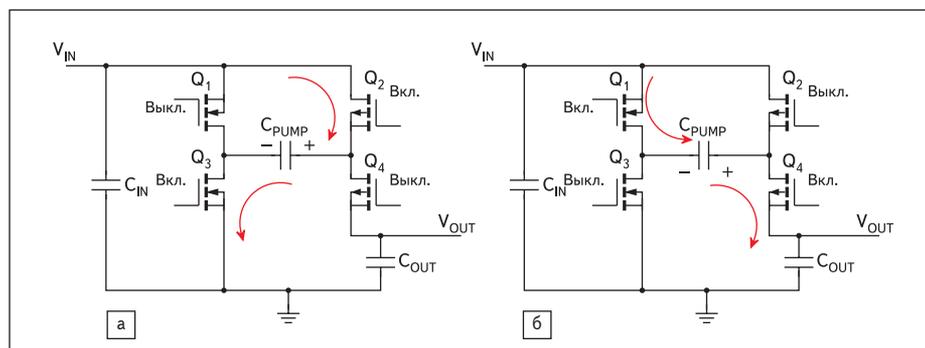


Рис. 8. Упрощенная схема работы REG710/REG711 в повышающем режиме

Импульсы частоты преобразования вырабатываются с коэффициентом заполнения (duty cycle) 50%. Во время первой половины цикла ключи на ПТ подключаются так, как показано на рис. 8а, и конденсатор  $C_{rmp}$  заряжается от  $V_{in}$ . Во второй половине цикла ПТ подключены так, как показано на рис. 8б, и напряжение на  $C_{rmp}$  добавляется к  $V_{in}$ . Выходное напряжение управляется путем пропускания рабочих циклов при необходимости.

Основные параметры микросхем REG710 приведены в таблице 2.

В таблицу 2 не вошла микросхема REG711-5.0, которая может работать только в повышающем режиме.

Особенности микросхем REG710 и REG711:

- широкий диапазон входных напряжений: от 1,8 до 5,5 В;
- автоматический переход от повышения напряжения к понижению и обратно;
- небольшие пульсации входного тока;
- небольшие пульсации выходного напряжения;
- минимальное количество внешних компонентов, не требуются индуктивности;
- высокая частота встроенного генератора (1 МГц) позволяет использовать конденсаторы небольшого размера;
- возможность дистанционного выключения (shutdown);

Таблица 2. Основные параметры микросхем REG710 и REG711

Тип	$V_{in\ min}$ , В	$V_{in\ max}$ , В	$V_{out\ min}$ , В	$V_{out\ max}$ , В	$V_{out\ fixed}$ , В	$I_{out\ max}$ , А	$F_{sw\ max}$ , кГц	КПД тип., %	Корпус
REG710-25	1,8	5,5	2,5	2,5	2,5	0,1	1000	90	6SOT-23
REG710-27	1,8	5,5	2,7	2,7	2,7	0,03	1000	90	6SOT-23
REG710-3	1,8	5,5	3	3	3	0,03	1000	90	6SOT-23
REG710-33	1,8	5,5	3,3	3,3	3,3	0,03	1000	90	6SOT-23
REG710-5	2,7	5,5	5	5	5	0,03	1000	90	6SOT-23
REG71050	2,7	5,5	5	5	5	0,06	1000	90	6SON,6SOT
REG71055	3	5,5	5,5	5,5	5,5	0,06	1000	90	6SOT
REG711-2.5	1,8	5,5	2,5	2,5	2,5	0,05	1000	90	8MSOP
REG711-2.7	1,8	5,5	2,7	2,7	2,7	0,05	1000	90	8MSOP
REG711-3.0	1,8	5,5	3.0	3.0	3.0	0,05	1000	90	8MSOP
REG711-4.3	1,8	5,5	3.3	3.3	3.3	0,05	1000	90	8MSOP

- защита от превышения максимального тока и максимальной температуры;
- большой выбор выходных напряжений: 2,5; 2,7; 3,0; 3,3; 5,0 и 5,5 В;
- малогабаритные корпуса.

Для увеличения выходного тока микросхемы семейства REG710 можно подключать к нагрузке параллельно. ■

#### Литература

1. Николайчук О. Повышающе-понижающий импульсный стабилизатор напряжения // Схемотехника. 2001. № 10.
2. Дополнительный выход отрицательного напряжения с SEPIC. Тема на интернет-форуме <http://electronix.ru/>

3. Johns B. Fully integrated TPS6300x buck-boost converter extends Li-ion battery life. Материал с сайта фирмы Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)
4. TPS63000, TPS63001, TPS63002. High Efficient Single Inductor Buck-Boost Converter with 1.8-A Switches. Материал с сайта фирмы Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)
5. TPS63010, TPS63011, TPS63012. High Efficient Single Inductor Buck-Boost Converter with 2-A Switches. Материал с сайта фирмы Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)
6. REG710. 60mA, 5.0V, Buck/Boost Charge Pump in ThinSOT-23 and ThinQFN. Материал с сайта фирмы Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)
7. REG711. 50mA Switched-Cap DC/DC Converter. Материал с сайта фирмы Texas Instruments: [www.ti.com](http://www.ti.com)