

СРАВНЕНИЕ ЕМКОСТНЫХ И ИНДУКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ки Денг, главный инженер по маркетингу, подразделение Аналоговых интерфейсных продуктов, Microchip Technology Inc.

В статье рассмотрены типичные схемы импульсных преобразователей с использованием в качестве накопительных элементов конденсаторов и индуктивностей. Помимо описания основных принципов их работы приведены их основные характеристики.

Преобразователи с накачкой заряда или преобразователи постоянного тока без индуктивных элементов представляют собой особый класс импульсных преобразователей, которые в качестве элементов, запасующих энергию, используют конденсаторы. По сравнению с преобразователями на основе индуктивностей такие преобразователи для некоторых задач имеют существенные преимущества. В статье проводится сравнение архитектуры и функционирования регулируемого преобразователя с накачкой заряда с наиболее широкоиспользуемыми индуктивными преобразователями, в том числе с одноходовыми повышающе/понижающими преобразователями (SEPIC).

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА

Одной из наиболее простых и популярных является схема преобразователя с накачкой с удвоением напряжения. Она включает в себя четыре ключа, внешний источник энергии, внутренний конденсатор, обычно называемый «летающим», и внешний выходной конденсатор — емкость хранения.

На рисунке 1 показана схема преобразователя с накачкой заряда с функцией удвоения напряжения. В работе преобразователя можно выделить 2 фазы: накопление энергии (зарядка) и передача (разрядка).

В ходе фазы зарядки ключи S1 и S3 открыты (замкнуты), а ключи S2 и S4 закрыты (разомкнуты). Плавающий конденсатор (CF) заряжается до входного напряжения (V_{IN}), накапливая энергию, которая будет передана в течение последующей фазы разрядки. Выходной конденсатор (CR), заряженный до напряжения $2V_{IN}$ зарядом, перенесенным с CF в течение предыдущей фазы разрядки, поддерживает ток через нагрузку.

В ходе фазы разрядки ключи S1 и S3 закрыты, а ключи S2 и S4 открыты. Теперь напряжение V_{IN} подключено к отрицательному полюсу конденсатора CF, а поскольку CF уже заряжен до напряжения V_{IN} в ходе предыдущей фазы зарядки, общее напряжение на конденсаторе CR составляет $2V_{IN}$ — таким образом, входное напряжение V_{IN} удваивается.

Частота циклов зарядки/разрядки определяется тактовым генератором. Обычно используется высокая частота, чтобы уменьшить емкости, а следовательно, и размеры обоих конденсаторов.

Выходное напряжение такого преобразователя нестабильно — оно меняется в зависимости от входного напряжения и нагрузки. Для задач, в которых требуется стабильное выходное напряжение, это неприемлемо. Тем не менее, добавление простой петли обратной связи легко решает проблему. На рисунке 2 показан очень простой преобразователь с регулируе-

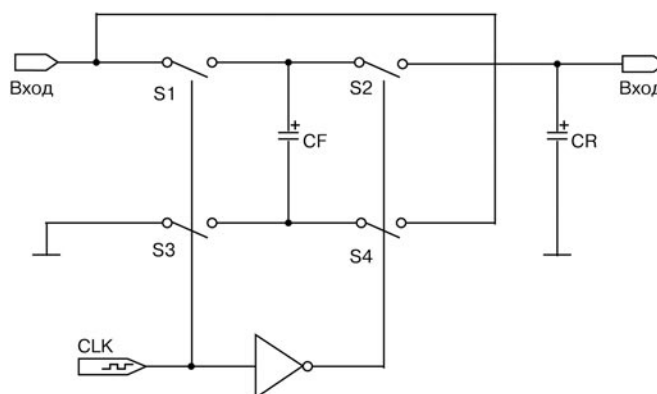


Рис. 1. Нерегулируемый преобразователь с накачкой заряда с удвоением напряжения

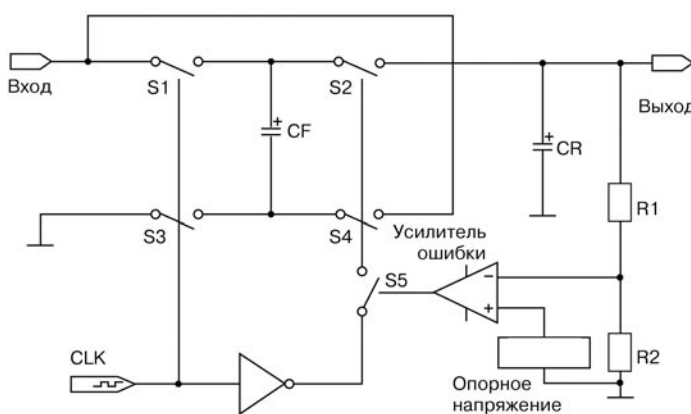


Рис. 2. Регулируемый преобразователь с накачкой заряда

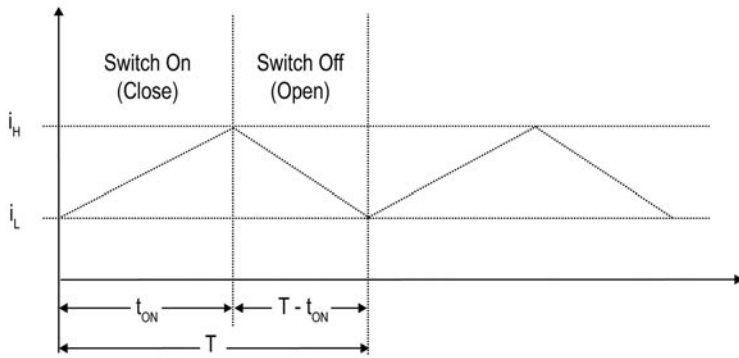


Рис. 3. Временная диаграмма работы индуктивного преобразователя постоянного тока с фиксированной частотой в режиме непрерывного тока

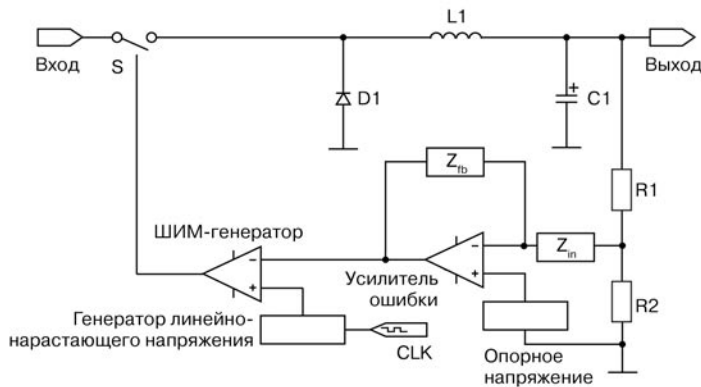


Рис. 4. Понижающий импульсный преобразователь

мым выходным напряжением, обычно называемый регулируемым преобразователем с накачкой заряда.

В схеме на рисунке 2 присутствует дополнительный ключ (S5), который может блокировать работу ключей S2/S4. Он управляется компаратором, на один из входов которого подается стабилизированное опорное напряжение, а на второй — часть выходного напряжения с резистивного делителя. Чтобы устранить дрейбз, используется компаратор с гистерезисом. Компаратор, делитель, источник опорного напряжения и ключ S5 образуют петлю обратной связи, регулирующую выходное напряжение.

В ходе фазы зарядки, если выходное напряжение опускается ниже установленного уровня, компаратор открывает S5, который, в свою очередь, открывает S2 и S4. При этом C_F будет передавать энергию на C_R и нагрузку, и напряжение V_{OUT} станет повышаться. Когда оно достигнет установленного уровня, компаратор закроет S5, который, в свою очередь, закроет S2

и S4, что прервет передачу энергии. Если выходное напряжение не достигает уровня переключения в течение фазы зарядки, S5, S2 и S4 остаются открытыми до окончания фазы.

Если в ходе фазы разрядки выходное напряжение превышает установленный уровень, компаратор закрывает ключ S5, который, в свою очередь, закроет S2 и S4, оборвав передачу заряда с C_F на C_R и нагрузку, что приведет к снижению выходного напряжения до установленного уровня. Если выходное напряжение не снижается до уровня переключения в течение фазы разрядки, S5, S2 и S4 остаются закрытыми до окончания фазы.

Регулируемый преобразователь с накачкой заряда в зависимости от значений резисторов делителя может выдавать стабилизированное напряжение от нуля до удвоенного входного напряжения, т.е. выходное напряжение может быть как выше, так и ниже входного. Таким свойством не обладают наиболее широко используемые схемы индук-

тивных преобразователей постоянного тока, такие, как повышающий и понижающий импульсные преобразователи.

ПОВЫШАЮЩИЙ И ПОНИЖАЮЩИЙ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Большинство современных индуктивных преобразователей постоянного тока функционирует в циклическом режиме, период цикла задается тактовым генератором. Для упрощения анализа в статье мы рассматриваем только преобразователи, работающие на постоянной частоте в режиме непрерывного тока. Цикл работы индуктивных преобразователей можно разделить на две фазы: состояния включения (закрытия) и отключения (открытия). Длительность включенного состояния (t_{ON}) регулируется петлей обратной связи в зависимости от разности выходного напряжения V_{OUT} и заданного значения. Длительность фазы отключения определяется как T - t_{ON} (см. рис. 3).

Работа понижающего импульсного преобразователя достаточно наглядна. Его регулируемое выходное напряжение равно:

$$V_{OUT} = V_{IN} (t_{ON}/T). \quad (1)$$

Это уравнение также может быть записано как:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times D, \quad (2)$$

где D — коэффициент заполнения, равный t_{ON}/T.

Из этих уравнений легко видеть, что выходное напряжение понижающего преобразователя всегда меньше входного, поскольку коэффициент заполнения всегда меньше 1. Схема понижающего импульсного преобразователя приведена на рисунке 4.

Работа повышающего импульсного преобразователя тоже понятна. Его регулируемое выходное напряжение можно выразить как

$$V_{OUT} = V_{IN} T / (T - t_{ON}). \quad (3)$$

Это уравнение можно записать и так:

$$V_{OUT} = V_{IN} / (1 - D). \quad (4)$$

Таким образом, выходное напряжение повышающего преобразователя всегда выше, чем его входное напряжение, поскольку $1/(1 - D)$ всегда больше 1. Схема повышающего импульсного преобразователя приведена на рисунке 5.

Следовательно, ни повышающий, ни понижающий импульсные преобразователи неприменимы для задач, где требуется, чтобы регулируемое выходное напряжение могло быть как выше, так и ниже входного.

Преобразователь с одновыводным включением индуктивного элемента (SEPIC)

Одной из наиболее популярных архитектур индуктивных преобразователей постоянного тока является преобразователь с одновыводным включением индуктивного элемента (Single-Ended Primary Inductive Converter или SEPIC). Его выходное напряжение может быть как больше, так и меньше входного.

Как видно из рисунка 6, схема такого преобразователя отличается обычного преобразователя тем, что использует два индуктивных элемента и два внешних конденсатора. Рабочий цикл преобразователя также включает две фазы. Преобразователи типа SEPIC стали приобретать популярность только в последнее время, к тому же они относительно сложны, поэтому особенности их функционирования обсуждаются довольно редко.

Для упрощения анализа опять рассмотрим только преобразователь с фиксированной частотой, работающий в режиме непрерывного тока для обоих индуктивных элементов.

Чтобы понять принцип работы преобразователя, рассмотрим сначала установившийся режим, при котором ключ разомкнут. Через конденсатор C_p постоянный ток не течет. Напряжение на конденсаторе C_p равно V_{IN} , так как его левая обкладка подключена к источнику питания через $L1$, а правая — к земле через $L2$.

В ходе фазы включения правый вывод $L1$ подключен к земле, и напряжение на $L1$ равно V_{IN} . Левая обкладка конденсатора C_p подключается на землю, а поскольку он уже заряжен до напряжения V_{IN} , то на его правом выводе напряжение равно $-V_{IN}$. Так как нижний вывод элемента $L2$ заземлен, то $L2$ оказывается подключенным параллельно C_p , и напряжение на его верхнем полюсе также равно $-V_{IN}$. Диод $D1$ находится в обратном включении и закрыт.

В этой фазе $L1$ заряжается от источника питания, а $L2$ — от конденсатора C_p . Поскольку диод $D1$ закрыт, энергия,

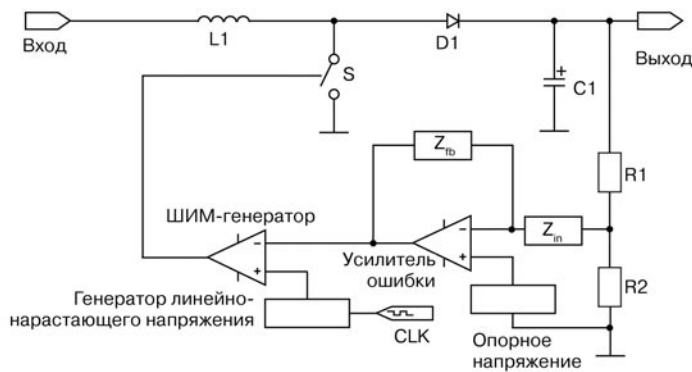


Рис. 5. Повышающий импульсный преобразователь

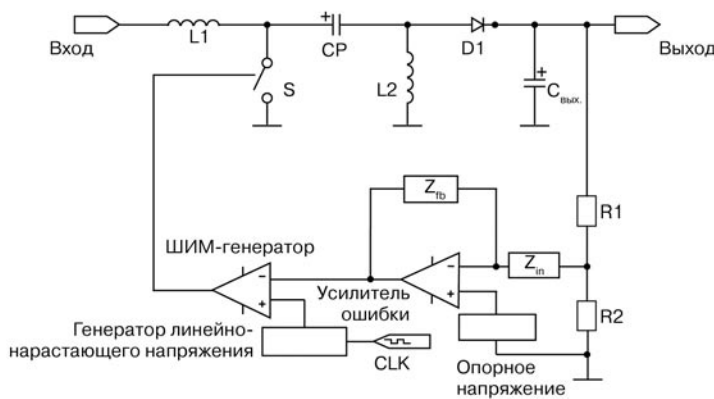


Рис. 6. Преобразователь типа SEPIC

запасенная в индуктивности, не идет ни на зарядку выходного конденсатора C_{OUT} , ни в нагрузку. Таким образом, токи в обоих элементах индуктивности линейно возрастают от значений i_{L1} и i_{L2} в начале фазы включения до значений i_{H1} и i_{H2} к ее окончанию.

Соотношение между напряжением на индуктивности и током, протекающим через нее, задается выражением

$$V = L \times (di/dt). \quad (5)$$

Как следует из этого уравнения, напряжение и ток в индуктивных элементах $L1$ и $L2$ в ходе фазы включения соотносятся как:

$$i_{H1} - i_{L1} = (V_{IN} - 0) \times t_{ON} / L1 = V_{IN} \times t_{ON} / L1, \quad (6)$$

$$i_{H2} - i_{L2} = (0 - (-V_{IN})) \times t_{ON} / L2 = V_{IN} \times t_{ON} / L2. \quad (7)$$

В ходе фазы отключения, поскольку ток через индуктивность $L1$ не может измениться моментально, через правый вывод $L1$ течет прежний ток. При этом напряжение на этом выводе повышается, превышая входное напряжение V_{IN} . Таким образом, потенциал левой обкладки конденсатора C_p также становится выше V_{IN} , а диод $D1$ переходит в открытое состояние. Это означает, что напряжение на правом выводе конденсатора C_p , совпадающее с напряжением на верхнем выводе $L2$, является и выходным напряжением V_{OUT} за вычетом незначительного падения напряжения на диоде. Кроме того, отметим, что напряжение между обкладками конденсатора C_p равно V_{IN} , и таким образом напряжение в точке между C_p и $L1$ составляет $V_{IN} + V_{OUT}$.

Токи в элементах индуктивности $L1$ и $L2$ теперь заряжают выходной конденсатор C_{OUT} и поддерживают ток нагрузки. Оба тока индуктивности линейно убывают от значений i_{H1} и i_{H2} в начале фазы отключения до значений i_{L1} и i_{L2} к ее окончанию.

Таблица 1. Результаты сравнения

	Регулируемый преобразователь с накачкой заряда	Импульсный повышающий преобразователь	Импульсный понижающий преобразователь	Преобразователь типа SEPIC
Сложность	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Размеры	Малые	Средние	Средние	Большие
Стоимость	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
КПД	Средний	Высокий	Высокий	Выше среднего
Выходной ток	Малый	Большой	Средний	Выше среднего

Напряжения и токи в катушках индуктивности L1 и L2 в ходе фазы отключения соотносятся как:

$$i_{L1} - i_{H1} = (V_{IN} - (V_{IN} + V_{OUT})) \times (T - t_{ON})/L1 = -V_{OUT} \times (T - t_{ON})/L1, \quad (8)$$

$$i_{L2} - i_{H2} = (0 - V_{OUT}) \times (T - t_{ON})/L2 = -V_{OUT} \times (T - t_{ON})/L2. \quad (9)$$

Из любого из четырех предыдущих уравнений V_{OUT} может быть выражен как:

$$V_{OUT} = V_{IN} t_{ON}/(T - t_{ON}) \quad (10)$$

или

$$V_{OUT} = V_{IN} D/(1 - D). \quad (11)$$

Из этих уравнений видно, что выходное напряжение такого преоб-

разователя может быть как выше, так и ниже входного напряжения.

СРАВНЕНИЕ

Как управляемый преобразователь с накачкой заряда, так и преобразователь типа SEPIC могут выдавать стабилизированное напряжение и выше, и ниже входного напряжения.

Решения на основе преобразователя с накачкой заряда проще, поскольку не используют индуктивности. Поэтому такие преобразователи позволяют упростить схему, уменьшить занимаемую ею площадь печатной платы и снизить стоимость по сравнению с индуктивными преобразователями. И для тех задач, в которых важна простота схемы и ее низкая стоимость, желательно применение именно регулируемого преобразователя с накачкой.

Однако преобразователь типа SEPIC предпочтительнее в схемах, где требуется высокий коэффициент полезного действия при наиболее строгих требованиях к стабильности при изменениях напряжения и тока нагрузки. Кроме того, преобразователи на основе индуктивности способны также отдавать больший ток, чем преобразователь с накачкой заряда.

ВЫВОДЫ

Результаты сравнения регулируемого преобразователя с накачкой заряда с преобразователями постоянного тока на основе индуктивностей, такими, как импульсные повышающий и понижающий преобразователи, и особенно преобразователь типа SEPIC приведены в таблице 1. Кратко их можно подытожить следующим образом:

- решения на основе регулируемого преобразователя с накачкой заряда в общем случае проще по устройству, занимают меньшую площадь и дешевле;

- преобразователь типа SEPIC во многих случаях эффективнее и может обеспечивать большие токи.

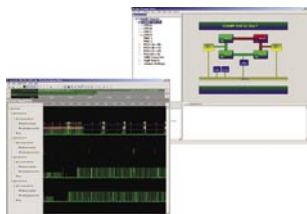
Но решение по выбору той или иной схемы должен принимать разработчик, основываясь на системных требованиях и допустимости компромиссных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. TC1240/A Datasheet, Microchip Technology Inc.
2. MCP1252/3 Datasheet, Microchip Technology Inc.
3. «Consider SEPIC Topology for New Designs», Thierry Rahan, November 2002, Power Electronics Technology.

СРЕДСТВА ОТЛАДКИ

>> Continuum Insights: комплект средств отладки многоядерных/многопроцессорных систем реального времени в стандарте VPX



Компания Curtiss-Wright Controls Embedded Computing, производитель встраиваемых компьютерных плат и систем для военных применений, выпустила комплект инструментальных средств Continuum Insights, предназначенных для

отладки многоядерных и многопроцессорных систем в реальном масштабе времени.

Комплект Continuum Insights состоит из трех средств: System Monitoring (Системный Монитор), Event Analysis (Анализатор Событий) и Network Monitor/Analysis (Монитор/Анализатор Сети).

Комплект Continuum Insight совместим с открытой архитектурой Eclipse и интегрирован со средой разработки Wind River Workbench для операционной системы реального време-

ни VxWorks. Комплект поддерживает следующие VPX-модули Curtiss-Wright CEC:

- **VPX6-185**, одноплатный компьютер формата VPX 6U на базе двухядерного микропроцессора PowerPC/Altivec Freescale MPC8641D;
- **CHAMP-AV6**, DSP-процессор формата 6U VPX на базе четырех двухядерных микропроцессоров PowerPC/Altivec Freescale MPC8641D;
- **CHAMP-FX2**, DSP-процессор формата 6U VPX на базе двух FPGA Xilinx Virtex 5 LXT и MPC8641D.

Компания Curtiss-Wright Controls Embedded Computing образована в 2004 г. после слияния шести ведущих производителей встраиваемых плат и систем для военных применений: **Dy4 Systems, VISTA Controls, Synergy Microsystems, Systran, Peritek и Primagraphics.**

Представитель Curtiss-Wright CEC в России – компания AVD Systems (495) 148-9677, www.avdsys.ru

AVD Systems
тел.: (495) 148-9677, 8-916-1944271
avdsys@aha.ru
www.avdsys.ru