

Низкопрофильная система резервного питания на базе суперконденсаторов с функцией ограничения входного тока

Дэвид САЛЕРНО

Суперконденсаторы, или, как их еще называют, ионисторы, либо двухслойные конденсаторы (англ. EDLC — Electric double-layer capacitor), все чаще используются в качестве резервного источника питания. В значительной степени это связано с постоянным повышением их удельной объемной плотности энергии, увеличением емкости и высокой надежностью.

Выходные конденсаторы большой емкости могут расширять возможности источника питания по нагрузке, особенно когда нагрузочная способность такого источника ограничена требованиями протокола (USB или PCMCIA) или собственным высоким сопротивлением. Ограничения по мощности входного источника питания могут усложнить разработку конструкций конечного изделия в целом. Микросхема зарядного устройства для суперконденсаторов LTC3128 упрощает разработку системы резервного питания, добавляя к полному зарядному устройству суперконденсаторов еще и программируемое точное ограничение входного тока. На рис. 1 показано, что для получения законченного зарядного устройства для суперконденсаторов с ограничением входного тока на уровне, не превышающем 3 А, необходимо лишь несколько дополнительных компонентов.

Микросхема LTC3128 представляет собой повышающе-понижающее DC/DC зарядное устройство для суперконденсаторов с программируемым точным ограничением входного тока (до 3 А) и активной балансировкой заряда батареи конденсаторов. Она предлагается в миниатюрном $4 \times 5 \times 0,75$ мм корпусе типа QFN или в 24-выводном TSSOP. Рабочая частота переключения преобразователя выбрана равной 1,2 МГц, что наряду с интегрированными в микросхему ключами, обладающими низким сопротивлением канала в открытом состоянии и низким зарядом затвора, обеспечивает эффективное, компактное и низкопрофильное решение для зарядки выходных конденсаторов большой емкости. Высокая точность ($\pm 2\%$) установки программируемого ограничения входного тока позволяет разработчикам ограничить максимальный ток на уровне, который сможет эффективно ис-

пользовать все возможности входного источника питания.

Контроль напряжения на конденсаторе и встроенная защита в сочетании с интегрированной активной балансировкой заряда предотвращают вероятные рассогласования сборки конденсаторов при их заряде, а также защищают конденсаторы от перенапряжения и компенсируют возможные рассогласования из-за разности их токов утечки. Все это делает микросхему LTC3128 идеальным выбором для создания резервного блока питания или для схемы питания приложений, характеризующихся импульсными нагрузками. Суперконденсаторы, принимая во внимание их длительный срок службы и большее число циклов заряда/разряда (срок службы до 10 лет и 500 000 циклов), а также относительно простые профили зарядки, идеально подходят для решений по организации систем резервного питания.

Время заряда суперконденсатора и время удержания питания системы

При проектировании систем резервного питания необходимо учитывать два наиболее важных критерия — это время заряда резервной батареи или, в рассматриваемом случае, суперконденсатора и время удержания заряда, обеспечивающего питание системы. Время заряда определяет то минимальное количество времени, в течение которого система должна находиться в режиме нормальной эксплуатации, прежде чем такой блок питания будет готов выдержать сбой в подаче напряжения, а время удержания определяет, как долго система сможет поддерживать свою работу от резервного источника энергии.

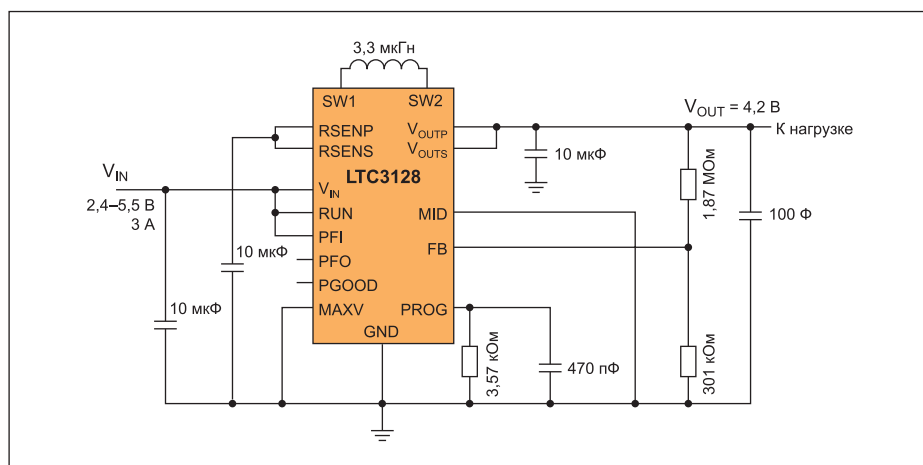


Рис. 1. Законченная полная схема заряда суперконденсаторов с ограничением входного тока

Время заряда определяется сочетанием запрограммированного порога ограничения входного тока, запрограммированного выходного напряжения, эффективности преобразователя (его КПД) и емкости выходного конденсатора. На рис. 2 показано время заряда выходного конденсатора емкостью 1 Ф с запрограммированным входным током 3 А. Эта кривая учитывает значения входного и выходного напряжений — V_{IN} , V_{OUT} и КПД преобразователя. Если выходная емкость будет больше или меньше, чем 1 Ф, то и время заряда станет изменяться пропорционально значению выходной емкости.

В конце цикла заряда микросхема LTC3128 начинает снижать свой входной ток и переходит в режим импульсного дозаряда батареи конденсатора. Это сделано для того, чтобы предотвратить возникновение паразитных колебаний на границе процесса заряда, которые могут возникнуть из-за разности собственных эквивалентных последовательных сопротивлений конденсаторов ESR (англ. ESR — equivalent series resistance). На рис. 3 показан пример профиля зарядного тока с циклом дозарядки после того, как конденсатор уже получил практически полный заряд. В настоящее время, как правило, дозаряд осуществляется при достижении уровня в 95% от запрограммированного выходного напряжения, это и есть то напряжение, которое следует использовать для расчета времени заряда суперконденсатора.

На рис. 1 дана схема заряда конденсатора емкостью 100 Ф до напряжения 4,2 В с установленным входным током в 3 А при входном напряжении V_{IN} , равном 3,3 В. На рис. 2 показано, что для зарядки конденсатора емкостью 1 Ф от 0 до 4 В ($4 В \approx 0,95 \times 4,2 В$) требуется 1,3 с. Поскольку конденсатор в этом примере в сто раз больше, то, чтобы зарядить этот конденсатор емкостью 100 Ф от 0 до 4 В, потребуется примерно 130 с.

Для определения, как долго система сможет функционировать от источника резервного питания, необходимо знать допустимый рабочий диапазон выходного напря-

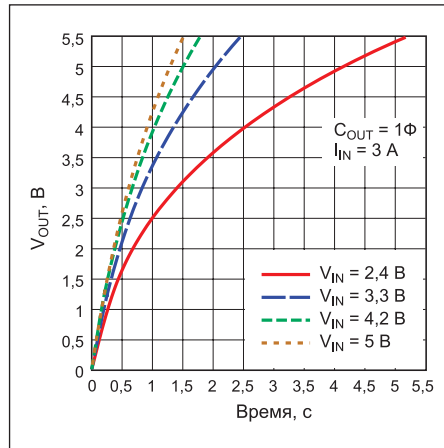


Рис. 2. Время заряда суперконденсатора от LTC3128 при разных условиях

жения. Для рассматриваемого приложения рабочий диапазон выходного напряжения составляет от 4,2 до 1 В. При этом запасенная энергия в конденсаторе емкостью 100 Ф может быть определена, как:

$$W = (1/2)C_{OUT}(V_{INITIAL})^2 - (1/2)C_{OUT}(V_{FINAL})^2 = 1/2(100 \times 4,2^2) - 1/2 \times 100 \times 1^2 = 832 \text{ Дж},$$

где W — работа в джоулях; C_{OUT} — суммарная емкость конденсаторов; $V_{INITIAL}$ — начальное напряжение на C_{OUT} ; V_{FINAL} — минимально допустимое для системы питания напряжение на конденсаторе C_{OUT} .

Если к выходу с напряжением V_{OUT} подключен вторичный повышающий преобразователь, то он действует в качестве нагрузки по постоянному току, потребляющей энергию от суперконденсаторов. На рис. 4 показан пример использования такого вторичного повышающего преобразователя, который использует выходное напряжение V_{OUT} от LTC3128. Спецификация на микросхему LTC3122 показывает, что для выходного напряжения 12 В и нагрузки 100 мА средний КПД преобразователя в диапазоне входных

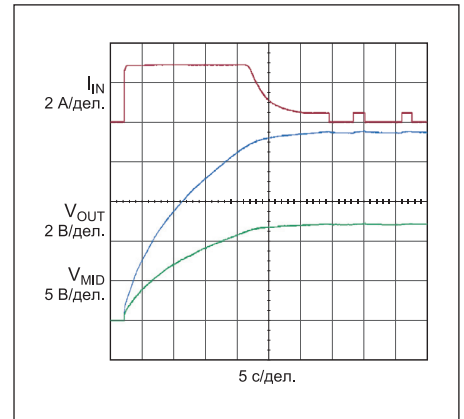


Рис. 3. Профиль входного тока в режиме заряда

напряжений 1–4,2 В составляет примерно 80%. Таким образом, от конденсатора потребляется мощность по постоянному току, равная 1,5 Вт. Время удержания системы может быть определено по формуле

$$t_{BACKUP} = W_{STORED}/P_{LOAD} = 832 \text{ Дж}/1,5 \text{ Вт} = 554,66 \text{ с},$$

где t_{BACKUP} — время удержания питания системы; W_{STORED} — доступная запасенная энергия на выходном конденсаторе; P_{LOAD} — потребляемая мощность вторичного преобразователя под нагрузкой.

Балансировка при заряде суперконденсаторов

Для того чтобы с помощью суперконденсаторов обеспечить высокие выходные напряжения, требуется использование двух или более конденсаторных ячеек, соединенных последовательно между собой. Это вызвано тем, что в зависимости от производителя и типа конденсатора максимальное рабочее напряжение одиночного конденсатора, как правило, находится между 2,3 и 2,7 В. Причем срок службы конденсатора сильно зависит от величины приложенного к нему

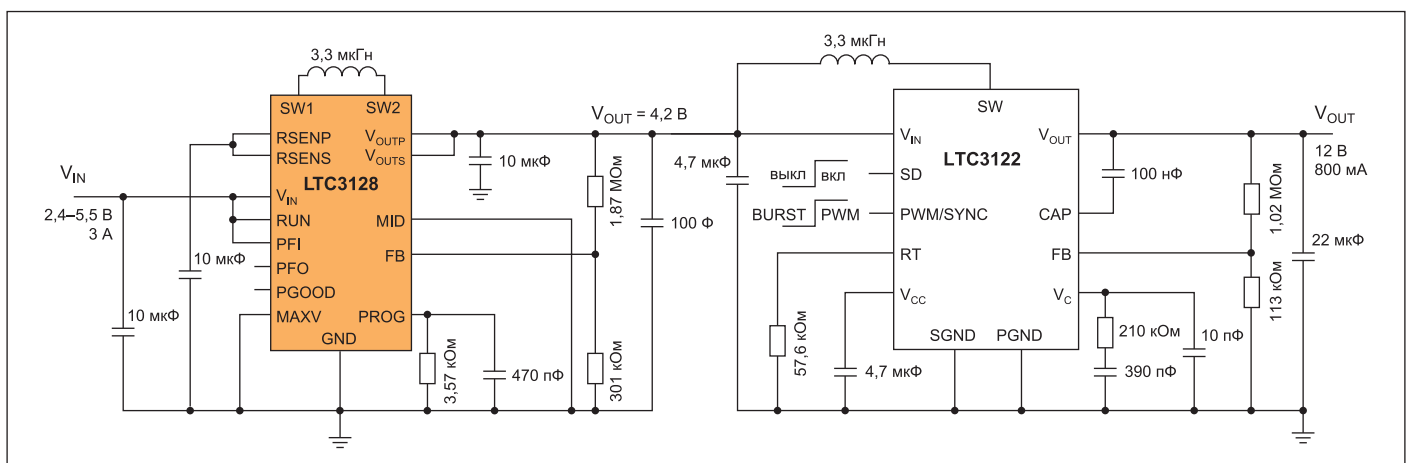


Рис. 4. Питание повышающего преобразователя LTC3122 от LTC3128

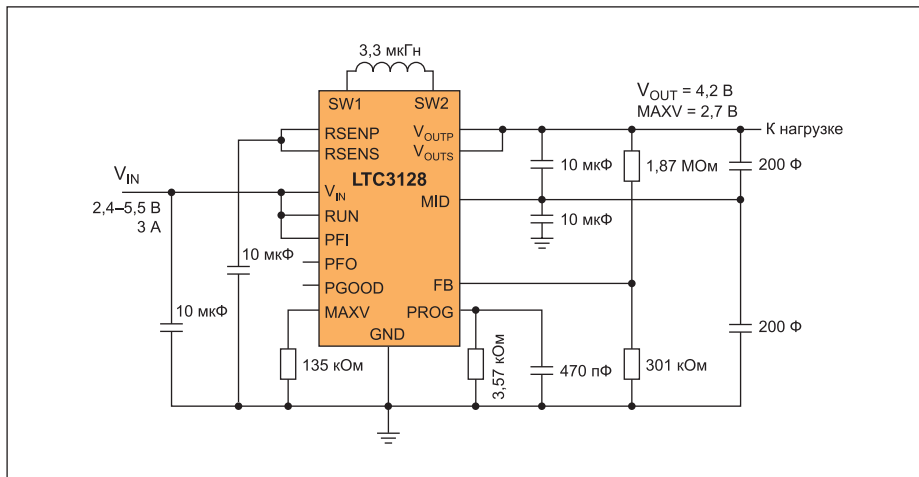


Рис. 5. Микросхема LTC3128 в режиме активной балансировки и защитой от превышения максимального напряжения на конденсаторах

напряжения. Для продления срока службы конденсатора напряжение на нем должно регулироваться таким образом, чтобы оно в любом случае оставалось ниже установленного для него максимально допустимого рабочего напряжения. Поставщики конденсаторов обычно указывают, как уровень напряжения при использовании поставляемых ими суперконденсаторов влияет на их срок службы.

Микросхема LTC3128 имеет встроенный программируемый компаратор максимального напряжения на конденсаторе и эффективную активную схему балансировки при их заряде. Для того чтобы быть уверенным в том, что во время заряда напряжение на конденсаторе не превысило запрограммированного значения, компараторы слежения контролируют напряжение на каждом отдельном конденсаторе. Если запрограммированное максимальное напряжение на конденсаторе достигает заданного уровня на обоих конденсаторах, микросхема LTC3128 (чтобы сбалансировать ячейки) приостанавливает

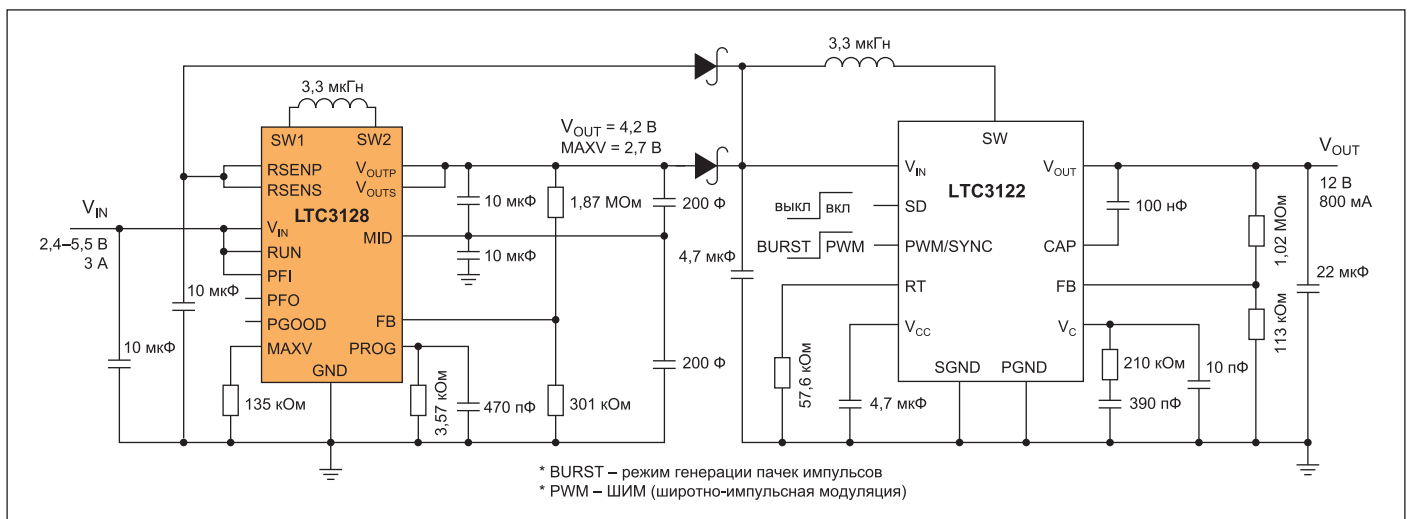
на некоторое время процесс заряда, а затем возобновляет его.

Для того чтобы сбалансировать конденсаторы так, чтобы на них были одинаковые уровни напряжения, система активной балансировки заряда микросхемы LTC3128 использует дроссель, что позволяет микросхеме эффективно перемещать заряд от одного конденсатора к другому. Это крайне важно, поскольку, если во время разряда конденсаторы будут сильно разбалансированы, полярность одной из ячеек может измениться на противоположную, тем самым вызвав повреждение конденсатора. Микросхема LTC3128 будет балансировать конденсаторные ячейки только в том случае, если на одной из ячеек нарушено требование по уровню запрограммированного максимального напряжения конденсатора или если выходное напряжение находится в режиме стабилизации, но конденсаторы вышли из равновесия, хотя требования по максимальному напряжению и не были нарушены.

Активная балансировка заряда исключает высокий ток покоя и непрерывное рассеивание мощности, характерное для схем пассивной балансировки. На рис. 5 приведена схема, выполненная на базе LTC3128, сконфигурированной для работы с выходной емкостью в 100 Ф, запрограммированным выходным напряжением $V_{OUT} = 4,2$ В и максимальным напряжением на конденсаторах по 2,7 В каждый.

Применение в режиме двойного питания выходного вторичного преобразователя

В системах резервного питания не всегда приемлемо ждать окончания заряда накопительных конденсаторов, если требуется срочно активировать питаемое устройство. В таком случае более удобный вариант — двойное питание выходного вторичного преобразователя, что дает ему возможность функционировать непосредственно от входного напряжения системы с одновременным зарядом суперконденсаторов. Микросхема LTC3128 позволяет подключить вторичный преобразователь так, чтобы он мог взять ток через ее внутренний датчик тока (резистивного типа). Данное решение позволяет вторичному преобразователю получить необходимый для него ток от источника питания с уровнем до 4 А. При этом микросхема LTC3128 будет заряжать выходные конденсаторы током, равным запрограммированному входному току, уменьшенным на величину, которую будет потреблять сам вторичный преобразователь. До тех пор пока вторичный преобразователь не возьмет на себя ток, большой величины запрограммированного входного тока, микросхема LTC3128 будет ограничивать общее потребление тока от входного источника на уровне его установленного значения, а резервные конденсаторы в это время станут заряжаться остав-



* BURST – режим генерации пачек импульсов
* PWM – ШИМ (широко-импульсная модуляция)

Рис. 6. Вариант использования LTC3128 с двойной цепью питания повышающего преобразователя LTC3122

шимся током, доступным после его запитки от входного источника.

Для продления времени резервирования микросхему LTC3128 можно перевести в отключенное состояние (так называемый shutdown) с потреблением тока от V_{OUT} , не превышающим 1 мкА, или в режим потребления менее 2 мкА, когда уровень входного напряжения будет ниже минимально разрешенного системой защиты от недопустимо пониженного входного напряжения (*англ.* UVLO — Under Voltage Lock-out; блокировка питания при пониженном напряжении). На рис. 6 на базе совместного использования микросхем LTC3128 и LTC3122 показан опи-

санный выше вариант реализации с двойной цепи питания вторичного преобразователя.

Заключение

Микросхема LTC3128 представляет собой повышающе-понижающее DC/DC зарядное устройство для суперконденсаторов и является превосходным оптимальным решением для систем эффективного заряда и защиты суперконденсаторов в устройствах, критических к уровню надежности и рассчитанных на длительный срок эксплуатации. Микросхема имеет точный в $\pm 2\%$ программный максимальный уровень вход-

ного тока, программируемые компараторы максимального уровня напряжения на конденсаторах и активную систему балансировки заряда.

Для того чтобы сбалансировать конденсаторы так, чтобы на них были одинаковые уровни напряжения, система активной балансировки заряда микросхемы LTC3128 использует дроссель, при балансировке это позволяет микросхеме эффективно перемещать заряд от одного конденсатора к другому. Активная балансировка заряда исключает высокий ток покоя и непрерывное рассеивание мощности, характерное для схем пассивной балансировки. ■