

КОНТРОЛЛЕР МОЩНЫХ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА

FIXED RATIO HIGH POWER CHARGE PUMP DC/DC CONTROLLER

В статье приведена краткая информация о контроллере DC/DC-преобразователей, построенных по схеме с накачкой заряда. Такие преобразователи предназначены для деления или умножения напряжения источника питания в два раза или инвертирования полярности напряжения. Контроллер обеспечивает формирование на выходе преобразователей ток до 20 А при высоком КПД преобразователей. Приведены схемы включения преобразователей и результаты моделирования понижающего преобразователя.

В. Макаренко

Abstract – The article provides brief information on the controller of DC/DC converters built according to the charge pump circuit. These converters are designed to divide or multiply the power supply voltage by half, or to reverse the polarity of the voltage. The controller provides the formation of a current of up to 20 A at the output of the converters at a high efficiency of the converters. The schemes for switching on the converters and the results of modeling the buck converter are presented.

V. Makarenko

Преобразователи с накачкой заряда (Charge Pump) для переноса и накопления энергии используют переключаемые конденсаторы, в отличие от DC/DC-преобразователей, использующих для накопления энергии в магнитном поле катушек индуктивности. Интерес к преобразователям с накачкой заряда непрерывно растет в связи с их невысокой стоимостью и высоким КПД.

Конечно, они уступают DC/DC-преобразователям по максимальной величине тока, отдаваемого в нагрузку, но в современных устройствах удастся реализовать токи величиной до 15...20 А, что во многих случаях вполне достаточно. При этом КПД таких преобразователей достигает 99%.

Компания Analog Devices выпускает высоковольтный контроллер преобразователей с накачкой заряда LTC7820 [1] с фиксированным соотношением, преобразуемых напряжений. ИМС содержит четыре драйвера управления затворами N-канальных МОП-транзисторов (MOSFET).

ИМС позволяет создавать понижающие преобразователи с соотношением входного и выходного напряжений 2:1 при входном напряжении до 72 В, а повышающие – с соотношением 1:2. Каждый силовой MOSFET переключается с рабочим циклом 50% при постоянной частоте переключения. LTC7820 позволяет реализовать экономичные решения для реализации неизолированных преобразователей для промежуточных шин питания с защитой от неисправностей.

Основные параметры контроллера:

- максимальный КПД 99%

- низкий уровень электромагнитных помех
- максимальное входное напряжение 72 В для делителя напряжения на два
- максимальное входное напряжение 36 В для удвоителя напряжения или инвертора 1:1
- диапазон напряжения питания от 6 до 72 В
- мягкий запуск при включении
- защита от перегрузки по току на входе
- диапазон рабочих частот от 100 кГц до 1 МГц
- защита от короткого замыкания на выходе
- программируемый таймер для повторной попытки запуска
- диапазон рабочих температур от –40 до 125 °C
- компактный корпус QFN-28 с теплоотводом
- габаритные размеры 4×5 мм.

Функциональная схема LTC7820 приведена на рис. 1.

Частота коммутации ключей LTC7820 фиксирована и не изменяется в процессе работы. В рабочем состоянии N-канальные полевые МОП-транзисторы M1 и M3 открываются и закрываются синхронно. Скважность импульсов управления примерно равна двум. Транзисторы M2 и M4 управляются сигналами противофазными сигналам управления транзисторов M1 и M3.

Во время первой фазы работы открыты транзисторы M1 и M3, а конденсатор C_{FLY} подключен последовательно с конденсатором C_{VLOW} . Во время второй фазы работы M2 и M4 открыты, а C_{FLY} подключается параллельно конденсатору C_{VLOW} . Напряжение на выводе V_{LOW} всегда близко к половине максимального напряжения на стоке транзистора M1 и

Как только напряжение на входе RUN превысит значение 1.22 В контроллер включается. Не допускается превышения напряжения на этом выводе более 6 В. Переключение силовых транзисторов начинается при выполнении условия

$$V_{\text{LOW_SENSE}} \approx 0.5V_{\text{HIGH_SENSE}}$$

или оба этих напряжения близки к нулю.

Защита от сбоев и перегрева

В контроллере LTC7820 осуществляется контроль выходного напряжения, тока и температуры. При появлении неисправности прекращается переключение силовых транзисторов и на выводе FAULT формируется уровень нуля. Для устранения сбоев напряжение на выводе $V_{\text{LOW_SENSE}}$ должно быть в пределах запрограммированного значения (около половины напряжения $V_{\text{HIGH_SENSE}}$) или напряжения $V_{\text{HIGH_SENSE}}$ и $V_{\text{LOW_SENSE}}$ должны быть ниже 1 и 0.5 В, соответственно. Работа контроллера восстанавливается при условии, что падение напряжение на резисторе датчика тока R_{SENSE} (между выводами $I_{\text{SENSE}+}$ и $I_{\text{SENSE}-}$) станет менее 50 мВ. Если отключение ИМС произошло из-за перегрева, то включение контроллера произойдет только при падении температуры кристалла ниже 165 °С.

К выводу FAULT может быть подключен внешний резистор к источнику напряжения с максимальным напряжением не более 80 В. Сигнал, формируемый на выходе FAULT, может быть использован для управления полевым транзистором, позволяющим отключать вход (или выход) контроллера при появлении неисправности.

Выбор частоты коммутации ключей

Частота переключения выбирается исходя из компромисса между КПД преобразователя и размерами компонентов. При низкой частоте переключения КПД выше благодаря уменьшению потерь переключения МОП-транзисторов, но требуются емкости большой величины для обеспечения требуемой выходной мощности и низкого выходного сопротивления.

Контакт FREQ используется для программирования рабочей частоты контроллера в диапазоне от 100 кГц до 1 МГц. К выводу FREQ подключен внутренний источник тока 10 мкА. Изменяя сопротивление резистора, подключенного к этому выводу, можно изменять частоту внутреннего генератора OSC. Частоту коммутации можно найти по формуле

$$f_s(\text{кГц}) = 8R_{\text{FREQ}}(\text{кОм}) - 317 \text{ кГц},$$

где R_{FREQ} – сопротивление резистора, включенного между выводом FREQ и общим проводом.

При изменении напряжения на выводе FREQ от 0.5 В до 2 В частота внутреннего генератора изменяется от 150 до 1250 кГц [1].

Формирование сигнала Power Good

Когда напряжение на выводе UV ниже 1 В, на выводе PGOOD напряжение равно нулю. Напряжение на выводе PGOOD также равно нулю, когда на выводе RUN низкий уровень напряжения или когда LTC7820 включается.

Транзистор, сток которого подключен к выводу PGOOD, закрывается только тогда, когда LTC7820 находится в рабочем режиме и напряжение на выводе UV больше 1 В. Сигнал PGOOD можно использовать для подключения или отключения выхода.

Программирование окна срабатывания компаратора

При нормальной работе напряжение $V_{\text{LOW_SENSE}}$ всегда должно быть близко к половине напряжения $V_{\text{HIGH_SENSE}}$. Компаратор сравнивает напряжение на выводе $V_{\text{LOW_SENSE}}$ с напряжением $0.5V_{\text{HIGH_SENSE}}$. Ширина петли гистерезиса программируется напряжением на выводе HYS_PRGM. К этому выводу внутри ИМС подключен источник тока 10 мкА. Резистор, подключенный между выводом HYS_PRGM и общим проводом, позволяет задать ширину петли гистерезиса, численно равную падению напряжения на этом резисторе.

Например, при сопротивлении резистора, подключенного к выводу HYS_PRGM, 100 кОм напряжение $0.5V_{\text{HIGH_SENSE}}$ должно находиться в пределах окна ($V_{\text{LOW_SENSE}} \pm 1$ В) во время включения и при нормальном режиме работы.

Типовая схема включения LTC7820 в режиме деления напряжения в 2 раза приведена на рис. 2.

Диапазон входных напряжений для этой схемы включения от 6 до 24 В. Промоделировать работу преобразователя с контроллером LTC7820 можно в программе LTspice. В модели на рис. 2. осуществляется автоматическое измерение КПД преобразователя. Для этого используются директивы:

- измерения мощности, потребляемой от источника питания

.meas Pin AVG -(V1)*V(IN)

- измерения мощности, отдаваемой в нагрузку

.meas Pout AVG I(Rload)*V(OUT)

- вычисления КПД преобразователя

.meas eff param Pout/Pin.

Для расчета КПД преобразователя необходимо чтобы завершился переходной процесс при

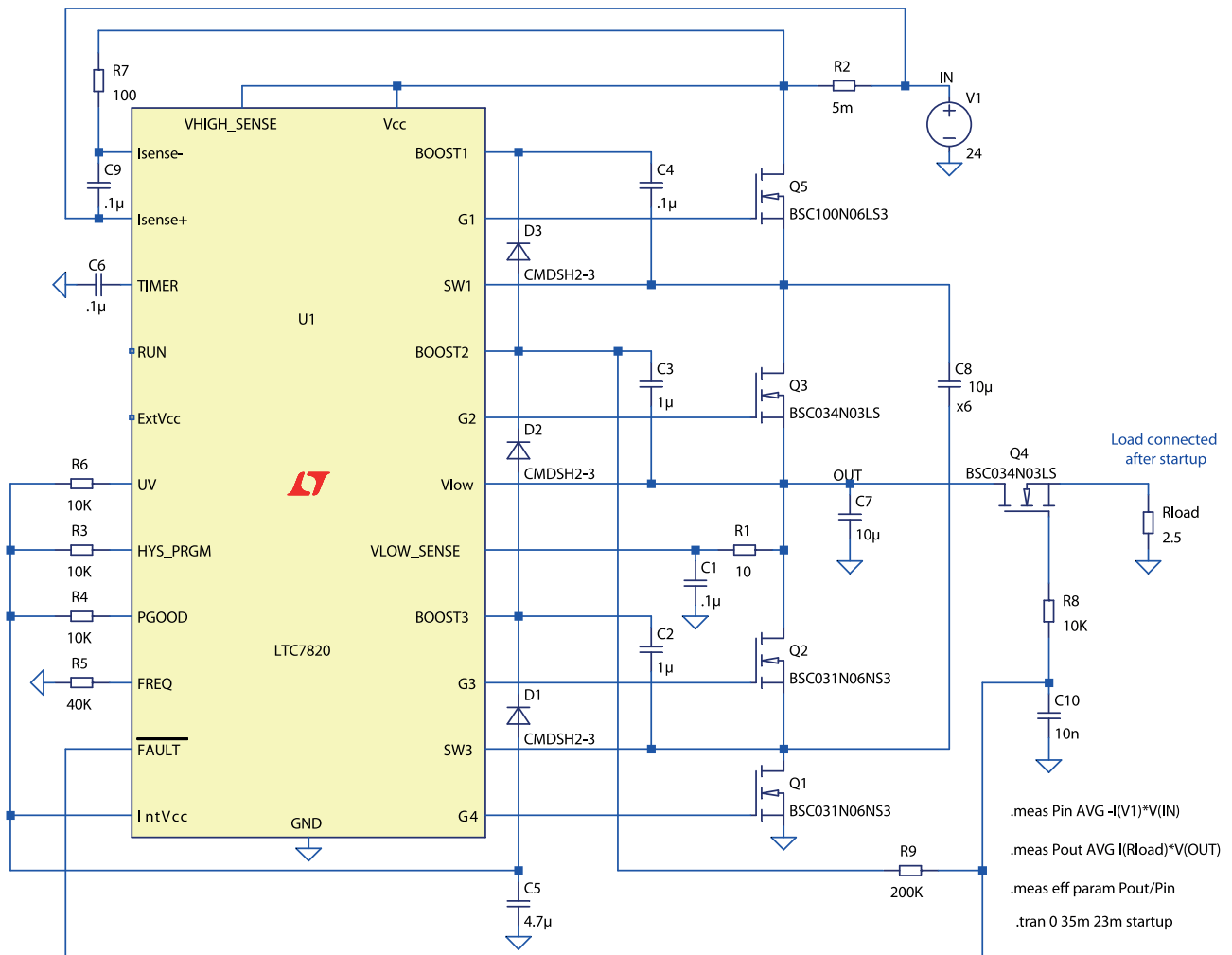


Рис. 2. Типовая схема включения LTC7820 в режиме деления напряжения на два

включении. Длительность переходного процесса тем больше, чем больше входное напряжение. Для определения длительности переходного процесса директива, определяющая длительность процесса измерения и его начало принимает вид:

```
.tran 0 35m 0m startup.
```

Результат измерения переходного процесса при напряжении на входе преобразователя 24 В приведен на рис. 3.

Из рис. 2 следует, что время переходного процесса составляет 24 мс (зеленая кривая). Напряжение на нагрузке включается после завершения переходного процесса с помощью ключа на транзисторе Q4.

В файле Spice Error Log выводится сообщение о вычисленном значении КПД

pin: $\text{AVG}(-i(v1)*v(\text{in}))=17.0872$ FROM 0 TO 0.035

pout: AVG(i(rload)*v(out))=16.1498 FROM 0 TO 0.035

eff: pout/pin=0.945145



Рис. 3. Временные диаграммы напряжения на выходе преобразователя (зеленая), на нагрузке (синяя) и тока в нагрузке

Измеренное значение КПД при выходном напряжении 12 В и токе 4.75 А составляет 94.5%.

На рис. 4 приведены зависимости КПД и рассеиваемой мощности при различных значениях тока нагрузки и входных напряжений.

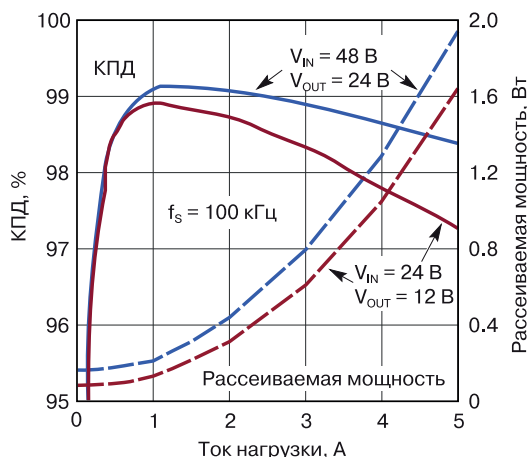


Рис. 4. Зависимости КПД и рассеиваемой мощности при различных значениях тока нагрузки и входного напряжения

Как следует из рис. 4 максимальный КПД преобразователя при токах в нагрузке от 1 до 3 А. Хотя и при больших токах он достаточно высокий.

На рис. 5 приведены зависимости КПД преобразователя от тока нагрузки при различных значениях частоты коммутации ключей при работе в режиме деления напряжения $24 \Rightarrow 12$ В.

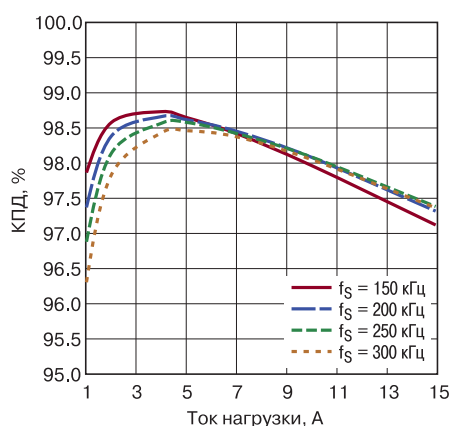


Рис. 5. Зависимости КПД преобразователя от тока нагрузки при различных значениях частоты коммутации ключей при работе в режиме деления напряжения $24 \Rightarrow 12$ В

Как следует из рис. 5 даже при максимальном токе нагрузки 15 А не менее 97%, а максимальное значение КПД составляет 98.7%.

Выходное сопротивление преобразователя в режиме умножения напряжения в два раза характери-

зуют рис. 6 и 7. В [1] приведены расчетные соотношения для вычисления выходного сопротивления преобразователя.

Как следует из этих рисунков, выходное сопротивление преобразователя в режиме деления на-

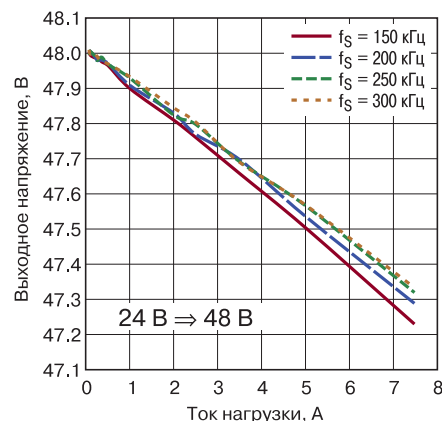


Рис. 6. Зависимость выходного напряжения преобразователя от тока нагрузки в режиме умножения напряжения

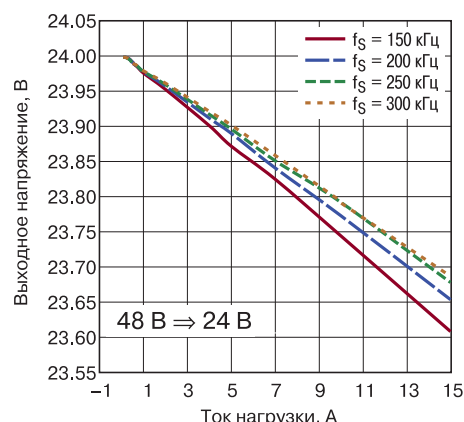


Рис. 7. Зависимость выходного напряжения преобразователя от тока нагрузки в режиме деления напряжения

пряжения, не превышает 0.027 Ом, а в режиме умножения напряжения – 0.1 Ом.

Используя два контроллера, можно реализовать делитель напряжения в 4 раза с выходным током до 20 А. На рис. 8 приведена схема такого преобразователя. Входное напряжение 48 В преобразуется в выходное напряжение 12 В.

Схемы включения LTC7820 в режиме умножения напряжения и в режиме инвертирования полярности напряжения приведены в [1]. Более подробную информацию о параметрах и особенностях включения в различных режимах можно найти в [1] и на

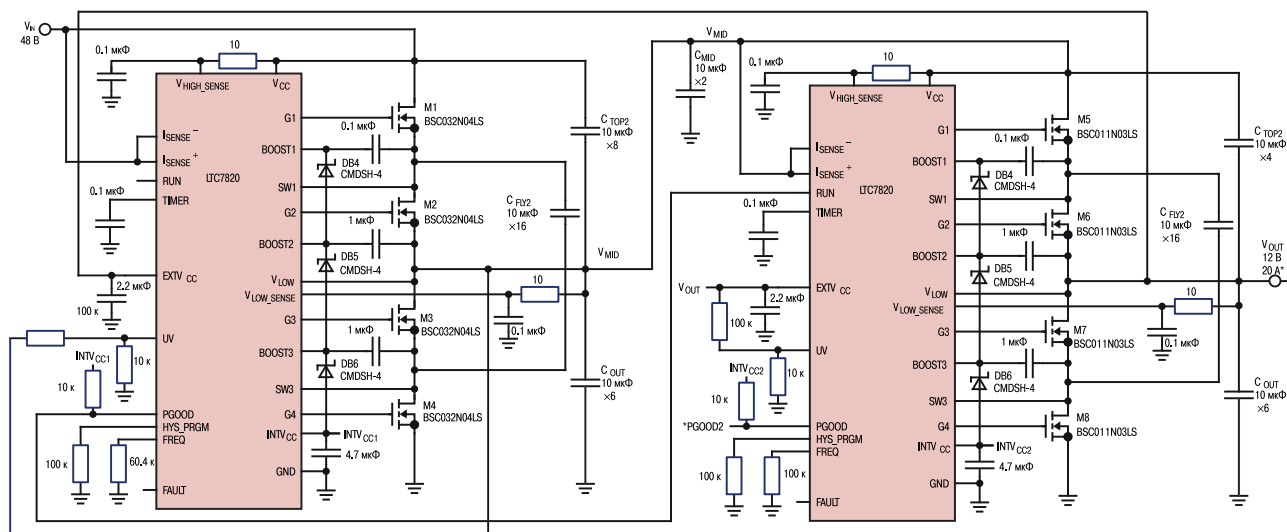


Рис. 8. Схема двухступенчатого мощного понижающего преобразователя напряжения с выходным током до 20 А

сайте компании Analog Devices.

Учитывая высокий КПД преобразователей на основе LTC7820, можно сделать вывод о целесообразности ее использования для реализации умножителей или делителей напряжения с наименьшими затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/7820fc.pdf>

ANALOG DEVICES
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

КОМПОНЕНТЫ ANALOG DEVICES

для носимых медицинских устройств

Обеспечивают измерения:

- артериального давления
- длительности и скорости пульсовой волны
- минутного сердечного выброса
- электрокардиограммы
- общего периферийного сопротивления сосудов
- импеданса кожи
- температуры тела и окружающей среды

при:

- высокой точности измерений
- низком энергопотреблении
- малых габаритах

VD MAIS
ДИСТРИБУЦИЯ+
КОНТРАКТНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО

VD MAIS — официальный дистрибьютор компании Analog Devices в Украине

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmals.ua, www.vdmals.ua