

Современная схемотехника

преобразователей положительного напряжения

в отрицательное

Виктор Хасиев

vkhasiev@linear.com

Юанжуан Сан
(Juanjuan Sun)

Перевод: Роман Щеблыкин

rscheblykin@icgamma.ru

Введение

Преобразование положительного напряжения в отрицательное широко используется в устройствах с ЖКИ, усилителях мощности звуковой частоты, промышленном и измерительном оборудовании, а в последнее время — и в схемах управления светодиодами и зарядных устройствах. Можно отметить две основные причины этой тенденции. Первая — стремление проектировщиков использовать один и, желательно, стандартный тип входного напряжения (например, 5 или 12 В) без применения относительно дорогих, сложных и габаритных трансформаторов. А вторая — это развитие высоковольтных микросхем, которые легко могут быть применены для инвентирующих преобразователей.

Основными преимуществами рассмотренных в этой статье преобразователей (рис. 1) являются простота исполнения и высокий КПД.

Силовая часть данной схемы (рис. 2) включает транзистор Q1, дроссель L1, диод или транзистор Q2 и выходной фильтр. Выходное напряжение управляется понижающим преобразователем, обычно выполненным в виде интегральной схемы. Силовая часть может быть уменьшена до двух или даже одного компонента, если применить микросхемы или модули с еще большей степенью интеграции (рис. 3, 4).

Описание работы и электрическая нагрузка на компоненты схемы. Передаточная функция

В этом разделе мы обсудим только общую функциональную схему и уравнения, необходимые для понимания работы преобразователя. Для режима не-

прерывного тока величину рабочего цикла и среднего тока через дроссель можно найти из следующих выражений:

$$D = |V_{O}| / (V_{in} + |V_{O}|); I_L = I_O / (1 - D).$$

Основное отличие данного устройства от понижающего преобразователя в том, что индуктивность не выдает мощность и ток в нагрузку непрерывно. Дроссель L1 отключен от нагрузки (рис. 1а), когда транзистор Q1 открыт, а Q2 закрыт. Только когда транзистор Q1 закрывается, а Q2 откроется, ток, накопленный в дросселе L1, будет протекать через выходной фильтр и нагрузку (рис. 1б). В понижающем преобразователе ток непрерывно поступает в нагрузку через дроссель. Среднее и пиковое значения тока через дроссель при такой схеме и таком алгоритме работы больше, чем в понижающем преобразователе при одинаковом токе нагрузки. Например, для схемы, изображенной на рис. 2:

- выходной ток — 4 А;
- средний ток индуктивности при этом 6,22 А;
- пиковое значение среднего тока индуктивности — 7,32 А при входном напряжении 9 В.

Данное обстоятельство имеет серьезное значение при выборе компонентов, влияет на КПД и величину пульсаций выходного напряжения. При правильном выборе составляющих можно достичь КПД 95% и более.

Напряжение $V_{max} = V_{in} + |V_{O}|$ — максимальное напряжение, приложенное к транзисторам Q1 и Q2. Максимальный ток I_{max} , протекающий через транзисторы Q1 и Q2, дроссель L1 и диод D, может быть найден с помощью следующих выражений:

$$dI = (V_{imax} \times T \times D_{max}) / L; I_{pk} = I_L + dI/2;$$

$$I_{max} = I_O / (1 - D_{max}) + dI/2.$$

Средний ток, протекающий через транзистор Q1, равен $I_L \times D$, а средний ток, протекающий через

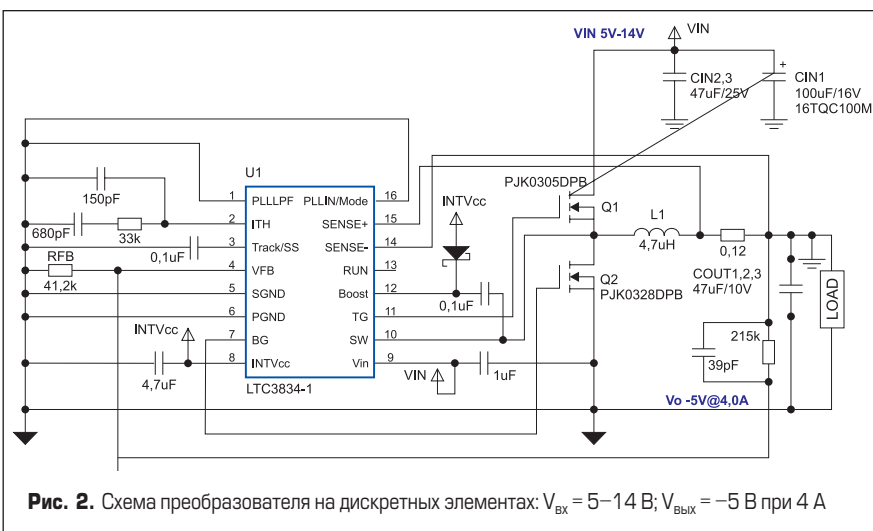


Рис. 2. Схема преобразователя на дискретных элементах: $V_{вх} = 5-14$ В; $V_{вых} = -5$ В при 4 А

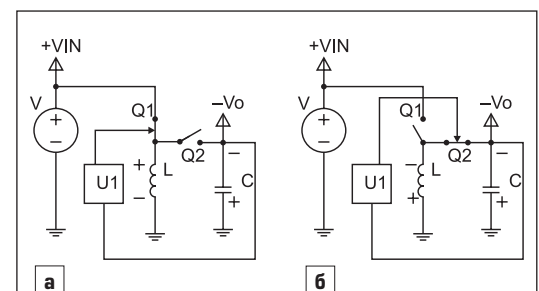


Рис. 1. Функциональные схемы преобразователей положительного напряжения в отрицательное: а) транзистор Q1_{он}, Q2_{офф}; б) транзистор Q1_{офф}, Q2_{он}

транзистор Q2, равен I_0 . Выбор контроллера, управляющего работой схемы преобразователя, производится в соответствии с максимальным рабочим напряжением на управляющем выводе и на выводе датчика тока. Например, для микросхемы LTC3834-1 эти значения напряжения составляют 36 и 11 В соответственно.

Схемотехника преобразователей из положительного напряжения в отрицательное

Далее приведены описания схем, демонстрирующие практическую реализацию рассмотренного инвертирующего преобразователя. Схема, представленная на рис. 2, является наиболее гибкой. Она выполнена с применением большого числа внешних компонентов: двух транзисторов, индуктивности, контроллера LTC3834-1, входного и выходного фильтров. Микросхема LTC3834-1 позволяет выбрать любую из трех возможных частот переключения: 250, 530 или 400 кГц, соответствующим образом подключив вывод PLLPF. Микросхема запрограммирована на три режима работы: Burst, Skip Pulse (пропуск тактовых импульсов) и Force Continuous (режим многократного изменения направления тока через индуктивность), которые выбираются с помощью вывода PLLIN/MODE. КПД преобразователя, выполненного по данной схеме, составляет 92–93%.

Схема, представленная на рис. 3, намного проще, занимает меньше места, так как ключевые МОП-транзисторы встроены в микросхему LTC3608, которая является монолитным синхронным понижающим DC/DC-преобразователем. Другое преимущество данной микросхемы — наличие внутренних цепей для построения датчика тока без применения внешних компонентов. Это возможно благодаря измерению тока канала встроенного нижнего (по схеме) МОП-транзистора. Рабочая частота определяется одноходовым таймером, который устанавливает время включения верхнего по схеме МОП-транзистора. Частота выбирается резистором R_FRQ и в данном случае равна 300 кГц. КПД составляет 93–94%.

Схема, показанная на рис. 4, позволяет уменьшить размеры, существенно упростить и более рационально использовать объем конечного устройства в случае применения микромодуля LTM4601. Этот микромодуль занимает всего 15×15 мм площади печатной платы и полностью готов к работе без затрат времени на выбор внешних компонентов и наладку разрабатываемого источника питания. Такой результат достигнут за счет встроенных в модуль ключевых МОП-транзисторов и дросселя. Минимальное входное напряжение такого источника равно 4,5 В, максимальное напряжение V_{max} и ток I_{max} составляют 20 В и 12 А соответственно.

Все эти три схемы работоспособны при напряжении от 5 до 14 В, однако номинальный выходной ток они могут обеспечить в более узком диапазоне — от 9 до 14 В. Выходной ток придется снижать при напряжении менее 9 В.

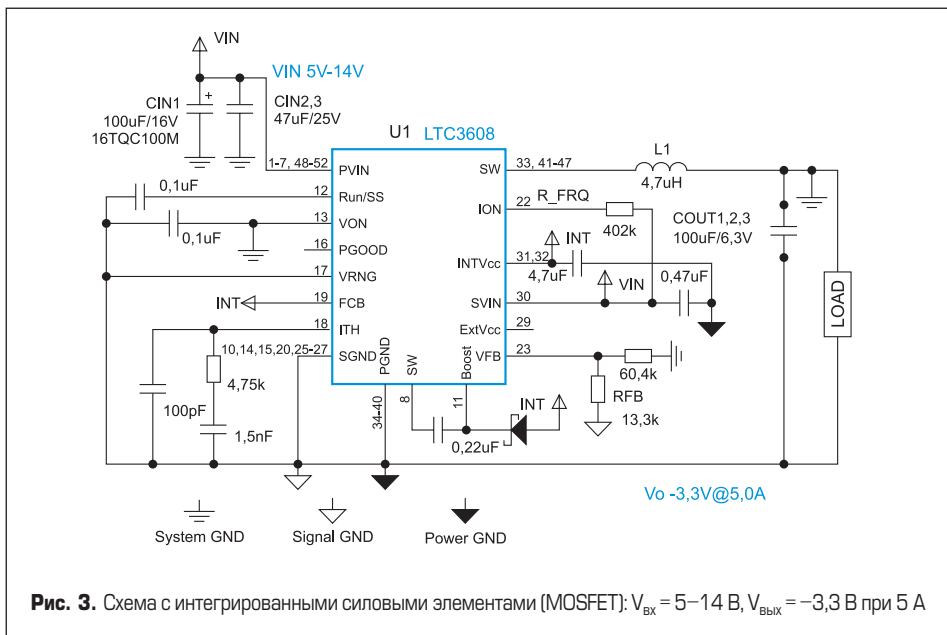


Рис. 3. Схема с интегрированными силовыми элементами (MOSFET): $V_{вх} = 5-14 В$, $V_{вых} = -3,3 В$ при 5 А

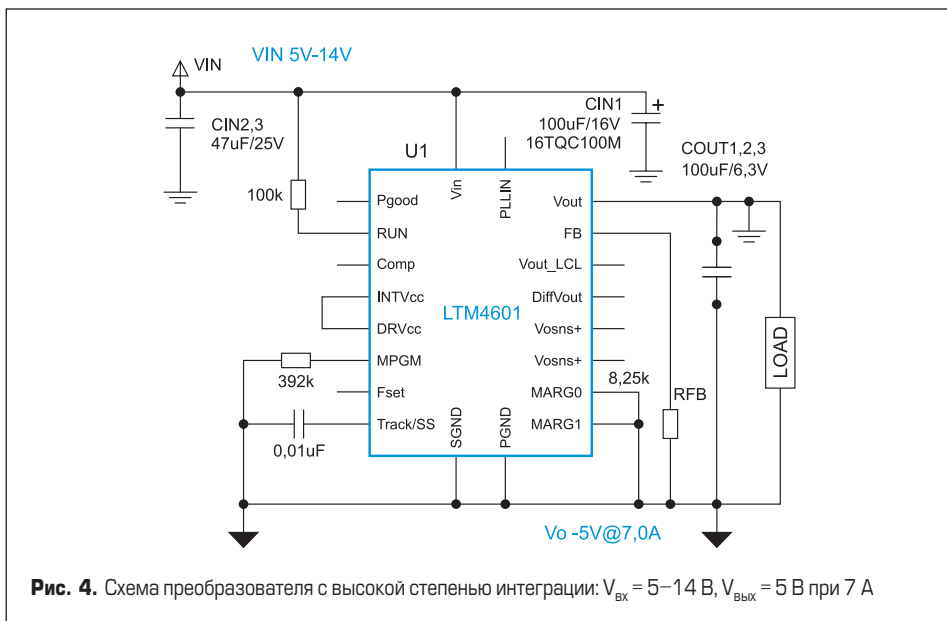


Рис. 4. Схема преобразователя с высокой степенью интеграции: $V_{вх} = 5-14 В$, $V_{вых} = 5 В$ при 7 А

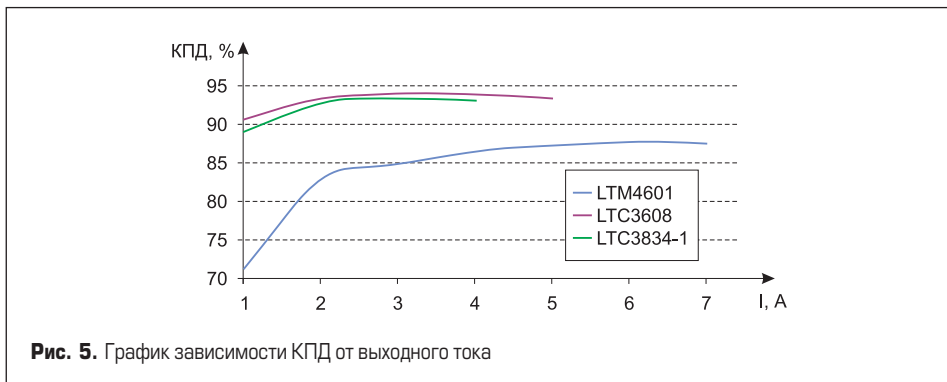


Рис. 5. График зависимости КПД от выходного тока

Кроме того, выходное напряжение можно менять в пределах от 1,2 до -5 В, необходимая величина выбирается подстройкой резистора RFB. Кривые зависимостей КПД представлены на рис. 5.

Заключение

Преобразование напряжения из положительного в отрицательное широко используется в устройствах с жидкокристаллическим индикатором, усилителях мощности звуковой частоты, промышленном и измерительном оборудовании. Представленные в данной статье схемы помогут инженерам в выборе схемотехнического решения и необходимых компонентов для конкретных применений. Технические решения на описанной элементной базе позволяют уменьшить габариты разрабатываемых устройств и время разработки.