

# Методы уменьшения входных пульсаций

## для преобразователей с накачкой заряда

**Преобразователи с накачкой заряда — тип DC/DC-конвертеров, которые используют конденсаторы вместо катушек индуктивности для хранения и передачи энергии. Отсутствие катушек индуктивности делает их применение предпочтительным в тех случаях, когда требуется вспомогательное питание с низким энергопотреблением (выходной ток приблизительно до 150 мА), небольшая занимаемая площадь на печатной плате и минимальная высота.**

Евгений Никитин

nevgen@yandex.ru

Для уменьшения размеров конденсаторов и оптимизации выходного тока в преобразователях с накачкой заряда повышают скорость переключения и стараются уменьшить сопротивления ключей, но эти меры приводят к появлению шумов и пульсации на входе питания. Этот шум может распространяться назад через входной вывод питания, создавая проблемы для управляемых генераторов, VC и других схем, чувствительных к помехам по питанию.

### Основные принципы работы

Сначала рассмотрим схему преобразователя, работающего в режиме инвертирования входного напряжения (рис. 1). Управление преобразователем осуществляется 2-фазным синхросигналом с 50-процентной скважностью. В первом такте конденсатор накачки ( $C_{PUMP}$ ) заряжается входным напряжением ( $V_{IN}$ ) через замкнутые ключи SW1A и SW1B. В это время SW2A и SW2B закрыты. В следующем тактовом цикле ключи SW2A и SW2B замыкаются и подключают CPUMP к COUT, таким образом вырабатывая напряжение, равное  $V_{IN}$  на выходе схемы.

Теперь рассмотрим схему преобразователя, работающего в режиме удвоителя (рис. 2). Как и прежде,

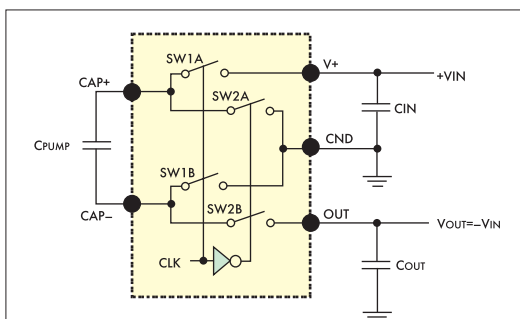


Рис. 1. Упрощенная схема преобразователя с накачкой заряда, работающего в режиме инвертора

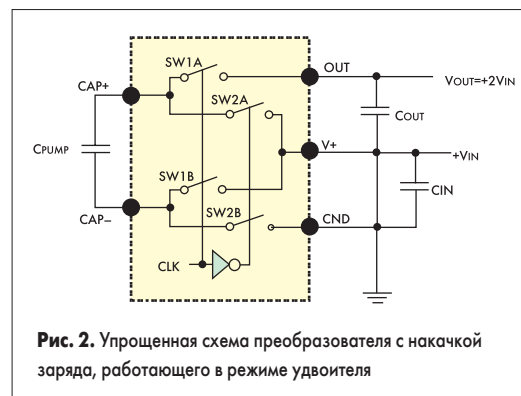


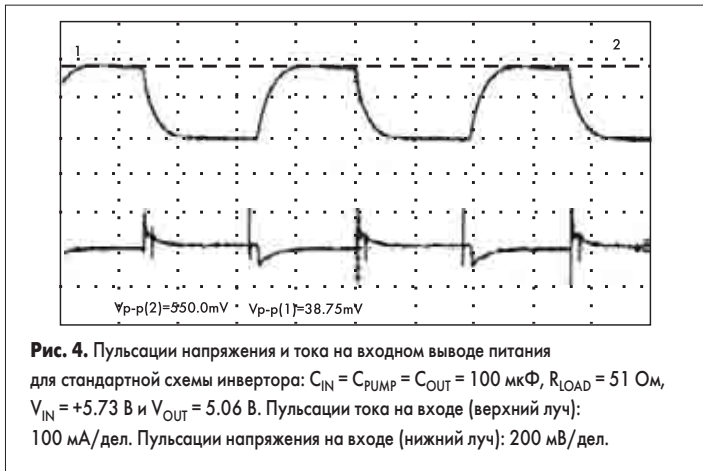
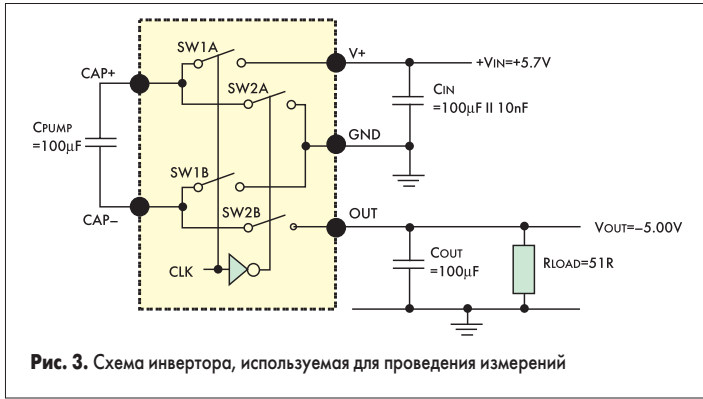
Рис. 2. Упрощенная схема преобразователя с накачкой заряда, работающего в режиме удвоителя

управление осуществляется 2-фазным синхросигналом с 50-процентной скважностью. Конденсатор накачки — устройство передачи заряда — в первом такте заряжает до  $V_{IN}$  через замкнутые ключи SW2A и SW2B (в это время ключи SW1A и SW2B закрыты). В следующем такте ключи SW1A и SW1B замыкаются, подключая CPUMP к COUT, таким образом вырабатывая напряжение  $+2V_{IN}$  на выходе схемы.

Как уже говорилось, пульсации на входе и выходе преобразователя вызваны быстрым зарядом и разрядом конденсатора накачки. Для иллюстрации проявления пульсаций на входе питания была собрана схема инвертора (рис. 3) на преобразователе с накачкой заряда MAX665. Она вырабатывает напряжение  $-5$  В на нагрузочном сопротивлении 51 Ом. Достаточно низкочастотные ( $<100$  кГц) пульсации, вызванные большим нагрузочным током, могут быть легко измерены (рис. 4).

### Методы сокращения пульсаций

Для уменьшения пульсаций необходимо изолировать источник пульсаций от остальной части схемы. Для улучшения эффективности преобразования необходимо уменьшать ESR и гарантировать, что номиналы конденсаторов (входного, выходного



и накачки) были как можно ближе к рекомендованным в спецификации на преобразователь. Ниже рассмотрим четыре метода снижения пульсации и достигнутые результаты.

1. *Сокращение ESR входного конденсатора* предполагает, что на вход преобразователя будут подключены N идентичных конденсаторов, включенных параллельно, при этом уровень входной пульсации уменьшается в N-1 раз. К сожалению, этот подход не очень эффективен, так как увеличивается занимаемая площадь на печатной плате и значительно возрастает стоимость изделия.
2. *Вместо большого количества конденсаторов включим последовательно со входным выводом питания LC-фильтр* (рис. 5). Дополнительная фильтрация препятствует распространению пульсаций через входной вывод питания на другие части схемы. Как и все фильтры второго порядка, LC-фильтр требует меньшее количество элементов, чем предыдущая схема. Кроме того, небольшая последовательная индуктивность вызывает минимальное падение напряжения между входной линией питания и преобразователем.

Частота пульсаций равняется частоте накачки ( $F_{CLOCK}/2$ ). Фильтры второго порядка имеют спад 40 дБ/декада, так что, в идеале, частота среза фильтра ( $F_{-3 \text{ дБ}}$ ) должна быть выбрана равной минимум одной десятой частоты накачки.

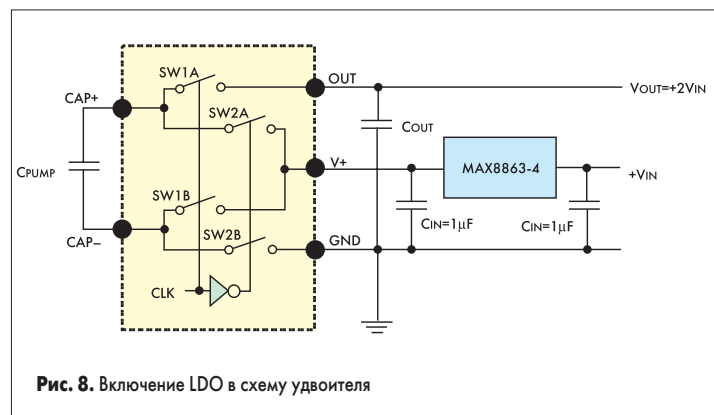
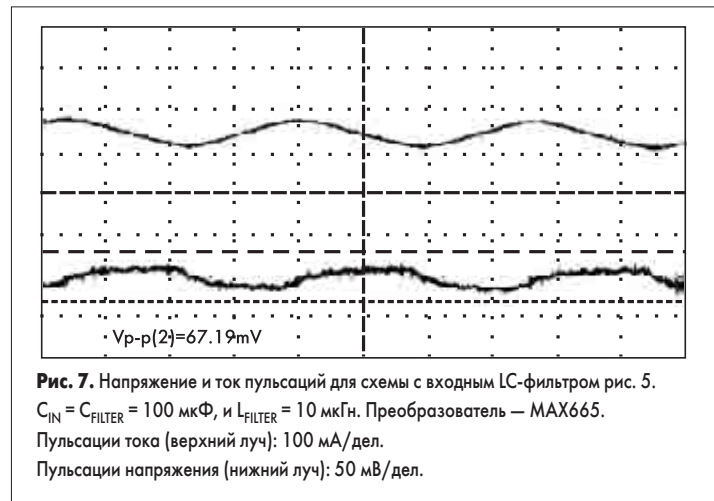
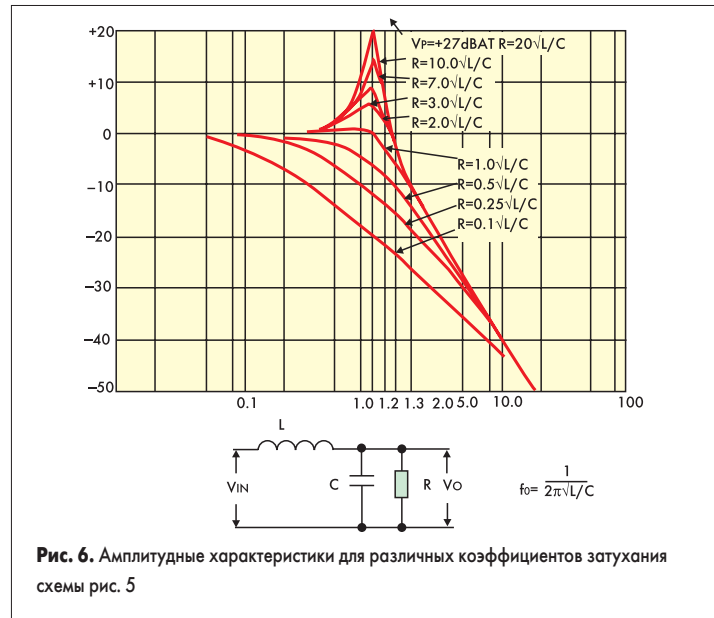
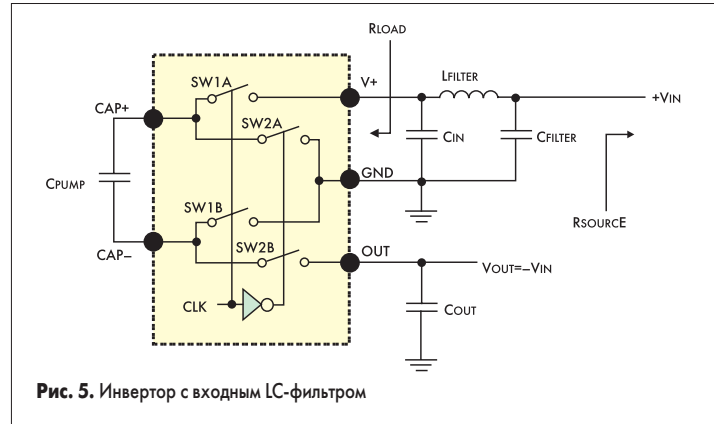
$$F_{-3 \text{ дБ}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{FILTER}C_{FILTER}}}, \text{ где } C_{FILTER} = C_{IN}.$$

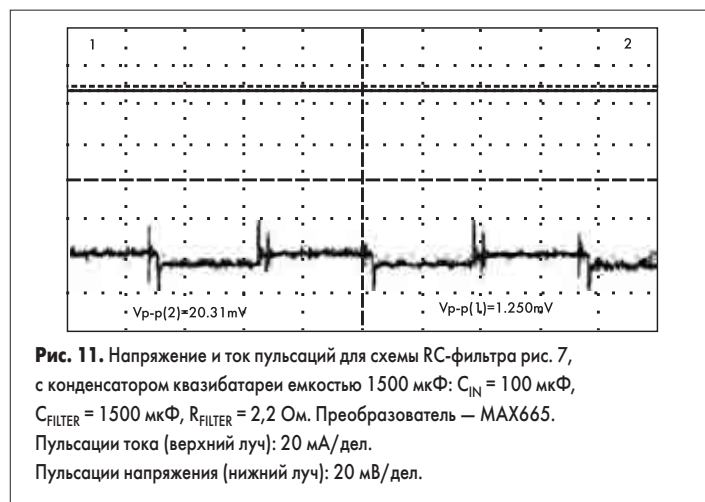
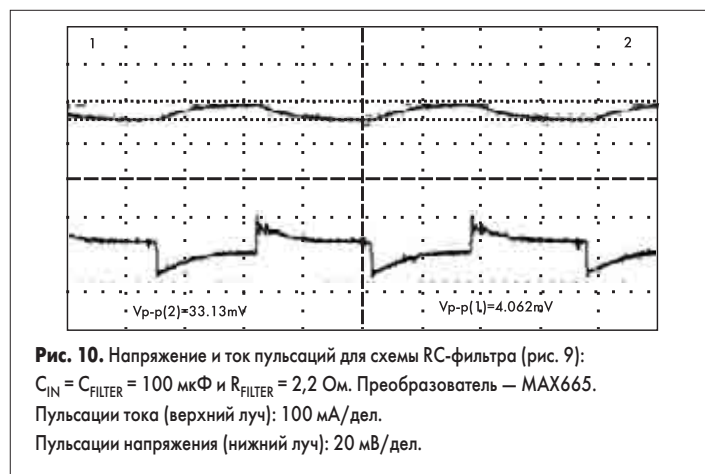
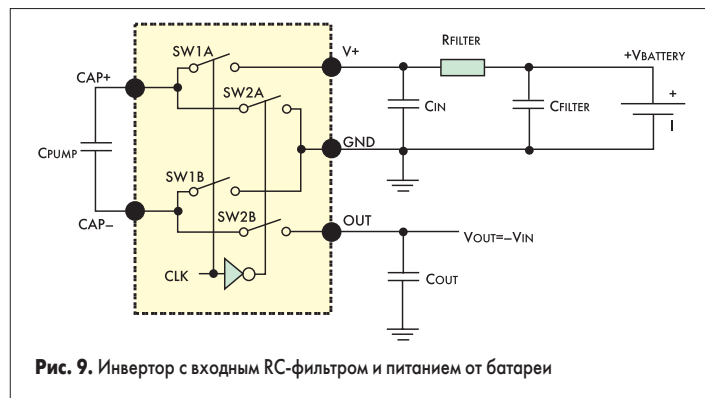
Катушка индуктивности должна иметь рабочий ток больший, чем  $1,5I_{OUT}$ .

Фильтр должен иметь критическое затухание или близкое к нему, обеспечивая тем самым низкие значения сопротивлений  $R_{SOURCE}$  и  $R_{LOAD}$ . Для обеспечения критического затухания, то есть работы фильтра без выбросов на частоте среза, необходимо выполнить условие

$$R_{SOURCE} = \sqrt{\frac{L_{FILTER}}{C_{FILTER}}}$$

Критическое затухание не является особо необходимым для работы схемы, так как качество фильтрации остается приемлемым даже при некоторых выбросах на частоте среза. Так, например, фильтр, составленный из конденсатора 10 мкФ и индуктивности 10 мкГн, обеспечивает спад -3 дБ на частоте 15,9 кГц и  $R_{SOURCE} 1 \text{ Ом}$ . На рис. 6 приведены амплитудные характеристики схемы рис. 5 при различных коэффи-





циентах затухания, а на рис. 7 показано, что в случае применения входного LC-фильтра удастся получить более низкие уровни пульсаций, чем в схеме рис. 3.

3. Включение линейного регулятора LDO перед входом питания преобразователя (рис. 8) приводит к схеме, эффективно подавляющей пульсации в остальной части системы. LDO работает с меньшими номиналами конденсаторов, чем эквивалентный по эффективности пассивный LC-фильтр: например, МАХ8860 LDO на 300 мА (корпус — 8-выводной  $\mu\text{MAX}$ ) требует включения на входе и выходе конденсаторов 2,2 мкФ; а семейство МАХ8863-4 линейных регуляторов на 120 мА (корпус — SOT23) требует включения на входе и выходе только керамических конденсаторов 1 мкФ. Однако LDO должен иметь рабочий ток, не менее чем вдвое превышающий выходной ток преобразователя с накачкой заряда.

4. Включение RC-цепочки к входу питания (рис. 9). Эта схема представляет собой однополюсную версию схемы с LC-фильтром. Вообще говоря, применение RC-фильтра на входе не рекомендуется, так как для обеспечения минимума потерь необходимо использовать малоомные  $R_{FILTER}$  (<5 Ом) и очень большие  $C_{FILTER}$ . На рис. 10 показан эффект от применения добавочного RC-фильтра на входе схемы рис. 9.

Если питание осуществляется от батареи, то ее эффективная объемная емкость может служить дополнительным  $C_{FILTER}$ . Поскольку объемная емкость имеет очень большую величину, то результирующий фильтр получается очень эффективным. Например, пусть емкость литиевой батареи — 800 мА·час. Тогда:

$$Q = C \cdot V \text{ и } I T = C V,$$

где  $I = 800 \text{ мА}$ ,  $T = 3600 \text{ сек}$  (1 час), и  $V = 3,4 \text{ В}$

Отсюда,  $C = 847 \text{ Ф}$  и  $f_{FILTER} = 0,12 \text{ МГц}$ . Сумма ESR и сопротивления контакта батареи (~100 мОм) ограничивает ослабление помех максимальным значением 21 дБ, считая, что сопротивление источника пульсаций ( $R_{FILTER}$ ) равняется 1 Ом. Реальная батарея более сложна — с центральной объемной емкостью, изменяемой ESR, ESL и паразитной емкостью. На практике нужно добавить блокировочную емкость как можно ближе к  $R_{FILTER}$ , тем самым обеспечивая высокочастотную развязку и низкое значение ESR (<50 мОм) на батарею на частотах выше 250 кГц. Типичное значение блокировочной емкости — 470 нФ. В схеме рис. 10,  $C_{FILTER}$  увеличена до 1500 мкФ, при этом снижение напряжения и тока пульсаций на входе показано на рис. 11.

## Заключение

Из вышесказанного видно, что существует несколько способов уменьшения уровня пульсаций на входе питания. Включение LC-фильтра в дополнение к входному конденсатору, рекомендованному в спецификациях, обеспечивает превосходную защиту от пульсаций напряжения остальной части системы (рис. 10) с минимальным эффектом влияния на коэффициент полезного действия системы электропитания. Эффективная альтернатива для систем батарейного питания — простое включение добавочного резистора, который занимает минимальное место на печатной плате. Резистор также применим в обычных, небатарейных системах, которым требуются большие значения времени хранения информации в памяти при отключении питания.