

Демпфер без потерь

Размыкание силового ключа в обратноходовом импульсном преобразователе приводит к выбросам напряжения из-за наличия паразитных элементов в схеме, в первую очередь — индуктивности рассеяния. На рис. 1 показан такой выброс на стоке ключа VT1 относительно его истока (красным цветом в круге), что имеет место в том случае, если не принимаются меры для его подавления. Амплитуда выброса составляет 600–800 В, основная энергия выброса поступает в момент размыкания ключа из индуктивности рассеяния — L_r . Частота колебаний в выбросе определяется совокупностью паразитных элементов схемы. Для подавления таких выбросов применяются различные демпферы активного и пассивного типа. Одним из самых распространенных пассивных демпферов является RCD (рис. 1).

При наличии такого демпфера энергия, накопленная в паразитных реактивных элементах, в основном в индуктивности рассеяния L_r , расходуется на заряд конденсатора C (синяя стрелка на рис. 1), который затем разряжается через резистор R (красная стрелка). В некоторых схемах вместо конденсатора и резистора используется супрессор. В демпферах подобного типа энергия, накопленная в индуктивности

рассеяния, бесполезно расходуется на нагрев резистора (супрессора), что снижает общий КПД импульсного преобразователя. В обратноходовом преобразователе индуктивность рассеяния можно снизить за счет конструкции двухобмоточного дросселя (обратноходового трансформатора), при этом потери в демпфере составляют 3–10% от общей мощности, которыми часто пренебрегают, особенно в бюджетных решениях.

В прямоходовых преобразователях перевод энергии выбросов на ключе в тепло (по аналогии с обратноходовыми) неприемлем, так как потребуются перевести в тепло не только энергию, накопленную в паразитных реактивных элементах, но и энергию намагниченности сердечника трансформатора. Дело в том, что в прямоходовых преобразователях в конце прямого хода после размыкания ключа сердечник трансформатора оказывается намагниченным, и его необходимо размагнитить до следующего цикла прямого хода. В принципе, размагничивание сердечника можно выполнить RCD-демпером, но при этом возникнут очень большие потери, до 50% от общей мощности, поэтому для прямо-

ходовых преобразователей RCD-демпер практически не применяют.

Для подавления высоковольтного выброса и размагничивания сердечника трансформатора для прямоходовых преобразователей существуют несколько решений: например, применение активного демпфера — схема «косой мост» и т. п. Активные демпферы эффективны, но их применение приводит к усложнению и удорожанию преобразователя ввиду наличия второго ключа и его схемы управления. Другим эффективным решением является применение специального прямоходового трансформатора, содержащего дополнительную, размагничивающую (демпфирующую) обмотку, что также повышает его стоимость. Принципы действия как активного демпфера, так и демпфирования при помощи дополнительной обмотки сводятся к возврату энергии, запасенной в паразитных реактивных элементах и сердечнике трансформатора, в первичные цепи питания.

Специалистами компании «Good Luck», г. Тула, разработан демпфер без потерь мощности для прямоходовых и обратноходовых преобразователей, принцип действия которого

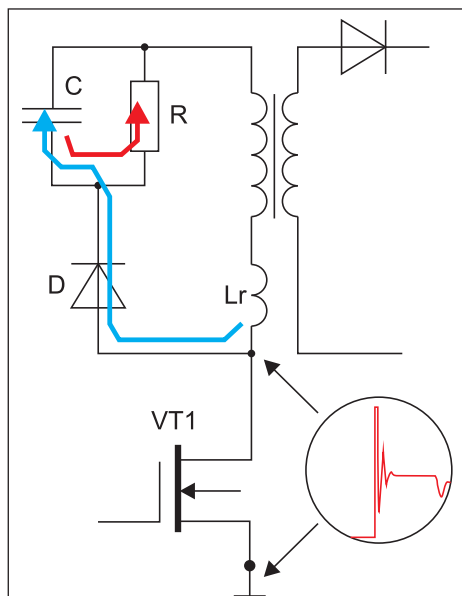


Рис. 1. RCD-демпер

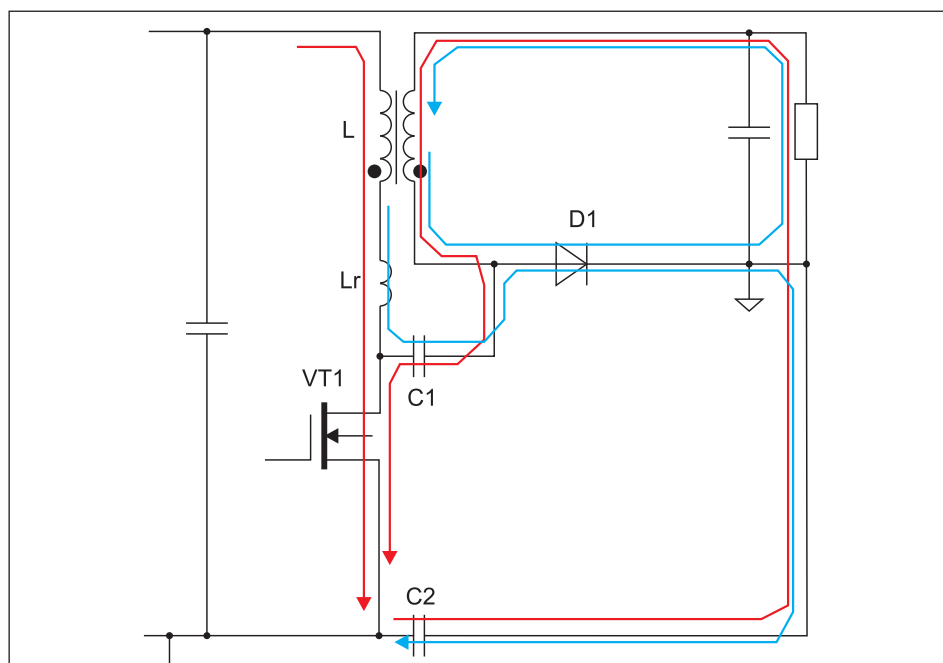


Рис. 2. Принцип действия демпфера в обратноходовом преобразователе

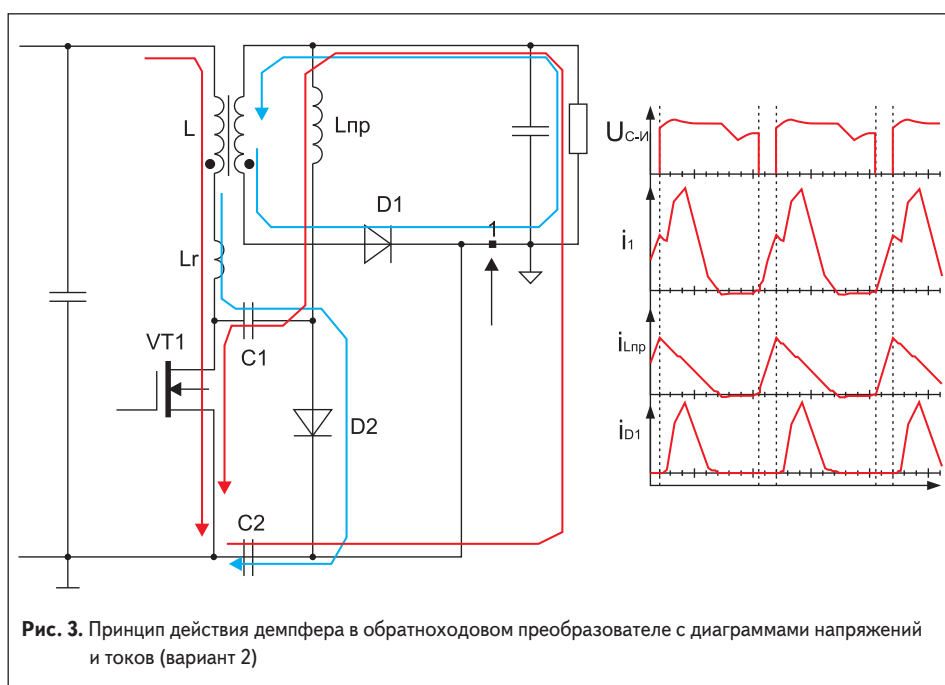


Рис. 3. Принцип действия демфера в обратноходовом преобразователе с диаграммами напряжений и токов (вариант 2)

основан на переносе энергии, накопленной в сердечнике и паразитных элементах, в выходные цепи. Концепция демфера заложена в разработанном и применяемом компанией способе бестрансформаторной гальванической развязки [1, 2].

Принцип работы демфера с обратноходовым преобразователем поясняется схемой, приведенной на рис. 2. В прямом ходе, при замыкании ключа VT1, в двухобмоточном дросселе L происходит накопление энергии за счет тока в первичной обмотке. При размыкании ключа VT1 энергия, накопленная в индуктивности рассеяния и других паразитных реактивных элементах, а также часть энергии, накопленной в дросселе L, расходуется на заряд конденсаторов C1 и C2 через диод D1

(токи обратного хода показаны синим цветом). Оставшаяся энергия, накопленная в дросселе L, из его вторичной обмотки через диод D1 поступает в нагрузку. В следующем прямом ходе, после замыкания ключа VT1, кроме накопления энергии в двухобмоточном дросселе L, происходит сброс энергии из конденсаторов C1 и C2 в нагрузку (токи прямого хода показаны красным цветом). В качестве конденсаторов C1 и C2 применяются полипропиленовые Y-конденсаторы, устанавливаемые практически во всех импульсных источниках для замыкания по высокой частоте «холодной» и «горячей» «земли».

Несмотря на простоту, схема (рис. 2) имеет существенный недостаток: цепь разряда конденсаторов C1 и C2 включает вторичную

обмотку двухобмоточного дросселя L, что может вызвать насыщение его сердечника, так как одновременно с разрядом конденсаторов происходит накопление энергии в сердечнике через первичную обмотку. Кроме того, ток через конденсаторы C1 и C2 зависит от индуктивности двухобмоточного дросселя L и потому практически не поддается регулировке.

В другом варианте для отведения от дросселя L тока разряда конденсаторов в схему дополнительно введен дроссель прямого хода $L_{пр}$ (рис. 3) и диод D2.

Во время обратного хода конденсаторы C1 и C2 заряжаются через диод D2 энергией паразитных реактивных элементов, в том числе от индуктивности рассеяния, и (частично) энергией, накопленной в дросселе L. Во время прямого хода конденсаторы C1 и C2 разряжаются через дроссель $L_{пр}$ и нагрузку током прямого хода. Поскольку ток в нагрузку поступает как в обратном, так и в прямом ходе, добавление демфера в схему обратноходового преобразователя превращает его в прямо-обратноходовой. Ток прямого хода регулируется величиной индуктивности дросселя прямого хода $L_{пр}$ и может быть меньше или больше тока обратного хода. Токи в дросселе прямого хода $L_{пр}$, диоде D1 и точке 1 синхронно с напряжением на транзисторе VT1 показаны на рис. 3.

Принцип работы демфера для прямоходового преобразователя поясняется рис. 4. При размыкании ключа VT1 энергия, накопленная в индуктивности рассеяния и других паразитных реактивных элементах, а кроме того, энергия, запасенная в сердечнике, расходуется на заряд конденсаторов C1, C2 и C3 через диод D2 (токи обратного хода показаны синим цветом). В прямом ходе, после замыкания ключа VT1, происходит сброс энергии из конденсаторов C1 и C2 в индуктивность L1 (токи прямого хода показаны красным цветом).

Второй вариант демфера для прямоходового преобразователя поясняет рис. 5.

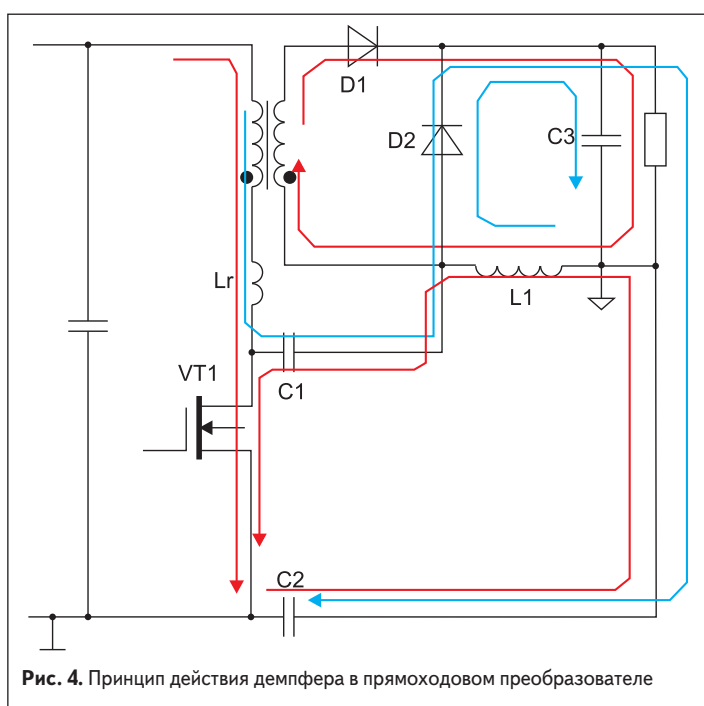


Рис. 4. Принцип действия демфера в прямоходовом преобразователе

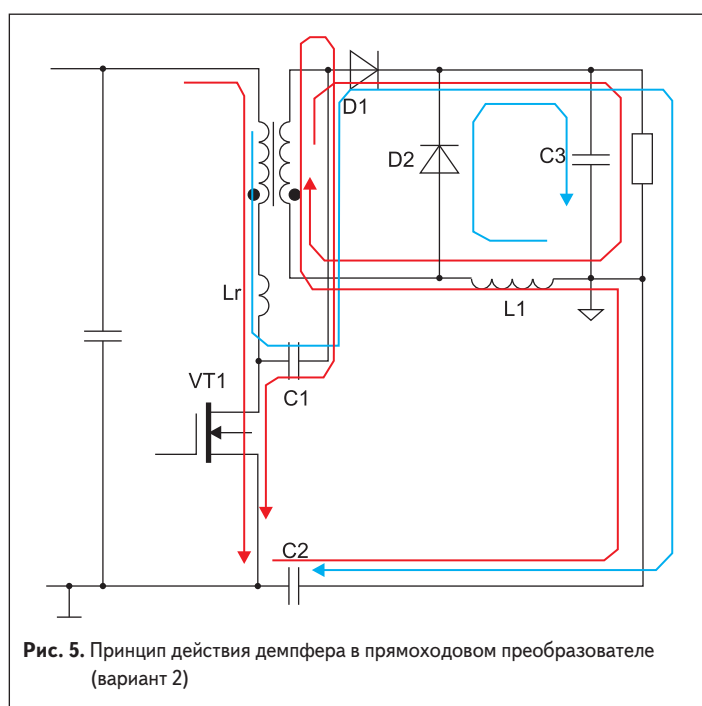


Рис. 5. Принцип действия демфера в прямоходовом преобразователе (вариант 2)

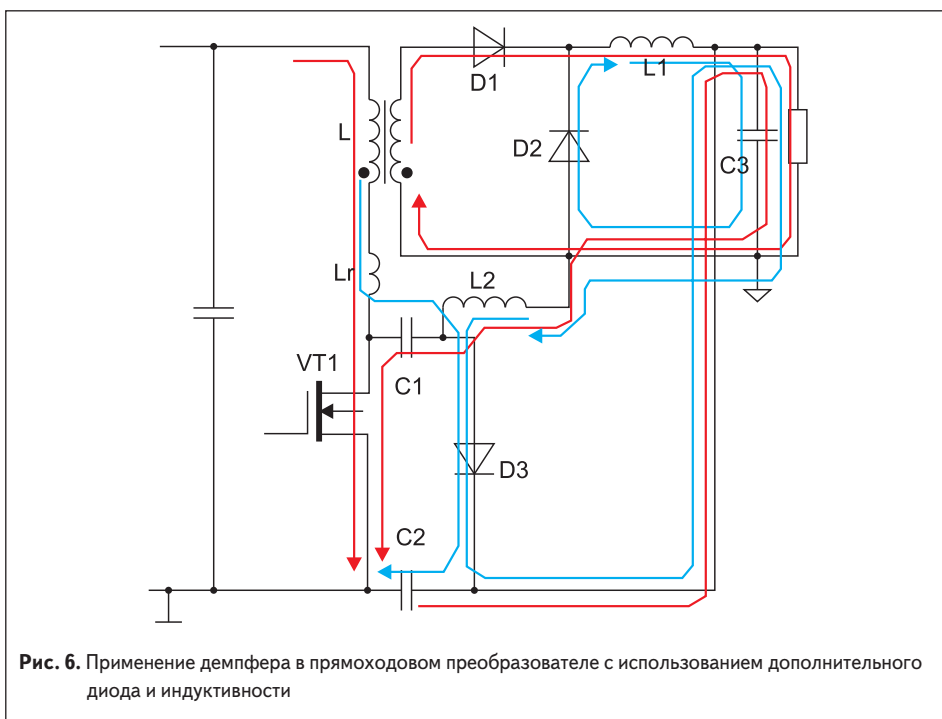


Рис. 6. Применение демпфера в прямоходовом преобразователе с использованием дополнительного диода и индуктивности

Рис. 6 иллюстрирует применение демпфера в прямоходовом преобразователе с использованием дополнительного диода D3 и индуктивности L2. Такой вариант применения демпфера позволяет разгрузить силовую индуктивность L1.

Во всех примерах (рис. 2–6) конденсатор C2 соединяет «холодную» и «горячую» «земли» по высокой частоте, снижая уровень помех и потери на излучение в выходной цепи. Во всех схемах конденсаторы C1 и C2 — безопасные по-

липропиленовые Y-конденсаторы, специально разработанные для применения в тех случаях, когда пробой конденсатора может привести к поражению электрическим током. Максимальная величина емкости конденсаторов C1 и C2 определяется максимально возможным током утечки в каждом случае, так как через них выходная цепь практически подключена к напряжению сети. Согласно ГОСТ Р МЭК 335-1-94 для приборов класса 0, 01 и 3 ток утечки не должен превышать 0,5 мА; таким образом, суммарная величина

емкости конденсаторов C1 и C2 не должна превышать 7 или 3,5 нФ каждого. Для приборов класса 1 ток утечки не должен превышать 3,5 мА, и, соответственно, величина каждого конденсатора не должна превышать 25 нФ. Ограничение емкости конденсаторов вносит ограничения в применение предлагаемого демпфера по мощности. Максимальная мощность (Вт), которую можно «перекачать» через конденсаторы C1 и C2, на конкретной частоте определяется их емкостью и вычисляется по формуле:

$$P = CU^2/2 \times F,$$

где F — частота, U — напряжение, C — емкость.

Таким образом, на частоте 100 кГц через конденсаторы емкостью 3,5 нФ «перекачивается» мощность до 11 Вт, а при емкости 25 нФ — до 80 Вт. В данном случае речь идет не об общей мощности преобразователей, а о мощности, которую можно «перекачать» из одной части схемы в другую.

Применение предложенного принципа демпфирования позволяет повысить эффективность прямоходовых и обратноходовых преобразователей, уменьшить их габариты и стоимость. ●

Литература

1. Тарасов Д. Г., Титков С. И. Источник питания с индуктивно-емкостной гальванической развязкой // Современная светотехника. 2012. № 5.
2. Тарасов Д. Г., Титков С. И. Источник питания светодиодного светильника // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 4.