

## ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМОВ, ПУЛЬСАЦИЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ \*

**В** статье приведены рекомендации по разработке электрических схем и выбору электронных компонентов внешних фильтров (шумов, пульсаций и электромагнитных помех), устанавливаемых на входе и выходе DC/DC-преобразователей компании *Recom*.

### DC/DC CONVERTER FILTERING

**Abstract** – Externally DC/DC Converter filtering of ripple, noise and radiated emission to fit individual requirements of customers described in the article.

**С. Робертс**

**S. Roberts**

Компания *Recom*, широко известная как производитель AC/DC- и DC/DC-преобразователей малой мощности, презентовала технические решения по разработке внешних фильтров (шумов, пульсаций и электромагнитных помех), устанавливаемых на входе и выходе DC/DC-преобразователей.

Попробуем выяснить, каковы источники пульсаций и шумов на входе и выходе DC/DC-преобразователей. В состав импульсных DC/DC-преобразователей компании *Recom* входит генератор, вырабатывающий сигнал частотой более 100 кГц, в основном определяющий уровень напряжения пульсаций на входе и выходе. При этом в преобразователях генерируются также высокочастотные сигналы электромагнитных помех в диапазоне 1-100 МГц. DC/DC-преобразователи также могут иметь повышенные пусковые токи и кратковременные высоковольтные всплески напряжения при переходных процессах. Кроме того, если несколько преобразователей используются в одном блоке питания, например, в архитектуре распределенного питания DPA, они могут создавать взаимные помехи.

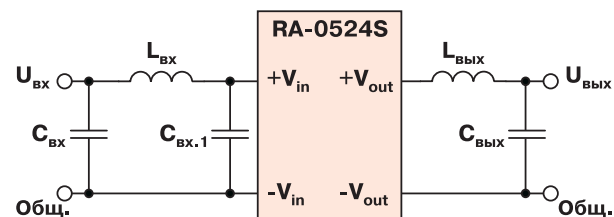
При разработке внешних фильтров для DC/DC-преобразователей может возникнуть вопрос, почему они отсутствуют в их составе. Отвечая на этот вопрос, следует исходить из экономической целесообразности и технической необходимости создания преобразователей со встроенными фильтрами, учитывая при этом повышение не только стоимости преобразователей, но и их габаритов.

Большинство потребителей не нуждаются в высокоэффективных фильтрах и не желают платить за то, в чем не испытывают необходимости. Кроме того, требования различных заказчиков к фильтрации помех и излучений могут быть столь различными, что их нужно учитывать индивидуально.

**Остановимся на цепях фильтрации пульсаций и шумов.** Пульсации являются следствием заряда выходных конденсаторов преобразователя в продолжение каждого цикла преобразования и их разряда

при подключении нагрузки. Частота пульсаций на выходе вдвое выше, чем частота преобразования. Напряжение пульсаций имеется как на выходе, так и на входе DC/DC-преобразователя, а уровень пульсаций определяется, в основном, током нагрузки и соответственно входным током, а также наводками с выхода на вход.

Уровни пульсаций на входе/выходе преобразователя могут быть снижены подключением конденсаторов большой емкости или LC-фильтров, как показано на рис. 1. Расчет частоты среза LC-фильтра может быть выполнен из соотношения  $f_c = 1/\sqrt{2\pi LC}$ .



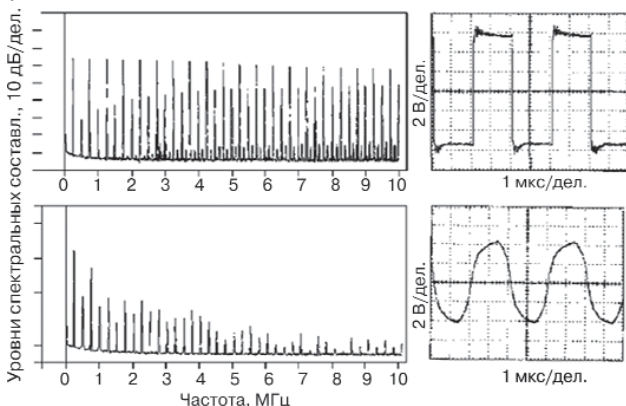
**Рис. 1. LC-фильтры напряжения пульсаций на входе и выходе DC/DC-преобразователя**

Конденсаторы фильтра должны иметь минимальное эквивалентное последовательное сопротивление ESR (не более 90 мОм). Кроме того, их следует располагать как можно ближе к выводам преобразователя для уменьшения сопротивления соединительных проводов.

Излучаемые шумы являются следствием импульсных помех, возникающих в каждом цикле преобразования. Составляющие шумового сигнала являются гармониками сигнала преобразования, спектр шумового сигнала определяется формой этого сигнала. При невысокой скорости переключения транзисторов преобразователя уровень шумов невелик, а при "быстрой" коммутации транзисторов уровень шумов растет из-за увеличения полосы частот и соответственно числа составляющих спектра шумового сиг-

\* Steve Roberts. DC/DC Converter Filtering. – *Recom Presentation, 2007.*  
Сокращенный перевод с английского Г. Местечкиной.

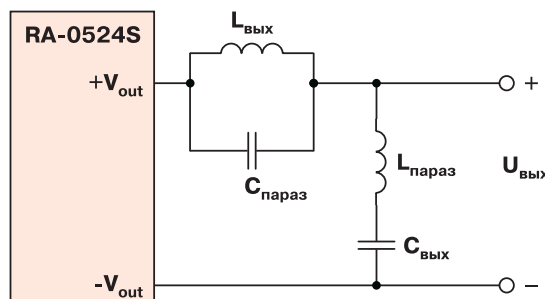
нала (рис. 2), но при этом повышается и КПД преобразователя.



**Рис. 2. Зависимость спектра шума от формы сигнала преобразования**

В связи с тем, что на выходе преобразователя появляются высокочастотные шумы, они могут наводиться на любой вывод преобразователя через паразитные емкости. Цепи фильтрации пульсаций при этом могут оказаться неэффективными, т.к. рассчитаны на подавление сравнительно низкочастотных составляющих, а паразитные емкости индуктивно-

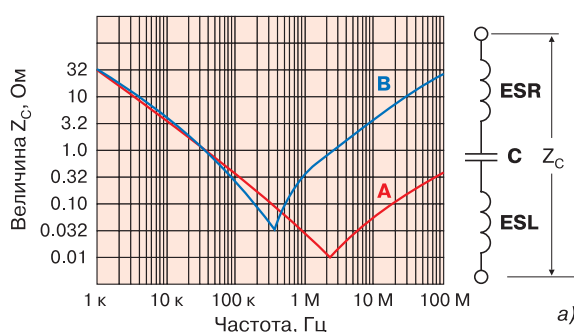
стей фильтров и паразитные индуктивности их конденсаторов имеют весьма существенные значения, в этом случае для шумовых составляющих эквивалентная схема фильтра приобретает вид, показанный на рис. 3.



**Рис. 3. Эквивалентная схема выходного фильтра с учетом паразитных емкости и индуктивности**

На рис. 4 показаны зависимости комплексного сопротивления С-фильтра от частоты (а) и АЧХ LC-фильтра (б) без учета и с учетом паразитных индуктивностей и паразитной емкости фильтра.

Если в разработанном устройстве обеспечивается хорошее заземление, то для повышения эффективности фильтрации шумов на входе и выходе

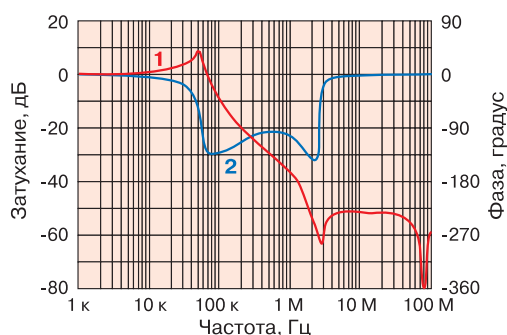


$$|Z_c| = \sqrt{(\omega L - 1/\omega C)^2 + R^2}$$

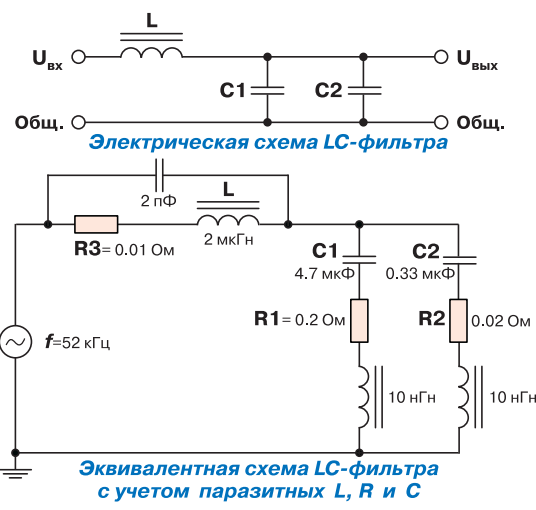
$$\omega = 2\pi f$$

**A: Только конденсатор:**  
C=4.7 мкФ, ESR=0.01 Ом, ESL=0.001 мкГн

**B: с учетом ESR и ESL проводов**  
C=4.7 мкФ, ESR=0.03 Ом, ESL=0.05 мкГн

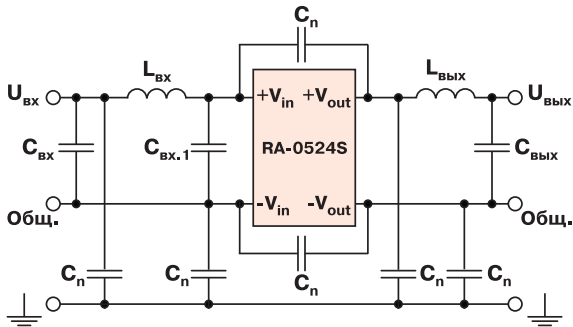


**1 – без учета паразитных L, R и C**  
**2 – с учетом паразитных L, R и C**



**Рис. 4. Зависимость эффективности подавления уровня шумов от частоты для С-фильтра (а) и LC-фильтра (б) без и с учетом паразитных индуктивностей и емкости**

DC/DC-преобразователя необходимо установить керамические конденсаторы  $C_n$  емкостью 1-2 нФ, как показано на рис. 5.



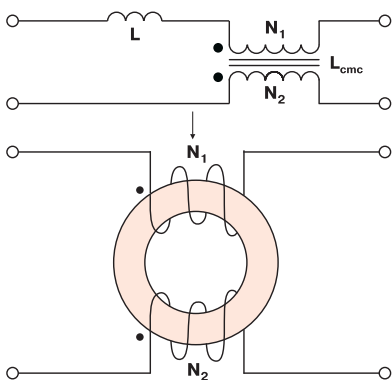
**Рис. 5. Электрическая схема подключения DC/DC-преобразователя с фильтрацией пульсаций и шумов на его входе и выходе**

**Фильтрация электромагнитных излучений (EMI).**

Уровень электромагнитных излучений DC/DC-преобразователя понижается в основном благодаря применению тороидальных сердечников в трансформаторе преобразователя, что обеспечивает замыкание магнитного поля внутри сердечника. Кроме того, металлический корпус преобразователя является экраном, препятствующим электромагнитному излучению, поэтому экранирование преобразователя с шести сторон очень важно для снижения уровня электромагнитных излучений.

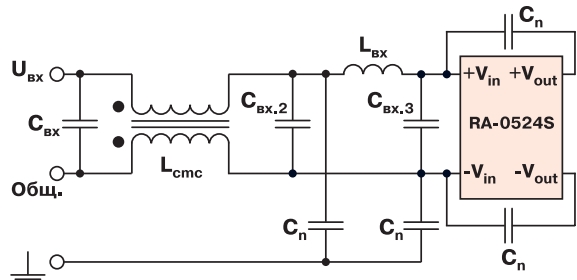
Фильтрация электромагнитных излучений сопряжена с трудностями, вызванными тем, что эти излучения наводятся на все выходы преобразователя.

Для решения этой проблемы используются дроссели на магнитном сердечнике (рис. 6), обеспечивающие подавление помех общего вида (Common Mode Choke – СМС). Магнитный поток поля обмотки  $N_1$  распространяется в направлении, противоположном



**Рис. 6. Схема подключения дросселя для фильтрации электромагнитных излучений в цепи питания**

потoku поля обмотки  $N_2$ . Если паразитные электромагнитные излучения наводятся одновременно на обе обмотки, они компенсируются и не попадают на вход преобразователя. Схема DC/DC-преобразователя с фильтрацией электромагнитных помех, шумов и пульсаций во входной цепи приведена на рис. 7. Такая схема подключения дросселя ( $L_{смс}$ ) обеспечивает снижение уровня высокочастотных помех общего вида, LC-фильтр ( $C_{вх,2}+L_{вх,1}$ ) подавляет сравнительно низкочастотные пульсации по цепи питания, конденсатор  $C_{вх,3}$  улучшает динамические характеристики преобразователя, а конденсаторы  $C_n$  обеспечивают закорачивание на "землю" импульсных шумов.

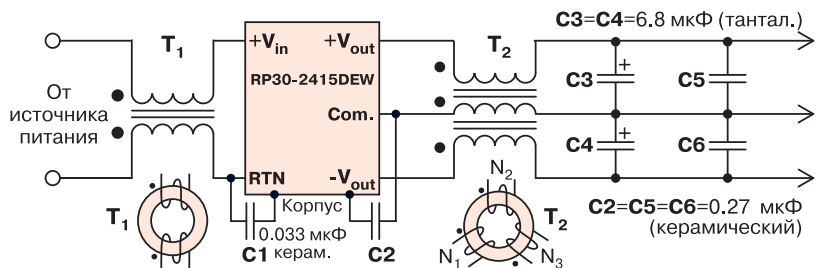


**Рис. 7. Схема подключения DC/DC-преобразователя с фильтрацией электромагнитных помех, шумов и пульсаций во входной цепи**

Для преобразователей с двумя выходами используется дроссель с тремя обмотками, подключаемый, как показано на рис. 8. Эффективность фильтрации электромагнитных помех хорошо иллюстрируется результатами экспериментов, проведенных на четырех образцах DC/DC-преобразователей (см. таблицу).

**Результаты проверки эффективности фильтров EMI-помех**

Образцы преобразователей	Уровень выходных шумов/пульсаций (п-п), мВ	
	без EMI-фильтра	с EMI-фильтром
№ 1	32.6	3.1
№ 2	75.8	3.4
№ 3	51.7	4.0
№ 4	60.0	2.5



**Рис. 8. Схема подключения DC/DC-преобразователя с двумя выходами с фильтрацией электромагнитных помех во входной и выходной цепях**

**Фильтрация пусковых токов.** При подаче напряжения на вход преобразователя происходит заряд конденсаторов, входящих в его состав. Кроме того, в первые циклы работы скважность импульсов на выходе ШИМ-преобразователя велика и в это же время происходит намагничивание сердечника трансформатора преобразователя. Все это приводит к тому, что величина входного тока в переходном периоде во много раз превышает номинальное значение. Так, для REC5-12xx величина пускового тока составляет 3 А при номинальном значении порядка 0.5 А, а для RP30-24xx – соответственно 12 и 1.3 А.

Уровень пускового тока также зависит от скорости нарастания напряжения на входе преобразователя. Например, при установлении номинального входного напряжения 28 В в течение 1 мкс величина пускового тока достигает 33 А, а длительность переходного процесса составляет 100 мкс. В то же время, при медленном увеличении входного напряжения ("мягком" пуске) в течение 100 мкс величина пускового тока не превышает 3 А, а длительность переходного процесса – 150 мкс. Для предотвращения отказов преобразователя при подаче входного напряжения следует учитывать, что:

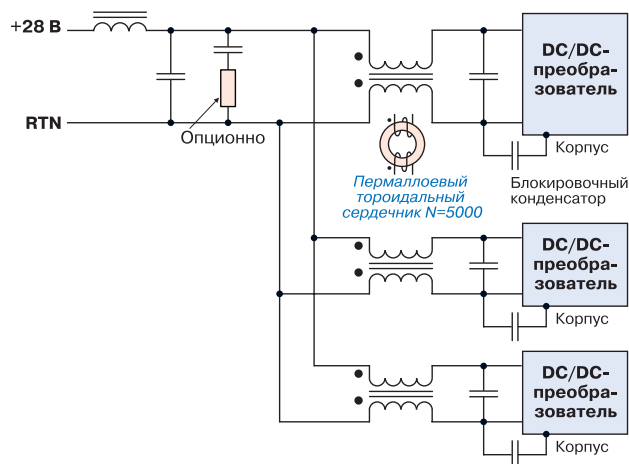
- при питании преобразователя от аккумулятора, имеющего низкое внутреннее сопротивление и обеспечивающего возможность работы с большими мгновенными значениями тока (для стандартного автомобильного аккумулятора до 200 А), возможен выход преобразователя из строя
- в большинстве источников питания такая проблема отсутствует, т.к. в них выходное напряжение повышается сравнительно медленно, но при использовании источников с большой выходной мощностью они могут возникнуть.

Выходом из этой ситуации может быть режим "мягкого" старта первичного источника питания или включение на входе преобразователя ограничителя величины пускового тока, как показано на рис. 7. В представленной схеме конденсаторы  $C_{вх}$  и  $C_{вх,2}$ , а также дроссель  $L_{смс}$  обеспечивают медленное нарастание напряжения на входе преобразователя, а конденсатор  $C_{вх,3}$  – уменьшение длительности переходного процесса установления входного напряжения. Дроссель EMI-фильтра ( $L_{смс}$ ) ограничивает величину входного тока и предотвращает возможность насыщения сердечника преобразователя.

Некоторые цепи фильтров могут быть использованы также для защиты от скачков напряжения на входе преобразователя при переходных процессах, возникающих при его включении и выключении. Кроме того, для защиты от неправильного подключения поляр-

ности входного напряжения параллельно входу преобразователя устанавливается защитный диод.

**Цепи фильтрации EMI-помех при параллельном подключении нескольких преобразователей.** Если из двух или более преобразователей одного типа создается источник питания устройства, то на выходе каждого из них могут появиться пульсации, вызванные биениями частот преобразования, частота которых равна их разности. Так как входной фильтр разрабатывается для высокочастотных сигналов, низкочастотные сигналы биения частот преобразования могут проникать во входные цепи и вызывать проблемы. Решением таких проблем может быть размещение фильтра на входе каждого преобразователя, как показано на рис. 9.



**Рис. 9. Электрическая схема подключения входных EMI-фильтров при параллельном включении входов DC/DC-преобразователей**

## ВЫВОДЫ

- Разработка электрических схем входных и выходных фильтров для DC/DC-преобразователей, а также выбор электронных компонентов для их создания очень важны для решения многих проблем электропитания, при этом создание универсального фильтра невозможно.
- Если источник питания должен быть размещен на ограниченной площади и не имеет встроенного фильтра помех, возникает необходимость решения ряда проблем фильтрации.
- При принятии верных решений результаты фильтрации помех на входе и выходе DC/DC-преобразователя будут удовлетворять заданным требованиям.

Дополнительную информацию о продукции компании *Recom* можно получить в сети Интернет по адресу: [www.recom-international.com](http://www.recom-international.com) или в фирме *VD MAIS* – официальном дистрибьюторе *Recom* в Украине.