

Просьба не мешать!

Фильтрация помех DC/DC-преобразователей

Томас РЕХЛИН (Thomas RECHLIN)

Знакомая ситуация: едешь в машине с включенным радио и внезапно из динамиков раздается характерный оглушительный шум или треск. Автоматически взгляд падает на мобильный телефон, мгновением позже начинающий звонить. Казалось бы, лишь один из повседневных раздражающих факторов, о которых мы ни на секунду не задумываемся, хотя в действительности имеем дело с очень сложным явлением из мира электроники — электромагнитными помехами.

Однако это лишь одна из многих причин, почему при разработке и эксплуатации DC/DC-преобразователей фильтры играют существенную роль. Дополнительно к воздействиям внешних помех, таких как электромагнитные помехи, пики напряжения (переходные процессы в электрических цепях) от бросков тока при включении, преобразователи постоянного напряжения тоже становятся источником помех. Внутри преобразователя происходит модуляция входного постоянного напряжения частотами в несколько сотен килогерц, что приводит к возникновению пульсаций и шума.

Но возникает вопрос: если разработчики в курсе данной проблемы, то почему в модульные преобразователи изначально не интегрированы соответствующие фильтры?

В конечном счете, все чаще используются решения, основанные на принципе «включай и работай» (Plug-and-Play).

Ответ настолько прост, насколько и очевиден: дополнительные компоненты повышают цену, а ведь не в каждом приложении предъявляются одинаковые требования к помехоустойчивости. Зачем же покупать «мерседес», если можно вполне обойтись надежным и доступным «опелем»?

Кроме того, в эпоху миниатюризации место на печатной плате играет все более важную роль. DC/DC-преобразователи без дорогостоящих внутренних схем фильтрации можно реализовать в корпусе значительно меньших размеров. Хотя в большинстве модульных DC/DC-преобразователей, как правило, имеется интегрированный простой фильтр, все же существует достаточно много

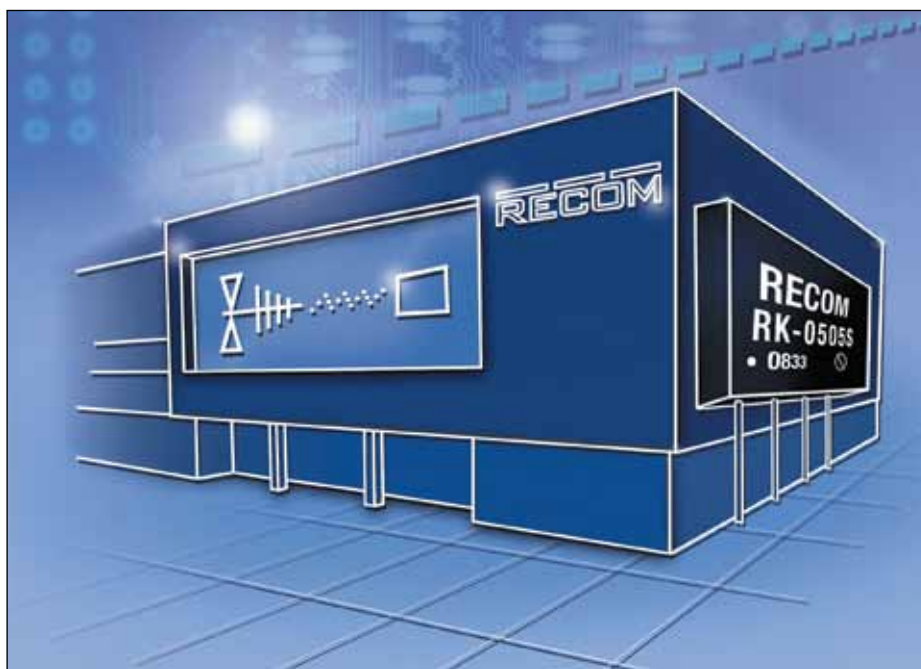
приложений, которым подобного стандартного фильтра недостаточно. В таких случаях лучшим решением становится индивидуальный блок внешней защиты.

Электромагнитные помехи — книга за семью печатями?

Но вернемся к вышеупомянутым электромагнитным помехам. Что вообще подразумевается под термином «электромагнитная совместимость» (ЭМС)? Данное понятие предполагает совместимость электронных приборов друг с другом в смысле влияния непреднамеренных электрических или электромагнитных эффектов. Поскольку любой электронный прибор, с одной стороны, сам генерирует помехи, говорят об излучении помех. А с другой — он подвержен отрицательному внешнему воздействию. Чувствительность в этом отношении называется помехоустойчивостью.

Хотя электромагнитные помехи в принципе воздействуют в двух направлениях, для DC/DC-преобразователей имеют значение только выходные помехи — ведь интегрированные DC/DC-преобразователи обычно невосприимчивы к воздействию внешних помех.

Для того чтобы предпринять подходящие меры фильтрации излучаемых помех, необходимо их разделить на две категории: кондуктивные (conducted) и излучаемые (radiated). Первые переносятся непосредственно от источника помех через подводящие и отводящие провода. Они жестко связаны с проводниками, поэтому и обозначаются как кондуктивные. Здесь в большинстве случаев помехи устраняются традиционными LC- или CLC-схемами фильтрации (называемыми также Pi-фильтрами) на входе. В них применяются уравновешенные по току дроссели, или дроссели синфазных



Советы и приемы по фильтрации электромагнитных помех

• Меры фильтрации в диапазоне низких частот

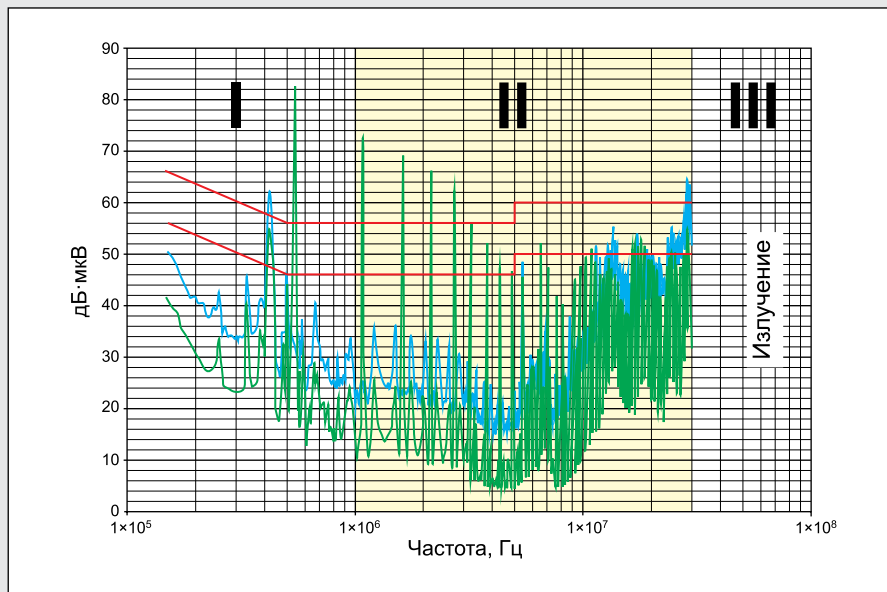
Здесь имеются в виду кондуктивные ЭМП в рабочей полосе частот приблизительно до 1 МГц (раздел I). С этими помехами лучше всего бороться с помощью индуктивно-емкостных фильтров (LC-фильтров) или синфазных дросселей (СМС). Также успешно применяются конденсаторные сглаживающие фильтры в непосредственной близости от выводов.

• Меры фильтрации в области средних частот

В диапазоне частот примерно от 1 МГц до 30 МГц (раздел II) также находятся кондуктивные помехи. Здесь помогают высокочастотные LC-фильтры, а также помехоподавляющие конденсаторы типа Y. В данном случае необходимо закоротить все помехи (например, емкостями размером в несколько нФ на каждом выводе).

• Меры фильтрации в диапазоне высоких частот

Начиная приблизительно с 30 МГц (раздел III) приходится бороться исключительно с излучаемыми помехами, справиться с которыми непросто, поскольку многое зависит от продуманной конструкции печатных плат с соответствующими заземляющими слоями. Если проблему не удастся решить таким способом, необходимо использовать дополнительный экран (например, шестистороннее экранирование, six-side shielding). Дополнительную помощь может оказать применение скрученных многожильных проводов (Twisted Wires).



помех (Common Mode Chokes, СМС). В идеальном случае они сводят к нулю помехи своими направленными в одну и ту же или в противоположную сторону полями. Для успешного применения данного метода очень важно точно знать направление паразитных токов, чтобы выбрать правильный (синфазный или противофазный) дроссель фильтра.

Излучаемые помехи в отличие от кондуктивных переносятся электромагнитными полями. Хотя они часто испускаются проводниками, действующими в качестве антенны, с проводниками они не связаны и поэтому свободно распространяются. Лучший метод борьбы с ними — использовать большие заземляющие поверхности или экранированный корпус.

Объем мер фильтрации для DC/DC-преобразователей определяется нормами EN 55 022 или EN 55 015/FCC, часть 15. Требования какого класса (class A или class B) необходимо выполнить — зависит от приложения и конкретных условий эксплуатации. Если же условия эксплуатации охватывают

широкий диапазон, то в любом случае нужно стремиться к классу B.

В заключение нужно сказать, что рецепта «идеального» фильтра электромагнитных помех на все случаи жизни, к сожалению, не существует. Здесь единственным путем к успеху является накопленный опыт, а часто и большое количество экспериментов. Во врезке вы найдете несколько советов и приемов, как простыми средствами можно устранить проблемы, связанные с ЭМС.

Пульсации и шум

Следующий важный аспект применения фильтров в DC/DC-преобразователях постоянного напряжения — пульсации и шум (Ripple & Noise). Данный термин на самом деле подразумевает два разных явления. Пульсации возникают из-за периодической зарядки и разрядки выходных емкостей преобразователя. Поэтому при традиционной конструкции с однополупериодным выпрямлением они точно соответствуют частоте переключений преобразователя.

При несколько более сложных топологиях с двухполупериодным выпрямлением пульсации имеют двойную частоту. Когда говорят о пульсации, обычно имеют в виду пульсацию на выходе, которая проявляется как наложение выходного напряжения. Однако существует еще один вид шума: наложение в большинстве случаев пилообразного входного тока. Он называется отраженным током пульсаций (Reflected Ripple Current) и, в частности, при включении в общую систему нескольких преобразователей является величиной, которой нельзя пренебречь.

В то же время шум имеет намного более сложную форму волны, состоящую из высших гармоник. Он возникает из-за бросков напряжения во время каждого цикла переключения ключей. И чем жестче/быстрее происходит переключение транзисторов, тем сильнее возникающий шум. Вот почему при разработке DC/DC-преобразователя постоянного напряжения необходимо найти оптимальное соотношение между приемлемым уровнем шума и максимальным КПД.

На рис. 1 показан типичный сигнал при наличии пульсаций и шума (Ripple & Noise). Причем почти синусоидальный сигнал — это пульсации, а пики напряжения помех, которые наложены на кривую, — шум.

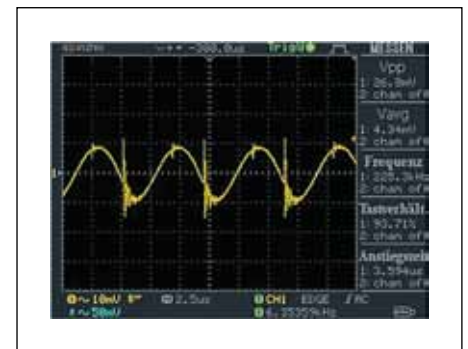


Рис. 1. Сигнал Ripple&Noise типичного преобразователя постоянного напряжения

Но перед тем как применить фильтрацию для снижения уровня пульсаций и шума (Ripple&Noise), уже при измерениях нужно обратить внимание на некоторые факторы. Чтобы исключить нежелательные внешние воздействия помех, важно проводить измерения как можно ближе к преобразователю и присоединить «земляной» контакт щупа непосредственно к корпусу преобразователя (рис. 2). В противном случае из-за возможных проводных соединений могут возникнуть помехи, которые существенно искажают результат измерения. Дополнительно рекомендуется активировать ограничение ширины полосы частот осциллографа на уровне 20 МГц. За счет этого гасятся высокочастотные внешние помехи. Наконец, следует проверить, предписывается ли для измерения в таблице параметров изготови-

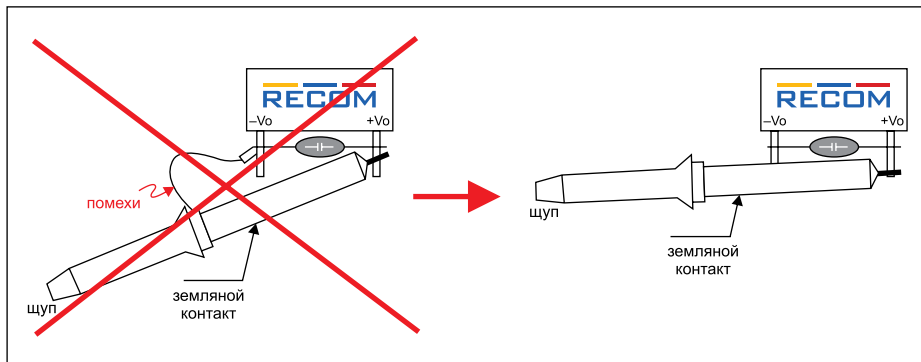


Рис. 2. Правильное измерение Ripple & Noise

теля, например, выходная емкость (типичное значение 0,1 мкФ).

Ripple & Noise всегда измеряется как величина полного размаха напряжения. Для ослабления лучше всего подходят LC-фильтры на выходе. Здесь особое внимание нужно обратить на конденсаторы. Они по возможности должны иметь как можно меньшее значение эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) и размещаться как можно ближе к выводам преобразователя. Расчет фильтра проводится по двум представленным здесь формулам, причем частота фильтра f_c должна выбираться как десятая часть рабочей частоты преобразователя f_o :

$$f_c = \frac{1}{\sqrt{2\pi LC}}; \quad (1)$$

$$f_c = f_o/10. \quad (2)$$

В каких еще случаях можно использовать фильтрацию?

Наряду с подробно рассмотренными ранее основными причинами применения фильтрации электромагнитных помех, пульсаций и шумов (Ripple & Noise) имеется еще множество других воздействий, при которых необходимо использовать схемы защиты или фильтр. Ниже вкратце рассмотрим два таких случая.

Ограничение тока включения

Слишком высокий ток включения (бросок пускового тока, Inrush Current) может повредить преобразователям. Повышенный ток включения вызывается несколькими процессами, происходящими в преобразователе во время включения. Внутренние конденсаторы, а также конденсаторы выходного фильтра заряжаются, в стержне трансформатора создается магнитное поле, а кроме того, во время первых нескольких циклов транзисторы полностью открыты. Поэтому необходимый для этого ток составляет величину, многократно превышающую нормальный входной ток. Он ограничивается входным сопротивлением преобразователя, а также полными входными

сопротивлениями линии и источника питания. Именно на данном этапе необходимо подходить критически к разработке питания. Если, например, речь идет о батарее, которая кратковременно способна выдавать большой ток, это может привести к выходу преобразователя из строя.

Для DC/DC-преобразователей помехи устраняются, например, с помощью индуктивностей на входе, сглаживающих импульсы тока. Подобным же образом действуют резисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (терморезисторы), которые отлично подходят в качестве защиты AC/DC-преобразователей.

Защита от перенапряжений

Импульсы напряжения на входе тоже способны нанести значительный ущерб преобразователю. При этом различают перенапряжения средней продолжительности (в мс-диапазоне), которые могут, в частности, вызываться нестабильностью питания, и кратковременные перенапряжения (в мкс-диапазоне), возникающие из-за наведения

помех в окружающих монтажных схемах. В зависимости от вида перенапряжения в качестве меры защиты используют либо варисторы, либо ограничительные диоды (супрессоры), называемые также диодными ограничителями помех. Варисторы при этом надежнее и защищают от перенапряжения с более высокой мощностью, но имеют более длительное время срабатывания. В отличие от них супрессоры реагируют быстрее и наилучшим образом подходят для крутых пиков напряжения (высокий показатель du/dt), однако при меньшей мощности.

Центр исследований и разработок в сфере электроснабжения в сердце Европы

Для всестороннего исследования рассмотренных выше вопросов и задач, а также рационального использования накопленного опыта в сфере разработки источников питания компания RECOM построила в г. Гмунден-на-Траунзее (Австрия) новую штаб-квартиру площадью 3000 м², организованную по образцу университетского кампуса. При этом особое внимание было уделено лабораторному отделу. Наряду с расширением существующих НИОКР, а также экспериментальных и исследовательских лабораторий, по последнему слову техники была оборудована лаборатория для исследования воздействий внешнего электромагнитного излучения. В 3-метровой полубезэховой камере SAR (Semi Anechoic Room) от компании Rohde & Schwarz могут проводиться соответствующие нормам CISPR22 измерения в диапазоне частот от 9 кГц до 3 ГГц. Особый интерес представляет автоматизированный процесс измерения образцов диаметром до 1,5 м. Компьютеризированный поворот-



Рис. 3. Лаборатории для различных видов испытаний на соответствие качеству и нагрузочных испытаний

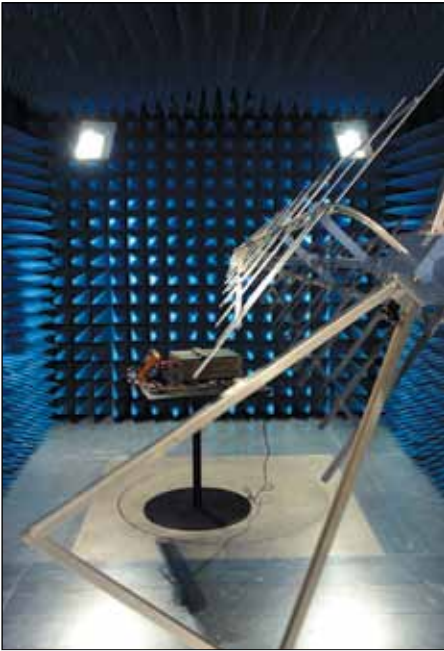


Рис. 4. Оборудованная по самому современному слову техники лаборатория для исследования воздействий внешнего электромагнитного излучения

ный стол в комбинации с зондами ближнего поля делает возможным полностью автоматизированное определение критических источников помех в образце.

Кроме того, лаборатория оборудована также для проведения измерений по нормам 61000 EN 4х и EN 61000-3-2. EN 61000-3-2 является важным критерием, особенно для светодиодных драйверов. И последний, но не менее важный момент, — характеристики образцов на излучаемые помехи (Radiated Immunity), их также можно проверить посредством собственной ГТЕМ-ячейки. И все же самое дорогое оборудование бесполезно без квалифицированного персонала. Поэтому коллектив лаборатории был усилен специалистом по электромагнитной совместимости, который имеет соответствующий многолетний опыт и теперь руководит лабораторией для исследования воздействий внешнего электромагнитного излучения.

В будущем заказчики и близкие по профилю предприятия получат возможность использовать оборудованные по последнему слову техники лаборатории в том числе и для проведения испытаний собственных опытных образцов. ■