Понимание и оптимизация электромагнитной совместимости в импульсных источниках питания

Bob Mammano и Bruce Carsten

Аннотация
Электромагнитные вопросы шума уже давно относятся с импульсных источников питания, так как их высокочастотной коммутации тока и напряжения генерируют более высоких гармоник, которые имеют потенциал, чтобы вызвать помехи при рпботе системы. В то время как международные технические и стандартизированные процедуры тестирования, по крайней мере при условии, большее понимание проблем, оптимальные решения должны еще приходят из методов, которые применяются в процессе проектирования. Эта тема пытается описать более значительные причины EMI в источниках питания и методов проектирования предложение, чтобы минимизировать их влияние.

I. Введение
В то время как импульсные источники питания хорошо известны и ценятся за их значительные преимущества в сокращении как физического размера и внутренней потери мощности, угроза создания электромагнитных помех (EMI) от высоких частот, присущих их быстро меняющейся напряжения и тока всегда была серьезную озабоченность. Как успехи в технологии источников питания увеличились частоты коммутации, и позволил этим источникам питания использоваться в большей близости к питаемым системам, эти проблемы - и требований, которые дизайнеры реагируют на них - только усиливается. Таким образом, проектирование электромагнитной совместимости (ЭМС) стал требование ничуть не менее важно, как встречи заданный набор спецификаций производительности преобразования энергии, и это цель этого обсуждения, чтобы решить некоторые из наиболее важных принципов и методов, участвующих.
Во-первых, обратите внимание, что в то время как мы использовали термины EMI и EMC взаимозаменяемы, это должно быть ясно, что они обратны друг другу. Принял определение EMI является: *вмешательство одного куска электронного оборудования на работу другого посредством электромагнитной передачи энергии*.
И электромагнитной совместимости (EMC) является отсутствие EMI. Две вещи следуют из этого определения. Первое, что EMC рассмотрение на уровне системы. В то время как он является общим для проверки электромагнитного шума поколения от источника питания как поле автономном конечные стандарты, которые должны быть выполнены обратиться к системе в целом с источником питания в качестве внутреннего компонента или подсистемы. И второй аспект этого определения является EMI, что она включает в себя три элемента:
• генератор электромагнитной энергии (источник).
• Передача этой энергии между оборудованием: (соединительные средства).
• Схема рецептора работа которого негативно сказывается на передаваемой энергии: (схема жертвы).
Все три элемента должны присутствовать для EMI состоится - снять один и не может быть никакого вмешательства. Тем не менее, в то время как экранирование или разделение может решить конкретную проблему помех, нападая муфты или восприимчивость часть системы, предпочтительным подходом является снять проблему в источнике - и это будет толчок этой дискуссии.

II. Понимание EMI
Хотя, может порой показаться иначе, EMI не *черная магия*. Хотя часто пренебрегают в основной дизайн схема образования, и появляться иногда быть довольно сложным на практике основные принципы и вызывая и коррекции EMI относительно просто. По сути, это требует признания полей, вызванных быстро меняющихся токов и напряжений. В то время как эти характеристики количественно описывается уравнениями Максвелла, мы только должны знать, что электронный шум может быть вызван сочетанием между элементами схемы посредством действия либо магнитного или электрического поля.
Магнитное поле вызовет меняется ток в проводнике, чтобы вызвать напряжение в другой в зависимости от:
$e = M \cdot di/dt$
где M взаимная индуктивность между источником и жертвой.
Аналогичным образом, электрическое поле вызовет меняется напряжение на поверхности, чтобы вызвать протекание тока в другой проводник в соответствии с:
$i = C \cdot dv/dt$
где C емкость соединения источник к жертве.
Эти уравнения говорят нам, что, когда мы быстро меняется токи - как в проводниках, включенных последовательно с источником питания - мы можем ожидать, чтобы увидеть индуцированное

напряжения на других проводников, соединенных с помощью взаимной индуктивности. А там, где высокая dv/dt - как на стоках ключевых MOSFET - любой паразитная емкость может пара индуцированный ток в другом пути. Хотя она и не может быть очень полезно, это, вероятно, следует отметить, что одним из наиболее очевидных способов, чтобы уменьшить EMI генерируются бы замедлить переключения переходы, но стоимость в повышенных коммутационных потерь, как правило, делает это менее жизнеспособным решением.
Один важный момент, чтобы иметь в виду, по этому вопросу, что EMI является явлением очень низкой энергии! Потому что это может занять очень небольшое количество энергии, индуцированной в нужном месте в жертву, чтобы расстроить производительность системы, пределы спецификации шума были созданы при очень малых значениях. Например, на 1 МГц, это займет всего 20 нВт измеряемой EMI энергии на провал требований FCC. Это может быть опыт работы с энергетической связью только несколько частей на миллиард. Таким образом, легко ловушку попасть в это скидка возможные источники шума, как слишком незначительны, чтобы быть, стоит прислушаться.

III. Измерение EMI

Когда мы описываем потенциальную систему генерирующую шум, передача шума из системы является одним или обоими из двух отдельных путей соединительных: как излучение энергии из самой системы путем магнитных или электрических полей (как описано выше), или как энергия проводимости текущая в любом вход, выход, или линии управления, соединяющие систему под оценки к "остальному миру", где эти линии могут стать вторичные радиаторы. Эти проводящие и излучающие источники электромагнитных помех рассматриваются как отдельные и различные и, как правило, указываются отдельно при оценке внешних характеристик определяемого системой. Одним из полезных характеристикой, однако, является то, что эффективность шумовой связи зависит от частоты - чем выше частота, тем больше потенциал для излучаемые, а при более низких частотах, проблемы, скорее всего, будет вызвана проведенного шума. Там, кажется, всеобщее согласие, что 30 МГц граничная частота между кондуктивными и излучаемыми электромагнитными помехами. Большинство агентств регулирующие всему миру, таким образом, установил стандарты измерения, определяющие оценку проведенного EMI на частотах до 30 МГц, с отдельным набором стандартов, применимых выше 30 МГц для излучаемые. Мы обсудим эти два типа источников шума по отдельности, но, прежде чем делать так, некоторые дополнительные сравнительные данные могут быть полезны.
Шум проводимости в основном за счет тока, но измеряется как напряжение шума с помощью 50Ω токового шунта. Кроме того, с нашей дискуссии здесь, ограниченной источниками питания, положение FCC, что только линии ввода питания переменного тока вызывают озабоченность, поскольку именно здесь, где шум течения мог наиболее легко соединяться с другими системами через распределительной сети. В то время как максимальная частота интерес для проводимой шума 30 МГц, минимальный предел частоты может изменяться. В Соединенных Штатах и Канаде, это ограничение, как правило, 450 кГц, но многие международные технические разместить нижний предел в 150 кГц. А некоторые телекоммуникационные данные требуют проверки всю дорогу до 10 кГц.
С излучаемых спецификации шума, начиная с нижнего предела 30 МГц, верхние пределы могут варьироваться от нескольких сотен МГц до 1 ГГц или более. И в то время проводили шума могут быть оценены с не намного больше, чем лабораторного оборудования анализатор спектра и соединительного устройства, излучаемой шум требует измерения магнитных и электрических полей в свободном пространстве, в результате чего тестирование станет гораздо сложнее. По этой причине, излучение тестирование обычно выполняется с помощью отдельного, специализированного стенда, где переменные, присущие в тестовой среде может быть очень близко определенной и контролируемой.
И говоря о переменных, нетривиален решение, которое должно быть сделано в самом начале, есть что спецификация для использования. Мы уже упоминали о том, что каждая страна имеет свой собственный набор спецификаций для EMI, но в пределах этого различия, существуют дополнительные определенности определенные по типу продукции и использования. Например, некоторые характеристики определяют источники питания как "цифровые устройства", а другие причисляют их к «Информационные технологии» спецификацям. Использование системы также определяет «Классы», где Класс А определяет промышленные и коммерческие приложения, а Класс В включает в себя бытовое использование. Пределы класса В, как правило, более строгие в предположении, что системы, сделанные для дома, вероятно, будут в большей близости, и что жилые пользователи обычно имеют меньше возможностей, доступных для борьбы с EMI.
В Соединенных Штатах, Федеральная комиссия по связи (FCC – Federal Communications Commission) берёт на себя ответственность за контроль электромагнитных помех через Код Федерального регистра (CFR - Code of the Federal Register), Титл 47. В этом документе, часть 15 контролирует оборудования информационных технологий (ITE - Information Technology Equipment), часть 18 охватывает промышленное, научное и медицинское оборудование (ISM - Industrial, Scientific and Medical Equipment), и часть 68 регулирует оборудование, подключенное к телефонной сети.

Международные EMI спецификации были во главе с Международной электротехнической комиссией МЭК (IEC - International Electrotechnical Commission), который опубликовал общий стандарт Европейского союза на выбросы (EN50081), и под руководством Франции Международный специальный комитет по радиопомехам (CISPR – Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques). Последний орган издал свои спецификации - CISPR Публикация 22 - который набирает всемирное признание и, таким образом, оказывает давление на принятие FCC тех же стандартов.
На момент написания этой статьи, заслуживающие внимания различия между FCC и спецификациям CISPR включают, в дополнение к некоторым различиям предельных значений, нижний диапазон частот для CISPR провели замеры шума и излучения испытания сделанные на фиксированном расстоянии 10 метров против 3 до 30 метров для тестирования FCC. Экстраполяция пределов FCC излучения до 10 метров (линейно пропорциональна 1/расстояние) сравнения может быть лучше проиллюстрирован с частотных участков, показанных на фиг. 1 и 2. [Ref. 2]

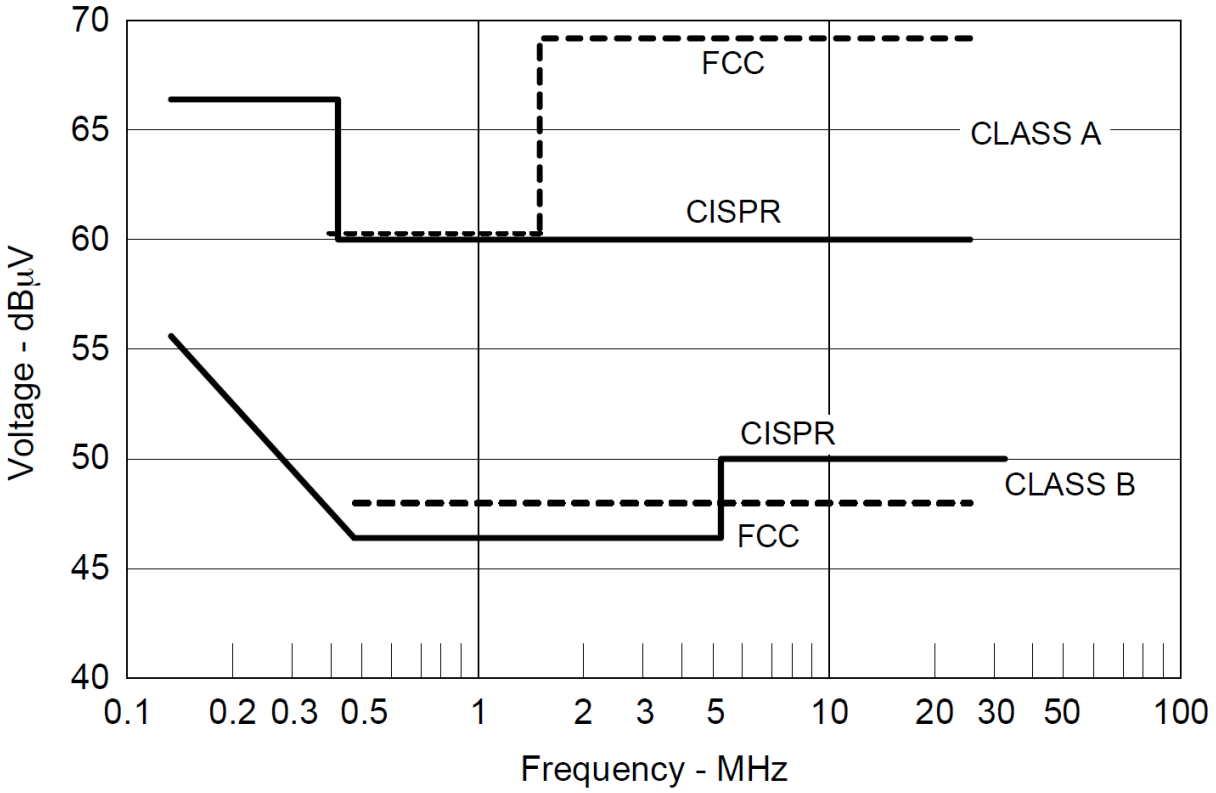


Рис. 1. Пределы шума проводимости, (FCC часть 15, по сравнению с CISPR 22).

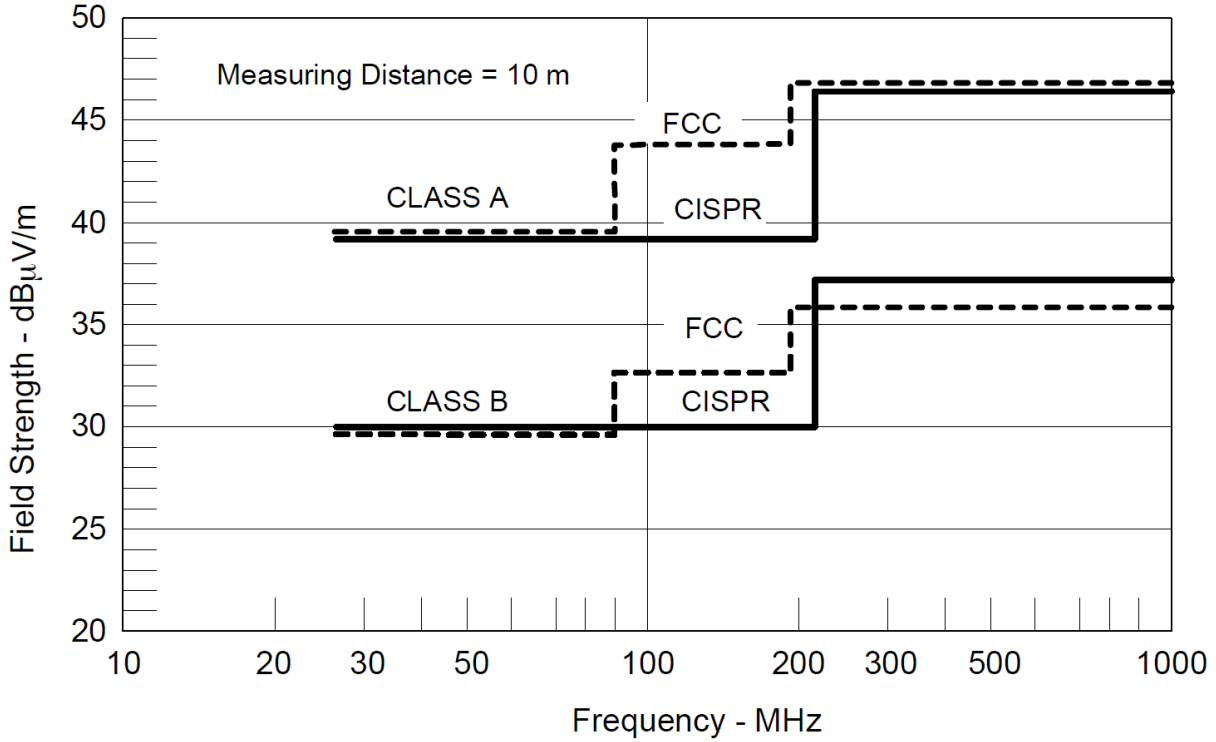


Рис. 2. Пределы излучаемого шума, (FCC часть 15, по сравнению с CISPR 22).

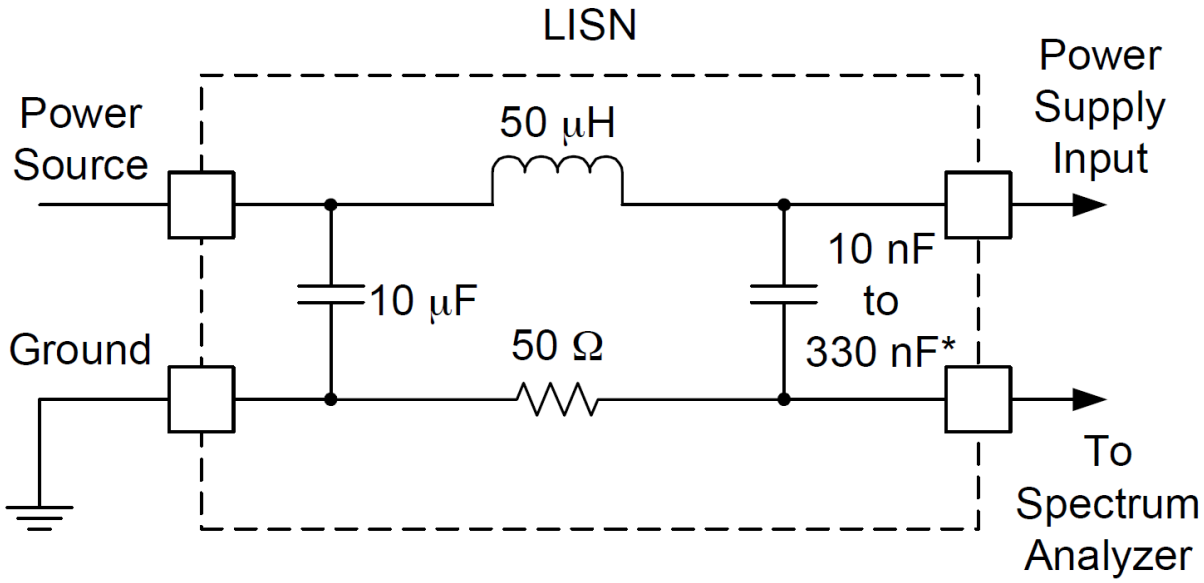
Обратите внимание, что единицы в этих спецификациях приведены в dBμV для прямых измерений шума проводимости и dBμV/m для измерений напряженности поля излучаемого шума, принимаемого антенной. Эти значения в децибелах дает соотношение между фактически измеренным напряжением и одним микровольтом. Расчет:

$$dB\mu V = 20\log_{10}\left[\frac{V}{1.0\mu V}\right]$$

и это относится как к вольтам, так и к вольтам на метр.
Наконец, со всеми переменными, которые мы обсуждали, мы не упомянули одно, что вы могли бы посчитать очень важным - условия эксплуатации оборудования в соответствии с тестом. Причина в том, что это поднимает так много других вопросов, которые она не поддается определению. Например, вы проверяете на самом высоком входном напряжении, где dV/dt, вероятно, будет на пике, либо на низкой напряжения, максимальной нагрузке, где dI/dt, вероятно, будет высоким? И в схеме питания, есть один путь тока, когда силовой ключ включен и другой, когда он выключен, так что рабочий цикл, вероятно, будет переменная. В результате в большинстве случаев рабочие условия оставляют все производитель определяет как "типичный", но поставщики должны признать это в качестве потенциального выпуска в корреляции данных.

IV. EMI проводимости

Теперь мы углубимся более конкретно в причинах и последствиях дизайна каждой из двух основных категорий EMI, ориентируясь в первую очередь на шум проводимости, измеренный на входных линиях подачи питания источника питания. Для наблюдения, проведенного шум на линии питания, устройству необходимо отделить сигналы высокой частоты шума от входного тока, и что устройство называемое эквивалент сети или (LISN - Line Impedance Stabilization Network) схематически показано на рис. 3.



* Величина конденсатора определяется нижней заданной частотой.
Рис. 3. Схема LISN для 120/240 В переменного тока, 60 Гц. Все измерения производятся по отношению к земле.

Это устройство позволяет использовать анализатор спектра для измерения тока шума через сопротивление источника 50Ω изолируя измерения от любой высокочастотной шунтирования, которая может существовать в распределительной сети. Как правило, сеть LISN добавляется к каждому входу из линий электропередачи и шумовые сигналы измеряются по отношению к земле.
Шум проводимости на входе блока питания может быть далее разделены на два отдельных режимов тока: дифференциальный режим (DM - differential mode) шума, измеренный между источника, а его обратный путь; и общий режим (CM - common mode) шум, который измеряется между каждой из линий питания и заземления. Вкладчики в этих двух режимах присущи основной работы в импульсного источника питания. Действие внутренних мощных ключей вызывает быстрые изменения dI/dt в дифференциальном токе на входе и выходах источника питания, как показано на фиг. 4. Конечно, входные и выходные фильтры идеально было бы устранить любые высокочастотный шум внешнего к источнику питания, но ни один не может сделать работу полностью. Так остаточная пульсация и коммутационные всплески существовать как источника шума дифференциальный режим с тока в обоих направлениях в одном терминале и из другого.

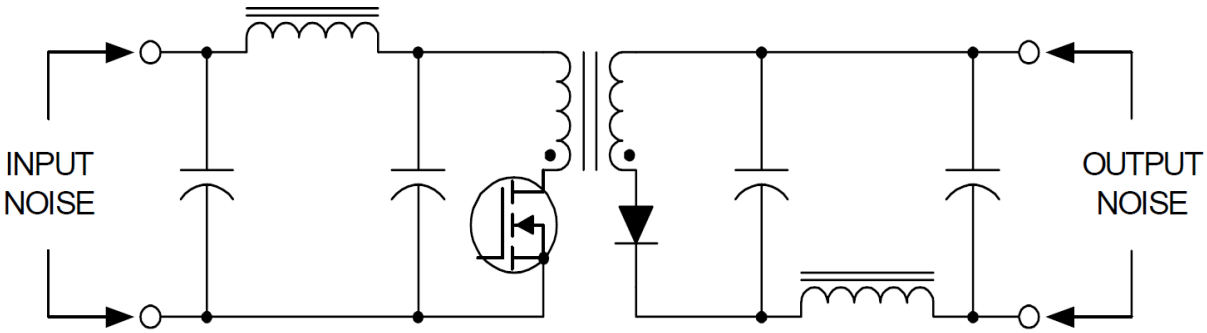


Рис. 4. Дифференциальный (DM) ток шума обычно генерируется при коммутации.

Существуют источники быстрого изменения напряжение в электросети, которые могут связывать шум через паразитные емкости с землей, некоторые из которых показаны на рис. 5. Этот тип шума в земле, который можно рассматривать как синфазный шум на всех клеммах источника питания, измеряется по отношению к земле.
Пути для тока CM и DM шума на входе источника питания приведены в очень упрощенном виде на рис. 6, который также показывает применение двух LISN устройств, последовательно с обоими вводами, прямым и обратным, линии электропередачи.
Отметим, что оба CM и DM режимы тока присутствуют в каждом LISN но, с указанными полярностями, LISN фазной линии измеряет CM + DM, в то время как LISN в нейтральной линии измеряет CM - DM. Обе эти величины являются векторными суммами и, где необходимо, существуют схемы, которые могут быть использована для разделения CM и DM сигналов, [Ref. 9], но технические характеристики, как

правило, не делают различия. Общий шум на каждом входе должны быть измерены, потому что, с возможностью нескольких путей тока в пределах питания, нет никаких оснований предполагать, что значения CM и DM вкладов на двух входах идентичны.

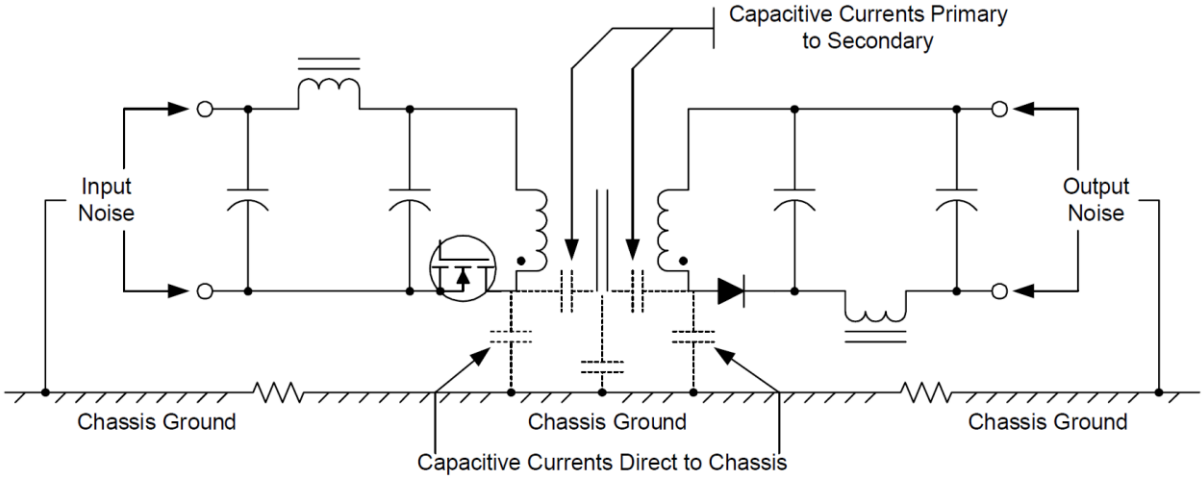


Рис. 5. Синфазный (CM) шум возникает, когда переходные процессы от коммутационных напряжений в сочетании с землей (или шасси) заземляются через паразитные емкости.

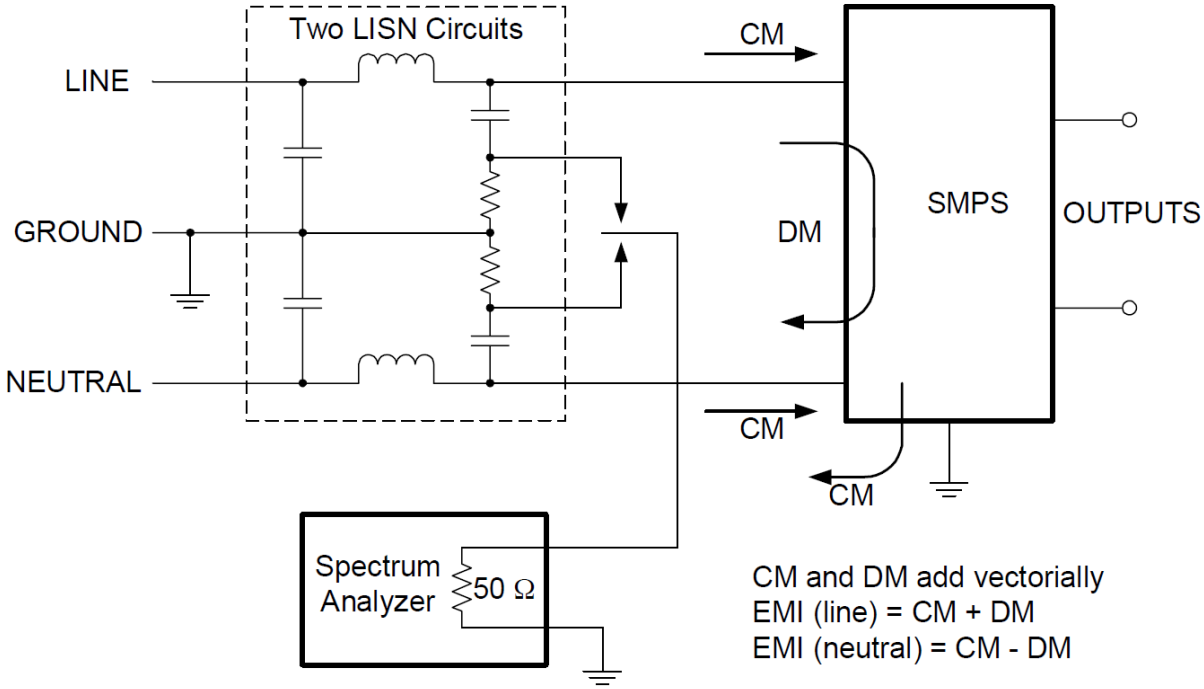


Рис. 6. DM и CM токи на входе источника питания.

V. Минимизация дифференциального DM шума проводимости

Первая линия обороны против шума проводимости использование фильтров, но часто это легче сказать, чем сделать. Практические аспекты эффективного дизайна фильтра рассмотрены на рис. 7 и 8, которые должны быть отнесены к следующим обсуждения. Некоторая путаница может быть создан номенклатуре, используемой на рис. 7. Мы проанализировать эффективность фильтра в плане ослабления напряжения между терминалом V_{IN} , который соединен с источником питания, и Vout, который является входом к источнику питания. В действительности фильтр обеспечивает ослабление тока между током в терминале Vout к источнику питания, и током в V_{IN} терминале фильтра от источника питания, как измерено с помощью LISN 50Ω сопротивление источника. Тем не менее, либо напряжения или тока анализ даст такую же производительность затухания.

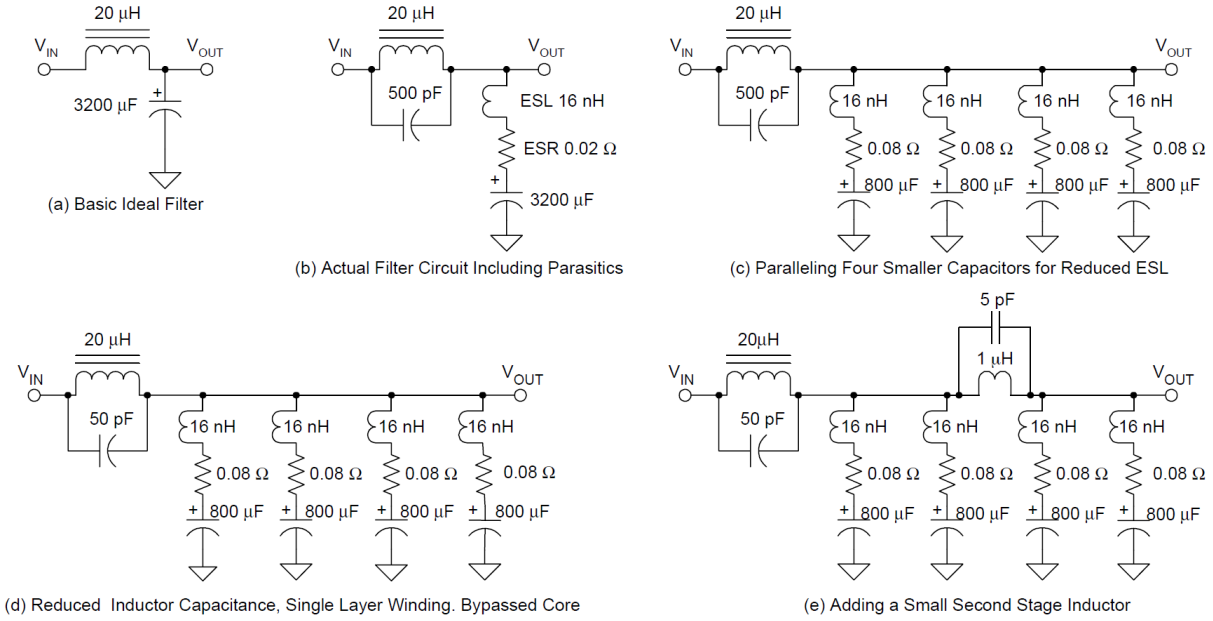


Рис. 7. DM шум минимизирован конструкцией фильтра, который уделяет пристальное внимание на составные паразитных.

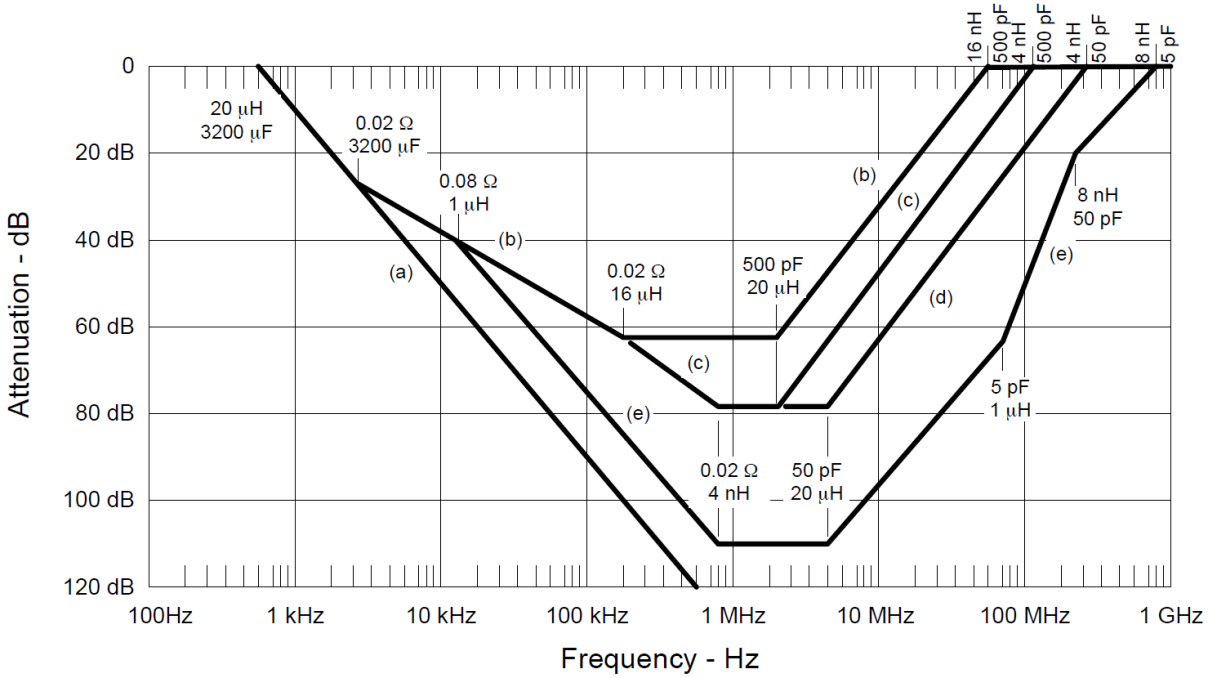


Рис. 8. Частотная характеристика DM фильтра в зависимости от конфигурации схемы.

Первое, что нужно помнить, что, если это дифференциальный режим шум мы пытаемся бороться, фильтр необходимо подключить через дифференциальных линий. Другими словами, на рис. 7 (а) - который показывает идеальный LC фильтр в линии питания, где V_{IN} является источником питания и V_{OUT} является входной разъем питания к источнику питания - отрицательный вывод конденсатора должен подключаться к обратной линии питания - не к земле! И второй момент, что нет такой вещи, как идеальный фильтр, который даст идеальную кривую затухания, показанную на рис. 8 (а). Фактическое фильтры будут включать воздействие паразитной емкости на катушке индуктивности и паразитной ESL и ESR последовательно с конденсатором, как показано на рис. 7 (б). Используя типичные значения для этих паразитических компонентов, кривая на рис. 8 (б) показывает, что в настоящее время действия фильтрации значительно меньше, чем идеально, и "нижнего предела" с не более чем 60 дБ затухания. Атакующий первый конденсатор, как правило, можно показать, что параллельно несколько меньших конденсаторов, вместо одного большого, может снизить паразитные значения и достичь некоторого улучшения, такие, как показано на фиг. 7 (с) и 8 (с).

Признавая, что большее внимание к индуктивности также может привести к сокращению паразитных, рис. 9 показывает некоторые из этих соображений. Паразитная емкость может быть уменьшена, если конструкция вмещает один слой обмотки, что обеспечивает максимальное расстояние между стартовой и финишной концам катушки. Тем не менее, мощностью от обмотки сердечника также должны быть рассмотрены. Так как стержень, вероятно, также является проводником, паразитная емкость в ядре может иметь тот же эффект шунтирования обмотки. Путем тщательного контроля процесса намотки, паразитарные мощности индуктора может часто быть значительно снижена, что дает дальнейшее улучшение производительности фильтра, как показано на фиг. 7 (d) и 8 (d).

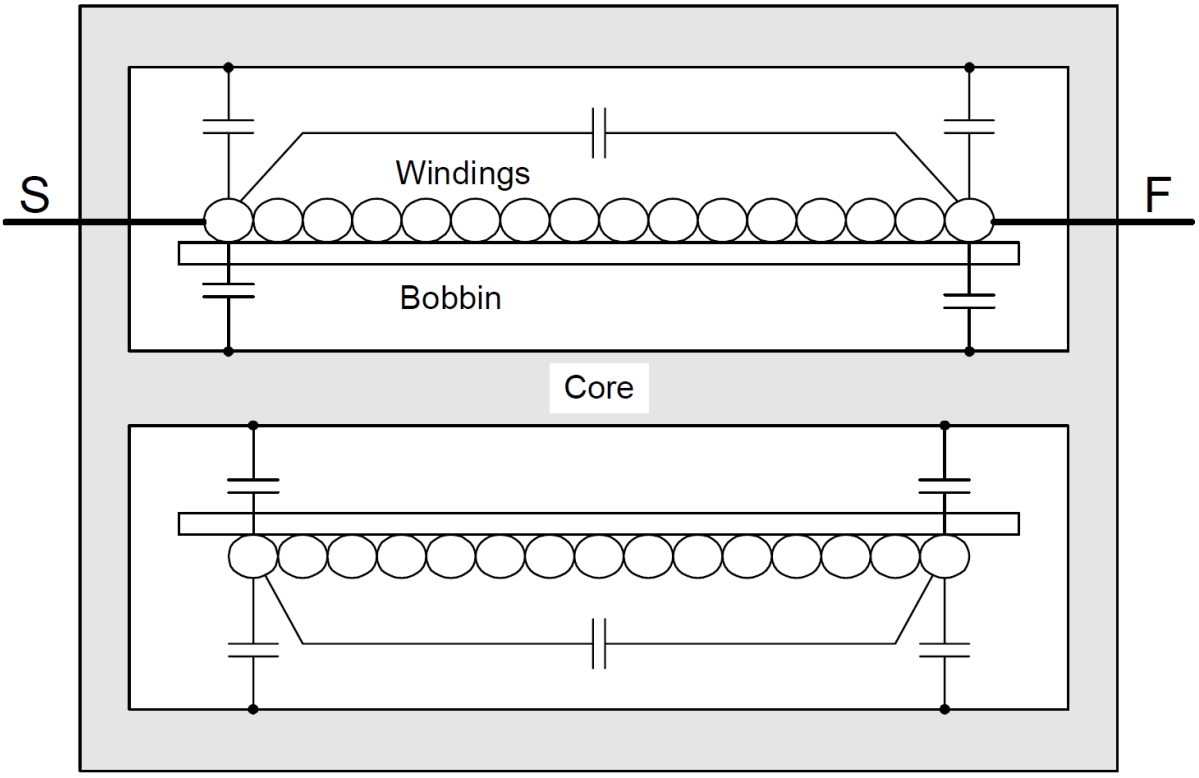


Рис. 9. Однослойная обмотка уменьшает ёмкостьт, но связь с сердечником еще должна быть рассмотрена.

Часто, значительное преимущество при минимальных добавленную стоимость - это добавить небольшой "полировки" индуктивность между некоторыми из параллельным конденсаторов. Это по существу делает схему двухступенчатой или второго порядка, фильтр получая выигрыш в производительности, как показано на рис. 5 (e) и 6 (e).
Перед окончанием дизайна этого фильтра, его производительность также должны быть рассмотрены с точки зрения резонансной. Просто LC фильтр является резонансным на его собственной частоте:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

и это имеет потенциал, чтобы представить три дополнительных проблем:
1. Скачек входного напряжения приложения может вызвать напряжение конденсатора к кольцу на значение, которое может равнятся удвоенному входному напряжению, может привести к повреждению в следующий конвертер.
2. Если есть потенциал для высокочастотного шума на входной шине мощности, любой компонент этого шума на резонансной частоте фильтра усиливается "Q" фильтра.
3. Эффективное выходное сопротивление фильтра, если незатухающие, поднимается на резонансной частоте, поднимая призрак колебаний с входным сопротивлением следующего преобразователя.
Для любого или всех этих причин, демпфирование фильтра может быть важным. В то время как есть много подходов к оптимизации демпфирования фильтра, хорошей отправной точкой является добавление RC цепочки на конденсаторе фильтра, как показано на рис. 10.

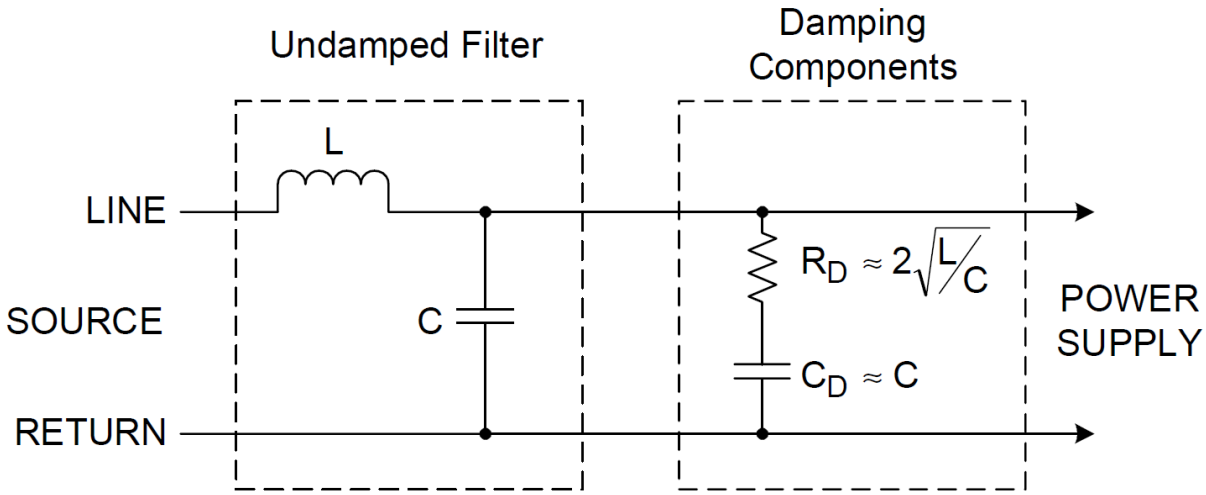
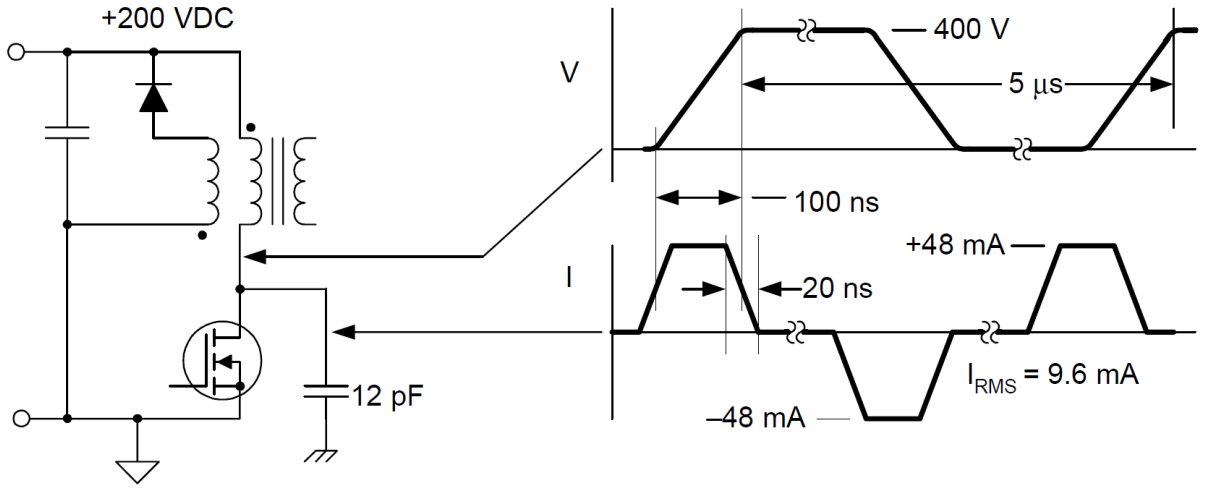


Рис. 10. Демпфирующая RC цепь может быть необходимой, чтобы свести к минимуму проблемы, вызванные резонансом фильтра.

VI. Минимизация CM шума земли

Приведенное выше обсуждение было относительно оптимизации фильтра для DM шума, но те же соображения можно применить к фильтру, предназначенной для уменьшения шума CM проводимости. Как отмечалось ранее, шум CM в значительной степени создан паразитной емкости на землю. Упрощенный пример одного из основных источников проблем и его потенциального решения начинается с рис. 11.

В этом примере мы покажем, несимметричный этап питания с ключевым MOSFET чередуя вождения первичную обмотку трансформатора и блокирования его сброса напряжения 2 V_{IN}. При частоте коммутации 200 кГц, можно ожидать на стоке MOSFET размах напряжения 400 V с ростом и падением за время 100 нс, как показано на рисунке. Если, например, MOSFET в TO-220 корпусе смонтирован на заземленной радиатором с изолирующей шайбой, паразитная емкость от утечки на землю может быть в диапазоне 12 - 32 пФ. Использование меньшего числа, и решения для I= C(dV/dt) приводит пиковый ток +/- 48 мА - в не незначительное количество введенного первом шума. Рис. 12 иллюстрирует, как это подаваемого тока завершает свой путь обратно в линии электропередач через два параллельных 50Ω резистора LISN, создавая тем самым шумовое напряжение на каждом выходе LISN.



(Типичный для TO-220 изолятора, является емкость 12 пФ, f_s = 200 кГц)

Рис. 11. Типичный источником CM шума является емкостная связь импульсного напряжения стока ключевого MOSFET с радиатором, заземлённым на шасси.

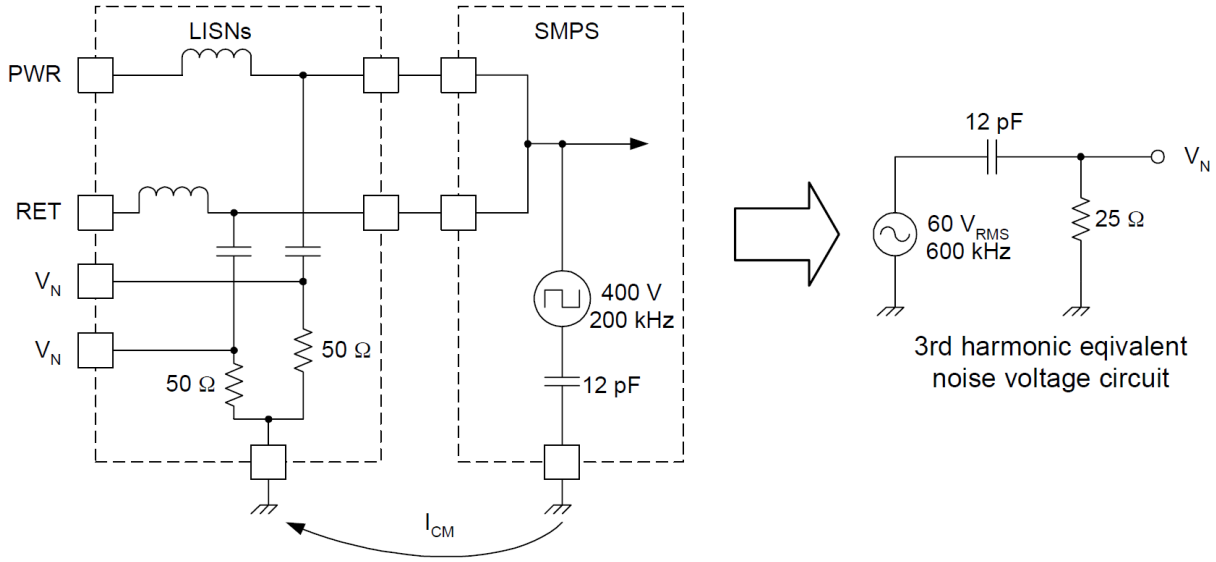


Рис. 12. Ток индуцируемый в земле шасси имеет обратный путь через выходной импеданс LISN.

Решение этой проблемы является введение фильтра CM последовательно пути тока и его определение наиболее легко достигается при помощи схемы эквивалентного напряжения шума, показанной на рис. 12. Эта эквивалентная схема генерируется, начиная с волны 400-V пик-пик на стоке MOSFET. Если предположить, что заполнение меандра 50%, среднеквадратичное значение этого сигнала 200 В на частоте переключения 200 кГц. Поскольку 200 кГц является ниже минимальной заданной частоте FCC 450 кГц, мы можем игнорировать основную и смотреть третью гармонику - 60 V_{RMS} при 600 кГц - как наиболее существенный вклад в спектр шума. Этот сигнал дает напряжение шума на параллельными LISN резисторов примерно 68 мВ, что, в то время как, казалось бы, довольно небольшой стоимости, должны быть по сравнению с шумом предела FCC 1,0 мВ для класса А продукции на 600 кГц. (Предел для класса В еще ниже 250 мкВ.)
Для снижения 68 мВ до менее чем 1,0 мВ, необходимо вставить фильтр, который будет производить ослабление 37 дБ при 600 кГц. Один из способов осуществить это с добавлением серии синфазного индуктора. Работа в обратном направлении, мы можем рассчитать необходимое индуктивности из реактивного сопротивлением, нужного нам при 600 кГц, как показано на рис. 13. Вместе с тем, завершив этот анализ покажет, что, в то время как требуется индуктивность будет 419 мГн, мы не можем иметь более 0,17 пФ паразитной емкости через индуктивности. Не похоже!

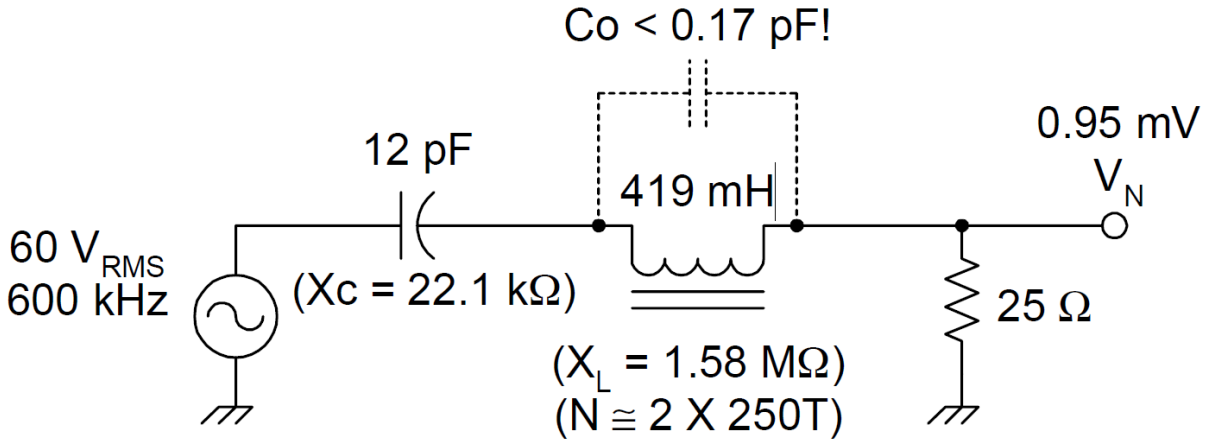


Рис. 13. Достижение ослабления 37 дБ с последовательной индуктивностью требует нереалистично низкой паразитной емкости.

Затем мы постараемся использовать шунтирующий конденсатор, как показано на рис. 14, чтобы снизить сопротивление нагрузки 25 Ω, чтобы получить под мВ предела 1,0. Те же расчеты в этом случае выход требование для 760 нФ, которые могли бы иметь паразитический индуктивности 93 нГн и до сих пор встретить требование ослабления. Хотя это, по крайней мере выглядит жизнеспособным, мы столкнуться с другой проблемой в том, что если на вход этого источника питания переменного напряжения линии, там, как правило, требования по безопасности, которые ограничивают вход линии конденсаторов до менее чем 10 нФ.

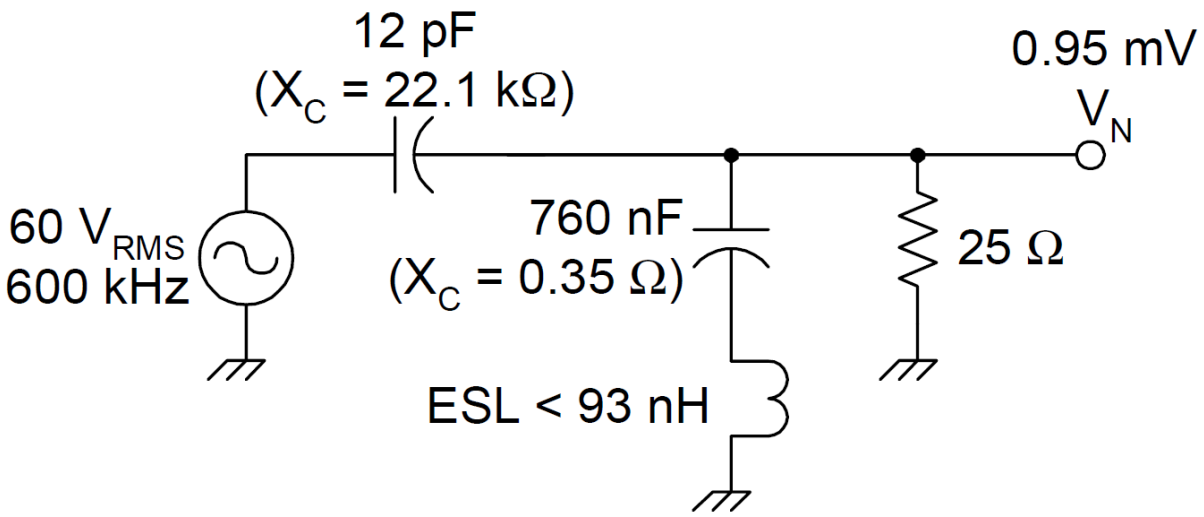


Рис. 14. Достижение ослабления 37 дБ с конденсатором требует его неприемлемо большого значения.

Таким образом, мы, наконец, пришли к наилучшему решению для входного фильтра CM, который включает в себя как индуктивность, так и емкость шунта, но с разумными значениями для каждого, даже с учетом ожидаемых значений паразитных. Это решение показано на рис. 15 и, как правило, осуществляется с двумя встречными обмотками на одном сердечнике, так что поток, вызванный постоянным входным током источника питания, будет компенсирован и не вызовет насыщения сердечника. Конечно, в этом приложении шунтирующие конденсаторы подключены к земле, а не дифференциально.

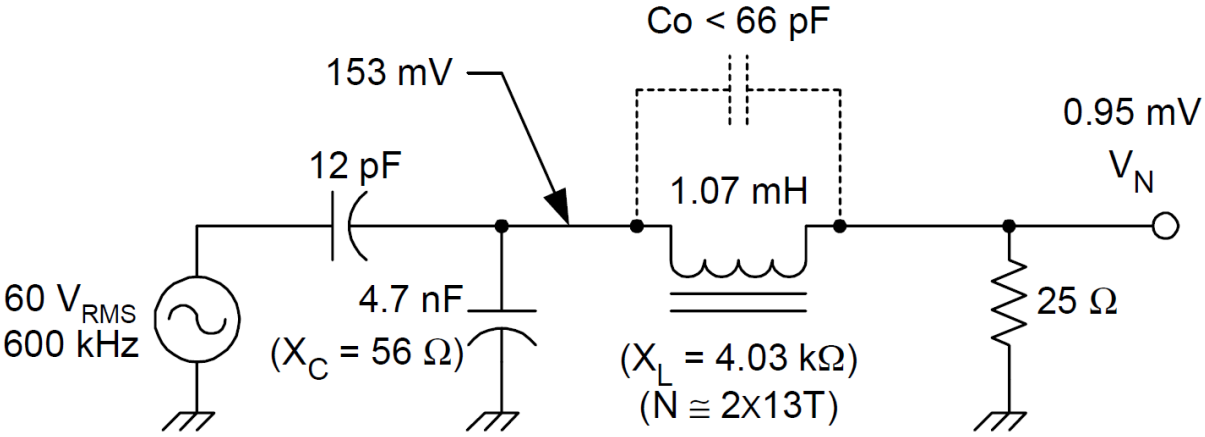


Рис. 15. Использование шунтирующего конденсатора и последовательной катушки индуктивности позволяет достич решения с практическими значениями для обоих.

Вход CM фильтр может также иметь затухание, чтобы избежать проблем при резонансе, но так как максимальная емкость ограничена, обычный подход заключается в разделении необходимую емкость в двух конденсаторов, а затем поместить соответствующего размера резистор последовательно с одним из них.

Рис. 16 показывает возможную конфигурацию входного фильтра, сочетающего DM и CM фильтры. На этом рисунке, мощность входной нагрузки показана текущей слева направо, от сети переменного тока к входному выпрямителю источника питания. Сигнал шума, однако, течет справа налево, от внутренних источников в поставку назад к клеммам переменного тока линии, которые являются внешние соединения входной мощности.

Работая справа налево, C_{d1} и L_{d1} представляют собой основной DM фильтр. C_{c1} и L_{C1} (2 каждого) образуют фильтр CM для шума земли, с двумя обмотками L_{C1} намотанном на одном сердечнике. C_{d2} работает с индуктивностью рассеяния между этими обмотками с образованием второго, высокочастотного DM фильтрующего элемента. Ln и Cn образуют узкополосный режекторный фильтр на частоте переключения с Rn обеспечивающим как демпфирование, так и некоторое расширение ширины режекции. Наконец, C_{d3} и C_{c2} (2), часто используются для последней очистки, прямо на терминалах, где пара LISN устройств будут подключены к оценке производительности шума. Эти последние емкостные элементы работают против неопределенного импеданса линии переменного тока, так что их производительность, в то время как полезным, трудно предсказать. Дополнительные

компоненты, не показанные на этой фигуре, может быть демпфирующие цепи, переходные протекторы, предохранители и другие зависимые от приложения устройства.

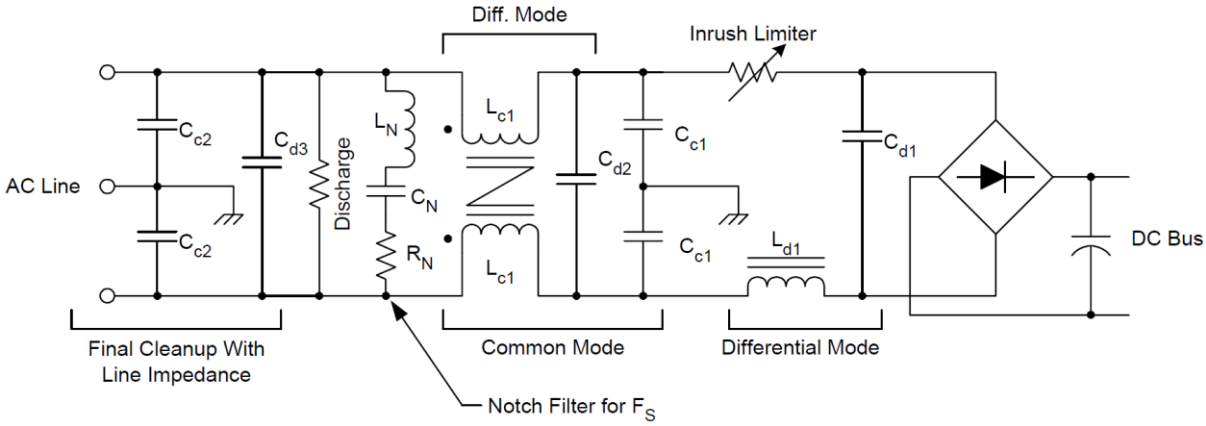


Рис. 16. Несколько компонентов фильтра объединены в этом примере схемы подавления шума проводимости.

VII. Дополнительные источники CM шума

Перед завершением тему CM шума проводимости, мы должны отметить, что стоки силовых ключей, конечно, не единственное место, где высокие dV/dt сигналы могут индуцировать шум земли. Радиаторы являются еще одним потенциальным проблемная область, поскольку требования безопасности, как правило, не позволяют им быть поручено высоким потенциалом напряжения. Если радиатор достаточно мал, что он может быть заключен в случае электропитание, а затем, подключив его электрически с общей схемой, а не заземления шасси может быть приемлемым решением. Использование изолированного промежуточного кронштейна, соединенного электрически с общей цепью может позволить размещение более крупных, заземленных радиаторов шунтированием емкостной связью шума в общий распределитель, где он может более легко быть ослаблены. Эти опции показаны на рис. 17.

Тот же самый подход для отведения, что шум может стать CM от земли применимо к трансформаторам путем использования электростатических экранов между обмотками, как показано на рис. 18. Во многих конструкциях питания, выходные цепи вторичной стороны заземлены, и, следовательно, следует, что любое высокое напряжение переменного тока потенциал на первичной стороне, которая соединена через трансформатор паразитной емкости, может стать CM шумом. Правильно применяемые, электростатические экраны могут предотвратить это, отвлекая сочетании шума в основной общей шине. (В качестве дополнительного совета, экран может делать свою работу подключен либо к шине высокого напряжения или возвратной. Как правило, если dV/dt мощного MOSFET больше при включении, чем при выключении, подключите экран к возвратной, но если выключение быстрее, то подключите его к положительной шине.) Альтернативные конфигурации экрана, показаны на рис. 19 и 20.

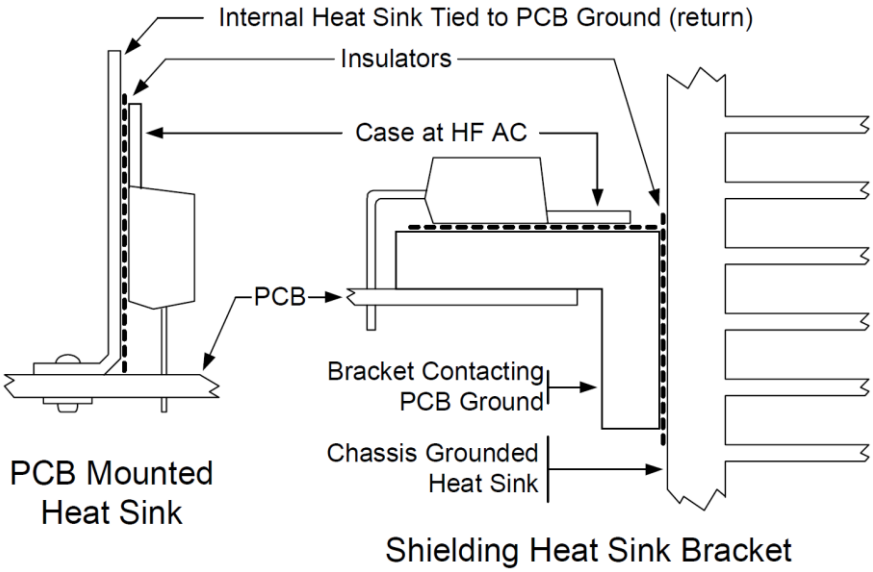


Рис. 17. Два мероприятия теплоотвода, которые отвлекают шум емкостной связи в общий провод схемы, а не на шасси.

Использование первичного экрана

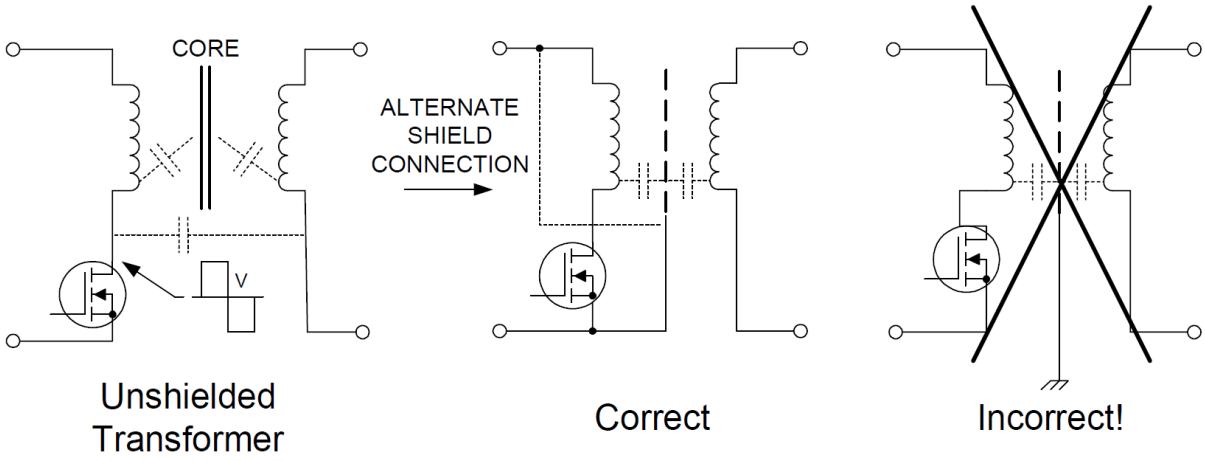


Рис. 18. Использование электростатического экрана в трансформаторе может свести к минимуму шум СМ.

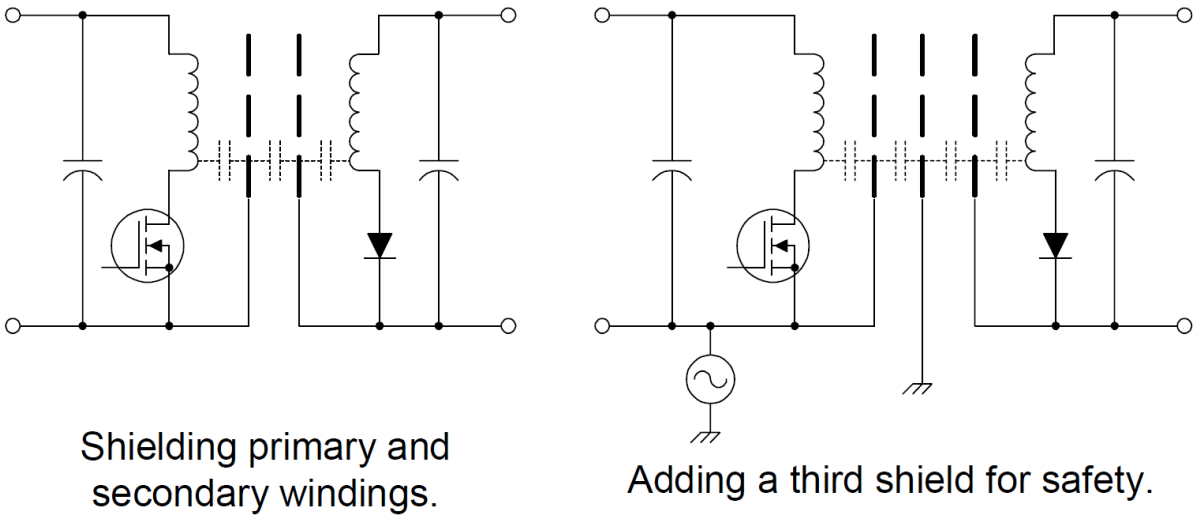


Рис. 19. Альтернативные конфигурации экрана.

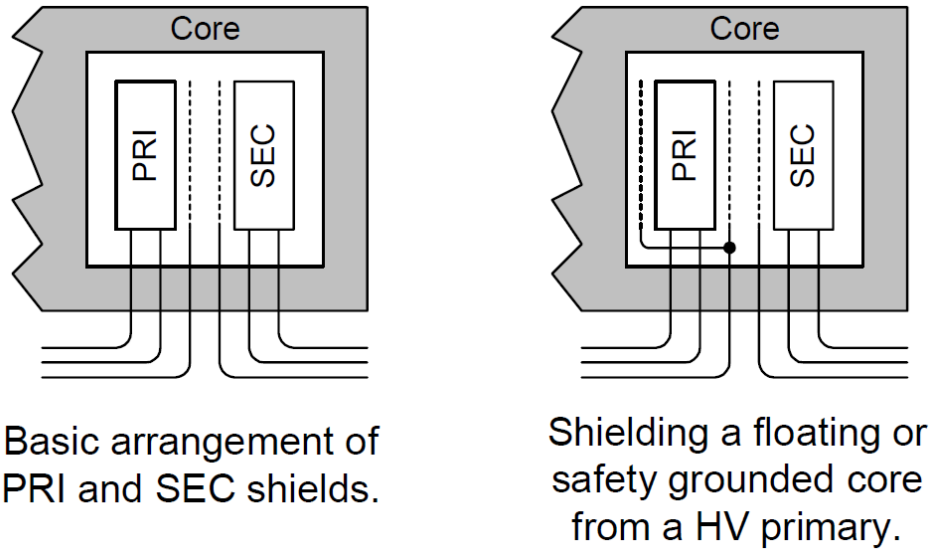


Рис. 20. Позиционирование экранов для максимальной эффективности.

VIII. Излучаемые EMI

После токо, как мы оставили тему проводящего EMI и перешли к излучаемым помехам, мы должны сначала подчеркнуть, что в то время как мы относимся к каждому типу шума по отдельности, нельзя сказать, что они вообще не связаны. В электронной системе, в частности, в импульсном источнике питания, EMI энергия может быть преобразована назад и вперед между проводящими и излучаемыми формами - может быть, даже несколько раз - между его поколения и его измерения. Если энергия шума является проводящей в проводах или дорожках печатных плат, электромагнитное поле создается, что дает нам излучаемая EMI. Если есть взаимная индуктивность или емкостной связи с другим проводником, то излучаемая энергия преобразуется обратно в проводящий шум, но теперь в другом месте в системе. Дело в том, что любой может стать проводником антенны и антенна может отправлять и получать излучаемые сигналы.

Тестирование на излучаемой электромагнитной совместимости является гораздо более сложным процессом, чем для проведенного шума. В первую очередь, потому, что - по спецификации - мы ищем для сигналов выше 30 МГц, все контрольные приборы становится более важным. Во-вторых, тест среда должна быть хорошо управляется, что обычно означает, используя либо номер экрана РЧ, чтобы оградить Тестовое от посторонних сигналов, поступающих от других генераторов или отражений, или тестирования на открытом воздухе в хорошо определенной среде. В любом случае, хорошо осведомленный оператор имеет жизненно важное значение для того, чтобы получить достоверные данные. Тип антенны и расстояния и ориентации по отношению к устройству испытуемого, а также способ прокатиться все излучающие углы, все важные детали об условиях испытаний. Схематическое представление излучения тестовой EMI показано на рис. 21.

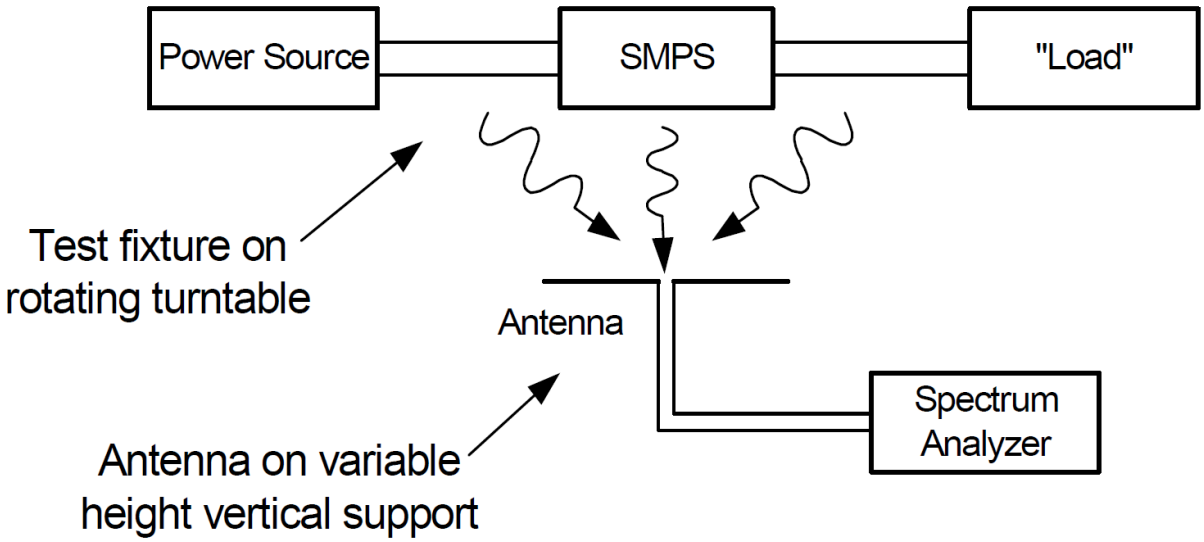


Рис. 21. Измерение излучаемого шума при помощи антенны.