

ПОДАВЛЕНИЕ ШУМА СЕТИ

Евгений Карпов

В статье рассмотрены методы уменьшения проникновения сетевых помех через силовой трансформатор источника питания устройства

Среди любителей качественного звука циркулирует масса мифов, связанных с питанием аппаратуры. Самое интересное, что все это основано на реальных фактах, но отсутствие их повторяемости и неочевидность объяснения переводит факты в разряд мифов. Любой квалифицированный инженер знает, что странное поведение электронной аппаратуры (отбросим прямую неисправность и явные просчеты в проектировании) зачастую связано с помехами. Борьба с этим коварным зверем на готовом устройстве - крайне неблагоприятное и тяжелое дело. Думать об этом надо еще на начальном этапе проектирования, и наилучшие результаты дает использование превентивных мер, так как произвести точные расчеты и предусмотреть все ситуации - практически невозможно.

В этой небольшой статье я как раз и хочу рассмотреть одну такую превентивную меру по борьбе с помехами. Не секрет, что питающая сеть является одним из основных источников помех, а силовой трансформатор - это их основной проводник в звуковой тракт.

Механизм проникновения помех достаточно ясен (рисунок 1). Если два устройства включены в разные точки питающей линии, то участок силовой линии между точками включения можно рассматривать как генератор помех.

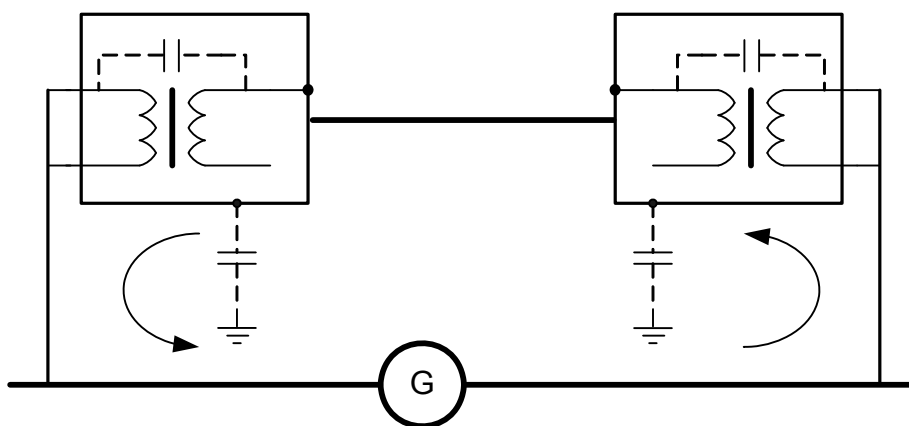


Рисунок 1

Токи помех протекают через паразитные емкости силовых трансформаторов, частично стекают через паразитные емкости устройства на землю и частично протекают через кабель, связывающий оба устройства. В основном, ток помехи протекает через экранирующую оболочку кабеля, но из-за отсутствия полной симметрии линии связи - частично и по сигнальным проводникам. Может показаться, что включив оба устройства в одну точку питающей линии, эта проблема решится автоматически (рисунок 2).

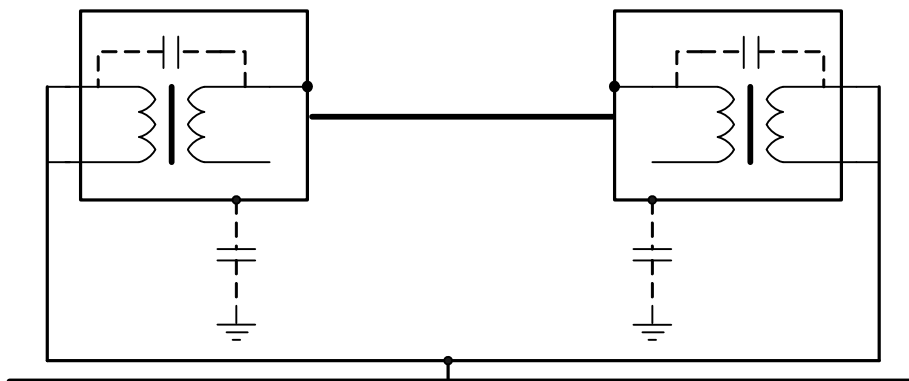


Рисунок 2

К сожалению, это не так. Хотя оба устройства питаются из одной точки, они имеют разные паразитные емкости относительно земли. Что приводит к появлению между устройствами разности потенциалов и, соответственно, к появлению уравнивающих токов помех; величина их будет меньше, но проблема не решается. Следует иметь в виду, что страшен не только ток помехи, протекающий непосредственно по сигнальным цепям, но и токи помех, текущие по экранам и элементам конструкции устройств (хотя в меньшей степени). Дело в том, что проводники, по которым протекают токи помехи, могут их переизлучать и становиться вторичными источниками помехи.

Нестационарные значения паразитных емкостей относительно земли и разные характеристики питающей сети (асимметрия, уровень помех) приводят к трудно объяснимому, на первый взгляд, влиянию длины, положения и даже конструкции сетевого кабеля на звук.

В общем, из этого поверхностного рассмотрения проблемы становится ясно, что надо всеми способами уменьшать токи помех, протекающие по цепям и конструктивным элементам аппаратуры.

Очевидным шагом для разрыва цепи протекания тока помехи является использование сетевых фильтров. Метод широко используется, но его эффективность существенно зависит от реализации. Здесь следует отметить несколько важных моментов.

Во-первых, фильтр должен находиться или в самом устройстве, или быть соединен с устройством экранированным кабелем. Во-вторых, сам фильтр должен быть тщательно экранирован (что в большинстве случаев не выполняют) и, желательно, заземлен. В-третьих, каждое устройство должно иметь индивидуальный фильтр.

Использование фильтров имеет и оборотную сторону, так как в цепь питания устройства вносятся дополнительные потери. Элементы, подавляющие синфазную помеху, в основном, вносят активные потери, а вот элементы, подавляющие дифференциальную составляющую помехи, кроме активных потерь, вносят еще и реактивную составляющую потерь. В некоторых случаях внесение дополнительных потерь в цепь питания устройства может привести к нарушению нормальной работы его источника питания. Следует также учитывать, что фильтр, как устройство, содержащее реактивные элементы, обладает собственным откликом на возмущение со стороны нагрузки.

Здесь следует сделать небольшое уточнение. В общем случае, сеть является источником как дифференциальной, так и синфазной помехи. Сетевым фильтром можно с успехом подавлять помехи обоих типов, но подавление дифференциальной составляющей, особенно в области достаточно низких частот, приводит к значительному увеличению габаритов фильтра, его стоимости, и требует обязательного согласования параметров нагрузки с параметрами фильтра. Но подавлять дифференциальную помеху в области низких частот нет особого смысла, так как после трансформатора стоит выпрямитель со своими фильтрами, обеспечивающими ее эффективное подавление, максимум, чем грозит ее наличие – это незначительное увеличение потерь в трансформаторе. Другой разговор - высокочастотные помехи. Проникая через трансформатор, они нарушают работу выпрямителя и, благополучно минуя фильтр (за счет паразитных параметров элементов), попадают в тракт усиления сигнала. Поэтому основное внимание уделяют фильтрации дифференциальной помехи в высокочастотной области. Но учитывая, что величина дифференциальной помехи достаточно мала, и сам трансформатор за счет наличия паразитной индуктивности рассеяния и повышенных потерь в стали на высоких частотах является фильтром, часто ограничиваются только фильтрацией синфазной составляющей.

Следующим шагом (я бы сказал, что он должен быть первым) по уменьшению уровня тока синфазной помехи, проникающей в сигнальные цепи, является введение в трансформатор электростатического экрана, уменьшающего проходную емкость силового трансформатора. В зависимости от габаритов

ритной мощности и конструкции, проходная емкость силового трансформатора может колебаться от 400÷500 до нескольких тысяч пикофард (мощность трансформатора 30÷600 VA).

Введение экрана позволяет уменьшить проходную емкость приблизительно вдвое. Трансформатор с электростатическим экраном подключают, как показано на рисунке 3.

Если зашунтировать вторичную обмотку емкостями, то дополнительно образуется (совместно с индуктивностью рассеяния трансформатора) фильтр, подавляющий дифференциальную помеху. Если трансформатор устанавливается на металлическое шасси, то он должен быть установлен через изолирующие прокладки. Иногда этим требованием пренебрегают (правда, ценой некоторого уменьшения эффективности экрана), в этом случае сердечник трансформатора с внутренним экраном не соединяется.

В большинстве случаев совместное использование трансформатора с электростатическим экраном и сетевого фильтра является вполне достаточной мерой для устранения всякого «потустороннего» влияния питающей сети на звуковой тракт.

Однако, если в звуковом тракте присутствуют устройства с высокой чувствительностью (фонокорректоры, микрофонные усилители, и т.д.), этих мер может оказаться мало. Недостаточное подавление паразитных связей через питающую сеть может проявиться и весьма неприятным образом, например, может появиться практически не устранимый фон. Нарращивание сложности сетевых фильтров в этом случае малоэффективно (в первую очередь, это связано с паразитными параметрами компонентов и монтажа самого фильтра).

Продуктивным путем является дальнейшее уменьшение проходной емкости силового трансформатора, питающего чувствительный узел. Для уменьшения проходной емкости используется более сложная конструкция трансформатора с вертикальным секционированием и двойным объемным электростатическим экраном (рисунок 4). Катушка трансформатора делится на две части вертикальной перегородкой, одна секция используется для первичной обмотки, вторая – для вторичных. Внутренняя поверхность секций должна быть металлизирована (проще всего изготовить такую катушку из фольгированного стеклотекстолита с пропайкой швов), экраны секций электрически изолированы друг от друга (прорезь под средней щечкой) и снабжены продольной прорезью по всей длине для исключения образования короткозамкнутого витка.

Трансформатор такой конструкции может иметь проходную емкость на уровне десятков пикофард. Совместное использование силового трансформатора такой конструкции и сетевого фильтра приближает источник питания по уровню паразитных связей через сеть к источнику с батарейным питанием. При расчете такого трансформатора следует иметь в виду две вещи. Во-первых, коэффициент заполнения катушки следует брать не более 0,3. Во-вторых, трансформатор такой конструкции имеет увеличенную (на 15÷20%) индуктивность рассеяния. Этот момент надо учесть при расчете. Хотя для маломощных устройств это скорее является плюсом, так как значительно увеличивается эффект фильтрации дифференциальной помехи. По такому принципу можно изготавливать и достаточно мощные силовые трансформаторы, но для уменьшения индуктивности

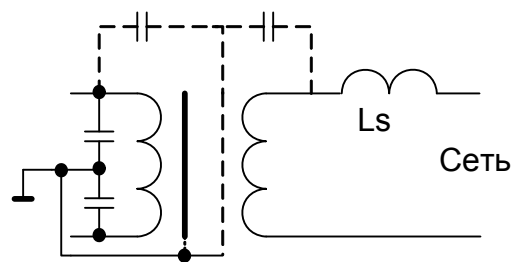


Рисунок 3

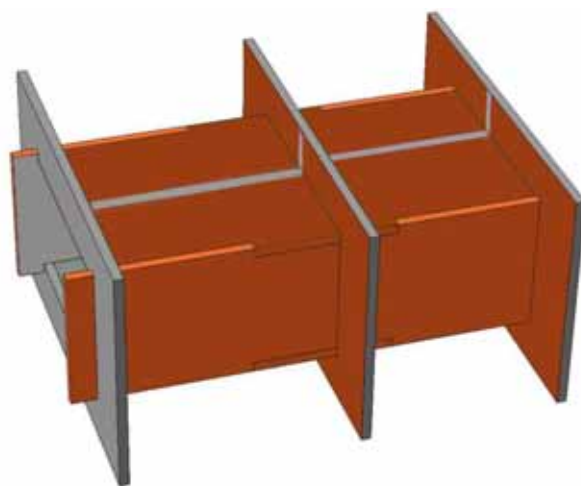


Рисунок 4

рассеяния необходимо увеличивать число секций, что значительно усложняет конструкцию и увеличивает стоимость и изготовление трансформатора.

Варианты подключения трансформатора показаны на рисунке 5. Вариант «а» используется, если пи-

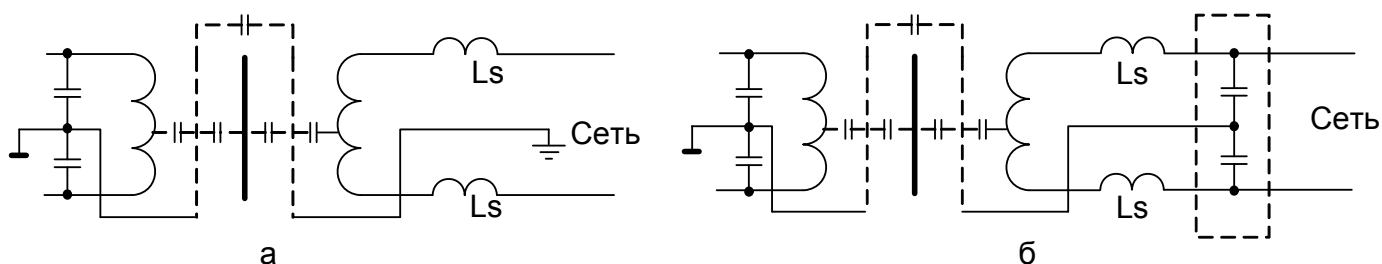


Рисунок 5

тающая сеть имеет земляной проводник и обеспечивает наилучшие показатели.

При отсутствии заземляющего проводника трансформатор подключается по варианту «б». В качестве симметрирующих емкостей с первичной стороны трансформатора можно использовать емкости сетевого фильтра. В качестве примера (Рисунок 6) показан трансформатор питания корректора. Габаритная мощность трансформатора – 60VA, проходная емкость – 50pF

В принципе, возможен и упрощенный вариант двойного экранирования, когда в трансформатор вводится два электростатических экрана, один над другим. Конструкция трансформатора получается гораздо проще, но степень развязки между первичной и вторичной стороной – хуже. Такой вариант целесообразно использовать для мощных трансформаторов гальванической развязки.

Для подключения экранов к нужной точке нужно использовать провод большого сечения и минимальной длины.

Для полноты картины следует сказать, что существует еще один вариант конструкции трансформаторов с малой проходной емкостью – трансформатор с объемным витком. При такой конструкции силового трансформатора проходная емкость может быть уменьшена до единиц пикофарад. Но из-за высокой сложности и стоимости изготовления в бытовой аппаратуре такие трансформаторы в источниках питания не используются.

Если аппаратура имеет высокую чувствительность, то следует использовать еще один превентивный путь снижения уровня помех - обеспечивать симметричность паразитных емкостей относительно общего провода устройства. В этом случае, при работе выпрямителя не происходит модуляции величины паразитной емкости с частотой сети, что уменьшает вероятность появления фона на выходе устройства.



Рисунок 6

Литература

Волин М.Л., Паразитные связи и наводки, М., Советское Радио, 1965.

Рогинский В.Ю., Экранирование в радиоустройствах, Л., Энергия, 1969.

[Карпов Е.В., Источники питания для ламповой High-End аудио аппаратуры, 2003.](#)