

сцепления контактной площадки с основанием платы окажется больше в том случае, когда приходится перепаявать компонент схемы при его замене. Это правило становится *особенно важным* для таких компонентов схемы, какими являются транзисторы, вероятность замены которых достаточно велика; для односторонних печатных плат это требование приобретает особенную жизненную важность.

- Если существует вероятность, что между двумя токопроводящими дорожками, проложенным на плате параллельно друг другу, могут возникнуть перекрестные помехи, то было бы предпочтительнее расположить между ними дорожку заземления. Хотя следует отметить, что улучшение, скорее всего, будет носить достаточно символический характер, так как силовые линии полей будут проходить над поверхностью экранирующей дорожки.
- Режимы, задаваемые положением закорачивающих перемычек, всегда должны быть отчетливо помечены. Предположите, что кто-нибудь потерял инструкцию на момент передачи усилителя.
- Пометьте функции, выполняемые потенциометрами и переключателями, на покрытии платы, изготовленном методом трафаретной печати, так как это окажет огромную пользу при проверке. Если окажется возможным, пометьте также функциональные блоки схемы, например *Детектор смещения по постоянной составляющей*. Такие обозначения должны быть полнее по сравнению с обозначением компонентов, текст должен легко и однозначно читаться.

### 14.3. Заземление усилителя

Система заземления усилителя должна удовлетворять целому ряду требований, среди которых можно выделить следующие.

- Определение положения общей точки разветвления шин заземления как эталонной точки, относительно которой определяются потенциалы всех сигнальных цепей (или напряжения сигналов).
- В стереофоническом усилителе цепи земли должны быть разделены соответствующим образом, чтобы исключить влияние перекрестных помех. Провод, имеющий длину пять-десять сантиметров и выполняющий роль общей земли для выходных терминалов, будет, возможно, оказывать преобладающее влияние на уровень перекрестных помех.
- Нежелательная составляющая переменного тока, поступающая на вход усилителя через заземление сигнальных цепей из внешних контуров заземления, должна отводиться от критически важных цепей заземления сигнала, т.е. от цепей заземления входных цепей и заземления контуров обратных связей. Любая разница в напряжениях (потенциалах), существующая между этими указанными цепями заземления, сразу же даст о себе знать непосредственно на выходе усилителя.
- Токи заряда накопительных конденсаторов источника питания не должны протекать ни по какой из цепей заземления.

Земля представляет эталонную или опорную точку (либо точку нулевого потенциала) для отсчета величин всех остальных сигналов, поэтому существенно важным является требование, чтобы ее состояние оставалось неизменным и не служило источником помех; каждая заземляющая дорожка и провод заземления должны рассматриваться в качестве элемента, обладающего некоторым сопротивлением, и на котором при прохождении тока сигнала будет происходить нежелательное падение напряжения. Наилучшим методом является способ, при котором токи заземления протекают извне за счет использования особой топологии соединений, включающей, например, отдельный провод для обратного тока через землю к общей точке разветвления для развязывающих цепей локальных шин высоковольтного напряжения, однако если это оказывается невозможным с практической точки зрения, то необходимо сделать каждую токопроводящую дорожку заземления настолько широкой, насколько это возможно, а также увеличить толщину слоя меди в каждой возможной для этого точке. Осень важно, чтобы заземляющая дорожка не имела сужений или узких участков. Если дорожка заземления переходит с одной стороны платы на другую, то одного сквозного контактного отверстия может оказаться недостаточно и придется воспользоваться несколькими параллельными. Некоторые системы автоматического проектирования справляются с такой задачей с трудом, однако обычно существуют приемы, позволяющие обойти данную проблему.

Для усилителей мощности редко используется конструкция с двойной изоляцией, поэтому из соображений безопасности как шасси, так и все металлические конструкции должны иметь постоянное и надежное заземление. Этот аспект проблемы заземления рассматривается в главе 15 книги. Одним из результатов постоянного заземления шасси является то, что усилитель с несимметричными входами может оказаться весьма чувствительным к процессам, протекающим в цепях заземления. Одно из решений заключается в том, чтобы выполнить соединение земли цепей акустического сигнала с шасси с использованием резистора 10 Ом, чье сопротивление оказывается достаточно большим для того, чтобы предотвратить значительное увеличение контурных токов. Но этот прием нельзя в целом признать удовлетворительным по следующим причинам:

- Цепи акустического сигнала, как единое целое, могут оказаться недостаточно эффективно и надежно заземленными.
- Если данный резистор перегорит из-за отключения, например выхода громкоговорителей, цепи акустического сигнала станут плавающими (отключенными от земли) и могут стать причиной поражения электрическим током.
- Коэффициент подавления усилителя мощности по высокой частоте, скорее всего, ухудшится. Спасти положение может включение параллельно резистору конденсатора емкостью 100 нФ.

Более привлекательным решением окажется соединение выводов земли акустических цепей и шасси в области входного соединительного разъема, поэтому, в соответствии со схемой рис. 14.1, токи контура заземления должны будут протекать через точки А–В к защищенной земле в точке В, а затем к земле сети питания по участку В–С. Они не будут в состоянии проходить через путь для про-

хождения акустического сигнала E–F. Такая топология очень хорошо противостоит контурным токам заземления, даже в случае усилителя с несбалансированным входом; ограничение на работоспособность системы в случае существования контура заземления определяется падением напряжения в заземлении входного кабеля, который лежит вне сферы влияния инженера, рассчитывающего схему усилителя. Симметричный вход, в теории, может полностью устранить это падение напряжения.

На рис. 14.1 также показано, как удовлетворяются и другие требования к выполнению заземления. Импульсы зарядного тока накопительных конденсаторов привязаны к соединению D–E и не протекают через точки E–F, так как отсутствует путь для прохождения тока. Участок E–F–H пропускает ток пульсаций и т.п. от разделительных конденсаторов локальной высоковольтной шины, однако, совершенно не в состоянии отравлять землю критически важной цепи акустического сигнала A – C.

#### 14.4. Контур заземления: как они действуют и как с ними управляться

Контур заземления образуется в том случае, когда два или более блока оборудования, питающиеся от сети, имеют электрические соединения между собой, по этой причине переменный ток сети питания протекает по экранирующим и заземляющим проводникам, ухудшая уровень собственных шумов системы. Этот эффект проявляется значительно сильнее, если два или более блока оборудования соединяются через землю сети питания, а также через цепи прохождения акустического сигнала, поэтому данную ситуацию обычно принято также обозначать с использованием термина «контур заземления». Однако токи заземления могут также протекать в системах, которые не имеют электрического соединения с землей; как правило, они меньше по величине, но, тем не менее, они могут значительно ухудшить уровень собственных шумов, поэтому такой вариант развития событий также будет обсуждаться в книге.

Токи заземления могут быть либо свойственны самим проводам сети питания (см. ниже по тексту раздел 14.4.1), либо генерироваться в одном или нескольких блоках оборудования, которые являются составляющими частями низкочастотного оборудования (см. ниже разделы 14.4.2 и 14.4.3).

Процесс протекания этих токов по проводам заземления будет сопровождаться падениями напряжения, которые, в свою очередь, приведут к возникновению гудения и фону переменного тока. Это явление может возникнуть либо в соединениях НЧ тракта, либо внутри самого оборудования, если при его проектировании были допущены ошибки. См. раздел 14.4.4.

В этом разделе автор использует термин «земля» для проводников и т.п., тогда как термин «техническая земля (earth) – грунт, почва, поверхность Земли» – используется для влажного и рыхлого вещества, в которое забиваются медные заземляющие штыри.

#### 14.4.1. Генерация пульсаций токами заземления (токами утечки на землю) в сети питания

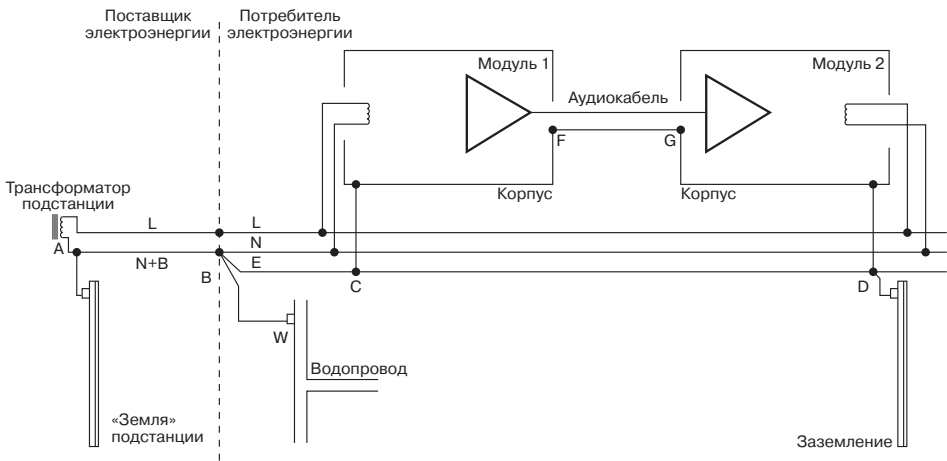
На рис. 14.2 изображена ситуация, которая возникает в случае, когда так называемая техническая земля, такая, например, как заглубленный в грунт медный штырь, присоединяется к системе заземления, которая уже имеет собственное подсоединение к «земле сети питания» на распределительной подстанции. Последняя является обязательной как с правовой, так и с технической точки зрения, поэтому ее следует принимать как неизбежную и пометить как относительную землю. Во многих случаях эта «сетевая земля» в действительности представляет собой провод нейтрали, который заземлен на удаленной от потребителя (трансформаторной) подстанции сети питания. АВ представляет силовой кабель, идущий от подстанции к потребителю, и который обслуживает большое количество потребителей, напряжение в дома которых подается посредством отпаек, выполненных по всей его длине. Поэтому по нему протекает значительный по величине ток, который возвращается на подстанцию по проводу N + E (нейтраль + земля), поэтому потенциал точки В относительно потенциала Земли составляет обычно порядка одного вольта среднеквадратического значения или даже несколько большее значение. Далее, что касается проводки, выполненной непосредственно в доме, то начиная от точки В провода заземления и нейтрали всегда разделяются и прокладываются изолированно друг от друга (в Соединенном королевстве Великобритании и Северной Ирландии, во всяком случае).

Два блока низкочастотного оборудования подключаются к этой сети питания в точках С и D, а между собой соединяются несимметричным кабелем F–G. После чего в точке D выполняется не рекомендуемое соединение с землей (грунтовое заземление); В этом случае на участке В–С–D начинает действовать напряжение порядка 1 В среднеквадратического значения, в результате чего по этому участку начинает протекать некоторый по величине ток, величина которого определяется общим сопротивлением данного участка. На участке цепи между точками С и D в результате протекания тока возникнет падение напряжения, величина падения зависит от того, какая часть общего сопротивления участка BCDE[V.N.12] приходится на участок С–D. Провод С–D, ведущий к грунтовому заземлению, будет иметь сечение, по крайней мере, 1,5 мм<sup>2</sup>, поэтому дополнительное соединение на участке FG низкочастотного кабеля не очень значительно повлияет на величину этого напряжения.

Для того чтобы оценить порядок величин, можно принять достаточно правдоподобное значение тока, протекающего на грунтовую землю, равным одному амперу. Проводник заземления с сечением 1,5 мм<sup>2</sup> обладает линейным распределенным сопротивлением 0,012 Ом/м, поэтому, если сетевые розетки в точках С и D установлены на расстоянии 1 м, то напряжение между точками С и D составит 12 мВ среднеквадратического значения. Практически все оно окажется приложенным между точками F и G и будет практически не отличимо от полезного сигнала, поступающего на вход Блока 2, поэтому фон окажется очень интенсивным, скорее всего, лишь на 30 дБ ниже номинального уровня сигнала.

Лучший способ избавиться от данной проблемы – просто не создавать ее изначально. Если же некоторый по величине ток заземления все-таки неизбежен, то использование симметричного входа (или выхода без связи по земле – причем, совершенно необязательно использовать оба приема) может обеспечить, по крайней мере, 40 дБ ослабления для сигнала акустического диапазона.

На рис. 14.2 также представлена третья точка заземления, которая, к счастью, не усложняет ситуацию. Металлические водопроводные трубы из соображений безопасности электрически связаны с подводимой землей сети питания, а так как они обычно электрически связаны с источником поступающей воды, то ток протекает по участку В–W точно также, как он протекает по медному стержню D–E. Разумеется, ток, проходящий по водопроводным трубам, не проходит по участку С–D и по этой причине не вызывает проблем, вызванных токами, протекающими по контуру заземления. Однако этот ток может заставить водопроводные трубы генерировать переменное магнитное поле, которое вызовет наводки в других проводниках.



**Рис. 14.2.** Западня, возникающая от добавления «технической земли» в системе, которая уже имеет заземление от сети питания

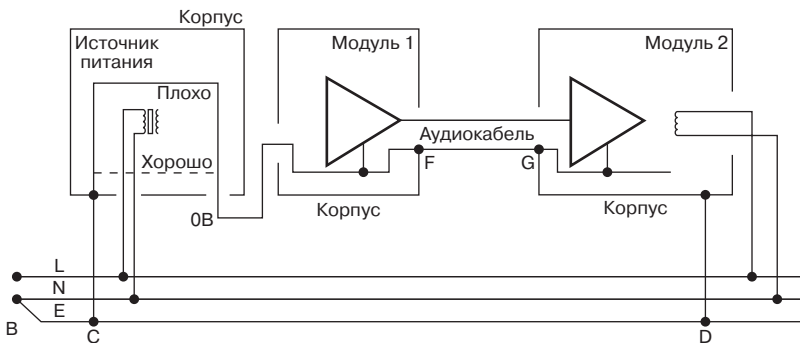
#### 14.4.2. Генерация пульсаций паразитными магнитными полями трансформатора

На рис. 14.3 представлен отвратительный с теоретической точки зрения участок практического исполнения схемы, который вызовет протекание токов заземления даже в том случае, если заземление системы выполнено всего лишь в одной точке.

В рассматриваемом случае блок 1 имеет внешний источник питания постоянного тока; это позволяет использовать недорогой трансформатор с наборным сердечником, у которого очень большие паразитные поля рассеяния. Однако следует обратить внимание, что провод в источнике питания, который соединяет землю сети питания с отходящим проводом 0 В, образует полувитковую петлю вокруг

трансформатора, при этом в этой петле будет наводиться достаточно большой ток, который далее будет протекать по контуру C–F–G–D, и вызовет соответствующее падение напряжения на участке цепи между точками F и G. В данном случае усиление провода заземления кабеля, по которому проходит НЧ сигнал между блоками, сможет, по-видимому, сыграть положительную роль, так как он непосредственно уменьшит ту долю из общего падения напряжения, которая падает на участке между точками F и G.

Очень трудно дать количественную оценку описанному эффекту, так как он зависит от большого количества не поддающихся оценке величин, таких, например, как коэффициент качества самого трансформатора, точного физического расположения и ориентации заземляющего провода относительно трансформатора в блоке питания. Если данный кабель проложен по пути, показанному на схеме пунктирной линией, то тогда он более не будет образовывать полувитковую обмотку, расположенную вокруг трансформатора, и негативное влияние будет значительно меньше.



**Рис. 14.3.** Неправильно выбранное место подключения в левой части источника питания и трассы прокладки кабеля приводит к образованию петли, охватывающей трансформатор, и является причиной возникновения токов заземления

Таблица 14.1.

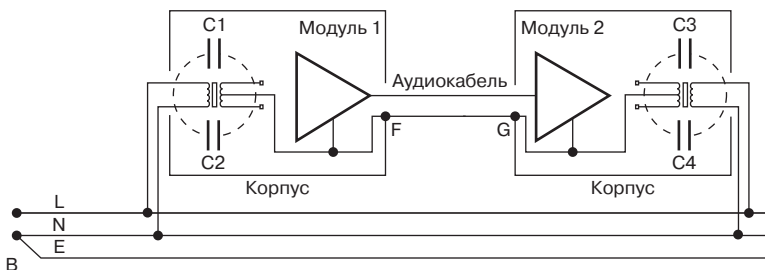
Тип оборудования	Потребляемая мощность, Вт	Ток в цепи заземления
Проигрыватель пластинок, компакт-дисков, магнитофонная дека	20 либо меньше	5 мкА
Усилители, тюнеры, телевизоры небольшого размера	200 - 100	100 мкА
Усилители большой мощности, сабвуферы, телевизоры с большим экраном	Более 100	1 мА

### 14.4.3. Генерация пульсаций, возникающая из-за паразитной емкости трансформатора

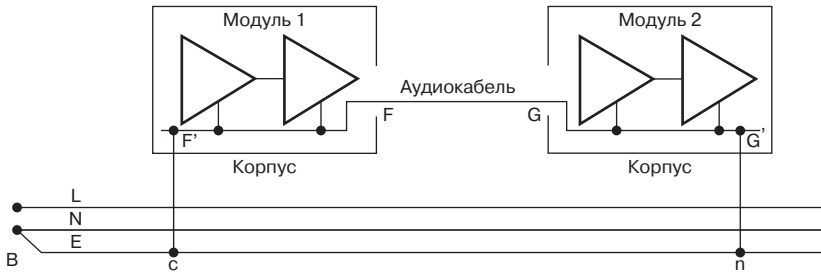
На первый взгляд может показаться, что использование оборудования, имеющего класс защиты II (т.е. имеющего двойную изоляцию) в схемах обработки акустического сигнала, обеспечит их полную невосприимчивость к проблемам токов, протекающих в контурах заземления. Жизнь, к сожалению, более сложна, хотя и следует ради справедливости заметить, что если подобные проблемы действительно возникают, то они оказываются намного проще. В той или иной степени рассмотренная ниже проблема затрагивает все оборудование, относящееся к классу II.

На схеме рис. 14.4 приводятся два блока с изоляцией класса II, которые соединяются между собой несимметричным НЧ кабелем. Два силовых трансформатора в блоках имеют паразитные емкости, образованные между проводами фазы и нейтрали и вторичной обмоткой трансформатора. Если бы величины всех этих паразитных емкостей были бы идентичными, то никакой ток не протекал бы, однако, на практике все это не так, поэтому переменные токи с частотой 50 Гц наводятся на внутренней шине с потенциалом 0 В и протекают на участке F–G, добавляя в сигнал фоновый шум. Симметричный вход либо выход с отменой связи по земле полностью удалил бы или значительно уменьшил бы этот нежелательный эффект.

Также оказывается полезным уменьшение сопротивления соединительного заземляющего проводника – намного полезнее по сравнению с другими вариантами контура заземления, так как ток цепи заземления практически фиксирован небольшими по величине паразитными межвитковыми емкостями, поэтому уменьшение вдвое сопротивления участка цепи F – G сразу также вдвое уменьшит напряжение помех. Существует, однако, ограничение для того, как далеко можно зайти в этом деле: тогда как простой симметричный вход обеспечит ослабление уровня помех 40 дБ (и при незначительной стоимости при этом), увеличение поперечного сечения медного заземляющего проводника НЧ кабеля, например, в 100 раз не может считаться ни достаточно простым, ни дешевым способом достижения результата. На рис. 14.4 показаны блоки оборудования с металлическими шасси, у которых выполнены соединения с проводом нулевого потенциала 0 В (это оказывается абсолютно допустимым и с точки зрения соответствия пра-



**Рис. 14. 4.** Возбуждение тока сети в заземляющем проводнике, возникающее из-за паразитной межвитковой емкости трансформатора



**Рис. 14.5.** Если ток заземления протекает по цепи  $F'FG'$ , то сравнительно высокое сопротивление токопроводящей дорожки приводит к ощутимому падению напряжения между внутренними цепями блоков

вилам безопасности, если сравнить, во что обойдется изоляция между сетью и всем остальным по сравнению с изоляцией между низковольтной цепью и металлическим корпусом); следует отметить, что присоединение шасси, однако, не имеет отношения к основному эффекту, который продолжал бы и далее существовать, даже в том случае, если бы корпус оборудования был бы полностью изготовлен из непроводящего материала.

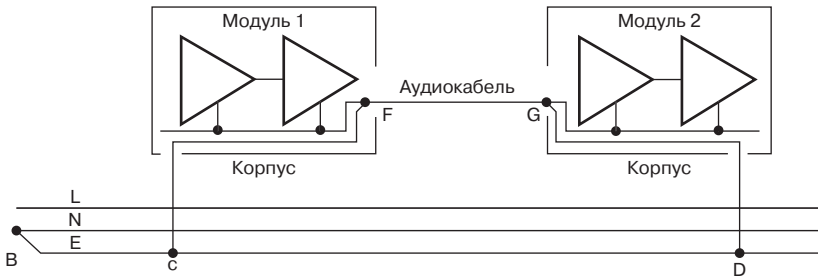
Величина тока заземления изменяется с особенностями конструкции трансформатора, он возрастает при увеличении размеров последнего. Следовательно, чем больше мощность потребления блока, то тем больший по величине ток контура заземления он должен выдерживать. Это является причиной того, почему многие системы оказываются на практике свободными от фона пульсаций до тех пор, пока не подключен мощный сабвуфер, который, вероятнее всего, просто обязан иметь значительно более мощный трансформатор по сравнению с остальными составляющими системы.

#### 14.4.4. Токи заземления, протекающие внутри оборудования

После того как токи заземления начали протекать, они могут вызвать ухудшение характеристик системы двояким образом: вне самого устройства, за счет протекания по соединительным заземляющим проводникам, либо внутри устройства, за счет протекания по внутренним токопроводящим дорожкам печатной платы и т.д. С первой проблемой можно достаточно эффективно справиться путем использования симметричных входов, однако внутренние эффекты, связанные с токами заземления могут оказаться весьма значительными, если допущены ошибки при проектировании оборудования.

На рис. 14.5 приводится пример подобной ситуации. По какой-либо причине существует ток заземления, протекающий через линию заземления сети CD и заставляющий, как и ранее, протекать посторонний и мешающий работе устройства ток через контур CFGD. Однако в рассматриваемом случае схема блока 2 такова, что ток заземления, протекающий через участок FG, также проходит через участок цепи  $G-G'$  до того, как он достигнет проводник заземления, идущий к точке D. Участок цепи  $G-G'$  почти наверняка представляет токопроводящую





**Рис. 14.6.** Корректный метод борьбы с токами заземления; они отводятся от внутренних цепей схемы

дорожку печатной платы, которая имеет более высокое сопротивление по сравнению с остальными проводниками, поэтому падение напряжения при прохождении тока может оказаться сравнительно большим, а характеристики по уровню фонового шума соответственно плохими. Совершенно такой же эффект может проявиться и в выходном сигнале; в этом случае ток заземления протекает по участку F–F'.

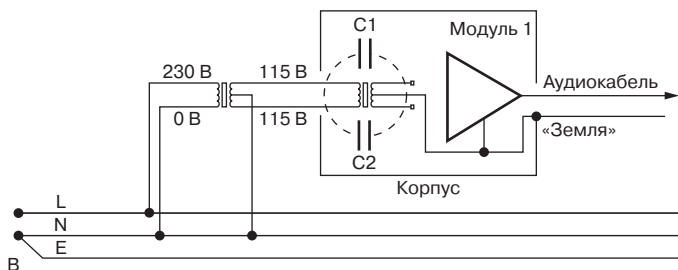
Использование симметричных входов не влияет на данный эффект; они могут исключить падение напряжения на участке D–G, но если внутренний фон возникает далее по пути прохождения сигнала, то их использование не может ничего поделать с этим явлением.

Корректный метод борьбы с этим явлением показан на рис. 14.6. Подсоединение к заземлению сети питания выполняется именно в той точке, где заземление сигнальных цепей выходит и входит в блоки устройства (т.е. на своеобразной границе раздела), при этом оно выполняется настолько прочно и основательно, насколько это возможно. Ток заземления более не протекает по внутренним цепям схемы. Однако он может продолжать протекать по соединительному участку FG, поэтому для устранения его влияния следует использовать симметричный вход или не использующий заземление выход.

#### 14.4.5. Питание от симметричного источника питания

Совсем недавно велись интенсивные дискуссии, является ли источник симметричного питания достаточно привлекательным решением проблемы. Этот термин подразумевает, что вместо питания от фазы и нейтрали (потенциалы 230 В и 0 В соответственно) используются два фазных напряжения (115 В–0–115 В), которые образованы трансформатором, имеющим отвод от центральной точки обмотки и который подключен к проводу нейтрали. См. рис. 14.7.

Предполагалось, что питание оборудования от симметричного источника питания оказывает чудодейственное влияние на качество звучания, улучшает пространственное звучание в павильоне звукозаписи и т.д. Все это явная чепуха. Если часть оборудования такова, что она вызывает определенное беспокойство относительно влияния сетевого питания (а автор книги уверен, что подобное оборудование просто не имеет морального права существовать), то следует просто избавиться от нее.



**Рис. 14.7.** Использование симметричного источника питания для компенсации токов заземления, возникающих из-за существования межвитковой емкости обмоток силового трансформатора. Предлагаемый вариант является достаточно дорогостоящим

Если в сети питания существуют сильные радиопомехи, то дополнительный трансформатор в сети может помочь отфильтровать их. Следует учитывать, однако, что полноценный сетевой фильтр радиопомех окажется, без всяких сомнений, гораздо более эффективным, так как он предназначен именно для этих целей, да и по стоимости, в конце концов, окажется значительно дешевле.

Область, в которой действительно можно получить реальный выигрыш, относится к системам класса II (т.е. системам с двойной изоляцией), у которых очень слабо выраженные соединения с контуром заземления. Симметричный источник питания мог бы привести к взаимной компенсации токов заземления, вызванных существованием межвитковой емкости трансформатора (более подробно об их происхождении см. рис. 14.4 и выше по тексту) и, таким образом, уменьшить фон сети питания. Эффективность такого решения будет определяться условием равенства паразитной емкости  $C_1$  величине паразитной емкости  $C_2$ , изображенных на рис. 14.7, которое определяется конструктивными особенностями трансформатора, используемого в питаемом им оборудовании. По мнению автора книги, величина эффекта окажется сравнительно небольшой для хорошо рассчитанного оборудования и имеющего достаточно большое сечение заземляющих проводников при выполнении всех соединений. Использование симметричных аудиовходов является гораздо более дешевым и эффективным способом справиться с данной проблемой. Однако если в конкретном образце оборудования они не применяются, то использование усиленных заземляющих проводников может привести к некоторому улучшению. Если же полученные результаты окажутся недостаточными, то тогда в качестве последнего способа может быть рассмотрено использование симметричного источника питания.

И наконец, всегда следует помнить о том, что любой вновь устанавливаемый в оборудование трансформатор должен по своим параметрам соответствовать мощности, потребляемой аудиосистемой в режиме полной выходной мощности. А это подразумевает использование дорогого и большого по размерам компонента.

Автор книги не готов поклясться за всю Европу, но насколько он осведомлен по этому вопросу, ситуация там точно такая же, как и в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии, т.е. используются несимметрич-

ные сети. Провод нейтрали сети питания имеет потенциал земли, как среды, используемой для заземления (отклонение может составлять плюс или минус один вольт), а потенциал фазы превышает потенциал земли на 230 В. Трехфазная высоковольтная линия, подающая напряжение 11 кВ на трансформаторную подстанцию, часто считается «симметричной», но это просто означает, что для эффективного использования силовых кабелей мощности, потребляемые от каждой фазы, должны поддерживаться равными[V.N.14], насколько это оказывается возможным.

Симметричный источник питания с напряжениями 115 В–0–115 В кажется более безопасным. Это утверждение основывается на том, что автор книги, по его собственному мнению, относится к той категории людей, которые привыкли совать свои пальцы внутрь работающего устройства, поэтому при написании этого раздела проявилось его некоторая личная заинтересованность.

### 14.5. Оборудование классов I и II

Все оборудование, которое питается от сети питания, имеет два варианта исполнения: требующее заземления и имеющее двойную изоляцию. Официально их (по классу защиты от поражения электротоком или электробезопасности) относят соответственно к классу I или классу II.

Оборудование класса I имеет внешний металлический корпус, который подлежит обязательному заземлению. Защита от повреждения оборудования электрическим током обеспечивается за счет ограничения плавким предохранителем величины тока, который оборудование может потреблять и который проходит по фазному проводу. Следовательно, если возникшая неисправность вызывает короткое замыкание фазы на металлический корпус, предохранитель перегорает и металлический корпус остается под потенциалом земли. Для того чтобы гарантировать перегорание предохранителя, необходимым условием является достаточно низкое переходное сопротивление в точке соединения с заземлением. Обязательным также является использование трехжильного сетевого провода. В соответствии с правилами Международной электротехнической комиссии, МЭК, разработаны двухжильные сетевые провода, которые не могут применяться для подключения оборудования класса I, предназначенного для подключения с использованием трехштыревых вилок и розеток к трехпроводной сети питания. Силовые трансформаторы класса I испытываются напряжением 1,5 кВ средневзвешенного значения.

Оборудование, относящееся к классу II по электробезопасности, не требует заземления. Безопасность такого оборудования обеспечивается не за счет прерывания питающего тока в случае возникновения неисправности, а за счет предотвращения подобной неисправности. Правила требуют конструктивного исполнения с использованием двойной изоляции и обычно предусматривают более высокие требования к конструкции оборудования, которые могли бы предупредить любые возможные электрические соединения между фазными проводами и корпусом. Для подключения обязательным является использование двухжильных силовых проводов, разработанных по рекомендации МЭК, хотя не запрещается

ется вести торговлю и трехжильными проводами для использования с оборудованием класса II. Такой вариант не будет представлять опасности сам по себе, но предназначен, прежде всего, для того, чтобы предотвратить возможную неразбериху с тем оборудованием, которое уже находится в эксплуатации. Трансформаторы, относящиеся к классу II, испытываются напряжением 3 кВ среднеквадратического значения, чтобы обеспечить более высокую уверенность в стойкости электрической изоляции против пробоя.

Оборудование класса II часто принимается с расчетом избавиться от контуров заземления. Такой подход устраняет возможность возникновения серьезных проблем, но все это достигается за счет лишения всякой надежды устранить одну маленькую. Это связано с тем, что совершенно отсутствует возможность предотвратить протекание емкостных токов из силового трансформатора, которые протекают по заземлению. (См. раздел 14.4.) Также более не представляется возможным установить заземленный электростатический экран между первичной и вторичной обмотками трансформатора. Этот аргумент весьма серьезен, так как он лишает вас самого лучшего оружия против проникновения фона сетевого питания и ВЧ излучения. Для оборудования класса II внешнее шасси может быть металлическим и соединяться с шиной нулевого потенциала так часто, как этого захочется.

Если система класса II не присоединена к заземлению в какой-либо точке, то паразитная емкость, существующая между первичной и вторичной обмотками различных типов силовых трансформаторов, может привести к существенному возрастанию ее потенциала относительно потенциала земли. Если к такой установке прикоснется человек, находящийся на заземленной поверхности, то начнет протекать электрический ток, который иногда может оказаться достаточно ощутимым, хотя и не так явно, как болезненный удар, возникающий при разряде статического электричества. Обычной жалобой является замечание, что лицевая панель оборудования «вибрирует», либо же, что она вызывает чувство «озноба». Максимально допустимое значение тока прикосновения (тока, проходящего через тело живого человека на землю), установленное действующими нормами, составляет 700 мкА, но токи, даже значительно меньшие по величине от этого значения, все равно оказываются достаточно ощутимыми. Рекомендуются, хотя и не является обязательным требованием, чтобы это значение уменьшалось вдвое в странах с тропическим климатом, где возрастает вероятность того, что руки окажутся влажными (и из-за снижения электрического сопротивления кожного покрова протекающий на землю ток будет больше). Величина тока, протекающего на землю, измеряется через последовательно подключенный резистор с сопротивлением 50 кОм.

При разработке нового оборудования следует помнить, что чем массивнее будет силовой трансформатор, тем больше будет паразитная емкость между первичной и вторичной обмотками трансформатора и тем больше окажется вероятность возникновения различных проблем. Чтобы оценить величины в перспективе автор книги производил измерения с тороидальным трансформатором мощностью 500 ВА (предназначенным для использования в оборудовании Класс II и не имеющим экрана между обмотками) и получил значение емкости между

обмотками 847 пФ. На частоте 50 Гц и напряжении 230 В эти значения обеспечили максимальный ток 63 мкА, протекающий в цепь прохождения сигнала, точные значения зависели от конкретного расположения обмоток. Значительно больший по размерам тороидальный трансформатор мощностью 1500 ВА имел величину емкости между обмотками, равную 1,3 нФ, но он предназначался для использования в оборудовании класса I и имел экран, который не подключался («плавал») при измерениях, обеспечивших вышеуказанное значение емкости.

#### 14.5.1. Предупреждение

Следует всегда иметь в виду, что официальные требования к электробезопасности с течением времени подвергаются изменениям. Эта книга не пытается дать исчерпывающее описание всех тех требований, которые необходимы, чтобы изделие соответствовало техническим условиям. Информация, приводимая в данной книге, соответствует тем правилам, которые действуют на момент написания данной книги, однако именно обязанностью разработчика продукции является отслеживание возникающих в этой области изменений и следование новым требованиям, дабы обеспечить соответствие своей продукции новым требованиям. Информация, содержащаяся в данной книге, приведена автором добросовестно, однако автор не несет никакой ответственности за любой ущерб или какие бы то ни было повреждения, возникшие в результате любых обстоятельств.

### 14.6. Вопросы проектирования и конструкции оборудования

Процесс проектирования изделия определяется в значительной степени целевым рынком, фондом рабочего времени и технологическим ресурсом, однако автор книги предлагает обратить внимание на несколько чисто технических вопросов, которые должны быть приняты во внимание при проектировании.

#### 14.6.1. Охлаждение

Для всех усилителей мощности является необходимым теплоотводящий радиатор, который требует интенсивного охлаждения, и чаще всего этот процесс осуществляется за счет конвекционных процессов, поэтому при проектировании изделия очень часто за исходную точку принимают именно это требование. Существует три основных подхода к решению данной проблемы:

- (а) Радиатор устанавливается внутри конструкции и охлаждается конвекционными потоками воздуха, поступающими из нижней части конструкции и отводящимися из его верхней (так называемое пассивное охлаждение).

##### *Преимущества способа*

Теплоотводящий радиатор может находиться под любым напряжением, что позволяет исключить из конструкции термопроводящие прокладки, устанавливаемые между корпусом радиатора и мощными полупроводниковыми приборами. С другой стороны, все равно акту-