

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПОДАВЛЕНИЕ ПАРАЗИТНЫХ НАВОДОК И ФОНА СЕТИ ПИТАНИЯ

4-1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

Паразитные наводки проявляются в первую очередь на оконечном индикаторе радиоэлектронного устройства независимо от действительных их источников и приемников. Так, например, паразитная модуляция фоном сети питания генератора стандартного сигнала непосредственно на генераторе не наблюдается и выявляется только на выходном индикаторе радиоприемника — телефонах, динамическом громкоговорителе, электронно-лучевой трубке, приборах автоматического управления. При этом ее трудно отличить от собственного фона приемника, например от модуляции гетеродина напряжением фона.

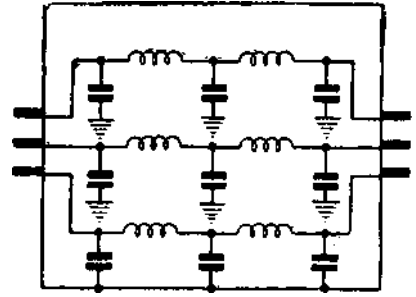
Для полного и гарантированного подавления паразитной наводки необходимо найти конкретный ее источник, цепь паразитной связи, по которой наводка поступает на приемник, и входную цепь приемника наводки. Когда эти три элемента найдены, само подавление наводки в большинстве случаев не представляет затруднений и сводится обычно к добавлению развязывающих или оглаживающих ячеек и к небольшим изменениям в монтаже. Исключение составляют случаи, когда причиной наводки является недостаточное экранирование электрического и магнитного полей. В этом случае для устранения наводки может понадобиться реконструирование прибора или узла.

Необходимо здесь подчеркнуть одно важное положение, которое обычно предпочитают не уточнять. В идеально продуманной, спроектированной и сконструированной системе паразитные наводки, очевидно, отсутствуют. Наличие паразитных наводок свидетельствует об ошибках, допущенных проектантом и конструктором. Трудоемкость экспериментальной работы по подавлению паразитных наводок несравненно больше трудоемкости проектирования. Более тщательное проектирование, привлечение к нему работников, занимающихся экспериментальной доводкой, привлечение к экспериментированию конструкторов могут значительно сократить сроки разработки радиоэлектронной аппаратуры. Правильно было бы качество проекта оценивать временем, которое приходится затрачивать на экспериментальную доводку.

Из сказанного не следует делать вывод, что автор считает преступлением любую ошибку, ведущую к необходимости экспериментирования. Сложность разрабатываемой радиоэлектронной аппаратуры настолько велика, что без ошибок обходиться не удастся. Но сознательное отношение к ошибкам, даже простая констатация того, что данный дефект является ошибкой, толкает работников к дальнейшему повышению своей квалификации и, следовательно, к тому, чтобы делать меньше ошибок в будущем. Вот почему автор позволил себе изложить здесь свое мнение, что, возможно, покажется некоторым неуместным.

Экспериментальные работы по подавлению паразитных наводок следует начинать с исследовательской части, целью которой будет нахождение источников и приёмников наводки и цепей паразитной связи. Для этого необходимо, непрерывно наблюдая наводку на выходном индикаторе системы, делать и проверять те или иные предположения о конкретных ее источниках, приемниках и цепях связи. После проверки ошибочные предположения отвергаются, поэтому они не страшны. Значительно хуже отсутствие предположений, которое не позволяет вести дальнейшую работу. Если работа зашла в такой тупик, то следует еще раз просмотреть первую главу книги и сделать из нее выписку всех возможных вариантов, не исключая при этом и те варианты, которые с первого взгляда кажутся абсурдными.

Для проверки сделанного предположения необходимо упростить систему, т. е. выключить из нее все элементы, не участвующие в предположении. Если при этом наводка не исчезнет, то предположение делается почти достоверным. Тогда следует подробно рассмотреть весь предполагаемый путь прохождения наводки, выясняя последовательно на каждом его участке, какие элементы входят в систему источник — цепь связи — приемник наводки. В процессе такого выяснения приходится отключать и замыкать накоротко некоторые точки системы. Полезно также для выяснения характера наводки вводить в различные цепи фильтрующие дроссели и конденсаторы, подбирая их тип и данные в соответствии с характером фильтруемой наводки. Если в системе имеются штепсельные разъемы, то для экспериментирования очень удобно изготовить небольшую экранированную коробку с обеими ответными частями штепсельного разъема, соединенными фильтрующими ячейками.



(рис. 4-1) Съемный фильтр для экспериментальных работ.

Обычно в процессе такого экспериментирования и выясняется наиболее простой и надежный способ подавления наводки. Необходимо предостеречь от подавления наводок без углубления в физический смысл процессов путем более или менее случайных проб и переделок. Иногда такая методика и позволяет быстро устранить наводку, но в большинстве случаев она приводит к длительному и безрезультатному экспериментированию. Залог успеха в этом тонком деле заключается в том, чтобы, отвлекшись от практической задачи—подавления наводки, тщательно проанализировать физическую сущность процесса и исследовать его полностью. *Излишний и несвоевременный практицизм в большинстве случаев не упрощает дело, а, наоборот, затягивает его на большой срок.*

Часто исследуемая наводка поступает на приемник по нескольким путям и через разные входные цепи. В этом случае экспериментальная проверка правильно предположенного пути прохождения наводки может дать отрицательный результат, если по этому пути проходит меньшая часть наводки. Повторение проверки после подавления основной части наводки может дать положительный результат. В таких сложных случаях проверку сделанных предположений необходимо производить особенно тщательно, учитывая любые незначительные изменения уровня наводки и *не отказываясь от многократного повторения экспериментов.*

Подавление наводки всегда выгоднее производить у источника, так как это гарантирует отсутствие наводки не только на данный конкретный приемник, но и на все другие, которые могут обнаружиться в дальнейшем. В тех частных случаях, когда наводка поступает на приемник по входным цепям вместе с полезными сигналами и на тех же частотах, подавление наводки у источника является единственным способом избавления от нее. Во всех остальных случаях, для большей надежности, желательно подавлять наводку дважды — у источника ее и у приемника.

4-2. ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ ФОНА СЕТИ ПИТАНИЯ. ФОН ИЗ-ЗА НЕДОСТАТОЧНОГО СГЛАЖИВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Фон сети, питающей радиоэлектронный прибор, является одной из чаще всего встречающихся паразитных наводок. Такая наводка проявляется либо в виде прямого прохождения переменного напряжения частоты сети питания и ее гармоник на выход прибора независимо от полезных сигналов, либо в виде накладки (модуляции) переменного напряжения частоты сети питания и ее гармоник на любые выходные сигналы прибора: постоянный так, незатухающие и модулированные колебания, высокочастотные импульсы, видеоимпульсы, изображение на экране электроннолучевой трубки и т. д. При появлении наводки фона необходимо прежде всего убедиться в том, что это фон сети питания, а не какое-либо другое явление. Для этого удобнее всего подать выходное напряжение на осциллограф, синхронизируя его с сетью питания.

Если будет получено неподвижное изображение, то это означает, что наблюдается фон сети питания.

Известны три причины появления фона: недостаточное сглаживание выходного напряжения выпрямителей, являющихся источниками анодного, экранного и сеточного постоянных напряжений, питание накала ламп переменным током и паразитные наводки напряжений на отдельные элементы схемы электрическими и магнитными полями, создаваемыми элементами и цепями источников питания.

Из этих причин легче всего определяется фон, вызываемый питанием цепей накала. Для этого нужно, приспособившись к быстрым наблюдениям на осциллографе или другом выходном индикаторе, выключить накал всех ламп, не выключая остального питания. Если причиной фона является накал, то он исчезает сразу после выключения, в то время как прибор перестает работать постепенно, по мере остывания ламп. Такой эксперимент удастся только при применении ламп с катодами косвенного накала. В приборах с частичным применением ламп прямого накала приходится заменять питание накала от сети переменного тока питанием от батареи или аккумулятора. Наличие прежнего фона при выключении накала не означает, что фон, вызываемый цепью накала, отсутствует вовсе. Этот факт указывает только на то, что основным источником фона является не цепь накала. Если после подавления основного источника фон все же останется, то эксперимент с выключением накала следует повторить.

После обследования цепи накала следует выяснить, какой из остальных источников питания создает большую часть наводки. Для этого удобно шунтировать в определенной последовательности источники напряжений для питания анодов, экранирующих и управляющих сеток, напряжения 24 в для цепей реле и т. д. батареей конденсаторов большой емкости порядка 100 мкф и наблюдать изменение уровня фона. Несколько менее удобно добавление в проверяемый источник фильтрующей ячейки из дросселя или сопротивления и конденсатора, так как здесь сравнение уровня фона при старой и улучшенной фильтрации приходится производить с разрывом цепи тока. Если улучшение фильтрации всех источников постоянного

напряжения не дает заметного уменьшения уровня фона, то его можно отнести к возникающему по третьей причине — паразитной наводке через электрическое и магнитное поля.

Если выяснится, что причиной фона является недостаточная фильтрация напряжения одного из выпрямителей, то следует с помощью осциллографа измерить амплитуду остаточного фона, поступающего на шину питания ламп.

При таком измерении на выходе источника питания должна быть включе-

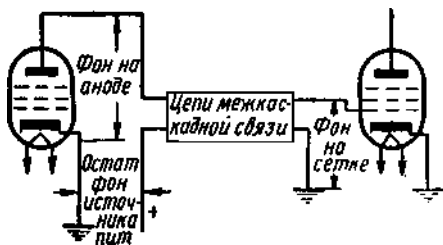


Рис. 4-2. Передача фона от источника питания анодов на управляющую сетку лампы.

на его номинальная нагрузка или ее эквивалент. Затем расчетом должен быть проверен относительный уровень фона данного источника. Если окажется, что он выходит за пределы, установленные техническими условиями, то выпрямитель подлежит ремонту или регулировке.

При исправном выпрямителе следует просмотреть всю питаемую от него часть прибора, отключая отдельные элементы, до тех пор, пока не исчезнет фон. Затем необходимо просмотреть схему этой части прибора с точки зрения прохождения и усиления в ней известного уровня остаточного фона, поступающего на шину питания. Здесь обычно и находят ошибки, которые чаще всего сводятся к следующему.

В любой комбинации из электронных ламп анодные цепи одних ламп соединяются с сеточными цепями других ламп через различные элементы межкаскадной связи: цепи RC , трансформаторы, линии и т. д. Как видно из рис. 4-2, переменное напряжение остаточного фона, приложенное к аноду лампы, попадает на сетку другой лампы через элементы межкаскадной связи.

Уровень фона на сетке определяется частотной характеристикой межкаскадной связи. В наихудшем случае все напряжение остаточного фона

оказывается приложенным к сетке, а при использовании повышающего трансформатора оно может, даже возрасти. В результате, чем большее усиление имеется на пути от сетки какой-либо лампы до выхода, на котором проявляется наводка фона, и чем выше идет частотная характеристика этого пути в области низких частот, тем больше будет фон. Борьбу с таким усилением фона, который иногда проектировщиками не учитывается, ведут путем включения в анодные цепи некоторых ламп фильтрующих ячеек RC , рассчитанных на дополнительное снижение уровня фона на сетках других ламп. Кроме того, снижения фона можно добиться ухудшением частотной характеристики системы в области низких частот, если это допустимо.

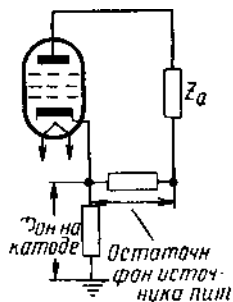


Рис. 4-3. Поступление на катод фона от источника питания анода.

В некоторых случаях для подачи начального смещения на сетку лампы подключают катод через сопротивление к источнику питания анодов (рис. 4-3). При этом на катод подается и напряжение остаточного фона источника.

При начальном проектировании прибора необходимо учитывать, что применение отдельных фильтрующих ячеек к выпрямителю для питания каскадов, чувствительных к фону, и отказ от излишне хороших частотных характеристик является наиболее простым, наиболее дешевым и наиболее надежным вариантом питания системы. Разбор различных схем фильтрации и использования с этой целью схем стабилизации выходного напряжения выходит за пределы задач, рассматриваемых в настоящей книге. Эти вопросы освещены в литературе [2, 5].

При проектировании нужно также учитывать, что включение в цепь анода потенциометра или делителя напряжения для регулирования амплитуды сигнала, подаваемого на сетку лампы следующего каскада (рис. 4-4), изменяет в невыгодную сторону соотношение между напряжениями сигнала и фона. Поэтому потенциометр или делитель лучше включать в цепь сетки, как показано на рис. 4-5.

Борьба с фоном прямыми методами, т. е. уменьшением уровня фона источников и подавлением паразитных цепей, связывающих источники фона с его приемниками, приводит часто к необходимости повышения качества источников питания и других звеньев радиоэлектронного прибора, что требует дополнительных затрат и усложнения аппаратуры. Поэтому весьма заманчивыми кажутся различные компенсационные схемы подавления

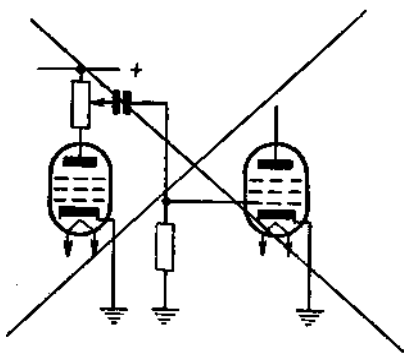


Рис. 4-4. Неправильное включение потенциометра регулировки амплитуды сигнала.

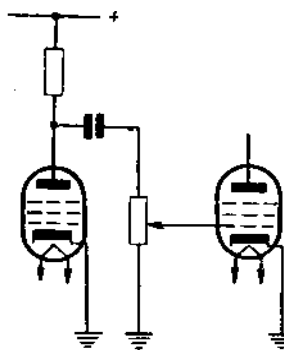


Рис. 4-5. Правильное включение потенциометра регулировки амплитуды сигнала.

фона, принцип действия, которых сводится к введению в различные точки схемы прибора, переменного напряжения сети питания в противофазе с фоном. Недостатками таких схем является необходимость точной индивидуальной регулировки прибора и возможность недокомпенсации и перекомпенсации при изменениях уровня фона по любой причине. В результате *применение компенсационных схем приводит к усложнению производства, снижению идентичности отдельных образцов и уменьшению надежности аппаратуры.* Поэтому здесь и в следующих параграфах компенсационные методы не рассматриваются. Интересующихся автор отсылает к литературе [2, 5].

4-3. ФОН СЕТИ ПИТАНИЯ ПРИ НАКАЛЕ ЛАМП ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

В большинстве радиоэлектронных приборов один полюс цепи накала соединяется с корпусом прибора. Неправильное выполнение такого соединения может служить причиной появления в приборе значительного фона.

На рис. 4-6 показана неверная схема подключения источников питания прибора, в которой присоединяемый к корпусу провод от трансформатора накала сделан на участке *ab* общим с идущими к корпусу проводами от отрицательного полюса источника питания анодов и от положительного полюса источника питания сеток. Ток накала прибора

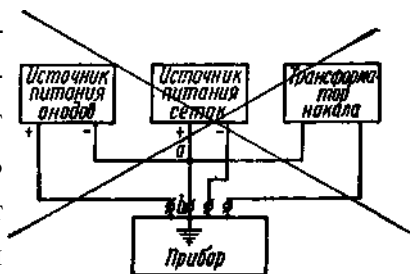


Рис. 4-6. Неправильное подключение к корпусу прибора источников питания.

обычно довольно велик. Протекая по общему участку *ab*, он создает на нем заметное падение напряжения, которое оказывается включенным последовательно с выпрямителями анодов и сеток и резко увеличивает их уровень фона. Так, например, если источник питания анодов с напряжением $E_a=300$ в имеет уровень фона 0,01%, то переменная составляющая, подводимая от него к прибору, составляет всего $300 \cdot 10^{-4} = 0,03$ в. Если прибор имеет 10 ламп, а среднее значение тока накала каждой, лампы равно 0,5 а, то проходящий по участку *ab* ток равен 5 а. При длине участка *ab*, равной 1 м, и использовании провода диаметром 1,0 мм сопротивление участка будет около 0,025 ом. Падение напряжения на участке *ab* будет 0,125 в. В результате уровень фона, подаваемого на прибор будет в $0,125/0,03 = 4,2$ раза выше уровня, даваемого только выпрямителем. На рис. 4-7 показана правильная схема подключения источников питания, в которой все присоединяемые к шасси провода имеют свои отдельные клеммы.

Особенно важно соблюдать эту схему в многоблочной аппаратуре, в которой источники питания часто выделяются в отдельные блоки. Необходимо также соблюдать эту схему в лабораторных и испытательных установках, так как неправильное подключение источников питания может дать ошибочные результаты, не повторяющиеся при окончательной сборке аппаратуры

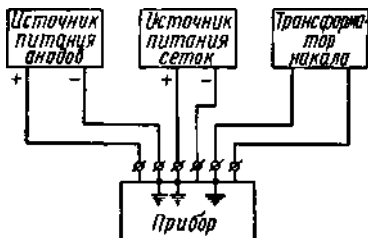


Рис. 4-7. Правильное подключение к корпусу прибора источников питания.

Рассмотренная паразитная передача части напряжения накала в цепи других источников питания относится к паразитной связи через общее сопротивление, разобранный в § 1-1. Этот вид паразитной связи особенно опасен в тех случаях,

когда через общий провод протекает большой ток. Поэтому к монтажу присоединения к корпусу проводов, несущих токи накала, нужно относиться весьма осторожно. Провода, или лепестки, соединяющие цепи накала с шасси, нельзя использовать для присоединения к шасси других элементов схемы. В практике автора имел место случай, когда у промышленного образца осциллографа на линии развертки получался остаточный фон, не исчезающий при отключении входных проводов и при установке на нуль регулятора вертикального усиления. Оказалось, что один из концов сопротивления, относящегося к входу усилителя вертикального отклонения, был присоединен к шасси через накальный лепесток ламповой панели, соединенный с шасси проводом длиной около 200 мм. Падение напряжения на этом участке, по которому протекал ток всего одной лампы 6Ж4, оказалось достаточным для создания фона.

Подключение к корпусу нескольких источников питания общим проводом опасно не только, когда одним из источников является трансформатор накала. Питание схем, построенных на полупроводниковых приборах, отличается значительно меньшими напряжениями и значительно большими токами по сравнению с питанием ламповых схем.

В этих условиях общий провод может привести к увеличению уровня фона за счет добавления к фону одного выпрямителя фона других выпрямителей. Так же любые изменения, и броски тока, потребляемого от одного из выпрямителей, могут давать заметное падение напряжения на общем проводе и добавляться к напряжению остальных источников.

В литературе [2, 5] имеется указание на то, что использование шасси в качестве одного из проводов накала может послужить причиной появления фона. При этом возможны два пути возникновения фона:

- 1) Из-за наводки магнитным и электрическим полями, появляющимися при асимметрии цепи накала;
- 2) из-за падения напряжения, создаваемого током накала, протекающим по различным участкам шасси.

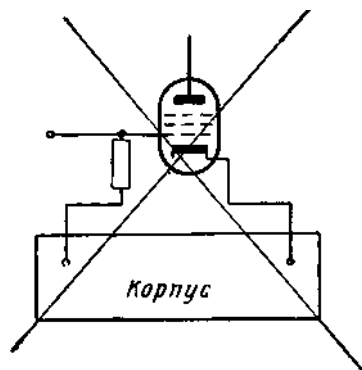


Рис. 4-8. Неправильное подключение к корпусу прибора деталей, относящихся к одному усилительному каскаду.

Первое предположение разбирается в § 4-5. Для проверки правильности второго предположения определим падение напряжения, которое

может получиться при пропускании тока 5 а через медную пластину толщиной $1,5 \text{ мм}$, шириной 50 мм и длиной 200 мм . Сопротивление такой пластины равно $50 \cdot 10^{-6} \text{ ом}$ и на всей ее длине падает напряжение всего $0,25 \text{ мв}$. На стальной пластине тех же размеров падает около 2 мв , т. е. в $7,7$ раза больше. Это напряжение может полностью попасть в цепь сетки усилительного каскада, если его смонтировать, как показано на рис. 4-8, разнеся как можно дальше точки присоединения катода и сетки к шасси. Если же монтаж выполнен с соблюдением элементарного правила близкого размещения и соединения с шасси всех деталей, относящихся к одной лампе, то приведенные цифры будут во много раз меньше. Таким образом, пропускание тока накала по шасси безопасно даже для высококачественных усилителей низкой частоты с большим усилением при условии правильного

монтажа первых каскадов. В других схемах напряжение фона, измеряемое единицами милливольт, вообще оказывается недостаточным для создания паразитной модуляции фоном, и пропускание тока накала по шасси безопасно и при неудачном монтаже первых каскадов усилителя.

Другой причиной появления фона при накале ламп переменным током является проводимость промежутка подогреватель — катод, проявляющаяся при накаленном катоде, особенно при повышенном напряжении накала. Величина сопротивления подогреватель—катод для различных типов ламп лежит в пределах 3—8 Мом при номинальном напряжении накала. Это сопротивление образует с включенным в катод сопротивлением R_k делитель (рис. 4-9),

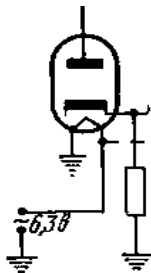


Рис. 4-9. Наводка фона через сопротивление промежутка катод — накал.

через который часть переменного напряжения накала передается в цепь катода. Наводимое на катоде напряжение фона тем больше, чем больше катодное сопротивление R_k . Так, например, при питании накала напряжением 6,3 в и сопротивлении $R_k = 0,25$ Мом наведенное на катод напряжение фона может достигнуть величины $(6.3 * 0.25) / 3 = 0.5$ в и после небольшого усиления в 10—20 раз создать на выходе значительный фон, который удастся подавить только питанием накала данной лампы от отдельной обмотки трансформатора, хорошо изолированной от корпуса, всех других обмоток и всех других ламп.

Большие сопротивления в катоде применяются часто в схеме детектора в том случае, когда на его выходе получается напряжение положительной полярности (рис. 4-10,а). С точки зрения наводки фона значительно лучше схемы для получения напряжения отрицательного знака (рис. 4-10,б, в), в которых катод соединен с шасси непосредственно или через высокочастотную катушку.

Небольшие сопротивления в катоде применяются почти всегда для получения автоматического смещения и для уменьшения влияния разброса

параметров ламп при их смене и старении. При большом усилении на частотах, близких к частоте сети питания и ее гармоник, даже небольшие величины сопротивления в катоде могут дать заметный уровень фона.

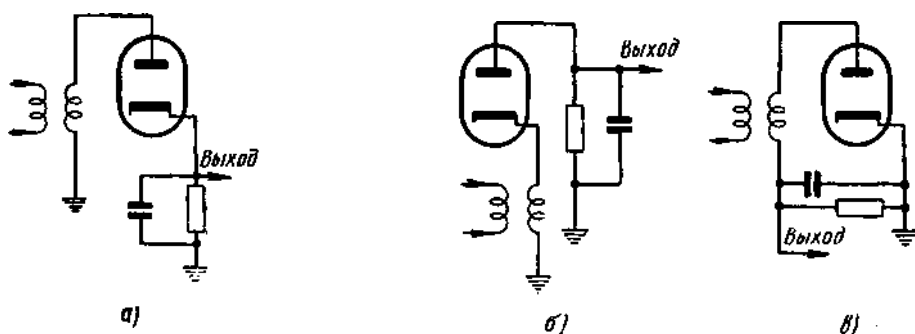


Рис. 4-10. Варианты включения детектора с вакуумным диодом.

Так, например, при $R_k=200$ ом и напряжении накала 6,3 в напряжение фона на входе $(6,3 \cdot 200) / 3 \cdot 10^{-6} = 0.4$ мв каскада может достигнуть величины достаточной для получения заметного фона на выходе высококачественного усилителя низкой частоты. В этом случае для подавления фона необходимо шунтировать катод очень большой емкостью или, отказавшись от автоматического смещения, присоединить катод к шасси, подавая смещение от специального источника, несмотря на то, что это менее выгодно с точки зрения влияния разброса параметров ламп.

В усилителях низкой частоты с очень большим усилением соединение катода с шасси может не полностью устранить фон, вызываемый цепью накала, вследствие недостаточной тепловой инерции катодов ламп и влияния магнитного и электрического полей цепи накала на эмиссионный ток лампы. Тогда единственным способом подавления фона будет перевод питания накала первых ламп усилителя на постоянный ток от специального низковольтного выпрямителя с хорошим сглаживанием выпрямленного напряжения.

Отдельную цепь накала приходится применять еще тогда, когда на катоды ламп. Подается большое отрицательное напряжение относительно

корпуса, превосходящее наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, оговоренное техническими условиями на лампу. В этом случае цепь накала не следует оставлять изолированной от остальной схемы, так как при любом случайном соединении цепи накала с корпусом (пробой трансформатора, касание отверткой при настройке) напряжение между катодом и подогревателем достигнет полного напряжения источника питания и лампа выйдет из строя. Если такое питание подается только на одну лампу (электронно-лучевая трубка с электростатическим отклонением, магнетрон, специальный выходной каскад), то для ее предохранения катод следует соединять накоротко с одним полюсом отдельной цепи накала или со средней точкой любого вида, показанного на рис. 4-16. Если же от источника отрицательного напряжения питается несколько ламп, то один полюс цепи накала или ее среднюю точку следует соединить с минусом источника.

4-4. ФОН СЕТИ ПИТАНИЯ, НАВОДИМЫЙ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Находящиеся в приборе или блоке силовой трансформатор и дроссель сглаживающего фильтра создают магнитный поток рассеивания, который может оказаться причиной появления фона переменного тока на выходе усилителя. Магнитный поток рассеивания индуцирует напряжение фона в любых катушках индуктивности, расположенных на его пути. Наводки фона переменного тока сильно сказываются на трансформаторах низкой частоты, особенно в усилителях с большой чувствительностью. Как разобрано в § 2-7, высококачественное экранирование силовых и низкочастотных трансформаторов сложно и дорого. Поэтому в приборах с совместным размещением силовой и радиоэлектронной частей нужно избегать применения низкочастотных трансформаторов. Если же низкочастотный трансформатор оказывается необходимым, то его следует размещать на одной оси с силовым трансформатором на максимальном расстоянии от него, ориентируя оба трансформатора так, чтобы их магнитные поля пересекались под углом 90° . Необходимость дополнительного экранирования обоих трансформаторов при таком размещении может быть установлена

только экспериментально.

Заметно меньшее рассеивание имеют силовые и низкочастотные трансформаторы с тороидальными сердечниками, что облегчает совместное размещение их в одном приборе.

Магнитный поток рассеивания может непосредственно влиять на электронный поток в лампах и электронно-лучевых трубках, производя

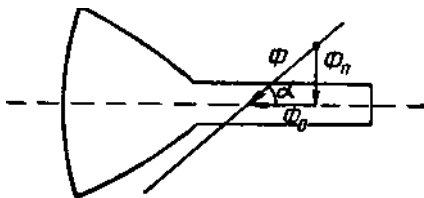


Рис. 4-11. Влияние магнитного потока рассеивания на электронно-лучевую трубку.

периодическое отклонение его в сторону. Для предохранения от такого влияния нужно удалять электронные лампы, относящиеся к первым каскадам усилителя низкой частоты на максимально возможное расстояние от силового трансформатора и дросселей. Кроме того, в усилителях с высокой чувствительностью рекомендуется помещать первую лампу в специальный низкочастотный экран, выполняемый с учетом того, что сказано в § 2-7 и 2-10.

Значительно труднее избавиться от влияния силового трансформатора на электронно-лучевую трубку, так как оба эти элемента являются наиболее крупными частями прибора (осциллографа, телевизора, радиолокационного индикатора), от которых в основном зависит его конструкция и размеры. Магнитный поток рассеивания может пересекать электронно-лучевую трубку под любым углом, а с ее осью (рис. 4-11) в зависимости от взаимного расположения силового трансформатора и трубки. Его всегда можно разложить на две составляющие Φ_0 и Φ_{\perp} действующие соответственно вдоль и перпендикулярно оси трубки.

Осевая составляющая Φ_0 добавляется к магнитному потоку, создаваемому фокусирующей катушкой трубки, и производит синусоидальное

изменение этого потока. В результате происходит расфокусировка пятна на экране трубки, изменяющаяся с частотой сети питания. Очевидно, что осевая составляющая магнитного потока рассеивания оказывает аналогичное действие и на трубку с электростатической фокусировкой.

Перпендикулярная составляющая Φ_{\perp} производит перемещение пятна в направлении, перпендикулярном оси трубки. Действие этой составляющей легко обнаруживается на экране трубки при выключенных развертках в виде светящегося пятна, которое при попытках сфокусировать его в круглую точку вытягивается в эллипс или линию.

При наличии разверток магнитный поток рассеивания проявляется в виде различных искажений изображения, зависящих от использования трубки и наличия или отсутствия синхронизации с сетью питания.

Не прибегая к специальному экранированию, влияние магнитного потока рассеивания можно сильно ослабить, отдалив силовой трансформатор и дроссель фильтра выпрямителя на максимально возможное расстояние от трубки и специально подобрав их взаимное расположение. Этот подбор проще всего производится экспериментально из-за трудности теоретического учета направлений и величин потоков рассеивания. При недостаточном ослаблении влияния потока рассеивания, получаемого методом подбора взаимного расположения, применяют магнитное экранирование, которое может быть выполнено в трех вариантах: установка экранирующей однослойной или многослойной перегородки между трубкой и системой питания; усиленное экранирование силового трансформатора; размещение трубки в магнитном экране. Выбор одного из вариантов определяется конструктивными соображениями. Для электронных осциллографов наиболее желательным вариантом является хорошее магнитное экранирование электронно-лучевой трубки, так как обычно осциллограф устанавливается рядом с другими приборами, содержащими силовые трансформаторы.

4-5. МОНТАЖ СЕТИ ПИТАНИЯ

Существенное значение имеет правильный монтаж в приборе проводов, по которым подводится напряжение сети питания.

Как показано в § 2-5, для уничтожения магнитного поля проводов необходимо пропускать ток по коаксиальному проводу или свитой паре проводов так, чтобы прямой и обратный токи были равны. Сеть питания всегда в какой-либо точке соединена с землей, и провода сети питания на различных участках имеют разные емкости относительно земли.

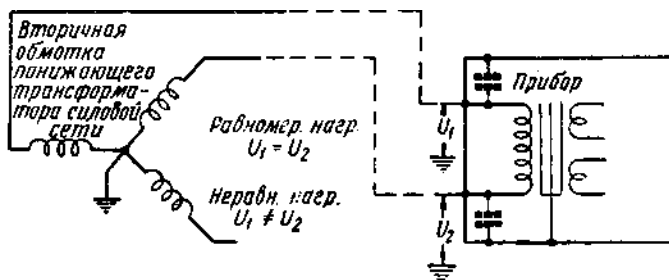


Рис. 4-12. Питание прибора от трехфазной сети.

Корпус прибора также всегда заземляется. Для подвижных объектов «землей» можно считать корпус самого объекта, к которому всегда присоединяется сеть питания и прибор. В результате оказывается, что сеть питания соединена с прибором тремя проводами — два провода сети и заземление. Если заземление сети строго симметрично (рис. 4-12), то через заземление уравнивающие токи не текут, по обоим проводам в противоположных направлениях текут одинаковые токи и внешнее магнитное поле проводов сети питания, проложенных внутри прибора, близко к нулю.

Другой часто встречающийся случай показан на рис. 4-13. Здесь трехфазная сеть питания имеет нулевой провод, и все потребители подключаются между фазой и нулем. В этой схеме обратный ток протекает частично по нулевому проводу и частично через землю, провода сети питания имеют внешнее магнитное поле, наводящее фон на различные части прибора.

В первой схеме (рис. 4-12) строгая симметрия может получиться только при равномерной нагрузке всех трех фаз трансформатора сети. При неравномерной нагрузке провод каждой фазы имеет разное напряжение относительно земли, через землю протекают уравнивающие

емкостные токи и провода сети питания имеют внешнее магнитное поле.

Таким образом, прокладываемые по прибору провода сети питания не имеют внешнего магнитного поля только в редких частных случаях, и даже если они не дают фона, то их следует рассматривать как

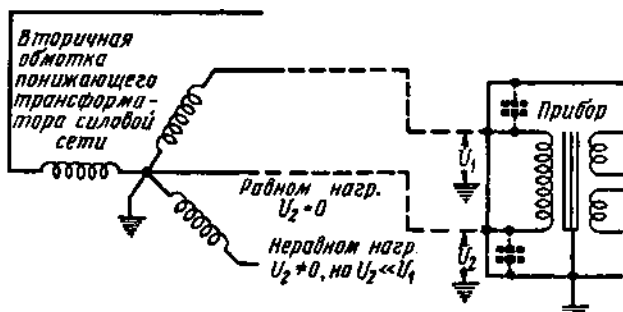


Рис. 4-13. Питание прибора от трехфазной сети с нулевым проводом.

потенциальные источники фона, действие которых может проявиться при подключении прибора к другой сети питания.

В радиоэлектронных устройствах, состоящих из нескольких блоков, соединенных друг с другом многожильными кабелями, часто используют отдельные жилы для подачи напряжения сети питания на находящиеся в блоках трансформаторы. При этом провода сети идут рядом с другими проводами устройства на участках значительной длины. При асимметрии относительно земли они могут служить источником наводки фона. Поэтому из всех проводов, расположенных внутри прибора, наиболее подвержены наводкам провода, проложенные в соединительных кабелях.

Асимметрия сети питания может служить причиной наводки фона и через электрическое поле. Пусть (рис. 4-14) свитые в шнур провода сети питания имеют относительно корпуса разные напряжения U_1 и U_2 . Тогда их можно рассматривать как один провод, имеющий напряжение $U_1 - U_2$ относительно корпуса. Если этот провод (точка A) имеет небольшую паразитную емкость $C_{\text{пар}}$ относительно чувствительной к фону точки B (например, сетка первой лампы усилителя низкой частоты с большим усилением), то напряжение в точке B будет определяться действием делителя,

составленного из емкости $C_{\text{пар}}$ и параллельного соединения емкости $C_{\text{вх}}$ и сопротивления $R_{\text{вх}}$ точки B относительно корпуса.

Для того чтобы убедиться в реальности такой схемы наводки фона, рассчитаем величину емкости $C_{\text{пар}}$, которая достаточна для получения заметного фона на выходе усилителя.

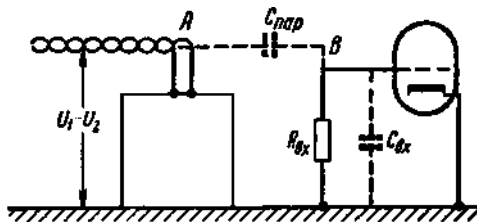


Рис. 4-14. Наводка фона электрическим полем при асимметрии сети питания.

Питание усилителя осуществляется от сети переменного тока 50 гц с асимметрией на 20% от напряжения сети 220 в, т. е. на 4-6 в. Коэффициент усиления примем равным 1000. Заметным будем считать напряжение фона на выходе, равное 1 в. Отсюда следует, что для получения заметного фона на сетку первой лампы нужно подать напряжение 1 мв и делитель из $C_{\text{пар}}$, $C_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вх}}$ должен ослаблять напряжение в 45000 раз. Если взять величину сопротивления утечки в цепи сетки 0,5 Мом, то сопротивлением емкости $C_{\text{вх}}$ на частоте 50 гц можно пренебречь. Тогда в делителе из $C_{\text{пар}}$ и $R_{\text{вх}}$, емкость $C_{\text{пар}}$ должна иметь сопротивление

$$C_{\text{пар}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 45 \cdot 0,5 \cdot 10^6} = 0,14 \text{ нф.}$$

откуда

$$\frac{1}{\omega C_{\text{пар}}} = 45 \ 000 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \text{ ом,}$$

Таким образом, для получения заметного фона на выходе усилителя достаточно паразитной емкости, которую имеют два проводника диаметром 2 мм и длиной 10 мм, находящиеся на расстоянии 10 мм друг от друга (табл. 1-3).

Если аппаратура питается от сети с частотой 400 *гц*, то возможность наводки фона через электрическое поле увеличивается в 8 раз. В этом случае может оказаться полезным электростатический экран между проводами и элементами сети питания и всеми остальными частями устройства.

Для предохранения радиоустройства от наводок, вызываемых асимметрией сети питания, необходимо придерживаться следующих правил:

- а) Силовой трансформатор, предохранители и выключатель сети устанавливать в одном месте около ввода сети в прибор.
- б) В силовом трансформаторе необходимо иметь электростатический экран между первичной обмоткой и всеми остальными.
- в) При блочной конструкции радиоустройства провода сети питания не рекомендуется прокладывать в общих соединительных кабелях.
- г) При монтаже прибора следует избегать произвольного размещения деталей, относящихся к его выпрямительной и основной частям. Провода и детали, относящиеся к схеме питания, необходимо располагать на максимально возможном расстоянии от проводов и деталей основной схемы прибора. Еще лучше размещать схему питания в отдельном блоке.

Особенно важно соблюдение приведенных правил при питании прибора от бортсети постоянного тока с помощью полупроводниковых преобразователей постоянного тока в переменный. В этом случае как бортсеть, так и полупроводниковый преобразователь бывают резко асимметричными относительно корпуса прибора. Кроме того, преобразователь обычно работает не синусоидальным напряжением промышленной частоты 50 *гц*, а на частотах в несколько *кгц*, при резко искаженной форме напряжения, вплоть до меандра. Все это увеличивает возможность паразитных наводок на основную схему прибора.

4-6. ОДНОПРОВОДНЫЙ И ДВУХПРОВОДНЫЙ МОНТАЖ ЦЕПИ НАКАЛА

Цепь накала ламп в большинстве случаев монтируется как однопроводная (рис. 4-15) с использованием в качестве обратного провода корпуса прибора. Применяется также двухпроводная схема цепи накала

с присоединением к шасси средней точки накальной обмотки трансформатора (рис. 4-16,а) или с искусственной средней точкой, получаемой с помощью двух постоянных сопротивлений $R_1 = R_2 = 60-100 \text{ ом}$ (рис. 4-16,б), или с помощью переменного сопротивления, позволяющего точно

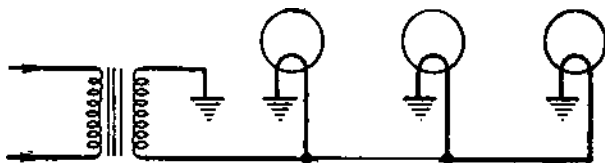


Рис. 4-15. Однопроводная цепь накала.

подобрать среднюю точку (рис. 4-16,в). Двухпроводная цепь накала выполняется свитой в шнур или с параллельной укладкой проводов.

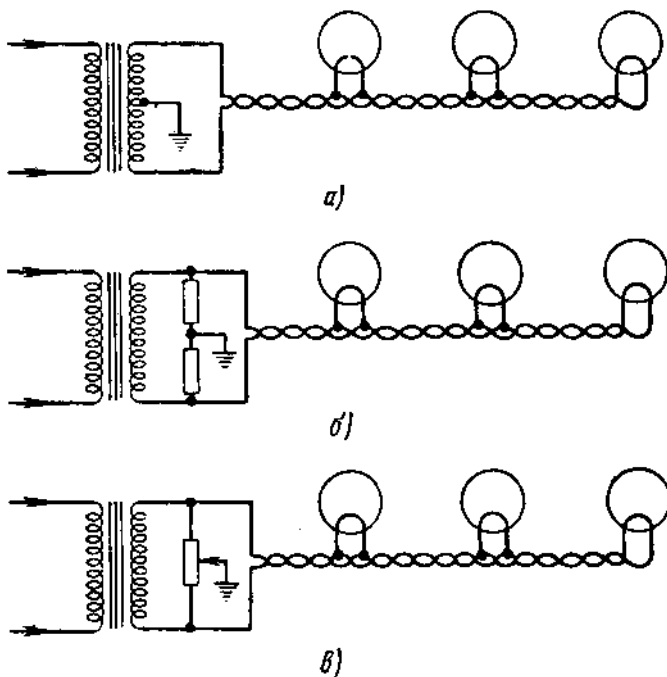


Рис. 4-16. Двухпроводные цепи накала.

Преимуществом однопроводной схемы цепи накала является резкое ослабление разнообразных паразитных связей, которые могут возникнуть между отдельными лампами прибора через емкость подогревателя — катод (§3-8).

Преимуществом двухпроводной цепи накала является уменьшение возможности наводки фона магнитным полем, создаваемым током накала, и электрическим полем, создаваемым напряжением накала.

Очевидно, что применять двухпроводную цепь накала имеет смысл тогда, когда заведомо известно, что однопроводная цепь даст наводку фона.

Во всех остальных случаях выгоднее применять однопроводную цепь, которая проще и предохраняет от неожиданных наводок любого происхождения, кроме фона. Отсюда следует, что возможными объектами применения двухпроводной цепи накала являются усилители низкой частоты и видеоусилители с большим усилением, частотные характеристики которых не падают на частоте сети питания; приборы с электронно-лучевыми трубками, на которые возможна непосредственная наводка магнитным полем цепи накала.

Посмотрим, при каком усилении на частоте сети питания получится заметная наводка фона магнитным полем однопроводной цепи накала. Пусть провод цепи накала, соединяющий силовой трансформатор со всеми лампами прибора, имеет длину 20 см. Провода и детали цепи сетки первого каскада усилителя, имеющие длину 10 см, из-за неудачного расположения их имеют индуктивную связь с проводом накала, коэффициент связи $k=0,1$. Усилитель без входного трансформатора. Диаметр монтажных проводов 0,5 мм. По табл. 1-1 находим индуктивности этих прямых проводов: в цепи накала $L_1=0,26$ мкГн, в цепи сетки $L_2=0,12$ мкГн. Взаимоиндукция равна

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} = 0,1 \sqrt{0,26 \cdot 0,12} = 0,018 \text{ мкВ.}$$

Если по цепи накала течет ток $I = 5$ а, то при частоте напряжения сети 50 Гц на сетке первой лампы усилителя индуцируется э. д. с.

$$E = I \omega M = 5 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,018 \cdot 10^{-6} = 30 \text{ мкВ.}$$

Отсюда следует, что для получения на выходе усилителя заметного фона напряжением 1 в нужно, чтобы усилитель имел редко применяемое усиление

$$K = \frac{1}{30 \cdot 10^6} = 33\,000.$$

При повышении частоты сети питания до 400 гц предельный коэффициент усиления, при котором допустимо применение однопроводной цепи накала, падает в 8 раз, т. е. до величины $K=4000$.

Применение в усилителе низкой частоты входного трансформатора сильно увеличивает наводку. Так, если сеточная обмотка входного трансформатора имеет индуктивность $L_2=100$ гн, рассеивание 1% и связь рассеянного потока с цепью накала 10%, то действующий коэффициент связи между сеточной обмоткой и цепью накала равен $k=0,001$, откуда взаимоиנדукция этих цепей

$$M = 0,001 \sqrt{0,26 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 5 \text{ мкгн}$$

будет в $5/0018=280$ раз больше взаимоиנדукции цепей без трансформатора. Во столько же раз увеличится э. д. с. фона, наведенная в цепь сетки первой лампы усилителя, а именно до 8,5 мв при частоте сети 50 гц и до 75 мв при частоте сети 400 гц.

Упадут также предельные коэффициенты усиления, при которых допустимо применение однопроводной цепи накала: при частоте сети 50 гц $K=120$, при частоте сети 400 гц $K=15$.

Наводка фона электрическим полем однопроводной цепи накала совершенно аналогична наводке фона при асимметрии сети питания (рис. 4-14), рассмотренной в предыдущем параграфе. Только эта наводка будет в $4.5/6.3 = 7$ раз меньше в соответствии с меньшим напряжением в цепи накала. Пользуясь приведенными там цифрами, примем, что для получения заметного фона в усилителе низкой частоты с коэффициентом усиления $K=1000$ достаточно между цепью накала и сеткой первой лампы иметь паразитную емкость $C_{\text{пар}}=0,14 \cdot 7 \approx 1 \text{ нф}$ при частоте сети 50 гц и $C_{\text{пар}} \approx 0,12 \text{ нф}$ при частоте сети 400 гц.

Из этих цифр следует (табл. 1-3), что при неудачном монтаже цепей первого каскада усилителя может получиться наводка фона электрическим полем. Такая наводка легко подавляется экранированием провода накала на участке, ближайшем к первому каскаду.

В приборах с электронно-лучевыми трубками цепь накала обычно находится на довольно большом расстоянии от трубки и отгорожена от нее шасси, являющимся хорошим электрическим экраном, снижающим также магнитное поле. По измерениям Н. И. Амосенко и Д. М. Мурина [24], в телевизионном приемнике «Север» с однопроводной цепью накала максимальная магнитная индукция, создаваемая токами накала, вдоль оси трубки в непосредственной близости от отклоняющей системы составляет $3,4 \cdot 10^{-3}$ гс. В то же время известно, что для отклонения пятна на расстояние, составляющие 1% от радиуса экрана, нужна магнитная индукция порядка 0,1 гс. На трубке с радиусом экрана 100 мм паразитное отклонение, вызванное магнитным полем цепи накала, не превосходит совершенно незаметной величины $1/30$ мм.

Таким образом, для выбора схемы цепи накала можно дать следующие рекомендации.

а) При отсутствии в схеме прибора трансформаторов низкой частоты и больших сопротивлений в катодах ламп нужно использовать однопроводную схему накала.

б) При однопроводной схеме накала при наличии в приборе усилителя с коэффициентом усиления больше 1000 на частоте сети 50 гц и больше 100 на частоте сети 400 гц монтаж проводов накала, проходящих вблизи от наиболее чувствительных точек схемы, следует выполнять экранированным проводом.

в) При наличии в схеме прибора трансформаторов низкой частоты с усилением после них больше 120 на частоте сети 50 гц и больше 15 на частоте сети 400 гц монтаж цепи накала нужно выполнять по симметричной двухпроводной схеме с присоединением к корпусу средней точки.

г) Накал некоторых ламп с большими сопротивлениями в катоде нужно питать от отдельной обмотки трансформатора. Необходимость такого питания определяется расчетом, как показано в § 4-3.

д) Влиянием однопроводной цепи накала на электронно-лучевые трубки можно пренебречь.

Эти рекомендации сделаны на основании приведенных выше ориентировочных подсчетов. Проверка правильности выбранного решения при других условиях может быть выполнена по этой же методике.

4-7. НАВОДКА И ИЗЛУЧЕНИЕ ПОМЕХ ЧЕРЕЗ СЕТЬ ПИТАНИЯ ПРИБОРА

Провода сети питания, входящие внутрь прибора, имеют различные паразитные связи с внутренними частями прибора. Вне прибора эти провода распределяются по ряду других помещений и приборов и, таким образом, осуществляют прямую паразитную связь между внутренними частями различных приборов. Кроме того, провода сети питания имеют связь с антеннами соседних радиопередатчиков и радиоприемников. Из-за этой связи на проводах сети питания индуктируются различные высокочастотные напряжения, передаваемые внутрь прибора.

Наряду с этим напряжения, индуктированные на проводах сети питания, передаются на антенны радиоприемников. Практика показывает, что подавляющая часть взаимных паразитных наводок между удаленными друг от друга приборами происходит с участием сети питания.

Провода сети питания прокладываются всегда вместе свитыми в шнур или в шланге. Они имеют одинаковые паразитные емкости относительно источников и приемников наводки и в них наводятся напряжения, одинаковые по величине и по фазе относительно земли и корпусов приборов. На рис. 4-17 показаны действительная и эквивалентная схемы паразитной связи двух приборов, питающихся от общей сети. На рис. 4-18,а показан прием помех через сеть питания, в которой наводятся высокочастотные напряжения, излучаемые удаленным генератором высокой частоты. На рис. 4-18,б показано излучение помех через сеть питания генератора высокой частоты. Все эти виды распространения паразитных наводок по сети питания являются асимметричными, или однопроводными, поскольку оба провода сети питания передают сигнал наводки в одном направлении, обратным проводом является земля.

Под генераторами высокой частоты здесь понимаются не только устройства, непосредственно вырабатывающие переменные напряжения и токи высокой частоты, но и любые устройства, в процессе работы которых создаются скачки напряжений и токов с широким спектром частот (§ 1-7).

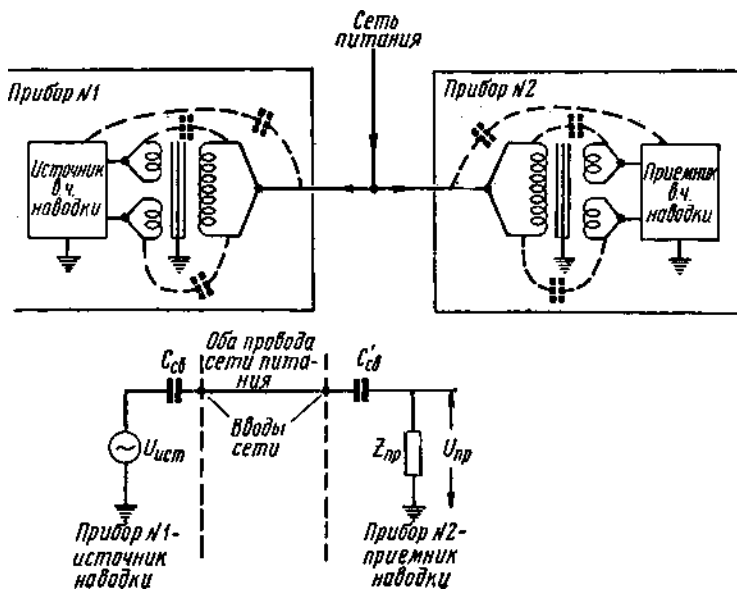


Рис. 4-17. Схема связи двух приборов по сети питания.

Симметричное распространение наводки получается, когда на проводах сети питания индуктируются различные напряжения относительно земли. Тогда между проводами получается высокочастотная разность потенциалов, и по проводам сети проходят токи в разных направлениях. Симметрично распространяющаяся наводка не может проникнуть на высокочастотную часть приемника наводки через одинаковые паразитные емкости обоих проводов (рис. 4-19,а), так как на приемнике наводки индуктируются разные по величине и обратные по знаку напряжения. Маловероятно также проникновение симметричной наводки через силовой трансформатор путем передачи напряжения, наведенного в первичной обмотке, во вторичную, так как силовой трансформатор совершенно не приспособлен для работы

на частотах, отличных от частоты сети питания.

Симметричное распространение наводки опасно только при асимметрии приемника наводки относительно проводов сети питания. Так, например (рис. 4-19,б),

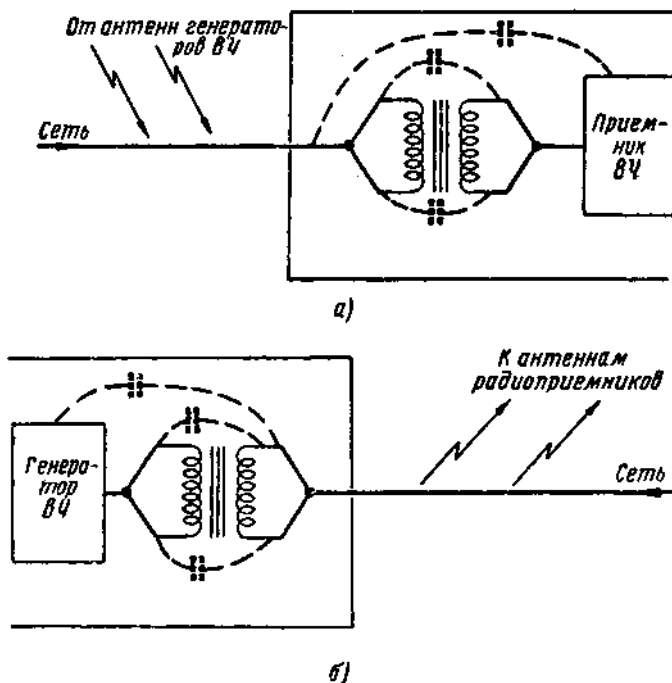


Рис. 4-18. Сеть питания как приемная и передающая антенны.

если ввести в один из проводов сети питания выключатель и предохранитель, разместив их на передней панели прибора, то оба провода сети питания будут иметь различные емкости относительно высокочастотной части прибора, через которые будут передаваться напряжения, разность которых и выразится в виде наводки.

Появление симметричной наводки вызывается двумя причинами: асимметрией проводов питания относительно источника наводки и включением непосредственно в сеть питания коллекторных моторов, реле, электрических звонков и других приборов, дающих скачки тока.

Симметричная наводка имеет значительно меньшее значение, чем асимметричная, как потому, что она реже встречается, так и потому, что все меры, принимаемые для подавления асимметричной наводки, действуют так же

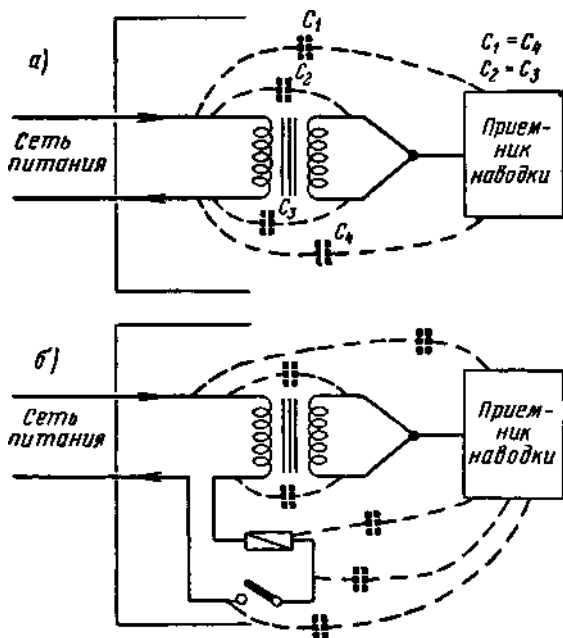


Рис. 4-19. Симметричное распространение наводки по сети питания.

и на симметричную. Поэтому в дальнейшем симметричная наводка не рассматривается.

Из эквивалентной схемы рис. 4-17 следуют два метода борьбы с наводками помех через сеть питания прибора, которые применяются отдельно, а в более важных случаях — совместно.

Первый метод заключается в максимально возможном уменьшении паразитной емкостной связи между проводами сети вместе с первичной обмоткой силового трансформатора и другими частями прибора. Для этого служат меры, рекомендованные в § 4-4 для уменьшения наводки фона и заключающиеся в электростатическом экранировании первичной

обмотки силового трансформатора от всех остальных и в рациональном расположении деталей, связанных с сетью питания, по отношению к основной части прибора.

Второй метод заключается в установке фильтрующих элементов и ячеек между первичной обмоткой трансформатора и проводами сети питания. Возвращаясь к эквивалентной схеме рис. 4-17, добавим на ней блокировочный конденсатор $C_{б1}$ (рис. 4-20,а) в месте ввода сети питания в прибор (источник наводки). Получится дополнительный делитель напряжения из конденсаторов $C_{св}$ и $C_{б1}$, снижающий уровень выходного напряжения помехи на вводе сети.

Сеть питания для высокочастотных напряжений является несогласованной длинной линией, в которой происходят отражения и возникают стоячие волны. В зависимости от случайных соотношений между длинами волн источника помехи, длиной сети и ее ответвлений и активными и реактивными сопротивлениями подключенных к сети потребителей энергии полное сопротивление сети по высокой частоте, измеренное на вводе в прибор (источник помехи), может быть самым различным. Поэтому эффект, получающийся от подключения конденсатора $C_{б1}$ будет неопределенным, зависящим от случайных обстоятельств.

Для повышения эффективности действия конденсатора $C_{б1}$ необходимо, чтобы указанное полное сопротивление было как можно больше.

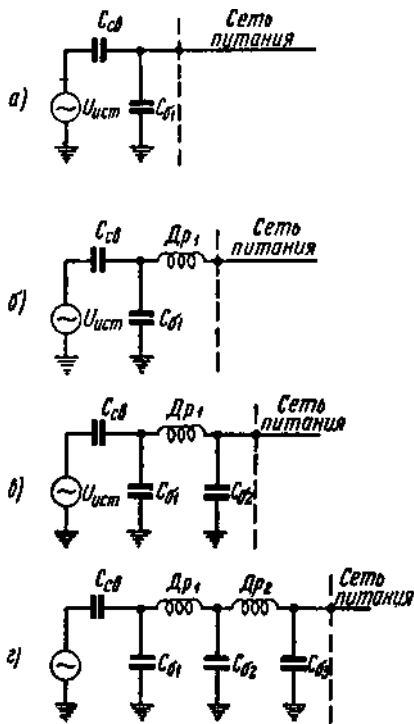


Рис. 4-20. Включение фильтрующих ячеек на вводе сети питания в источник наводки.

Включение в схему последовательного дросселя Dp_1 (рис. 4-20,б) оставит ту же неопределенность, так как полное сопротивление дросселя вместе с сетью может быть любым. Только при добавлении еще одного конденсатора и при правильном его подборе (рис. 4-20,в) можно быть уверенным, что первый делитель из $C_{св}$ и $C_{б1}$ действует нормально.

Второй же делитель из дросселя Dp'_1 и конденсатора $C_{б2}$ дает различные результаты при различных случайных соотношениях в сети. Для того чтобы второй делитель работал уверенно, необходимо добавить третий из дросселя Dp_2 и конденсатора $C_{б3}$ (рис. 4-20,г).

Очевидно, что из-за неопределенности в величинах $C_{св}$ и полного сопротивления сети, фильтрующая цепь не поддается точному расчету.

В последней схеме из трех делителей можно гарантировать только коэффициент ослабления, даваемый средним звеном, составленным из элементов Dp'_1 и $C_{б2}$. Ослабление, даваемое первым делителем, можно определить, если только удастся измерить паразитную емкость связи $C_{св}$

Несколько иначе действуют фильтрующие детали в системе питания приемника помех. Здесь конденсатор $C'_{б2}$ (рис. 4-21,а) составляет делитель с полным выходным сопротивлением сети питания по высокой частоте, дающий неопределенные результаты. Добавление дросселя Dp'_1 (рис. 4-21,б) может даже ухудшить результаты, если он случайно образует вместе с емкостью $C'_{св}$ контур, настроенный в резонанс на

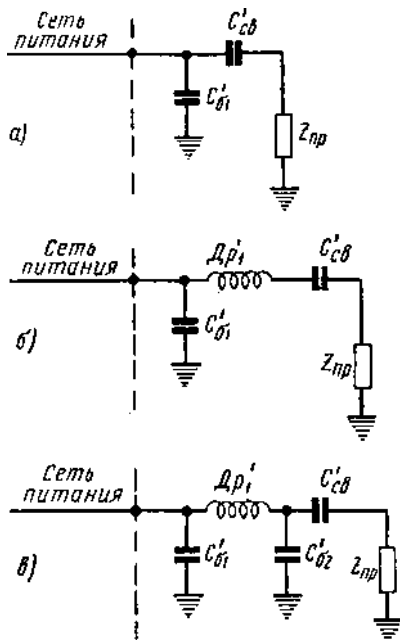


Рис. 4-21 Включение фильтрующих ячеек на вводе сети питания в источник наводки.

несущую частоту наводки. Наконец, только еще при одном конденсаторе C'_{62} можно быть уверенным, что средний делитель из элементов Dr_1 и C'_{62} работает нормально.

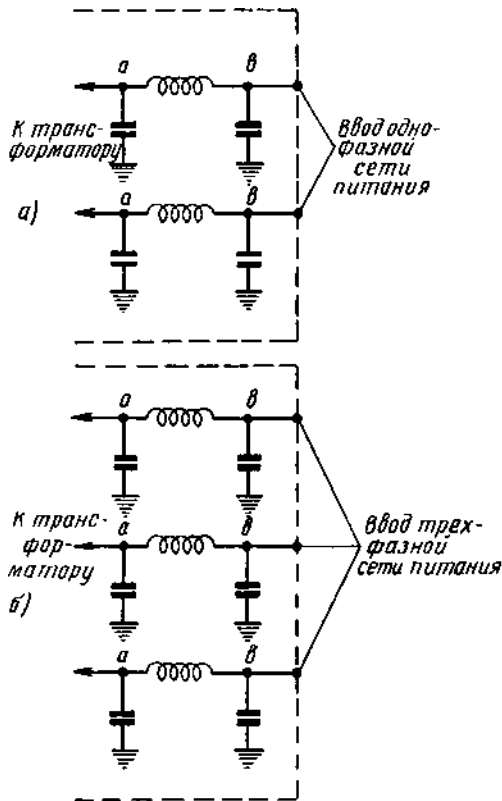


Рис. 4-22. Фильтры на вводах сети питания.

Практически все рассмотренные фильтрующие ячейки должны включаться в двухпроводную, а иногда и в трехпроводную (трехфазную) сеть питания. Поэтому число дросселей и конденсаторов, показанных для упрощения рисунков включенными в однопроводную сеть прохождения помехи, увеличивается в два или три раза.

Так, схема рис. 4-20,б при использовании ее в двухпроводной сети питания (рис. 4-22,а) состоит из двух дросселей и четырех конденсаторов и в трехфазной сети (рис. 4-22,б) — из трех дросселей и шести конденсаторов. Между точками, отмеченными на этих схемах одинаковыми буквами, отсутствует высокочастотная разность потенциалов. Поэтому не нужно экранировать дроссели и предохранять их от связи друг с другом. Можно помещать их на общем сердечнике, наматывая любым образом, хотя бы в два-три провода («бифилярная намотка»), если это допускает электрическая прочность изоляции проводов.

Конденсаторы фильтров необходимо присоединять к корпусу отдельно во избежание ухудшения работы от связи через общий соединительный провод (§ 2-9). В ряде случаев особенно удобно применять специальные проходные конденсаторы.

4-8. ПОДАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАВОДОК

Под импульсными наводками понимаются различные виды помех, создаваемых скачками постоянного или переменного напряжения или тока, происходящими в любых цепях и приборах. К импульсным наводкам относятся:

- непосредственная наводка видеоимпульсов;
- ударное возбуждение высокочастотных устройств видеоимпульсами или прохождение через них спектра частот видеоимпульсов, получающихся в специальных генераторах, подсобных цепях различных устройств и телевизорах;
- ударное возбуждение высокочастотных устройств, возникающее при работе коллекторных моторов, реле, выключателей, телефонных аппаратов и другой контактной аппаратуры;
- ударное возбуждение высокочастотных устройств видеоимпульсами, получающимися в результате детектирования импульсов высокой частоты в перегруженных усилительных каскадах и в других нелинейных сопротивлениях.

Источники и пути прохождения таких наводок были рассмотрены в § 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-11, 1-12.

Первым этапом работы по подавлению импульсных наводок является выяснение конкретных их источников и путей связи с приемником наводок.

Для этого необходимо:

- а) Поочередно выключать всевозможные цепи и части устройств до полного исчезновения помехи или ее уменьшения.
- б) Уменьшать крутизну скачков, подключая сглаживающие фильтры к различным точкам, в которых наблюдаются скачки, добиваясь этим уменьшения наводки и изменения формы наводимого импульса.
- в) Увеличивать длительность импульсов в различных цепях, наблюдая, как они искажаются на выходе приемника наводки с тем, чтобы выяснить, не происходит ли их дифференцирование или интегрирование (если они поступают непосредственно на видеоусилитель) или разделение на два (если они проходят через усилитель высокой или промежуточной частоты и детектор), рис. 1-18 и 1-29.
- г) Выключать в приемнике наводки последовательно, начиная от входа (антенны), различные каскады и другие цепи, добиваясь исчезновения наводки.
- д) Шунтировать конденсатором большой емкости с короткими выводами различные цепи, по которым может передаваться наводка, и добиваться ее уменьшения.

В результате первого этапа работы должна быть составлена четкая схема, хотя бы одного канала связи, по которому проходит помеха. При этом должны быть известны источник наводки, его выход, цепи связи, вход приемника, цепи и методы прохождения импульса в приемнике наводки.

Вторым этапом работы является внесение в прибор изменений, необходимых для подавления наводки. При этом нужно иметь в виду, что в зависимости от характера импульсных наводок они подавляются следующими способами.

1. Для подавления наводки от видеоимпульсов и других скачков постоянного напряжения, поступающих непосредственно на видеоусилители, усилители низкой частоты и другие устройства без резонансных усилителей высокой частоты по одной из схем рис. 1-28, необходимо ввести дополнительные детали, ослабляющие связь между источником и приемником наводки

Шунтирование общего сопротивления большой емкостью часто оказывается малоэффективным, так как общее сопротивление обычно мало, и для получения заметного ослабления связи требуется очень большая емкость. Значительно проще и лучше действует введение в цепь связи дополнительных развязывающих ячеек (делителей мешающего импульсного напряжения), составляемых из сопротивлений и конденсаторов или дросселей и конденсаторов. При связи через малую паразитную емкость или взаимоиндуктивность (рис. 1-28,г и д) простейшим решением задачи может оказаться введение в монтаж экранированного провода или установка экранирующей перегородки между деталями.

2. Наводка от стробирующих видеоимпульсов, подаваемых на усилители высокой частоты для управления усилением, получается вследствие резких скачков анодного тока управляемых ламп, приводящих к ударному возбуждению контуров усилителя. Для подавления такой наводки необходимо снижать крутизну краев стробирующих импульсов. Если такое сглаживание управляющего импульса недопустимо, то единственным способом подавления наводки будет применение в управляемых каскадах усилителя высокой частоты двухтактных схем с подачей стробимпульса на среднюю точку сеточной обмотки трансформатора.

3. Все другие виды ударного возбуждения усилителей высокой частоты (радиоприемников) видеоимпульсами и любыми скачками постоянного напряжения возникают большей частью путем проникновения помех на входные цепи усилителя (антенну) вместе с полезными сигналами. Подавление таких наводок производится у источника в первую очередь включением фильтров в цепи питания источника наводки и экранированием в нем сети питания, как разобрано в предыдущем параграфе.

В редких случаях близкого расположения источника подобной наводки с ее приемником (на расстояниях 1 м и менее), кроме фильтров, может понадобиться полное экранирование источника помещением его в металлический кожух (например, экранирование реле, находящегося у антенного ввода радиоприемника) или частичное экранирование внутренних элементов источника (например, экранирование графитового покрытия электронно-лучевой трубки в телевизорах, рекомендуемое

в литературе [12]).

В некоторых приемниках наводки она поступает не столько через входные цепи, сколько через паразитные входы — цепи питания. В этом случае снижение наводки можно получить при фильтрации цепей питания приемника. Более детальные сведения по данным видам наводок имеются в литературе [6, 7, 12].

4. При подавлении наводки высокочастотных импульсов, поступающих на усилитель высокой частоты, не настроенный на несущую частоту импульсов, необходимо, чтобы в элементах приемника наводки не происходило детектирования мешающих импульсов, т. е. чтобы приемник наводки не перегружался и работал в линейном режиме. Для этого нужно снижать напряжение помехи в цепи, находящейся перед первым нелинейным элементом приемника (лампой или полупроводниковым детектором). Избирательность преселектора, состоящего из одного или двух контуров, оказывается недостаточной при подаче на него высокочастотных импульсов большой мощности.

Если радиоприемник заново проектируется для совместной работы с мощными импульсными генераторами высокой частоты, то он должен быть снабжен специальным многоконтурным преселектором, обеспечивающим большое ослабление сигналов любых частот, кроме входящих в полосу пропускания приемника. Если же требуется приспособить готовый радиоприемник для указанной цели, то можно получить хороший результат, если добавить в вход антенны одно- или двухъячеичный фильтр, рассчитанный на ослабление несущей частоты мешающих импульсов.

Трудности в разработке такого фильтра заключаются в том, что он должен одновременно удовлетворять двум требованиям: не ухудшать показатели приемника и давать достаточно большое ослабление помехи. Если мешающие импульсы имеют весьма высокую несущую частоту, то достаточно незначительной емкостной связи внутри приемника между любыми проводами, входящими в приемник извне, и деталями высокочастотной части приемника, чтобы мешающий импульс поступил помимо преселектора или антенного фильтра. Поэтому в приемниках, работающих в таких условиях, необходимо иметь фильтрующие ячейки в местах ввода любых

проводов, включая телефонный шнур в приемнике радиосвязи.

5. Уровень ударного возбуждения высокочастными импульсами весьма невысок (§ 1-10 и 1-11). Поэтому такая помеха поступает на приемник наводки только через антенный ввод на тех же частотах, что и полезные сигналы. Единственным способом подавления этой наводки является ограничение спектра частот, излучаемого импульсным генератором высокой частоты.

4-9. ПРИМЕНЕНИЕ ДВОЙНЫХ ЛАМП

Среди собранных в одном баллоне двойных ламп имеется большое число триодов (буква *H* на втором месте условного обозначения) и несколько типов триод-пентодов (буква *Φ* на втором месте условного обозначения). Конструкции отдельных типов двойных ламп выполнены различными. В некоторых типах ламп между частями лампы имеется экран с отдельным выводом, в других конструкциях экран соединен с одним из катодов и в третьих — экран отсутствует вовсе.

В технических условиях на двойные лампы большей частью оговаривается емкость между анодами или между анодом одной половины и сеткой другой половины. Величина этих емкостей колеблется в пределах 0,02— 0,5 *nφ* в зависимости от типа лампы. Они являются звеном, связывающим цепи, в которые включены различные половины одной лампы. В технических условиях на некоторые типы двойных ламп величины связывающих емкостей не оговорены вовсе. При этом они могут быть довольно велики и могут изменяться от экземпляра к экземпляру в широких пределах.

Кроме емкостной связи, между отдельными частями двойной лампы может существовать связь за счет электронного потока, проникающего через щели и отверстия в конструкции лампы из одной половины на электроды другой половины. Этот вид связи техническими условиями не предусмотрен, хотя иногда и может оказаться недопустимым.

В результате разбора влияния обоих видов связи можно дать следующие рекомендации по применению двойных ламп. Лучше всего такие лампы работают в схемах с сильной связью обеих частей друг с другом: мульт-

тивибраторы, кипп-реле, триггеры, блокинг-генераторы с пусковой лампой, двухфазные и двухтактные усилители, преобразователи частоты, состоящие из смесителя и гетеродина, и т. д. Хорошо работают двойные лампы в двух соседних усилительных каскадах на не очень высоких частотах. При использовании их в широкополосных резонансных и видеоусилителях следует проверить отсутствие паразитного влияния частей лампы.

Применение двойных ламп в двух разных каналах радиоприбора в принципе нежелательно и к нему следует прибегать только в случаях крайней необходимости. При этом следует сравнить уровни переменных напряжений и мощностей в обоих совмещаемых элементах. Чем меньше отличаются друг от друга эти уровни, тем более вероятно, что применение двойной лампы пройдет безболезненно.

Для подавления паразитной связи, возникшей из-за применения двойных ламп, прежде всего, следует проверить наличие экрана в лампе и качество присоединения его к корпусу. Окончательное суждение о правильности применения в данном месте двойной лампы можно получить только после временной установки двух отдельных ламп и проверки с ними параметров прибора.

4-10. ПАЗАИТНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ

Рассмотрением обратных связей, действующих на частотах, близких к рабочим частотам усилителя, не исчерпывается разбор всех паразитных явлений в нем. Часто приходится бороться еще с паразитной генерацией отдельных каскадов усилителя на сверхвысокой частоте.

Паразитная генерация на СВЧ возникает в усилительных схемах, собранных на пентодах и тетродах с большой крутизной, вследствие влияния индуктивностей вывода экранирующей сетки L_{g2} , блокировочного конденсатора и заземляющего его провода $L_{БК}$ (рис. 4-23). Эти индуктивности, соединенные параллельно с емкостью экранирующей сетки — катод C_{g2k} представляют собой настроенный резонансный контур. Индуктивность вывода управляющей сетки L_{g1} с соединительными проводами также представляет собой СВЧ резонансный контур, настроенный емкостью сетки — катод.

Оба контура связаны через емкость сетка — экранирующая сетка $C_{g1,2}$, играющую здесь роль проходной емкости. Таким образом, схема цепей катода, экранирующей и управляющей сеток эквивалентна схеме генератора на триоде со связью через внутриламповую проходную емкость. При благоприятном (с точки зрения паразитной генерации) соотношении настроек обоих контуров возникает генерация.

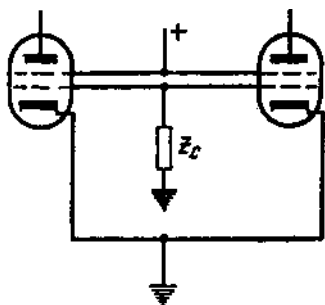
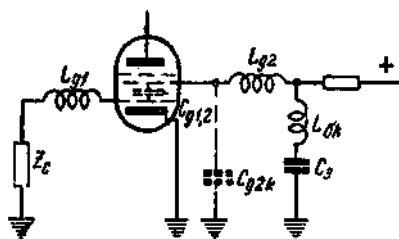


Рис. 4-24. Генерация усилительного каскада на СВЧ при параллельном соединении



Генерация усилительного каскада на СВЧ.

Возникнув в промежуточных каскадах, эта генерация может явно не проявиться, а повлиять на такие обычно редко контролируемые параметры, как анодный ток отдельных ламп, линейность амплитудной характеристики т. д. Иногда эта же генерация, изменяя режим работы усилителя, может послужить причиной обратных связей по основной частоте. С уничтожением такой генерации одновременно пропадет искажение частотных характеристик усилителя.

Подобная генерация особенно часто возникает в выходных каскадах усилителей низкой частоты или видеоусилителей, собираемых на мощных пентодах или тетродах при параллельном соединении двух и более ламп по схемам с анодной или катодной нагрузкой. Здесь (рис. 4-24) соединительные провода между управляющими и экранирующими сетками обеих ламп представляют собой отрезок симметричной линии, включенной по двухтактной схеме, применяемой обычно в генераторах ультракоротких волн.

Такую же схему двухтактного генератора СВЧ легко увидеть в схеме катодного повторителя с параллельным выключением ламп, если учесть индуктивности и емкости соединительных проводов между анодами и между сетками.

Обнаружение генерации на СВЧ является одной из трудных задач. Способ, применяемый в передатчиках,— измерение волны паразитного колебания — в усилителях неприменим ввиду малой мощности колебаний. Так как генерация на СВЧ может проявляться самым разнообразным образом, то правильно будет относить к ней те ненормальности в работе усилителя, на которые сильно влияют незначительные изменения длины проводов управляющей и экранирующей сеток, изменения точки подключения блокировочных конденсаторов, прикосновение отверткой или пальцем и т. п. При обнаружении такого явления следует в первую очередь проверить анодные токи или токи сеток всех ламп усилителя, обеспечив при проверке независимость исследуемого явления от включения измерительного прибора.

Несколько легче обнаруживается генерация на СВЧ в мощных усилительных каскадах низкой частоты по свечению неоновой лампы. Для проведения такого эксперимента лампочку небольших размеров прикрепляют к длинному изоляционному стержню и касаются одним из выводов различных точек схемы.

Подавление СВЧ генерации не представляет особых трудностей. Здесь возможны два пути: расстройка паразитных контуров, определяющих генерацию, или внесение в эти контуры большого затухания. Идя по первому пути, следует прежде всего, смонтировать заново генерирующий каскад, обеспечив наикратчайшие соединения в цепях управляющей и экранирующей сеток, что часто способствует исчезновению генерации. При втором пути наиболее действенным способом подавления генерации является включение последовательного сопротивления 10—200 *ом* в цепь управляющей сетки лампы. Такое сопротивление, мало влияя на работу схемы на основной частоте, вносит большие потери в паразитный СВЧ контур. Так же действуют и сопротивления, вводимые в экранирующую сетку, но они ухудшают экранирующее действие сетки, из-за чего их применяют в последнюю очередь. В схемы, построенные на триодах, в частности, в катодные

повторители можно вводить сопротивления в анодные цепи. Антипаразитные сопротивления следует подключать непосредственно к вводам электродов ламп. Соединительные провода и лишние опорные точки здесь недопустимы.

Первый путь — расстройка паразитных контуров — имеет существенный недостаток, так как не дает уверенности в том, что паразитная генерация не возникнет снова при смене ламп. Поэтому если заново смонтированный каскад не генерирует, следует все же включить антипаразитные сопротивления в управляющие сетки для повышения надежности.

Учитывая, что паразитному самовозбуждению на СВЧ особенно подвержены схемы с параллельным соединением ламп и что борьба с таким самовозбуждением весьма затруднительна, для таких схем следует считать *обязательным включение антипаразитных сопротивлений* во все управляющие сетки.

4-11. ПАЗИТНЫЕ ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ НА ГАРМОНИКАХ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ УСИЛИТЕЛЯ

Обратная связь на гармониках может возникнуть в сложной системе, состоящей из двух или трех усилителей, работающих на разных частотах и соединенных друг с другом преобразователями частоты или детекторами. Так, например, в обычном супергетеродинном приемнике (рис. 4-25) гармоника промежуточной частоты, выделяющаяся при нелинейном

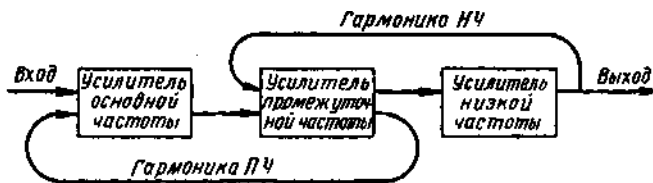


Рис. 4-25. Паразитная обратная связь на гармониках.

режиме одного из каскадов усилителя промежуточной частоты или получающаяся на выходе детектора, может попасть на вход приемника по цепям паразитной обратной связи любого вида. Если усилитель высокой частоты оказывается настроенным на эту гармонику, то возникает генерация или другие явления, сопровождающие паразитную обратную связь.

К такому же результату может привести попадающая на вход приемника по цепям паразитной обратной связи гармоника выходного напряжения усилителя низкой частоты, совпадающая с частотой настройки приемника в целом. Отличить этот вид паразитной связи легко, так как он получается только при совместной работе не меньше чем двух усилителей различных частот.

Обратная связь в виде генерации, искажения резонансной кривой или ненормально повышенной чувствительности проявляется на отдельных настройках усилителя высокой частоты, в то время как на соседних настройках приемник работает нормально. Для борьбы с этим довольно редко встречающимся видом паразитной обратной связи необходимо улучшать экранирование отдельных усилителей, входящих в систему.

4-12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОДАВЛЕНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В УСИЛИТЕЛЯХ

После сборки правильно рассчитанного усилителя часто оказывается, что он не соответствует расчетным показателям. Основной причиной этого несоответствия являются неучтенные паразитные обратные связи, приводящие к генерации, искажению формы частотной характеристики, резкому сужению полосы усиливаемых частот, повышенному уровню шумов и к пониженной устойчивости усилителя.

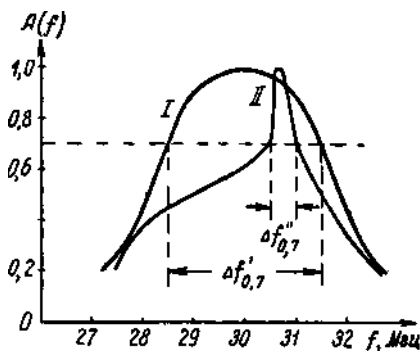


Рис. 4-26. Расчетная и экспериментальная частотные характеристики резонансного усилителя.

Для иллюстрации влияния обратной связи на основной показатель полосового усилителя высокой или промежуточной частоты — полосу пропускания — на рис. 4-26 показаны расчетная и экспериментальная частотные характеристики усилителя. Подъем усиления на одних частотах и спад на других вызваны различными фазами обратной связи на различных частотах.

Измеряя полосу пропускания $\Delta f_{0,7}$, получаем для расчетной кривой $\Delta f'_{0,7} = 3 \text{ МГц}$, а для экспериментальной кривой $\Delta f''_{0,7} = 0,5 \text{ МГц}$. Если при этом немало изменить величину обратных связей, то измеренная полоса $\Delta f''_{0,7}$ увеличится в несколько раз.

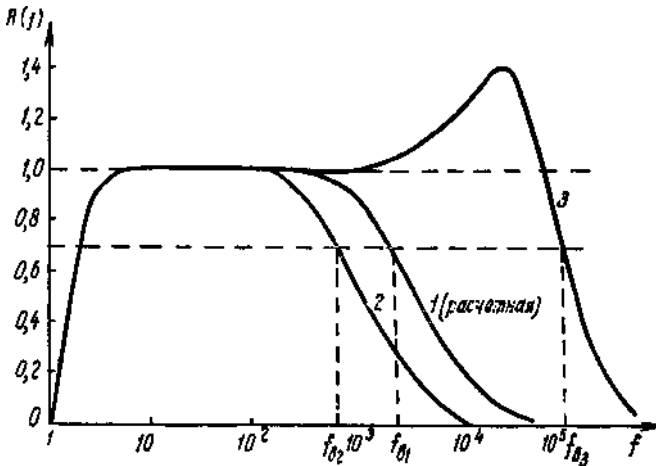


Рис. 4-27. Частотные характеристики усилителя низкой частоты:
 1 — расчетная; 2 — преждевременный спад усиления; 3 — резкий подъем усиления в области высоких частот.

Вторым примером могут служить изображенные на рис. 4-27 частотные характеристики усилителя низкой частоты, которые показывают, что паразитная обратная связь приводит к преждевременному спадаению или к нежелательному резкому подъему усиления высоких частот. В результате граничная частота усилителя f_B может сильно отличаться от расчетной как в сторону низких, так и в сторону высоких частот.

Из выражения для коэффициента усиления усилителя с обратной связью

$$K_{oc} = \frac{K}{1 - \beta K}$$

следует, что отношение

$$\frac{K}{K_{oc}} = 1 - \beta K$$

при неизменной величине β будет тем ближе к единице, чем меньше величина усиления K .

Отсюда следует, что если в усилителе даже с большими обратными связями, т. е. с большой величиной β , снизить усиление, то его частотная характеристика будет близкой к той, которую усилитель имел бы при отсутствии обратных связей.

Снятие и сравнение частотных характеристик усилителя при полном и сниженном усилении являются наиболее верным и удобным способом проверки степени подавления обратных связей. При снятии характеристик необходимо, чтобы усилитель был полностью подготовлен к работе и нигде не имел нарушенной экранировки. Для подключения индикатора выходного напряжения нужно пользоваться выходными клеммами усилителя, тщательно проверяя, не вносит ли такое подключение дополнительных обратных связей. Точно так же входное напряжение желательно подавать на вход усилителя, прибегая к подаче его на промежуточные точки только в крайних случаях, и тщательно проверять, не вносит ли такая подача дополнительных обратных связей. В начале эксперимента необходимо убедиться в отсутствии связи между входными и выходными приборами.

Для сравнения частотных характеристик при полном и сниженном усилении удобнее всего пользоваться генератором качающейся частоты, позволяющим визуально наблюдать на экране электронно-лучевой трубки частотные характеристики. Нужно только проверить, не создаст ли сам такой генератор дополнительной обратной связи. Не существенно, если генератор качающейся частоты искажает форму частотной характеристики, так как важно только ее относительное изменение в зависимости от усиления.

При отсутствии генератора качающейся частоты исследование усилителя иногда проводится на одной частоте (средней или другой), на которой проверяется действие тех или иных блокировок, развязок и экранов. При этом предполагается, что если подключение данного экранирующего элемента приводит к снижению выходного напряжения усилителя при постоянном входном, то этот элемент снижает обратные связи. Как видно из предыдущего, такое экспериментирование может привести к ошибочным результатам, так как, действуя благотворно на одной частоте, блокировка может оказывать противоположное действие на другой частоте.

Проверку действия экрана следует производить путем снятия частотных характеристик при полном и уменьшенном усилении. В тех случаях, когда такое снятие характеристик из-за большого числа экспериментов оказывается затруднительным, можно ограничиться для промежуточных опытов измерением полосы пропускания или сравнением усиления на двух различных частотах.

При сравнении частотных характеристик, снятых при полном и уменьшенном усилении, необходимо иметь в виду, что и при отсутствии обратных связей они всегда получаются несколько различными из-за того, что регулирование усиления связано с изменением динамических емкостей и внутреннего сопротивления электронной лампы.

Как следует из разбора причин и путей возникновения паразитных обратных связей, приведенного в предыдущей главе, обнаруженная обратная связь является результатом ряда сложных взаимодействий между выходными и входными цепями усилителя. В этих взаимодействиях участвуют все связи как сильные, так и незначительные, действующие каждая в своей фазе. Поэтому, если исключить случаи явных ошибок и дефектов в монтаже усилителя, трудно рассчитывать на нахождение одной или нескольких причин обратной связи. Любое изменение блокировки, экранов и монтажа в усилителе со значительными обратными связями приводит к изменению этих связей: подавлению их на одних частотах и увеличению на других.

В радиоловительской практике часто для подавления обратных связей в усилителе заземляют его шасси, т. е. соединяют со специальной шиной, подключенной к трубам водопровода. В других случаях вместо заземления пользуются металлическим листом, на который устанавливаются испытываемые приборы. Для объяснения влияния заземления нужно учесть, что отдельные детали плохо экранированного усилителя имеют емкостную связь с различными находящимися вне усилителя предметами: проводами осветительной и силовой сети, трубами центрального отопления и водопровода и т. д. Эти предметы могут увеличивать паразитную связь между элементами усилителя, действуя подобно несоединенной с шасси крышке, показанной на рис. 2-6. Заземление шасси, перераспределяя и частично замыкая внешние емкостные связи, влияет этим на паразитные явления в усилителе.

Прибегать к такому способу подавления обратных связей бесполезно, так как он действует только при данной конкретной обстановке. Перенеся усилитель в другое помещение или на другое место, легко убедиться, что действие заземления шасси при других внешних условиях оказывается иным.

Заземление шасси усилителя влияет только на плохо или неправильно экранированный усилитель. Заземление или подключение любых предметов к корпусу усилителя, имеющего достаточно качественную систему экранирования, совершенно не отражается на его работе. Проверкой влияния заземления на параметры усилителя можно воспользоваться для грубой оценки качества его экранирования.

Подавление обратных связей в усилителе рекомендуется вести в следующем порядке:

1. Тщательно проверить монтаж, убедиться в наличии и исправности всех указанных на схеме деталей и в отсутствии соединительных и случайных проводов, могущих дать паразитную связь.
2. Определить примерно каскады, участвующие в системе обратной связи. Для этого следует снять частотные характеристики при полном и уменьшенном усилении, подавая сигнал от измерительного генератора последовательно на вход усилителя, на сетку первой лампы, на сетку второй лампы и т. д. до нахождения каскада, начиная с которого, характеристики, снятые при полном и уменьшенном усилении, более или менее совпадают. При обработке материалов эксперимента не следует делать неверный вывод, что последние каскады в системе обратной связи не участвуют.
3. В соответствии с результатами, полученными в п. 2, составить проект улучшения экранирования, обратив внимание на следующее:
 - а) для узкополосных усилителей — на индуктивную связь между контурными катушками, емкостную связь между входом и выходом и в последнюю очередь на развязывание цепей питания;
 - б) для широкополосных резонансных усилителей — на связь по проводам накала, связь через общие крышки экрана, связь по проводам питания анодов и сеток, связь благодаря неправильному размещению деталей и соединений их с корпусом, не соответствующему рис. 3-41, и в последнюю

очередь на индуктивную связь между катушками;

в) для усилителей низкой частоты и видеоусилителей— на искажение характеристик благодаря неправильному учету входного сопротивления лампы (см. §3-3), связь через общее сопротивление источников питания, паразитную генерацию на СВЧ, особенно для параллельно соединённых ламп.

4. Выполнить сразу все намеченные улучшения и произвести проверку. Не рекомендуется вносить отдельные улучшения и проверять их, так как это может привести к неверным результатам и сильно затянуть работу.

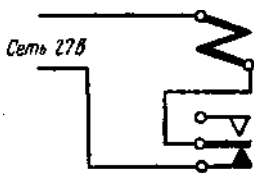


Рис. 4-28. Включение реле для проверки экранировки прибора.

Экспериментальные работы, связанные с подавлением обратных связей, сложны, длительны и часто приводят к переделке усилителя. Учитывая это, следует при разработке конструкции усилителя экранирование выполнять с некоторым запасом, тем более, что этот запас лишь незначительно удорожает усилитель. Экономить на экранировании выгодно только для массовых приборов, для которых значительное

усложнение разработки окупается небольшим удешевлением конструкции.

Окончательную проверку усилителя после подавления в нем обратных связей следует проводить в форсированном режиме его работы, т. е. при полном усилении и при повышенном анодном и экранном напряжениях.

Это гарантирует надежную работу усилителя при использовании ламп, параметры которых близки к верхней границе допусков.

Усилители с большим усилением и радиоприемники, устанавливаемые на объектах, насыщенных различными автоматическими и импульсными устройствами (реле, блокинг-генераторы, импульсные модуляторы), необходимо проверять на достаточность общей экранировки и фильтрации всех выходящих из экрана проводов. Простейшим прибором для такой проверки является реле, подключаемое по схеме с непрерывным срабатыванием

и отпусканием (рис. 4-28) длинными проводами к сети 27 в. Затем это реле подносят ко всем щелям в экране прибора и ко всем соединительным проводам и наблюдают наличие помех на выходе прибора. Такой простой эксперимент позволяет легко обнаружить слабые места в общем экране прибора.