

Серия «Учебник»

Роберт А. Пиз

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ**

**Поиск неисправностей и отработка
проектируемых схем**



Москва, 2001

4. ПРОБЛЕМЫ С КОНДЕНСАТОРАМИ

В предыдущих главах мы разобрались с тем, как должен размышлять хороший специалист при поиске неисправностей в аналоговых схемах, проверили наличие измерительной техники и обсудили проблемы, связанные с резисторами, катушками индуктивности и трансформаторами. Теперь раскроем некоторые секреты часто недооцениваемого класса радиодеталей – конденсаторов. К сожалению, практически ничего из того, что необходимо знать о проблемах конденсаторов, ни в одной книге не отражено, даже в технических условиях и другой документации на них.

Конденсаторы заслуживают особого внимания. Мы считаем их, подобно резисторам, пассивными элементами. Но если зарядить высококачественный конденсатор, к примеру полипропиленовый емкостью 47 мкФ, до напряжения 10 В, а затем на две недели уехать в отпуск, то по возвращении напряжение на нем не должно снизиться более чем на 20% или даже на 10%. В конденсаторах может содержаться достаточно энергии для того, чтобы питать нановаттную схему в течение нескольких часов или в течение меньшего срока обеспечивать свечение светодиода. Назвать элементы со столь исключительными свойствами «пассивными» – несправедливо!

Обычные алюминиевые электролитические конденсаторы в цепях питания чаще всего применяют для фильтрации и развязки. Во времена электронных ламп «электролиты» часто использовались при напряжениях 150, 300, 500 В и даже более. С такими старинными схемами связано несколько общих проблем. Во-первых, если напряжение на конденсаторе сильно превышает 350 В, то его надежность значительно ниже, чем надежность такого же конденсатора, напряжение на котором ниже 350 В. Во-вторых, если какое-нибудь старое устройство не включалось в течение нескольких лет, то было бы благоразумно подавать на него напряжение постепенно, медленно повышая с помощью регулируемого автотрансформатора так, чтобы прокладки, пропитанные электролитом, успели «набрать форму». Если вы сразу подадите полное рабочее напряжение, то старые конденсаторы могут отказать.

Я хотел бы еще раз напомнить, что при работе с высоковольтными цепями следует держать щуп одной рукой, а вторую в этот момент положить в карман. Нельзя, чтобы ваше тело было заземлено в каких-либо других местах, при этом надо стоять или сидеть на изолирующей прокладке или сухом материале. Эти предосторожности помогут избежать серьезных травм от удара током. Когда я начинаю работать с высоковольтной схемой, то впаиваю в нее неоновую лампу и последовательно с ней резистор сопротивлением 100 кОм между шинами источника высоковольтного питания в качестве маяка, напоминающего о том, что напряжение на данной схеме *значительно* превышает 15 В. Во все низковольтные схемы я постоянно лезу руками, но на горящую неоновую лампу у меня уже выработался условный рефлекс.

После работы с высоковольтным источником питания вы можете решить, что в целях безопасности стоит замкнуть выводы фильтров через резистор в несколько сотен ом, – будьте осторожны. Через несколько минут после этого напряжение на конденсаторах может вновь возрасти до 60–80 В. Частичное восстановление напряжения на разряженном конденсаторе является результатом «натекания» или эффекта диэлектрической абсорбции, заставляющего диэлектрик конденсатора «помнить», до какого напряжения конденсатор был заряжен в последний раз. В высоковольтном оборудовании параллельно каждому большому высоковольтному сглаживающему конденсатору было бы разумно устанавливать резисторы мощностью 2 Вт и сопротивлением в несколько сотен килоом, через которые заряд мог бы стекать постоянно, и вероятность поражения током снизилась бы [1].

Последняя из проблем, связанных со старым оборудованием на электронных лампах, заключается в том, что под воздействием тепла возможно высыхание электролита в конденсаторах, приводящее к снижению их емкости. Это четко проявляется в виде чрезмерных пульсаций или «фона» различных сигналов и, конечно, на выходе нестабилизированных источников питания.

Несмотря на то что я представил перечисленные неприятности как проблемы, связанные со старым оборудованием, следует учитывать их даже в современных разработках.

Важнейшим для современных схем источников питания является выбор такого конденсатора фильтра, эффективное последовательное сопротивление которого оставалось бы малым во всем диапазоне рабочих температур и частот. В противном случае из-за падения напряжения (эффективный ток фильтра, умноженный на активную составляющую этого последовательного сопротивления) может произойти чрезмерный саморазогрев конденсатора. И если тепло от него не отводить, его температура возрастет и он быстро выйдет из строя. Чрезмерный нагрев – это одна из основных причин низкой надежности электролитических конденсаторов.

К примеру, в сглаживающих конденсаторах после двухполупериодного выпрямителя, который работает от сети переменного тока частотой 60 Гц (или 50 Гц), присутствует пульсация тока частотой 120 Гц (или 100 Гц). Некоторые производители устанавливают для своих конденсаторов рабочий ток, исходя из эффективных 2 А на каждые 1000 мкФ. При выходном токе источника постоянного напряжения, равном 1 А, эффективное значение тока в конденсаторе составляет

примерно $2A_{\text{эфф}}$, и данная пропорция согласуется с выведенным эмпирическим путем правилом для обычного двухполупериодного мостового выпрямителя: необходимо использовать в фильтре конденсатор емкостью не менее 1000 мкФ на 1 А выходного тока постоянного напряжения.

При частоте 20 или 40 кГц, что соответствует частоте пульсаций тока в фильтрах многих импульсных источников питания, последовательное сопротивление конденсатора будет больше. Таким образом, обычный конденсатор емкостью 1000 мкФ не подойдет даже при токах, эффективное значение которых не превышает 1 А_{эфф}. Если вы хотите использовать в качестве фильтра в импульсном источнике питания непременно конденсатор, предназначенный для работы на частоте 120 Гц, тогда стоит связаться с изготовителями конденсаторов и запросить у них данные или рекомендации по применению таких устройств на высоких частотах.

Безусловно, если вы установите электролитический конденсатор в обратной полярности и подадите на него рабочее напряжение, его надежность резко снизится, а отказ может проявиться самым ужасным образом. Так что будьте, пожалуйста, осторожны при работе с мощными источниками питания и фильтрующими конденсаторами большой емкости, которые могут накапливать значительную энергию. Надевайте защитные полумаски или используйте защитные очки, так как конденсатор в мощном источнике питания может взорваться именно в тот момент, когда вы будете его разглядывать. Один мой приятель отметил, что 6-вольтовый электролитический конденсатор емкостью всего несколько микрофард может взорваться с силой, равной выстрелу из дробовика, если подать на него 6 В постоянного тока в обратной полярности или 6 В переменного тока.

Итак, еще раз повторю: будьте очень осторожны при работе с полярными электролитическими конденсаторами.

4.1. Неполярные конденсаторы

Можно использовать и неполярные электролитические конденсаторы, алюминиевые или танталовые. Они больше по размерам и дороже, чем обычные полярные электролитические конденсаторы, поэтому применяются довольно редко. Но не встречались ли вам небольшие «электролиты» с тремя выводами, не так давно появившиеся на рынке? Центральный вывод соответствует положительному электроду, два других – отрицательному. Такая конфигурация не только обладает меньшей паразитной индуктивностью, но также позволяет устанавливать эту деталь на плате двумя способами, и оба будут верными – ошибиться невозможно!

Большинство характеристик танталовых конденсаторов соответствует характеристикам алюминиевых электролитических конденсаторов, а за те деньги, что вы платите дополнительно, получаете меньшую утечку и несколько меньшее эквивалентное последовательное сопротивление. Инженеры-разработчики хотели бы использовать танталовый конденсатор и высокоомный резистор в схемах выдержки времени. Но когда они пытаются приобрести танталовые конденсаторы с таким уровнем утечки, чтобы схема была всегда и гарантированно работоспособна, то начинают сильно возмущаться, если выясняется, что никто не заинтересован в продаже подобных радиокомпонентов. Ясное дело – если бы вы были производителем танталовых конденсаторов и кто-нибудь попросил бы вас измерять

утечки, то вы от этого сразу бы отказались, так как организация подобных проверок очень сложная и дорогая процедура.

Несмотря на то что утечки обычно очень незначительны, никто не желает ни заниматься измерением этого параметра при производстве конденсаторов, ни гарантировать его уровень на весь срок службы конденсатора.

Пленочные конденсаторы спиральной или пластинчатой конструкции находят широкое применение в различных областях – от малогабаритных разделительных конденсаторов до больших, используемых в мощных фильтрах. Самыми интересными из «внутренностей» конденсаторов являются различные диэлектрики. Часто разработчики используют конденсаторы из полиэфирной пленки, или полиэтилентерефталата. Еще его часто называют майларом – по торговой марке компании E.I. DuPont de Nemours and Co. При прогреве схемы ее параметры «плавают» в пределах 2–3%. Причина нестабильности – скорее всего, конденсатор с диэлектриком из полиэтилентерефталата. Его температурный коэффициент емкости (ТКЕ) составляет от 600 до 900 млн⁻¹/°С, что в десять раз превышает аналогичный параметр металлопленочных резисторов.

Если вы откажетесь от идеи использовать полиэтилентерефталат и попробуете использовать полистирол, полипропилен или тефлон (это тоже торговая марка компании DuPont, в российской литературе часто используется название фторопласт); то ТКЕ будет меньше и составит приблизительно 120 млн⁻¹/°С. Полистирол и полипропилен имеют малые утечки и характеризуются хорошим уровнем диэлектрической абсорбции – почти такими же, как фторопласт, самый лучший со всех точек зрения материал [1]. Однако фторопласт очень дорог и компоненты на его основе имеют большие габариты. При работе с полистиролом нужно соблюдать осторожность: максимальная температура, которую он выдерживает, составляет +86 °С, и если не принять особые меры предосторожности по защите конденсатора от перегрева, то его можно повредить при обычной пайке «волной». Хороший ТКЕ можно получить, используя поликарбонат, полисульфон и полифенилен – около +100 млн⁻¹/°С. Достаточно благозвучные названия создают впечатление, что эти полимеры должны быть просто отличными материалами, но на самом деле для них характерен более высокий уровень диэлектрической абсорбции. Стекло и фарфор – это диэлектрики, которые, судя по названию, должны обладать какими-то удивительными характеристиками и исключительной диэлектрической абсорбцией, но, к сожалению, это не так.

Много лет назад при изготовлении конденсаторов спиральной конструкции использовалась промасленная бумага, но вам вряд ли встретятся компоненты такого типа, если, конечно, вы не столкнетесь с антикварными радиоприемниками. Эти конденсаторы были «милыми толстушками», применявшимися только как разделительные в радиоприемниках низкого и среднего класса¹.

4.2. Обкладки пленочных конденсаторов

Теперь давайте обсудим различия между полиэтилентерефталатными конденсаторами с фольговыми и металлизированными обкладками. Конденсаторы первого

¹ Сегодня многие любители «Hi End аудио» будут яростно спорить с этим утверждением автора. – Прим. ред.

типа состоят из чередующихся слоев полимерной пленки и металлической фольги, и пленка, и фольга имеют толщину в несколько десятков тысячных долей дюйма. Такая конструкция позволяет выпускать высококачественные конденсаторы нормальных размеров, и доступные по цене. Технология изготовления конденсаторов с металлизированными обкладками несколько иная: на очень тонкую полиэтилентерефталатную пленку наносится очень тонкий слой металла. Данная конструкция позволяет при заданной емкости и номинальном напряжении получить еще более компактные конденсаторы, но нанесенный слой металлизации настолько тонок, что допустимая плотность тока много ниже, чем для конденсаторов с фольговыми обкладками. Это имеет как определенные преимущества, так и некоторые недостатки. Если в полимерной пленке полиэтилентерефталатного конденсатора с металлизированными обкладками возникнет точечный микропробой, то по слою металлизации, расположенному вокруг, пойдет ток столь высокой плотности, что металл испарится как обычный плавкий предохранитель, и пробой исчезнет.

В течение многих лет небольшие по размеру и доступные по цене конденсаторы с металлизированными обкладками широко применялись в ламповых телевизорах. Конденсаторы этого типа после микропробоев могли восстанавливаться неоднократно. Однако при небольшом напряжении энергии, накопленной в конденсаторе, может оказаться недостаточно для того, чтобы устранить пробой. Поэтому надежность таких конденсаторов при низких напряжениях часто заметно снижена, по сравнению с номинальным напряжением. Можно уверенно использовать конденсатор с металлизированными обкладками в телевизионной схеме, работающей под напряжением 100 В, но никак не в схеме с питанием от 2 В. К счастью, в наше время выпускаются очень надежные конденсаторы с металлизированными обкладками из поликарбоната, полиэтилентерефталата и полипропилена, которые прекрасно подходят для применения как в низковольтных, так и в высоковольтных устройствах. Как-то в одном из справочных листков на конденсаторы я вычитал интересную информацию, что при небольшом напряжении микропробой устраняется в результате окисления сверхтонкого слоя металлизации.

Когда старинные конденсаторы с металлизированными обкладками в телевизорах начинают стареть и портиться, сигнал сильно зашумляется из-за процессов «ликвидации» микропробоев.

При использовании в качестве разделительных «сухих» танталовых конденсаторов (объемно-пористых) «прочистка» микропробоев может вызывать сильные шумы. Так что эти детали теперь редко используют в схемах усилителей низкой частоты. Аналогичным образом можно использовать электролитический конденсатор при небольшом отрицательном напряжении (до $-0,5$ В) без вреда и проблем. Но! Один приятель рассказал мне о том, как он однажды включил разделительный электролитический конденсатор при обратной полярности и напряжении около 2 В. В результате переполюсовки этот конденсатор стал генерировать все виды низкочастотных шумов и импульсных помех. Итак, чрезмерный уровень шума – часто признак какой-то неисправности, возможно, «конденсатор пытается сообщить» о неправильном режиме своей работы или о перепутанной полярности.

4.3. Выводы пленочных конденсаторов

Еще одна особенность пленочных конденсаторов – два варианта конструкции выводов от обкладок: с «выпуском» фольги и без него. Для монтажа выводов большинства дешевых пленочных конденсаторов используются только концы длинных полос металлической фольги. А вот в пленочном конденсаторе с «выпуском» фольга одной из обкладок выступает за край пленки диэлектрика с одной стороны, а фольга другой обкладки – с другой стороны, контакт с выводами получается по всей длине пленки, и при этом паразитные сопротивление и индуктивность минимальны (рис. 4.1).

Такая конструкция отлично подходит для конденсаторов, которые должны иметь небольшое эквивалентное последовательное сопротивление для использования в высокочастотных фильтрах. Если заменить обычно используемые в них конденсаторы устройствами без «выпуска», то эффективность фильтров значительно снизится.

Ниже описаны несколько методов конструирования и особенности некоторых диэлектриков. Что очень важно для правильного выбора и использования конденсаторов? Если решительно настроенный агент по закупке комплектующих захочет кое-что заменить, чтобы снизить цену или упростить поставки, то инженеру по комплектующим или самому разработчику этой схемы, возможно, придется проделать большую работу и убедиться, что предлагаемая замена не приведет к дополнительным проблемам. Если подобная замена уже выполнена, то при появлении проблем начинать поиск неисправности стоит именно с детали «по замене». Использование конденсатора, у которого эквивалентное последовательное сопротивление больше, чем планировалось, может привести к возникновению колебаний в петле обратной связи. Это возможно, если конденсатор с «выпуском» заменен конденсатором обычной конструкции. Замена указанных инженером-разработчиком конденсаторов на другие, с более высоким эквивалентным последовательным сопротивлением, может также привести к тому, что фильтры не будут должным образом сглаживать пульсации.

Еще одним следствием слишком большого эквивалентного сопротивления является перегрев и дальнейший отказ конденсаторов – они, конечно, пассивные элементы, но, как видите, простыми их явно назвать нельзя.

Применение в конструкции конденсаторов «выпусков» фольги не только снижает эквивалентное последовательное сопротивление, но и уменьшает паразитную индуктивность. Как отметил Мартин Джилз (Martin Giles), один из моих друзей, после прочтения черновика моей рукописи о поиске неисправностей: «Пиз, ты действительно хорошо понимаешь, что происходит, если речь идет о постоянном токе или же о токе, частота которого лишь чуть выше, чем у постоянного». Я ответил ему: «Так оно в общем-то и есть, но что ты сам думаешь по этому поводу?» По его мнению, при разработке высокочастотных и других типов быстродействующих схем необходимо располагать конденсаторы и иные элементы очень плотно, так чтобы паразитные индуктивности были малыми и легко предсказуемыми. Он абсолютно прав – от расположения на плате элементов быстродействующей,

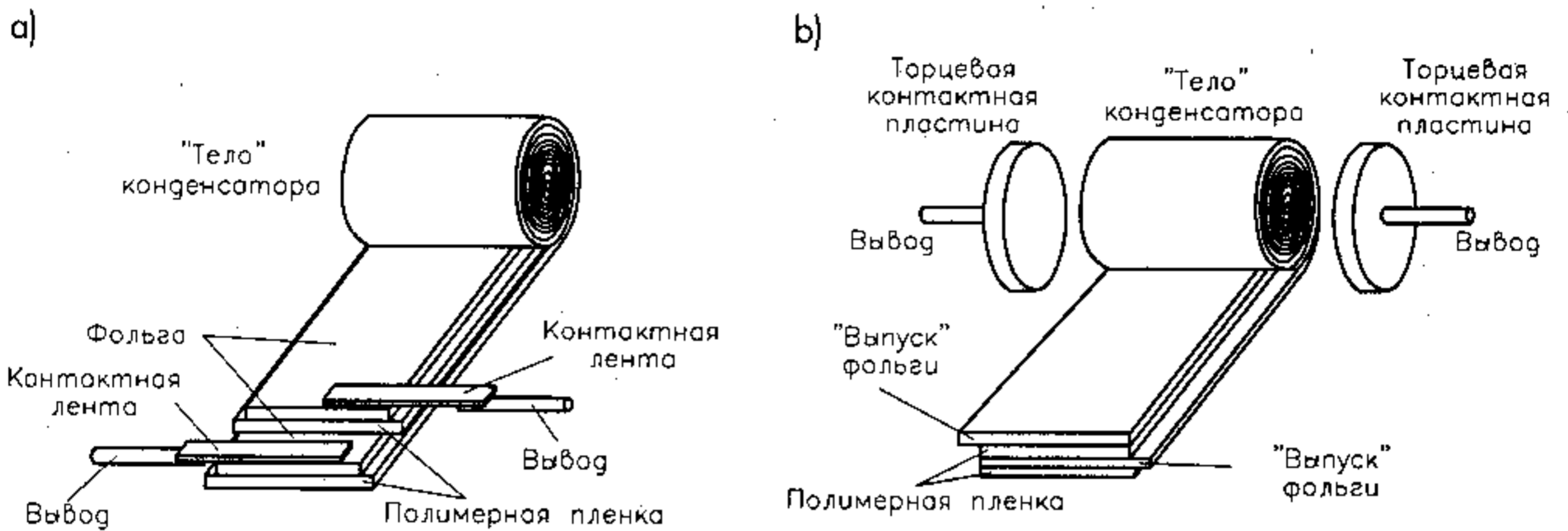


Рис. 4.1. Конструкции пленочных конденсаторов

Если выводы подсоединены к одному концу длинной ленты фольги, часть этой ленты будет на 3–6 метров удалена от выводов. Последовательное R и паразитная L большие. Подобная конструкция хорошо подходила для разделительных конденсаторов низкочастотных схем, но сейчас применяется редко (а). Если выступающие края фольги обжимаются вместе, ни один из участков конденсатора не удален больше чем на 2–5 см от выводов и контактов. В настоящее время при производстве большей части пленочных конденсаторов применяется конструкция с «выпуском» фольги (b).

с малым временем установления, или высокочастотной схемы во многом зависят ее характеристики. Конденсаторы, используемые в таких схемах, должны быть компактными и иметь короткие выводы. По этой причине часто используются керамические или серебряно-слюдаые конденсаторы.

Ежегодно миллионы керамических конденсаторов применяются в электронных устройствах различных типов. Существует три основных класса этих элементов: конденсаторы типа «большой ТКЕ», конденсаторы типа «стабильный ТКЕ» и конденсаторы с группами ТКЕ C0G или NP0.

Конденсаторы первого типа, имеющие характеристики Z5U, позволяют при небольших габаритах получать большую емкость, к примеру 10^6 пФ у конденсатора площадью в 2 см^2 и толщиной 4 мм. И это очень хорошо. Плохо то, что емкость элементов, имеющих температурные характеристики Z5U, падает на 20% номинала, если температура окружающего воздуха выходит за пределы $0-55^\circ\text{C}$, и на 60% номинала, если температура выходит из диапазона $-25...+90^\circ\text{C}$. Кроме того, диэлектрику свойственны плохой тангенс угла потерь, посредственный уровень утечек и коэффициент напряжения. Однако ни один из этих недостатков не препятствует использованию конденсаторов в качестве элементов развязывающих фильтров на выводах питания практически каждой интегральной микросхемы в мире. Для этого нужно очень много конденсаторов!

Керамические конденсаторы имеют одно свойство, которое одновременно является и преимуществом, и недостатком. Обычно эквивалентное последовательное сопротивление такого конденсатора составляет не более 0,1 Ом. Таким образом, если при работе цифровой интегральной схемы ток потребления может на несколько наносекунд достигать 50 мА, то малое последовательное сопротивление окажется очень кстати: оно поможет избежать кратковременных провалов

напряжения на шине питания. Для того чтобы получить хорошую развязку и небольшую индуктивность, необходимо при установке конденсатора оставить выводы минимальной длины. Тем не менее если параллельно соединить 10 интегральных схем и 10 керамических конденсаторов развязки, то получится длинный резонансный LC-контур (рис. 4.2), в котором шины питания выполняют роль высокодобротной катушки индуктивности между каждой парой конденсаторов развязки. Когда повторяющиеся импульсы воздействуют на подобный резонатор, могут возникнуть колебания достаточно большой амплитуды, что вызовет значительное зашумление шины питания. Это может быть особенно опасно, если частота повторения сигнала близка к резонансной частоте получившегося LC-контура.

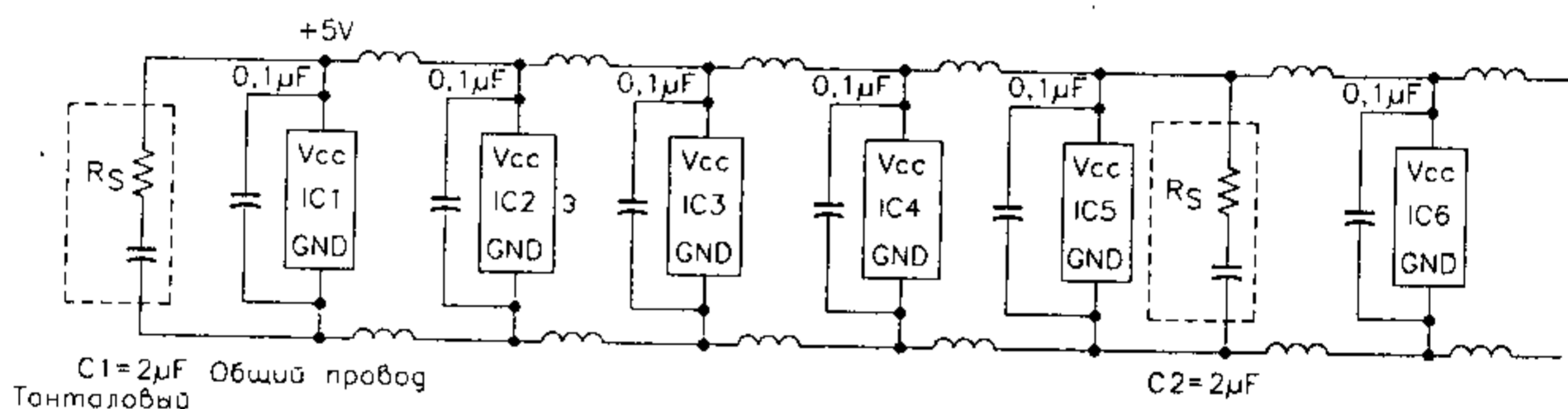


Рис. 4.2. Эквивалентная схема цепи питания

Один из эффективных способов борьбы – размещение на шине питания электролитических конденсаторов $C1$ с эквивалентным сопротивлением $R_s = 1$ Ом, которые эффективно демпфируют колебания, вызванные повторяющимися импульсами.

Примечание к рис.

R_s – эквивалентное последовательное сопротивление;

GND – вывод «общий» микросхемы.

И не забывайте, что у конденсаторов, обладающих температурными характеристиками Z5U, неважный температурный коэффициент. По мере прогрева схемы дело может дойти даже до того, что частота квазирезонанса паразитного контура в цепи питания станет кратной тактовой частоте системы!

Стандартное решение для устранения этой неприятности – установка танталовых электролитических конденсаторов развязки общей емкостью 2 мкФ или алюминиевых электролитических конденсаторов общей емкостью 20 мкФ на каждые три – пять интегральных микросхем (если вы не убедитесь в обратном). Это отличный прием, проверенный на практике. Эквивалентное последовательное сопротивление у электролитического конденсатора обычно равно 1 Ом, и этого достаточно для того, чтобы «погасить» звон. Некоторые считают, что такое сопротивление слишком велико для использования его в развязывающих фильтрах, но они не понимают самой сути проблемы. Я прочитал несколько рекламных заявлений изготовителей конденсаторов, в которых утверждалось, что их керамические конденсаторы для развязки настолько хороши и имеют настолько низкое эквивалентное последовательное сопротивление, что «звон» теперь не проблема. Я не верю подобным утверждениям. А вы что думаете по этому поводу?

4.4. Эквивалентное последовательное сопротивление

Отдельные изготовители конденсаторов заявляют, в частности, что у их продукции эквивалентное последовательное сопротивление R_s настолько мало, что при его использовании проблем со «звоном» не возникнет. Однако мне кажется, что малая величина R_s только обостряет эту проблему. Я слышал, что один из изготовителей конденсаторов продвигает на рынок керамические конденсаторы с эквивалентным R_s , ограниченным снизу пределом в несколько ом, которые должны способствовать подавлению звона любого типа. Я собираюсь обязательно на них посмотреть и опробовать. Но если вы используете в цепях развязки конденсаторы с очень низким эквивалентным последовательным сопротивлением R_s , то можно понизить добротность Q резонансного контура, который образуется из этих конденсаторов, при подключении с отдельными из них резисторов сопротивлением 2,7–4,7 Ом. Установка резисторов последовательно с развязывающими конденсаторами кажется несколько странным решением, однако это очень эффективный прием.

Керамическим конденсаторам группы «большой ТКЕ» также может быть присущ пьезоэлектрический эффект: если подать на такой конденсатор переменный ток соответствующей мощности, то он начнет явственно «жужжать». Если постучать по такому конденсатору или просто потрясти его, то это может вызвать внезапное изменение заряда конденсатора или напряжения на его выводах. Для конденсаторов других типов такое также возможно, но у конденсаторов группы «большой ТКЕ» данный эффект проявляется сильнее всего. Соблюдайте осторожность при использовании этих конденсаторов в устройствах, предназначенных для работы в условиях сильной вибрации.

Емкость конденсаторов группы «стабильный ТКЕ», таких как X7R, которую они имеют в нормальных условиях, обычно уменьшается не более чем на 15% при изменении температуры в диапазоне $-55...+125$ °C. Эти конденсаторы общего применения очень популярны и обычно производятся с номиналами от 100 до 10 000 пФ. Выпускаются также модели емкостью до 300 000 пФ в более крупных корпусах. Однако можно встретить конденсаторы емкостью 10 000 пФ как с «большим ТКЕ», так и со «стабильным ТКЕ», и обычно невозможно определить, к какой группе относится деталь, не проверив по справочнику код изделия. Или же надо измерить емкость конденсатора, нагревая и охлаждая его.

Последний тип керамических конденсаторов изначально назывался NP0 (аббревиатура от Negative-Positive-Zero – отрицательный-положительный-ноль), а сейчас C0G. Все называют его C0G (си-оу-джи), но на самом деле это должно читаться, как «си-зеро-джи». Я видел документ Ассоциации электронной промышленности [2]. В конденсаторах типа C0G/NP0 используется высококачественный диэлектрик с малой температурной нестабильностью, причем гарантируется, что температурный коэффициент не превысит ± 30 млн⁻¹/°C. Тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая абсорбция и долговременная стабильность параметров этих конденсаторов уступают соответствующим параметрам фторопластовых конденсаторов, но сравнимы с характеристиками других высококачественных прецизионных пленочных конденсаторов. А температурный коэффициент емкости

превосходит этот параметр любых других типов и моделей конденсаторов, которые можно купить. Таким образом, если нужно сделать устройство выборки-хранения, которое можно было бы эксплуатировать в диапазоне температур, предусматриваемом для военной техники, то наиболее подходящими считаются конденсаторы группы C0G, которые компактнее и дешевле фторопластовых. Многие, хотя и не все из выпускаемых в настоящее время керамических конденсаторов емкостью менее 100 пФ, соответствуют группе C0G. Если вы готовы платить, то можно найти конденсаторы группы C0G емкостью 22 000 пФ в квадратном корпусе с длиной стороны 8 мм.

Почти каждый год мне звонит какой-нибудь клиент и просит помочь с проблемой дрейфа: у преобразователя частоты в напряжение получилась недостаточная температурная стабильность, даже несмотря на то, что в качестве основного времязадающего элемента используется конденсатор группы C0G емкостью 0,01 мкФ.

Ремонт по телефону – это всегда интересная и захватывающая задача. Я спрашиваю клиента: «Этот керамический конденсатор группы C0G емкостью 0,01 мкФ такого же размера, как ноготь на мизинце?» Клиент говорит: «О нет, он гораздо меньше». Я отвечаю: «Ну, этот конденсатор слишком мал, он не может относиться к группе C0G». Проблема решена. По правде говоря, серийно выпускается некоторое количество малогабаритных конденсаторов группы C0G емкостью 0,01 мкФ, но они встречаются очень редко и их нужно специально заказывать.

Отметим один из видов отказа керамических конденсаторов, который может возникнуть в случае, если выводы крепятся к металлизации на диэлектрическом корпусе с помощью обычного низкотемпературного припоя. При проходе конденсатора через машину для пайки «волной» вывод от такого конденсатора может попросту отвалиться. Если подобное произойдет, то придется перейти на конденсаторы тех типов, при производстве которых используются высокотемпературные припои.

4.5. Серебряно-слюдавые конденсаторы

У конденсаторов, сделанных из посеребренной слюды, большинство характеристик сходны с характеристиками керамических конденсаторов группы C0G. Они обладают небольшим эквивалентным последовательным сопротивлением, значение температурного коэффициента емкости варьируется от 0 до +100 млн⁻¹/°С. Если при производстве этих конденсаторов используются высокотемпературные припои, то они могут работать и при температурах выше 200 °С. К сожалению, у них плохие характеристики по «натеканию» – неожиданно плохие показатели диэлектрической абсорбции.

Основная проблема, которая возникает при использовании конденсаторов из посеребренной слюды, – неразбериха с маркировкой. В старых радиоприемниках для конденсаторов такого вида применялась абсолютно непостижимая маркировка – шесть цветных точек. Но и на отдельных современных образцах применяется очень странный код, поэтому никогда нельзя быть точно уверенным, что именно обозначает надпись «10C00» – 10, 100 или 1000 пФ. В этом случае наверняка