Измеритель эквивалентного последовательного сопротивления электролитических конденсаторов

В процессе ремонта радиоэлектронных средств приходится сталкиваться со всевозможными дефектами комплектующих. Определенные трудности возникают при выявлении дефектов в конденсаторах. Электролитические конденсаторы очень часто являются причиной неисправности, но в ряде случаев измеритель емкости не позволяет выявить дефектный экземпляр. Ситуация осложняется тем, что емкость конденсатора может быть номинальной, однако активное (паразитное) сопротивление конденсатора значительно превышает норму.

Для поиска таких конденсаторов предлагается разработанный и изготовленный автором прибор, обладающий высокой точностью и разрешающей способностью. Для большего удобства пользования прибором предусмотрена возможность его совместной эксплуатации с практически любым цифровым вольтметром (мультиметром). Учитывая доступность цен на "народные" цифровые мультиметры серии 8300, предлагаемая конструкция является своеобразной "находкой" для многих радиолюбителей, особенно если учесть, что в схеме нет никаких дефицитных или дорогостоящих комплектующих и даже моточных узлов.

А.Г. Зызюк, г. Луцк

Оксидные (электролитические) конденсаторы применяются повсеместно. Они влияют на надежность и качество работы радиоэлектронных средств (РЭС). По качеству и назначению конденсаторы характеризуются многими показателями. Сначала работоспособность и область применения конденсаторов оценивали по емкости, рабочему напряжению, току утечки и массогабаритным показателям. Увеличились мощности и возросли частоты, на которых применяются электролитические конденсаторы. Современные импульсные блоки питания РЭС имеют мощность десятков-сотен ватт (и более) и работают на частотах в десятки-сотни килогерц. Возросли токи, протекающие через конденсаторы, соответственно, повысились и требования к их параметрам.

К сожалению, при массовом производстве качественные показатели не всегда соответствуют стандартам. В первую очередь, это сказывается на таком параметре, как эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС), или ESR. Этому вопросу уделяется недостаточно внимания, особенно в радиолюбительской литературе, хотя неисправностей, возникающих по вине ЭПС конденсаторов, становится все больше. Досадно, но даже среди новеньких конденсаторов все чаще стали встречаться экземпляры с увеличенным ЭПС.

Зарубежные конденсаторы также не являются исключением. Как показали измерения, величина ЭПС у однотипных конденсаторов может отличаться в несколько раз. Имея в своем распоряжении измеритель ЭПС, можно отбирать конденсаторы с наименьшей величиной ЭПС для установки в наиболее ответственные узлы устройств.

Не следует забывать о том, что внутри конденсатора протекают электрохимические процессы, которые разрушают контакты в зоне соединения обкладок с алюминиевыми контактами. Если у нового конденсатора величина ЭПС завышена, то и его эксплуатация не способствует ее снижению. Напротив, ЭПС со временем возрастает. Как правило, чем больше ЭПС конденсатор имел до установки, тем скорее и возрастет его величина. ЭПС неисправного конденсатора может повыситься от нескольких ом до нескольких десятков ом, что эквивалентно появлению нового элемента - резистора внутри неисправного конденсатора. Поскольку на этом резисторе рассеивается тепловая мощность, конденсатор разогревается, и в зоне контактов электрохимические процессы протекают быстрее, способствуя дальнейшему росту ЭПС.

Специалистам по ремонту различных РЭС хорошо знакомы дефекты импульсных блоков питания, связанные с увеличением ЭПС конденсаторов. Измерение емкости с помощью широко распространенных приборов часто не дает желаемых результатов. Такими приборами (С-метрами) выявить дефектные в плане ЭПС конденсаторы, к сожалению, не удается. Емкость будет в пределах нормы или всего лишь незначительно занижена. При величине ЭПС, не превышающей 10 Ом, показания измерителя емкости не дают оснований для подозрений (на точность измерений такая величина ЭПС практически не влияет), и конденсатор считают исправным.

Технические требования к измерителю ЭПС

Повышенные требования к качеству конденсаторов прежде всего предъявляются в импульсных блоках питания, где такие конденсаторы применяются в качестве фильтров на частотах до 100 кГц или в цепях переключения силовых элементов. Возможность измерения ЭПС позволяет не только выявлять вышедшие из строя конденсаторы (за исключением случаев утечки и короткого замыкания), но и, что очень важно, производить раннюю диагностику пока еще не проявившихся дефектов РЭС. Чтобы иметь возможность измерения ЭПС, процесс измерения комплексного сопротивления конденсатора осуществляют на достаточно высокой частоте, где емкостное сопротивление намного меньше допустимой величины ЭПС. Так, например, для конденсатора емкостью 5 мкФ емкостное сопротивление равно 0,32 Ом при частоте 100 кГц. Как видим, емкостное сопротивление даже у электролитического конденсатора малой емкости во много раз меньше ЭПС дефектного конденсатора. Величина ЭПС неисправных конденсаторов емкостью до 200 мкФ значительно превышает 1 Ом.

По величине ЭПС можно уверенно оценивать пригодность конденсатора для тех или иных целей. Покупая конденсаторы, с помощью портативного измерителя ЭПС можно выбрать лучшие экземпляры. Важно, что процесс измерения ЭПС можно осуществлять без демонтажа проверяемых конденсаторов. При этом необходимо, чтобы конденсатор не был зашунтирован резистором, имеющим сопротивление, соизмеримое с ЭПС. Максимальное напряжение на щупах прибора следует ограничить, чтобы не вывести из строя элементы ремонтируемого РЭС. Полупроводниковые приборы не должны влиять на показания измерителя ЭПС. Значит, напряжение на измеряемом конденсаторе должно быть минимальным, чтобы исключить влияние активных элементов РЭС.

При работе в стационарных условиях прибор должен работать от электросети (можно, например, использовать соответствующий переключатель и внешний блок питания). Для исключения переполюсовки внешнего блока питания или зарядного устройства необходимо предусмотреть защиту. Чтобы предотвратить глубокий разряд аккумуляторов, нужно использовать защиту с отключением или, по крайней мере, предусмотреть индикацию контроля за напряжением аккумулятора. Для стабилизации параметров прибора необходимо использовать встроенный стабилизатор напряжения. Этот стабилизатор должен удовлетворять как минимум двум требованиям: быть экономичным, т.е. иметь малое собственное потребление тока, и обеспечивать достаточно стабильное выходное напряжение при изменении входного питающего напряжения в диапазоне не менее 7...10 В.

Большое значение имеет индикатор показаний ЭПС. Измерители ЭПС с дискретной индикацией, например, на светодиодах малопригодны для отбраковки (выбора) конденсаторов из больших партий и обладают огромными погрешностями измерения ЭПС. Измерители ЭПС с нелинейными шкалами вызывают проблемы с выполнением новой шкалы, с отсчетом показаний и обладают большой погрешностью измерений. Новые схемы на программируемых "чипах" (микроконтроллерах), как это ни печально констатировать, пока еще не доступны большинству радиолюбителей. По цене же одного только микроконтроллера можно приобрести все комплектующие для изготовления рассматриваемого ниже измерителя ЭПС.

В составе измерителя ЭПС удобно иметь стрелочный измерительный прибор с линейной шкалой, не требующей никаких переделок, используя, например, одну общую шкалу 0...100 на все поддиапазоны прибора. При длительной и интенсивной работе с измерителем ЭПС очень удобно использовать цифровую шкалу. Однако самостоятельное изготовление цифрового прибора не выгодно из-за усложнения конструкции в целом и высокой себестоимости. Лучше предусмотреть возможность работы измерителя совместно с широко распространенным и дешевым цифровым мультиметром серии 8300, например M830B. Подойдет любой другой ци-

фровой вольтметр с аналогичными характеристиками, имеющий диапазон измерения постоянного напряжения 0...200 мВ или 0...2000 мВ. По цене одного микроконтроллера можно приобрести один или даже два таких мультиметра. Цифровой индикатор измерителя ЭПС позволяет быстро отсортировывать конденсаторы. Стрелочный (встроенный) измеритель пригодится в тех случаях, когда под рукой нет цифрового тестера.

Пожалуй, самым важным параметром является надежность работы прибора. А она, так или иначе, зависит от человеческого фактора. Что это за прибор, который выходит из строя, если проверяемый конденсатор не разряжен? В спешке ремонтники аппаратуры нередко разряжают конденсаторы не резисторами, а проволочными перемычками, что пагубно влияет на срок службы самих электролитических конденсаторов. Прибор не должен выходить из строя и разряжать конденсаторы экстратоками.

Измеритель ЭПС должен обладать широким диапазоном измерения величины ЭПС. Очень хорошо, если он будет измерять ЭПС от 10 Ом до практически нулевого значения. Измерение ЭПС более 10 Ом неактуально, поскольку экземпляры электролитических конденсаторов с таким ЭПС - это уже полная некондиция, особенно для работы в импульсных схемах, тем более на частотах десятков-сотен килогерц. Удобно иметь прибор, позволяющий измерять величины ЭПС менее 1 Ом. В таком случае предоставляется "эксклюзивная" возможность отбора самых лучших экземпляров конденсаторов среди лучших типов с наибольшей емкостью.

В качестве основного источника питания применена батарея, составленная из дисковых никель-кадмиевых аккумуляторов типа Д-0,26Д. Они более надежные и энергоемкие, чем 7Д-0,1. Предусмотрена возможность подзарядки аккумуляторов.

Технические характеристики

Диапазоны измеряемых сопротивлений. . . . . 0...1 Ом, 0...10 Ом
Используемая частота измерительного сигнала. . . . . 77 кГц
Напряжение питания. . . . . 7...15 В
Потребляемый ток, не более. . . . . 4,5 мА

Принципиальная электрическая схема измерителя ЭПС электролитических конденсаторов показана на **рис.1**. В основе конструкции прибора - омметр, работающий на переменном токе. Повышать частоту более 100 кГц не следует из-за верхней граничной частоты (100 кГц) микросхемного детектора типа К157ДА1, который применен в данной конструкции прибора, к тому же, не все типы электролитических конденсаторов рассчитаны на работу при частотах более 100 кГц.

Генератор прибора выполнен на микросхеме DD1 типа К561ТЛ1. Выбор данного типа ИМС обусловлен исключительно соображениями повышения экономичности прибора. В данной ситуации можно применить другие генераторы, выполненные на более распространенных ИМС, в частности на К561ЛА7 или К561ЛЕ5. При этом возрастет потребление тока от источника питания.

К генератору предъявляются два требования: стабильность амплитуды и стабильность частоты. Первое требование важнее второго, поскольку изменение амплитуды выходного напряжения генератора является большим дестабилизирующим фактором, чем изменение частоты. Поэтому нет необходимости в использовании кварцевых резонаторов, а также в точной установке частоты, равной именно 77 кГц. Рабочую частоту прибора можно выбрать в пределах 60...90 кГц. Настройка и эксплуатация прибора должны производиться на одной и той же рабочей частоте, поскольку стабильные параметры настроенного прибора сохраняются в довольно узком диапазоне частот.

С выхода генератора сигнал прямоугольной формы через элементы R17-R19, C8 подается на проверяемый конденсатор Cx (клеммы 1 и 2). С конденсатора Cx сигнал поступает на усилитель, с усилителя - на детектор, затем выпрямленный - на стрелочный измерительный прибор PA1 и цифровой вольтметр (разъем XS2). Протекание тока через испытуемый конденсатор вызывает падение напряжения на нем. Для измерения малых сопротивлений нужна высокая чувствительность детектора, не говоря уже о его линейности. Если значительно увеличить ток, протекающий через испытуемый конденсатор, то резко возрастет и ток, потребляемый от источника питания.

В авторском варианте величина тока через испытуемый конденсатор равна приблизительно 1 мА, т.е. каждому милливольту падения напряжения соответствует 1 Ом ЭПС конденсатора. При ЭПС, равном 0,1 Ом, необходимо иметь дело с измерением напряжений величиной 100 мкВ! Поскольку данный прибор способен измерять на порядок меньшие величины ЭПС, то речь уже идет о десятках микровольт, которые должны четко фиксироваться измерителем.

Очевидно, что для нормальной работы детектора сигнал нужно усилить. Эту задачу выполняет усилительный каскад: на малошу-

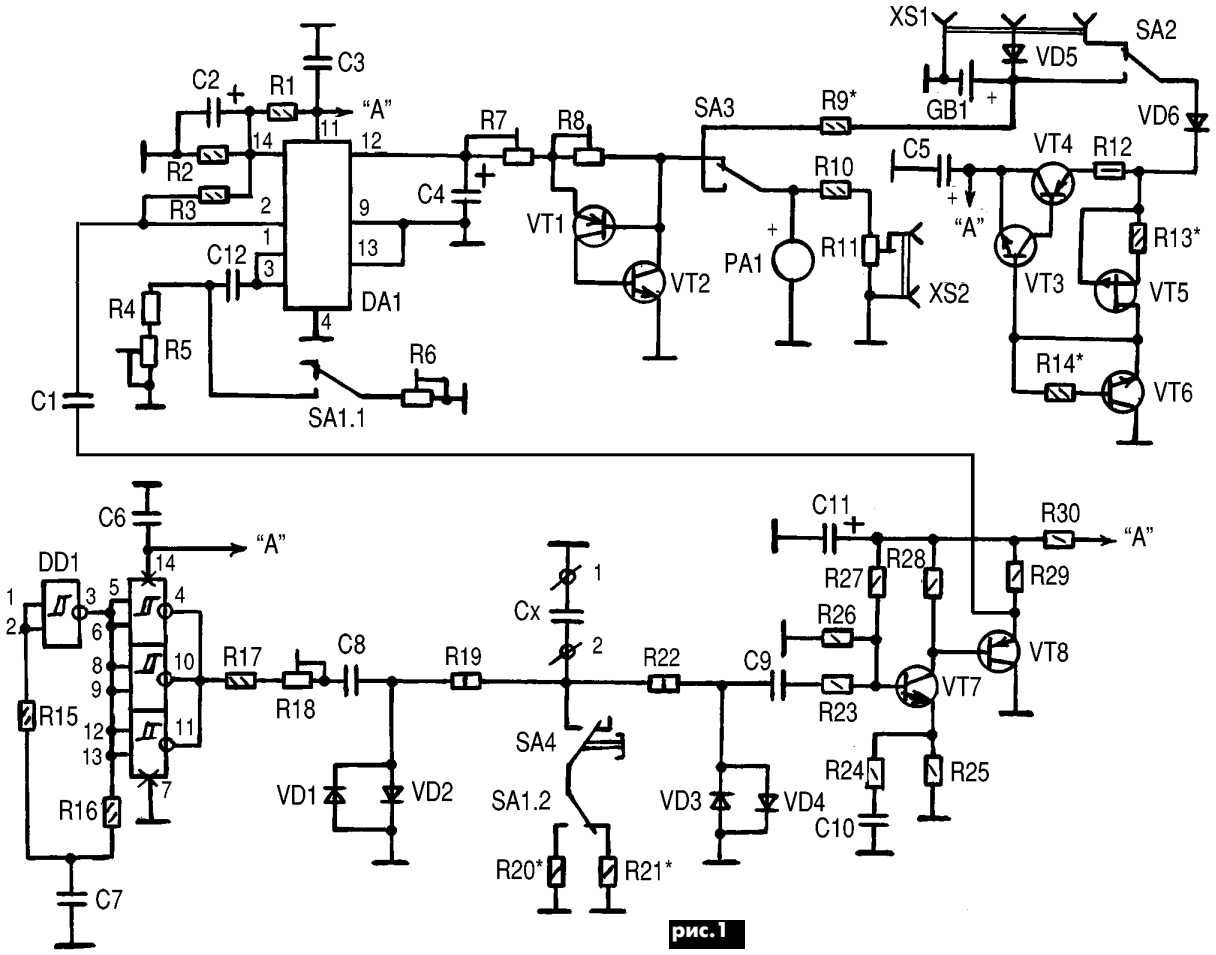

рис.1

мящем транзисторе VT7 выполнен усилитель по схеме с ОЭ (коэффициент усиления на рабочей частоте равен 20), на транзисторе VT8 выполнен буферный усилитель, собранный по схеме с ОК.

Конденсатор C9 является элементом ФВЧ. Выбранная величина емкости конденсатора C10 фактически предотвращает работу цепи R24C10 на НЧ. Такими простыми способами реализован значительный завал АЧХ в области НЧ. Спад АЧХ в области НЧ дополнительно сформирован и выбором емкостей C1 и C12 в схеме детектора. ВЧ помехи дополнительно ограничиваются резистором R23 (учтены и защитные элементы).

Для того чтобы тестируемый конденсатор (неразряженный) не вывел из строя ИМС генератора, в схеме предусмотрены защитные элементы VD1, VD2, R19. Аналогичная цепь, состоящая из элементов R22, VD3, VD4, защищает вход усилителя. В рабочем режиме (при измерении ЭПС) диоды практически не оказывают никакого шунтирующего влияния на сигнал. При отключении тестируемого конденсатора Cx от клемм 1 и 2 диоды ограничивают амплитуду сигнала на входе усилителя, хотя сигнал такого уровня не приводит к отказу усилителя. Данная схема защиты прибора, несмотря на простоту реализации, подтвердила на практике свою высокую эффективность.

Измеритель ЭПС электролитических конденсаторов неприхотлив в эксплуатации. Номиналы резисторов R19 и R22 выбраны с таким расчетом, чтобы обеспечить надежный разряд проверяемых конденсаторов, работающих практически в любой бытовой аппаратуре. Следовательно, защитные диоды должны эффективно разряжать тестируемые конденсаторы, и сами при этом быть надежно защищенными от перегрузок по току при разряде конденсаторов. Секция тумблера SA1.2 с кнопкой SA4 и резисторами R20 и R21 служат для калибровки прибора.

Сложнее всего обстояло дело с выбором схемы детектора. Здесь возникали свои специфические проблемы. Практические испытания многих широко распространенных диодных детекторов лишь подтвердили их непригодность для линейного детектирования напряжения в широком диапазоне изменения амплитуд. Ничего подходящего из схемотехнически простого, реализованного на дискретных элементах, на что можно было бы опереться, в литературе найти не удалось.

Сама же идея использования микросхемы К157ДА1 в детекторе измерителя ЭПС возникла случайно. Вспомнилось, что ИМС типа К157ДА1 широко применялась в индикаторах уровня записи различных отечественных магнитофонов. В первую очередь мое внимание привлекла сравнительная простота схемного включения данной ИМС. Ток, потребляемый ИМС от источника питания, также устраивал, как и подходящий рабочий диапазон частот. Допускается также работа этой ИМС с однополярным питанием. Однако типовое включение К157ДА1 не подходит в рассматриваемом случае [1]. В итоге пришлось не только видоизменить схему включения ИМС в сравнении с типовой, но и в несколько раз изменить номиналы элементов обвязки.

Данная ИМС имеет в своем составе двухканальный двухполупериодный выпрямитель. Второй канал в рассматриваемой конструкции не используется. Макетирование подтвердило линейность детектирования ИМС на частотах до 100 кГц. Некоторые экземпляры ИМС имели даже определенный запас по верхней граничной частоте (две из десяти испытанных ИМС - до 140 кГц). Дальнейшее повышение частоты вызывало резкое уменьшение выпрямленного напряжения ИМС. Нелинейность детектирования ИМС проявлялась при минимальных уровнях сигнала и при значительном усилении ИМС. Не меньше досаждало и выходное напряжение покоя (на выводе 12 ИМС), которое, согласно справочным данным, может достигать 50 мВ, с чем никак нельзя было смириться, если уж решено было изготовить измерительный прибор, а не индикатор ЭПС.

Спустя некоторое время и эта проблема была успешно преодолена. Между выводами микросхемы 14 и 2 установлен в типовом включении резистор R3 сопротивлением 33 кОм. Он подключен к искусственной средней точке делителя напряжения, образованного резисторами R1 и R2 (рис.1). Это и есть вариант применения ИМС при однополярном питании.

Как впоследствии выяснилось, от величины сопротивления резистора R3 значительно зависит линейность детектирования именно в области малых амплитуд. Уменьшение сопротивления R3 в несколько раз обеспечивает необходимую линейность детектора, и, что не менее важно, сопротивление этого резистора влияет и на величину постоянного напряжения покоя (вывод 12 ИМС). Присутствие этого напряжения мешает нормально проводить измерения при малых значениях ЭПС (придется при каждом измерении заниматься математической операцией вычитания). Отсюда и важность установки "нулевого" потенциала на выходе детектора.

Правильный выбор сопротивления резистора R3 практически устраняет эту проблему. В предлагаемом варианте сопротивление резистора более чем в три раза меньше типового номинала. Есть смысл и в дальнейшем снижении величины этого сопротивления, но при этом значительно снижается и входное сопротивление детектора. Оно теперь практически полностью определяется сопротивлением резистора R3.

На транзисторах VT1 и VT2 выполнена защита для стрелочного измерителя PA1. Такое включение транзисторов обеспечивает четкий порог срабатывания и совершенно не шунтирует головку PA1 в диапазоне рабочих токов PA1, что повышает ее надежность и увеличивает срок службы.

Переключатель SA3 служит для оперативного контроля за величиной напряжения аккумулятора и позволяет измерять его под нагрузкой, т.е. непосредственно при работе прибора. Это важно потому, что у многих аккумуляторов со временем, даже при глубоком разряде (без нагрузки), напряжение может находиться в норме или быть близким к номинальному, но стоит подключить нагрузку, даже в несколько миллиампер, как напряжение такой батареи резко снижается.

На транзисторах VT3-VT6 выполнен микромощный стабилизатор напряжения (СН), питающий все элементы прибора. При использовании нестабилизированного источника питания все параметры прибора изменяются. Уменьшение напряжения (разряд) аккумулятора также значительно "сбивает" всю настройку. Детектор, кстати, оказался самым стойким к изменениям питающего напряжения. Наиболее зависимым от напряжения питания (сильно изменяется амплитуда напряжения прямоугольной формы) является генератор, что делает невозможной эксплуатацию прибора.

Использование микросхемного СН вызывает нерациональное потребление тока самим стабилизатором, поэтому от него вскоре пришлось отказаться. После экспериментов с различными схемами на дискретных элементах, автор остановился на схеме СН, показанной на рис.1. На вид этот СН очень простой, но его наличия в данной схеме вполне достаточно для того, чтобы все технические параметры измерителя ЭПС сохранялись стабильными при изменении напряжения аккумулятора от 7 и до 10 В. При этом имеется возможность питания прибора от внешнего БП, даже нестабилизированного, напряжением до 15 В.

Собственное энергопотребление СН определяется величиной коллекторного тока транзистора VT6 и выбиралось в пределах 100...300 мкА. На транзисторе VT6 выполнен аналог маломощного стабилитрона. Его напряжение определяет величину выходного напряжения СН, которое меньше напряжения стабилизации стабилитрона на величину напряжения перехода база-эмиттер транзистора VT3.

Детали. Резисторы R1-R3, R5, R7, R15, R29 - 10 кОм, R4, R6, R8, R10, R11, R13, R24, R30 - 1 кОм, R9 - 39 кОм, R12 - 100 Ом, R14 - 680 кОм, R16 - 100 кОм, R17, R25 - 2,4 кОм, R18 - 4,7 кОм, R19, R22 - 330 кОм, R20 - 1 Ом, R21 - 10 Ом, R23 - 3,3 кОм, R26 - 150 кОм, R27 - 820 кОм, R28 - 20 кОм. Конденсаторы C1, C3, C6, C10, C12 - 0,1 мкФ, C2, C4, C5, C11 - 5 мкФх16 В, C7 - 150 пФ, C8 - 0,47 мкФ, C9 - 0,01 мкФ.

Резисторы R4, R10, R16, R17, R20, R21, R24, R25 типа С2-13, подстроечные резисторы типа СП-38В, остальные - МЛТ. Конденсатор C7 типа КСО-1; C1, C3, C6, C9 - К10-17, остальные К73-17 и К50-35. Транзисторы VT2, VT3, VT7 типа BC549C. В позиции VT7 следует применять транзистор с максимальным $h_{21э}$. Транзисторы BC549 заменимы отечественными КТ3102 или КТ342. Транзисторы VT1, VT4, VT8 типа BC557C. Вместо них применяли также и отечественные КТ3107 (К, Л). В качестве полевого транзистора в генераторе стабильного тока использовались КП103Е. Конденсатор C6 припаян со стороны печатных проводников, непосредственно на выводах DD1. Резистор R24 на плате усилителя условно не показан. Он припаян последовательно с конденсатором C10.

Диоды VD5, VD6 - КД212, VD1-VD4 - 1N4007. К диоду VD6 особых требований не предъявляется, он может быть любым кремниевым. Диод VD5 должен выдерживать максимальный зарядный ток аккумуляторов. Иначе обстоит дело с диодами VD1-VD4. Если вход прибора не будет подключаться к только что выключенному модулю питания телевизора (его электролитическому конденсатору), то вместо 1N4007 можно устанавливать Д220, Д223, КД522 и т.д. В качестве этих диодов лучше всего подходят экземпляры с минимальными емкостями и допустимым током более 1 А.

Переключатель SA1 типа МТ-3, SA2, SA3 - МТ-1, SA4 - КМ2-1. Малогабаритный стрелочный измерительный прибор рассчитан на ток 100 мкА и имеет внутреннее сопротивление 3 кОм. С успехом подойдут практически любые стрелочные измерительные приборы на ток 100 мкА. При большем токе потребуется соответствующее уменьшение номиналов резисторов R7 и R8.

(Окончание следует)

Измеритель эквивалентного последовательного сопротивления электролитических конденсаторов

А.Г. Зызюк, г. Луцк

(Окончание. Начало см. в РА 3/2005)

Конструкция. Задача создания миниатюрного прибора не ставилась, нужно было поместить прибор и батарею аккумуляторов Д-0,26Д в пластмассовый корпус размерами 230x80x35 мм. Прибор конструктивно выполнен на четырех отдельных печатных платах. Плата усилителя и расположение деталей на ней показано на **рис.2**, плата генератора и расположение деталей на ней - на **рис.3**, плата стабилизатора напряжения и расположение деталей на ней - на **рис.4**, плата детектора и расположение деталей на ней - на **рис.5**. Такое исполнение прибора вызвано заменой отдельных блоков новыми в результате проводившихся экспериментов и модернизаций устройства. Модульно-блочная конструкция всегда оставляет шанс к "отступлению". В рассматриваемом варианте намного проще проводить модернизацию или ремонт. Ведь легче заменить один небольшой блок, чем заново создавать новую конструкцию на одной большой печатной плате. Перед размещением в указанном корпусе, размеры всех плат были уменьшены (платы аккуратно обрезаны ножницами по металлу).

Для того чтобы обеспечить возможность измерения минимальных величин сопротивлений, нужно минимизировать сопротивления, соединяющие вход прибора с Сх. Для этого недостаточно применить короткие провода. Монтаж прибора выполнен так, чтобы общие провода схем генератора, усилителя и точки подключения Сх находились на минимальном удалении друг от друга. Непродуманный монтаж легко нарушит нормальную работу прибора в диапазоне 1 Ом, превратив его в весьма неудобный и посредственный измеритель этого диапазона. Именно ради этого диапазона автор взялся за разработку данного устройства, поскольку реализовать "традиционный" диапазон измерения ЭПС можно по более простым схемам. Диапазон 0...1 Ом позволяет очень быстро "разбираться" с такими конденсаторами, как 10000 мкФ и более.

Настройка. Несмотря на наличие в схеме шести подстроечных резисторов и других элементов, требующих подбора, настройка прибора не является сложным процессом. Первоначально движки всех подстроечных резисторов устанавливают в положение, соответствующее максимальному сопротивлению. На время настройки использовались многооборотные резисторы типа СП5-3, хотя печатные платы разрабатывались под исполнение СП-38В. После настройки прибора все они были заменены постоянными резисторами.

Настройку начинают с СН. К выходу СН подключают резистор МЛТ-0,25 сопротивлением 1,2 кОм. Подбором резистора R13 достигают минимально возможного тока через транзистор VT6, при котором СН сохраняет устойчивую работу при входном напряжении от 7 и до15 В. Увлекаться чрезмерным уменьшением этого тока не следует. Рекомендуемая величина его - 100...500 мкА. После установки этого тока приступают к подбору резистора R14. От него зависит выходное напряжение СН, величину которого устанавливали в пределах 6...6,3 В. Дополнительно уменьшить падение напряжения на СН можно заменой резистора R12 проволочной перемычкой (после настройки всего прибора). Однако СН тогда лишается ограничения тока при нештатных ситуациях в нагрузке СН.

Настройка усилителя на транзисторах VT7, VT8 заключается в подборе сопротивления резистора R24 для достижения усиления по напряжению приблизительно в 20 раз (на рабочей частоте). Точность указанной величины здесь не важна. Куда важнее стабильность усиления, которая больше всего зависит от стабильности элементов С10, R24, R25, VT7. Показанное на схеме рис.1 положение контактов переключателя SA1 соответствует диапазону 10 Ом. Замыкают контакты кнопочного выключателя SA4. Таким образом, вместо конденсатора Сх к входу прибора подсоединен высокостабильный калибровочный резистор R21 сопротивлением 10 Ом. Затем резистором R18 устанавливают напряжение 10 мВ на резисторе R21 (и 200 мВ, если необходимо, подбором R24 - на эмиттере VT8). Уменьшая сопротивление резистора R5, устанавливают стрелку измерителя PA1 на конечную отметку его шкалы (100 мкА). Подстроечным резистором R11 устанавливают показания цифрового вольтметра 100 мВ. При необходимости уменьшают и сопротивление резистора R7. Наличие калибровочных резисторов позволяет быстро оценивать работоспособность налаженного прибора.

Необходимо определиться также с наладкой узла защиты PA1. В этой схеме имеются свои тонкости. Для того чтобы не устанавливать никаких дополнительных элементов - индикаторов включения прибора (непременно потребляющих электроэнергию, затраченное время и усложняющих схему), автор использовал "гистерезис" схемы защиты в плане индикации включения прибора. С помощью резисто-

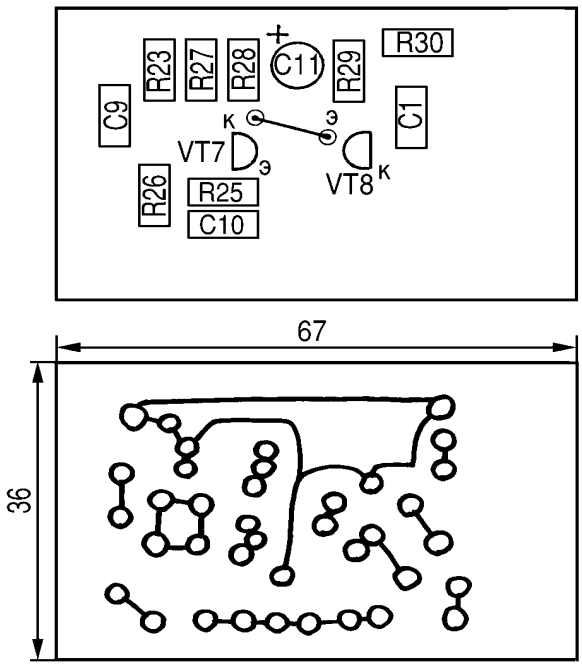

рис.2

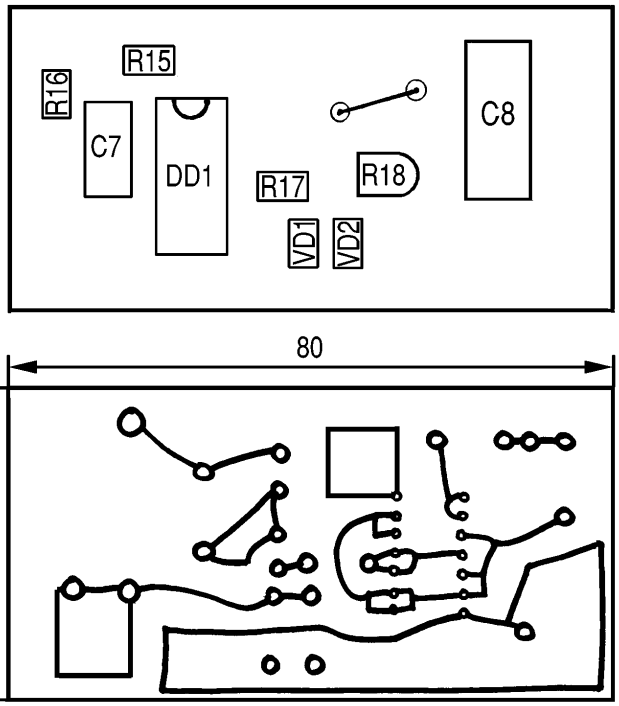

рис.3

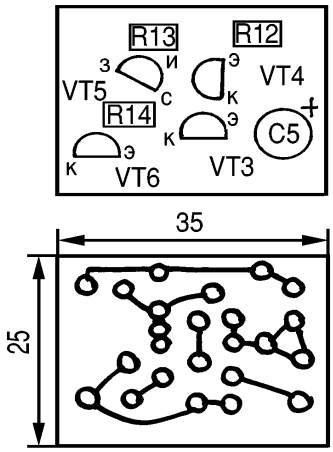

рис.4

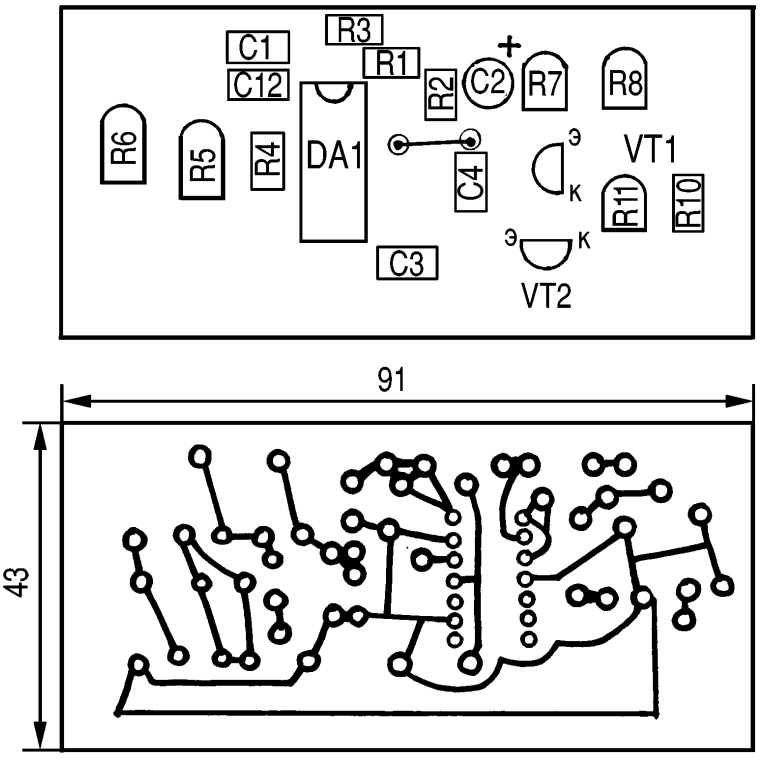

рис.5

ра R8 устанавливают ток срабатывания защиты 130...150 мкА. После срабатывания защиты (оба транзистора открыты) стрелка PA1 возвращается в некоторое среднее положение шкалы. Изменяя сопротивление R8, можно достичь такого включенного состояния транзистора VT2, что стрелку прибора PA1 удастся "затянуть" практически в любой рабочий участок шкалы PA1. Такое состояние схемы защитного узла оказывается весьма стабильным, не требующим никакой последующей подстройки. Во многом этому схема обязана использованию указанных типов транзисторов.

Положение стрелки в рабочем секторе не мешает измерениям, поскольку защита не привязана к величине рабочего тока PA1. Закорачивание выводов Cx прибора или подсоединение исправного конденсатора Cx тут же вызывает установку стрелки в положение, соответствующее величине измеряемого сопротивления. И только завышенное значение тока через PA1 снова приводит защиту в действие. Такой замечательной защитой можно оснастить многие измерительные приборы. Защиту настраивают один раз и больше сопротивление резистора R8 не изменяют. Иначе потребуется дополнительная настройка прибора по причине изменения общего сопротивления резисторов R7 и R8.

Далее переводят переключатель SA1 в положение, соответствующее диапазону 1 Ом. Так же, как и при настройке прибора в диапазоне 10 Ом, но более тщательно, закорачивают выводы SA4. Несмотря на то, что в конструкции применены прецизионные калибровочные резисторы, их пришлось подбирать. Виной тому оказалось наличие значительного сопротивления, вносимого проводами и контактами SA4, SA1.2. Поэтому в диапазоне 1 Ом при настройке замыкают контакты уже обоих выключателей (с кнопкой наладка неудобна, поэтому ее контакты закорачивали даже при настройке в диапазоне 10 Ом). Дело в том, что прибор легко фиксирует переходные сопротивления контактов выключателей SA1.2 и SA4.

В данной схеме практически никакой токовой нагрузки контакты SA1 и SA4 не несут. С этой целью и применен кнопочный вариант исполнения SA4, фактически исключающий подачу энергии неразряженного конденсатора Cx на эти переключатели. Это означает, что их переходные сопротивления будут долговременно стабильными. В результате их можно стабильно "нейтрализовать", уменьшив сопротивления R20, R21. В авторском варианте прибора параллельно R20 включен резистор 22 Ом (МЛТ-0,5) и параллельно R21 - резистор 130 Ом (МЛТ-0,5).

Регулировочные операции повторяют, чтобы обеспечить максимальную точность измерений на обоих диапазонах. Конечно, прибор не должен на разных диапазонах индицировать совершенно разные показания при одном и том же подключенном конденсаторе Cx. В диапазоне 1 Ом настройка требует установки напряжения на табло цифрового вольтметра 100 мВ с помощью подстроечного резистора R6. Поскольку этот резистор подключается параллельно резистору R5, то не следует забывать о зависимости наладки диапазона 1 Ом от наладки 10 Ом. Такой вариант коммутации проще схемотехнически и практически (вместо трех проводов к плате подходят только два). В последнюю очередь подбирают номинал резистора R9, с тем чтобы 100 мВ на цифровом мультиметре соответствовало 10 В напряжения аккумулятора.

Модернизация прибора. Если прибор нужен только для стационарных условий эксплуатации, то CH из схемы удаляют. При исключении стрелочного измерителя PA1 схема также упрощается, элементы R8, VT1, VT2 убирают. Вместо резистора R8 устанавливают проволочную перемычку. Такой вариант (без измерителя PA1) позволяет немного снизить энергопотребление прибора за счет схемы детектора. После удаления стрелочной головки, учитывая большое входное сопротивление цифрового тестера, номиналы резисторов R7, R10, R11 увеличивают в 10 раз. Тем самым разгружают выход ИМС, что благоприятно сказывается на работе ИМС. Конденсатор C4 заменяют неэлектролитическим К10-17-2,2 мкФ. Впрочем, чтобы повысить надежность прибора, все электролитические конденсаторы впоследствии были заменены неэлектролитическими (К10-17-2,2 мкФ).

В случае совместного использования данного прибора с цифровым мультиметром, имеющим диапазон 0...200 мВ или 0...2000 мВ, легко расширить диапазон измеряемых сопротивлений "вверх", т.е. до 20 Ом. Нужно только заново подобрать номиналы элементов R7 и R10.

Уточнение. *В спецификации примененных в приборе деталей, которая приведена в первой части статьи (РА 3/2005, с. 24, 3-я колонка, 3-й абзац сверху), сопротивление резисторов R19, R22 должно быть не 330 кОм, а 330 Ом. Приносим свои извинения.*

Литература

1. Новаченко И.В. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры. - М.: Радио и связь, 1989.
2. Зызюк А.Г. Особенности ремонта усилителей WS-701//Радіоаматор. - 2004. - №6. - С.11-13.
3. Зызюк А.Г. Некоторые особенности ремонта СДУ//Радіоаматор. - 2004. - №7. С.12-13.
4. Зызюк А.Г. Мини-дрель ремонтника и радиолюбителя//Радіоаматор. - 2004. - №8. - С.20-21.
5. Зызюк А.Г. Простой измеритель емкости//Радіоаматор. - 2004. - №9. - С.26-28.
6. Зызюк А.Г. О простых и мощных стабилизаторах напряжения//Электрик. - 2004. - №6. - С.10-12.
7. Зызюк А.Г. Генератор стабильного тока для зарядки аккумуляторов и его применение при ремонте и конструировании радиоэлектронных средств//Электрик. - 2004. - №9. - С.8-10.
8. Радіоаматор. Лучшее за 10 лет (1993-2002). - К.: Радіоаматор, 2003.