

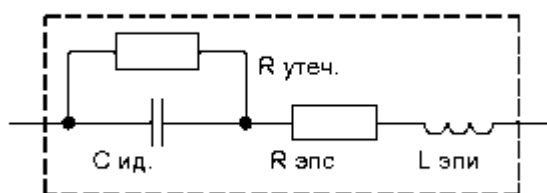
Прибор для проверки конденсаторов

(дополнительно импульсных трансформаторов и измерения частоты).

Электролитический конденсатор - радиоэлемент, который более остальных подвержен старению и как следствие, часто выходит из строя. В условиях мастерской по ремонту промышленного оборудования, а также практики ремонта бытовой электронной техники в домашних условиях, прибор для диагностики неисправности электролитических конденсаторов мог бы сильно ускорить процесс ремонта. Применение приборов промышленного производства не всегда возможно из-за цены или массо-габаритных характеристик, тем более если работа связана с выездом к месту ремонта. Имеющиеся в продаже емкостемеры китайского производства достаточно хорошо справляются с измерением емкости исправных конденсаторов, но не позволяют определить неисправный элемент если эта неисправность связана с увеличением внутреннего сопротивления или утечки конденсатора. На страницах разных изданий не раз описывались приборы, которые измеряли емкость тем или иным способом, но все они по разным причинам не всегда справлялись со своей задачей.

В последнее время, с появлением электролитических конденсаторов предназначенных для работы на высоких частотах, стал популярен способ оценки качества конденсаторов путем измерения ЭПС (эквивалентного последовательного сопротивления или ESR в англоязычной литературе). В конференциях на тему ESR конденсаторов и на страницах разных изданий не раз описывались приборы, которые измеряют ЭПС конденсаторов следующим способом. С генератора достаточно высокой частоты, обычно 50 - 100 кГц синусоидальный (а и иногда и прямоугольный) сигнал подают на делитель напряжения, образованный тестируемым конденсатором и эталонным резистором. Измеренное переменное напряжение на конденсаторе или эталонном резисторе (от этого меняется только направление отсчета показаний и соответственно ноль, в конце или начале шкалы), пропорционально ЭПС конденсатора. Амплитуда выходного напряжения генератора обычно выбирается 50 - 900 мВ, чтобы можно было проверять конденсаторы без выпайке из схемы. Выход генератора и вход измерительной части таких приборов обычно выполняют с использованием трансформаторов для надежной защиты от заряженных конденсаторов. Фактически таким способом измеряется не ЭПС, а полное сопротивление конденсатора (импеданс, или Z) на частоте генератора. (На другой частоте оно будет другим.)

Эквивалентная схема конденсатора



Для электролитических конденсаторов на низкой частоте в полном сопротивлении конденсатора доминирует величина реактивного сопротивления емкости Сид. (Сид. на рисунке - идеальная емкость), на высоких частотах доминирует величина реактивного сопротивления индуктивности Лэпи (эквивалентная последовательная индуктивность, далее ЭПИ), и только на частоте собственного резонанса конденсатора, суммарная величина реактивного сопротивления элементов Сид. и Лэпи равна нулю и полное сопротивление конденсатора (Z) практически равно $R_{эпс}$. Для подавляющего большинства конденсаторов частота собственного резонанса лежит в полосе 20 - 200 кГц. Она зависит от емкости и

рабочего напряжения.

Сначала в основу прибора для тестирования конденсаторов была положена эта идея.

Планировалось изготовить прибор который похож на выше описанные и по сути является обычным омметром на малые величины сопротивления, только измерение происходит не на постоянном токе, а на переменном, с изменяемой частотой от 20 до 200 кГц.

Микроконтроллер плавно изменяет значение частоты от одного крайнего значения до другого, непрерывно измеряя сопротивление тестируемого конденсатора. Наименьшее измеренное значение сопротивления случится на частоте собственного резонанса конденсатора, оно и будет являться ЭПС, его и отобразит микроконтроллер на индикаторе.

Но такому способу, как и вышеописанным присущи следующие недостатки :

- Так как величина ЭПС современных электролитических конденсаторов большой емкости может быть менее 0.01 Ома измерение придется производить по 4-х проводной схеме, что не очень удобно. Это дополнительно усложняется еще и тем, что измерение будет происходить на достаточно высокой частоте.

- Измерение одного значения ЭПС в отрыве от емкости обуславливает применение таблицы по которой определяется, на сколько нормально ЭПС для данного конденсатора. А в зависимости от типа конденсатора, его емкости и рабочего напряжения его ЭПС может находиться в пределах 0.01 - 100 Ом.

- Такой способ измерения (без дополнительного замера тестером) не позволит отличить высококачественный конденсатор от конденсатора с огромной утечкой, что, согласитесь, не редкость.

- Измерение ЭПС таким способом без выпайки из схемы тоже накладывает определенные ограничения. Например в типовой схеме фильтра питания параллельно электролитическому конденсатору обычно ставят керамический конденсатор (а иногда и не один), в этом случае измеренное значение ЭПС совершенно не несет информации о исправности электролитического конденсатора.

Все это побудило к созданию описываемому в этой статье прибора, свободного от этих недостатков и способного удовлетворить следующим требованиям :

- измерение емкости до 13000 мкф, без переключения диапазонов.

- точность измерения емкости - не хуже 10%, что более чем достаточно для определения неисправности конденсатора.

- проверка конденсатора (или схемы в которую он впаян) на утечку.

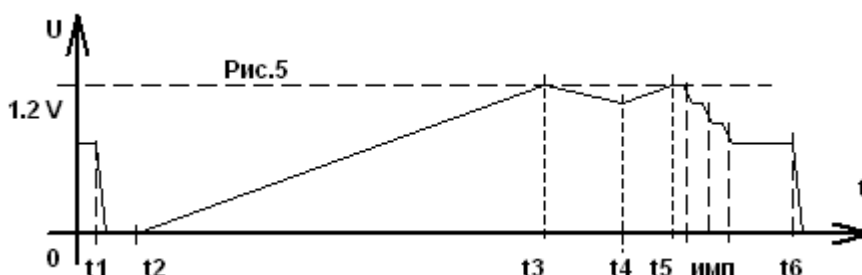
- измерение и индикация одновременно с емкостью величины внутреннего сопротивления в условных единицах 0 - 512.

- отсутствие необходимости выпаивать конденсатор из схемы (не всегда), так как иногда, при нагреве выводов конденсатора он полностью или частично восстанавливает свои параметры.

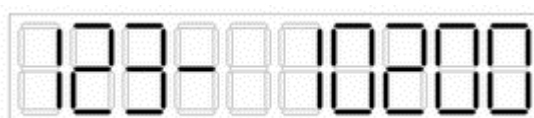
Так же прибор должен быть прост в сборке, наладке и эксплуатации. Быть достаточно малогабаритным и дешевым.

Тестирование конденсатора описываемый прибор производит следующим образом: сначала заряжает его до определенного напряжения стабильным током с измерением времени заряда, которое прямо пропорционально емкости. Затем несколькими прибор замыкает конденсатор сильноточным ключом, управляемым короткими импульсами. Число этих импульсов вычисляется микроконтроллером и зависит от предварительно измеренной емкости. Так как сопротивление ключа в открытом состоянии очень мало, а разрядные импульсы достаточно короткие, то напряжение, до которого успел разрядиться конденсатор, будет соответствовать величине потерь в нем. Чем больше напряжения осталось, тем больше суммарная величина потерь, в которую входят и $R_{эпс}$, и $L_{эпс}$. Разряд конденсатора несколько короткими импульсами, а не одним определенной длины, (чтобы усилить влияние $L_{эпс}$ на измеренную величину) сделано потому что, как показывает опыт, в конденсаторе со временем может увеличиваться не только $R_{эпс}$, а еще и $L_{эпс}$. А в сильноточных (от 20А), высокочастотных

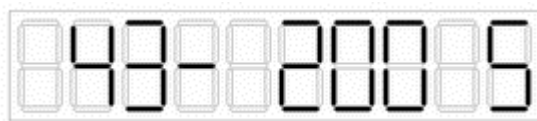
(от 100 кГц) импульсных преобразователях он имеет первостепенное значение. Напряжение, прикладываемое к проверяемому конденсатору не превышает 1.2В, поэтому в подавляющем большинстве случаев, конденсаторы можно тестировать и без выпайки их из схемы. Так как количество разрядных импульсов вычисляется из измеренной емкости, на измеряемую величину внутреннего сопротивления практически не влияют керамические конденсаторы которые могут быть подключены параллельно тестируемой емкости. Так, при подключении параллельно к проверяемому конденсатору К50-24, 1000 мкф, 63В другого конденсатора К73-17, 680 нф показания внутреннего сопротивления изменялись менее чем на 4 %.
 Подробное описание алгоритма программы в режиме измерения емкости :



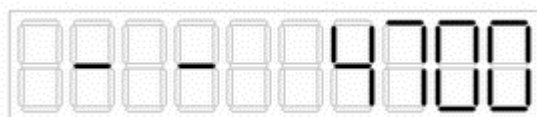
В начале цикла (t_1) открывается ключ DA3 и выдерживается пауза около 300 мС для разряда конденсатора. Затем после размыкания ключа DA3, в момент t_2 запускается таймер и включается источник стабильного тока около 10 мА. Разрядность таймера равна 17 битам, т.е. максимальное число до которого может считать таймер 131071. Счет идет в сотнях нанофард, следовательно максимальная измеренная емкость может быть 13107.1 мкф. Прибор находится в таком режиме до момента t_3 , когда напряжение на конденсаторе не достигнет порога. Напряжение этого порога - 1.2 В. Это-же напряжение является опорным и для АЦП, оно генерируется внутренним источником опорного напряжения контроллера с вывода RA2. В момент равенства напряжения на конденсаторе опорному напряжению останавливается таймер и отключается источник стабильного тока. Содержимое таймера является емкостью конденсатора. Далее измеряется и запоминается напряжение на конденсаторе, из емкости вычисляется задержка, после которой в момент t_4 производится второе измерение. Чем больше разница между этими напряжениями, тем больше величина утечки (саморазряда) конденсатора. Если значение утечки изменит значение емкости более чем на 10%, то измерение внутреннего сопротивления не производится. При токе утечки ниже максимально допустимой прибор продолжает цикл измерения. Снова включается источник стабильного тока для того, что-бы скомпенсировать разряд конденсатора при измерении тока утечки. При достижении напряжения 1.2В в момент t_5 отключается источник стабильного тока и ключ DA3 короткими импульсами замыкает выводы конденсатора. Количество этих разрядных импульсов вычисляется из ранее измеренной емкости (на рисунке 5 показано три импульса "имп" жирными вертикальными линиями). Длительность одного импульса - около 1 мкс. Далее внутренним АЦП с 9-ти разрядной точностью измеряется напряжение оставшееся после разрядных импульсов. В момент t_6 опять открывается ключ DA3 что-бы разрядить конденсатор для следующего цикла измерения. Обе величины и емкость, и значения с АЦП выводятся на индикатор, причем если измеренная емкость более 999.9 мкф то разряд сотен нанофард не выводится так как не несет полезной информации. Вид информации на индикаторе такой :



123 - величина потерь; 10200 мкф - емкость; При емкости менее 1000 мкф такой :



43 - величина потерь; 200.5 мкф - емкость; Сотни нанофарад отделены от микрофарад пробелом так как примененный индикатор не позволяет отображать точку. При большом токе утечки вместо величины потерь отображается прочерк :



4700 мкф - емкость (ориентировочно); После этого цикл измерения повторяется. При измерении маленьких емкостей цикл измерения происходит очень быстро и чтобы показания на индикаторе не мелькали, в программе предусмотрена задержка около 350 мС, которая при величине емкости более 5000 мкф не производится. При большом токе утечки конденсатора напряжение на нем никогда не достигнет порогового уровня и цикл измерения остановится. Для отслеживания такой ситуации каждый цикл измерения между двумя величинами на индикаторе отображается мигающая черточка. Ток потребления в этом режиме 3 мА на холостом ходу и до 18 мА при заряде конденсатора.

При разных значениях измеренной емкости, порог величины внутреннего сопротивления по которому судят о годности конкретного конденсатора будет разным. Это связано с тем, что в программе прибора для вычисления задержки при измерении утечки и количества разрядных импульсов при определении внутреннего сопротивления применяются простейшие вычисления. Для более точных вычислений потребовалось бы использовать более мощный микроконтроллер и серьезно усложнить программу. При таких спорных случаях можно всегда сравнить показания прибора при измерении другого, заведомо хорошего конденсатора. По мере накопления опыта работы с прибором таких спорных случаев будет все меньше и меньше.

"Радио" N1 и N2 2006г. А.Бывших.