



ESR-МЕТР АМЕРИКАНСКИХ РАДИОМЕХАНИКОВ

Игорь Безверхний
г. Киев, Украина

В последние годы восстанавливаются связи с нашими соотечественниками, выехавшими за рубеж на ПМЖ из СССР и стран СНГ. Некоторые из них занимались или занимаются сейчас ремонтом радиоэлектронной аппаратуры. Иногда удается обмениваться с ними полезной информацией. Я несколько раз видел у наших коллег-земляков, живущих и работающих ныне в США и Канаде, самодельный стрелочный ESR-метр на двух микросхемах LM324P. Этот ESR-метр – один из самых удобных подобных приборов для проверки электролитических конденсаторов. Кто разработчик этого прибора, мне не известно, но, по заверениям владельцев, ESR-метры по этой схеме были собраны и используются на Западе многими ремонтниками уже более 15 лет. Используя один из образцов этого прибора, я восстановил его принципиальную схему и собрал его. По результатам этой работы написана эта статья.

ESR (Equivalent Series Resistance, эквивалентное последовательное сопротивление) – это один из важнейших параметров электролитических конденсаторов. ESR представля-

ет собой сумму последовательно включенных омических сопротивлений контактов выводов и электролита с обкладками (пластинами) электролитического конденсатора.

Описанный в этой статье измеритель ESR представляет собой омметр переменного тока с растянутой шкалой. Данный прибор работает на частоте 50...100 кГц. На этой частоте емкостное сопротивление электролитических конденсаторов мало (около нуля), поэтому показания этого омметра при проверке конденсаторов как

раз и дают ESR. Чем меньше это сопротивление, тем качественнее электролитический конденсатор.

Растянутая шкала этого прибора удобна для считывания показаний (см. рис. 1).

Собственно шкал у исходного прибора две. Одна из них (верхняя) градуирована в Ом, ее назначение понятно без дополнительных объяснений. Нижняя шкала градуирована в мкФ. Она выполняет вспомогательную функцию: показывает, какое максимальное значение сопротивления ESR допустимо для определенного номинального значения емкости электролитического конденсатора. Этим данный измеритель ESR отличается в лучшую сторону от некоторых конструкций, описание которых публиковалось в отечественной печати [1, 2]. Следует заметить, что взаимно-однозначного соответствия между емкостью и сопротивлением ESR нет. Чем меньше ESR, тем лучше. В левой части нижней шкалы имеется сектор DRY (сухой). Если стрелка прибора при измерении ESR находится в этом секторе, то любой электролитический конденсатор следует считать неисправным – он высох.

Принципиальная схема ESR-метра показана на рисунке 2.

Прибор собран на двух микросхемах LM324P, каждая из которых содержит по четыре

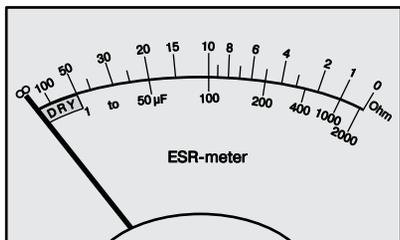


Рис. 1. Шкала ESR-метра

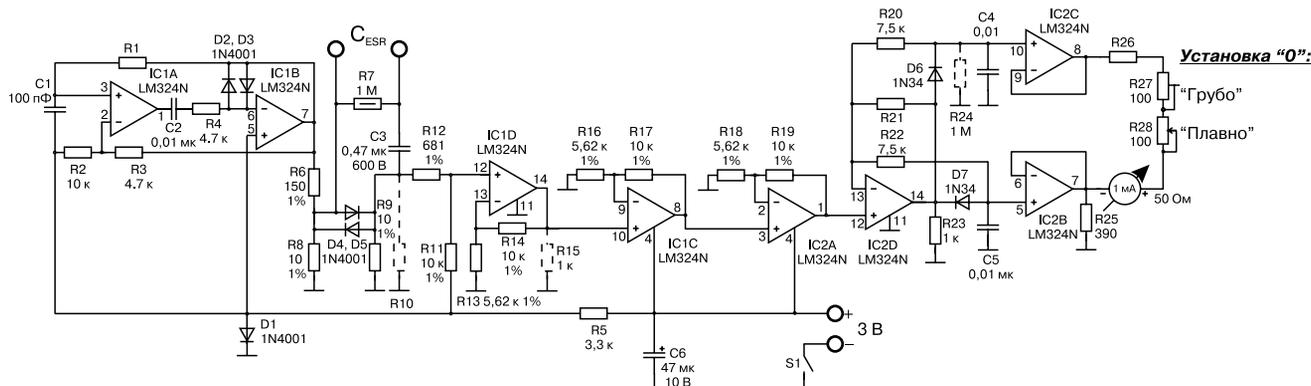


Рис. 2. Принципиальная схема ESR-метра



операционных усилителя (ОУ). Напряжение питания схемы 3 В составляют два гальванических элемента АА («пальчиковые») или ААА («мизинчиковые»). Правда, в одной из конструкций я видел в качестве источника питания аккумулятор от сотового телефона.

На ОУ IC1A и IC1B собран автогенератор сигнала 50...100 кГц, выходной сигнал которого на выводе 7 IC1B имеет вид ограниченной синусоиды (см. рис. 3а), что достигается введением в цепь обратной связи двух диодов D2 и D3.

Это ограничение позволяет поддерживать неизменной амплитуду сигнала, поступающего на проверяемый конденсатор. R1, C1 — времязадающая цепь. Подбором резистора R1 в пределах 1...3,3 кОм осуществляется установка частоты генератора 50...100 кГц. Было замечено, что рабочая частота 50 кГц предпочтительнее. Диод D1 используется для получения начального напряжения смещения 0,55 В для инвертирующего входа ОУ IC1A и неинвертирующих входов IC1B и IC1D.

Сигнал с генератора через резистивный делитель напря-

жения R6, R8, проверяемый конденсатор C_{ESR} и разделительный конденсатор C3 поступает на вход масштабирующего усилителя. R7 — разрядный резистор для проверяемого конденсатора. D4 и D5 образуют классический двухсторонний диодный ограничитель, который защищает вход прибора от перегрузки. Конденсатор C3 имеет рабочее напряжение 600 В, что позволяет проверять конденсаторы, не выпаивая их из аппарата. Кстати, во всех измерителях ESR, собранных по приведенной схеме, которые мне довелось рассматривать, в позиции C3 использовался отечественный конденсатор К73-17. Входное сопротивление масштабирующего усилителя определяется сопротивлением параллельно соединенных резисторов R9 и R10. На этих резисторах, как на нагрузке, выделяется переменное напряжение, которое прямо пропорционально току проверяемого конденсатора и обратно пропорционально его ESR. Подбором R10 устанавливается масштаб шкалы измерителя. Можно и не устанавливать этот резистор. Сам

масштабирующий усилитель собран на трех ОУ IC1D, IC1C и IC2A. Коэффициент усиления каждого из них определяется отношением резисторов цепи отрицательной обратной связи:

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{R14 + R13}{R13} = \\ &= \frac{R17 + R16}{R16} = \\ &= \frac{R19 + R18}{R18} = \\ &= \frac{10\text{к} + 5,62\text{к}}{5,62\text{к}} = 2,78. \end{aligned}$$

Коэффициент усиления всего масштабирующего усилителя равен 21,5. Резистор R15 устанавливается в некоторых случаях для «подтяжки» выходного сигнала ОУ IC1D к нулю. Диод D1 используется для получения начального напряжения смещения 0,55 В для инвертирующего входа ОУ IC1A и неинвертирующих входов IC1B и IC1D.

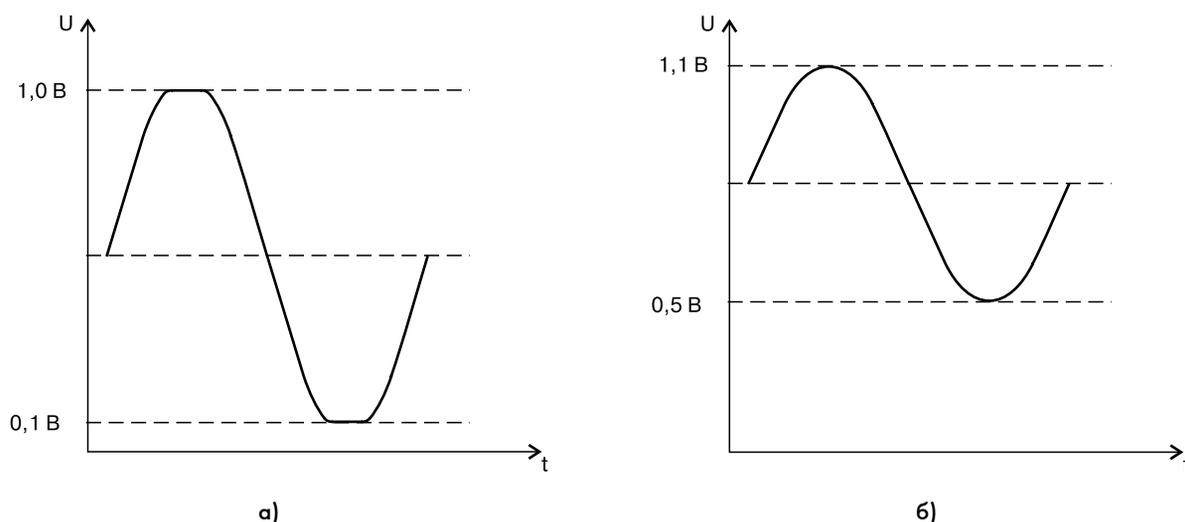


Рис. 3. Эпюры напряжений сигналов ESR-метра

а) на выходе генератора (вывод 7 IC1B)

б) на выходе масштабирующего усилителя (вывод 1 IC2A) при закороченных входных клеммах

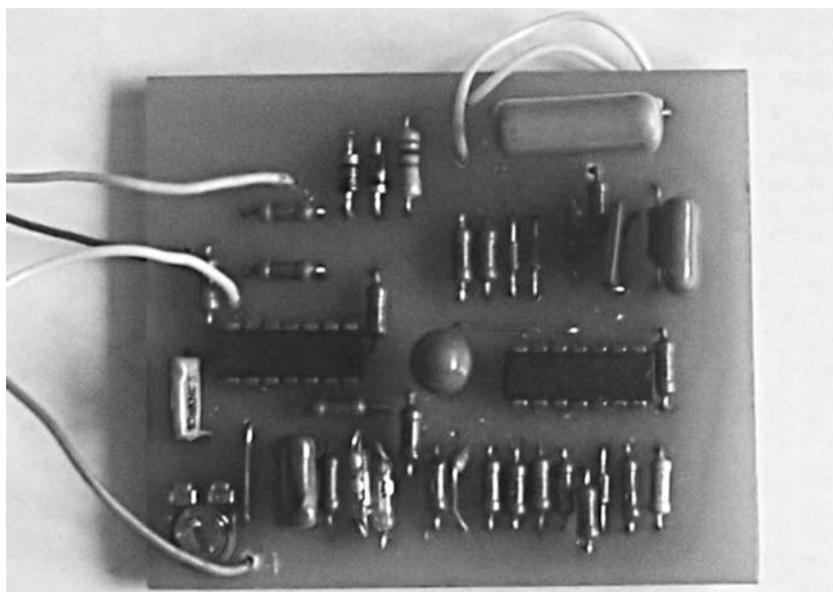


Рис. 4. Внешний вид печатной платы измерителя ESR

Таблица 1. Номиналы деталей измерителя ESR

R1	1...3,3 кОм	подбирается	C1	100 пФ
R2	10 кОм	5%	C2	0,01 мкФ
R3	4,7 кОм	5%	C3	0,47 мкФ × 600 В
R4	4,7 кОм	5%	C4	0,01 мкФ
R5	3,3 кОм	5%	C5	0,01 мкФ
R6	150 Ом	1%	C6	47 мкФ × 10 В
R7	1 МОм	0,5 Вт		
R8	10 Ом	1%	D1	1N4001
R9	10 Ом	1%	D2	1N4001
R10		подбирается	D3	1N4001
R11	10 кОм	1%	D4	1N4001
R12	681 Ом	1%	D5	1N4001
R13	5,62 кОм	1%	D6	1N34A
R14	10 кОм	1%	D7	1N34A
R15	1 кОм	5%		
R16	5,62 кОм	1%	IC1	LM324P
R17	10 кОм	1%	IC2	LM324P
R18	5,62 кОм	1%		
R19	10 кОм	1%		
R20	7,5 кОм	5%		
R21	330 Ом...2,2 кОм	подбирается		
R22	7,5 кОм	5%		
R23	1 кОм	5%		
R24	1 МОм			
R25	390 Ом	5%		
R26	68...240 Ом	подбирается		
R27	100 Ом	подстроечный		
R28	100 Ом	переменный		

На рис. 3б показан сигнал на выходе масштабирующего усилителя (вывод 1 IC2A) при закороченных входных клеммах. Эпюры напряжений (см. рис. 3) в опорных точках должны помочь отрегулировать прибор после сборки.

На ОУ IC2D, IC2C и IC2B собран измерительный выпрямитель. Точнее, IC2C и IC2B работают как повторители напряжения (своего рода усилители мощности), а сам выпрямитель собран на ОУ IC2D, диодах D6, D7 и накопительных конденсаторах C4, C5. IC2D включен как неинвертирующий усилитель с ООС.

В положительные полупериоды сигнала на входе IC2D (и выходе тоже) конденсатор C4 заряжается через D6, а в отрицательные C5 заряжается через D7. Чем меньше ESR, тем больше переменное напряжение на входе IC2D и разность постоянных напряжений на накопительных конденсаторах C4, C5, а значит, тем больше напряжение, прикладываемое к цепи стрелочного индикатора со шкалой 1 мА и внутренним сопротивлением 50 Ом. Практика показывает, что в этой позиции можно устанавливать и более чувствительные стрелочные приборы, например, стрелочные индикаторы записи от магнитофонов. При этом параллельно головке устанавливаются и подбирают шунты и подбирают резистор-ограничитель R26 цепи установки нуля. При штатном индикаторе его сопротивление лежит в пределах 68...240 Ом. Резистором R21 (330 Ом...2,2 кОм) добиваются линейности средней части шкалы. Резистором R24 корректирует смещение на выводе 10 операционного усилителя IC2C. Этот резистор не обязателен.

Большинство резисторов измерителя ESR имеют допустимое отклонение сопротивления от номинала 5%, но есть и несколько резисторов с допуском в 1%. Номиналы



всех деталей измерителя ESR сведены в таблицу 1.

ESR-метр собран на печатной плате размером 78 × 66 мм. Внешний вид печатной платы прибора показан на рисунке 4. Чертеж этой печатной платы изображен на рисунке 5, а расположение деталей на рисунке 6.

Измерение ESR с помощью данного прибора ничем не отличается от измерения сопротивления обычного омметра. Перед каждым измерением надо замкнуть щупы или нажать кнопку, которая замыкает входные клеммы (некоторые ESR-метры имеют такую кнопку) и установить потенциометром «Установка 0» стрелку на ноль шкалы прибора.

Некоторые простые рекомендации пользователю ESR-метра

– Проверять ESR конденсатора следует после проверки этого конденсатора на пробой/утечку.

– Любой электролитический конденсатор с ESR более 50 Ом следует считать неисправным.

– Максимальное значение ESR конденсаторов емкостью 1...50 мкФ лежит в пределах 50...20 Ом.

– Максимальное значение ESR в Омах для конденсаторов большой емкости можно рассчитать по опытной формуле:

$$ESR_{MAX}(Ом) = \frac{1000}{C(мкФ)}$$

Отсюда следует, что максимальное значение ESR для конденсатора емкостью 100 мкФ составляет 10 Ом, для 1000 мкФ – 1 Ом, а для 10000 мкФ – 0,1 Ом.

– Если показания ESR при измерении неустойчивы и меняются, то это говорит о ненадежности контакта выводов конденсатора с фольгой. Такой конденсатор также следует считать неисправным.

В заключение хочу заметить, что омметр, работающий

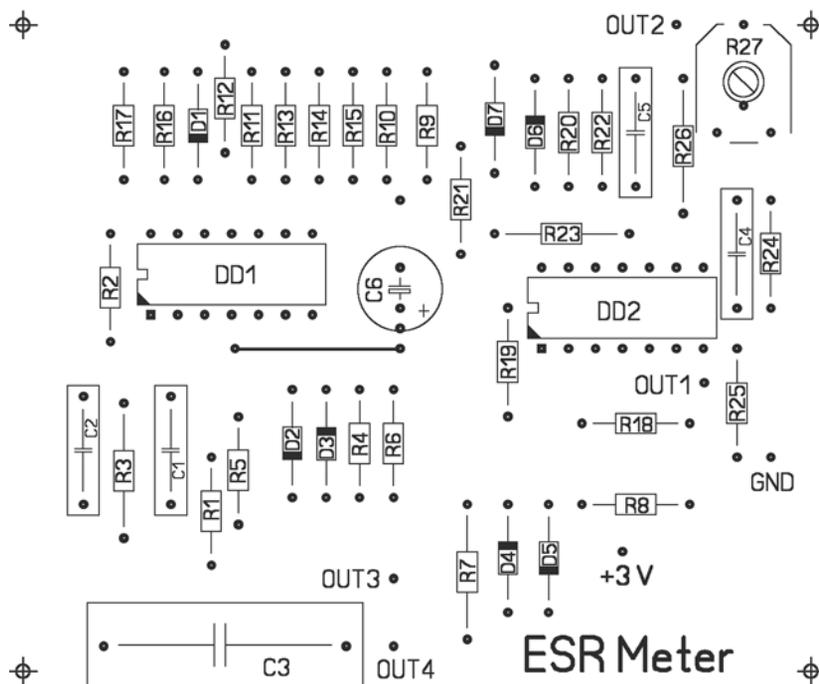


Рис. 6. Расположение деталей на печатной плате измерителя ESR

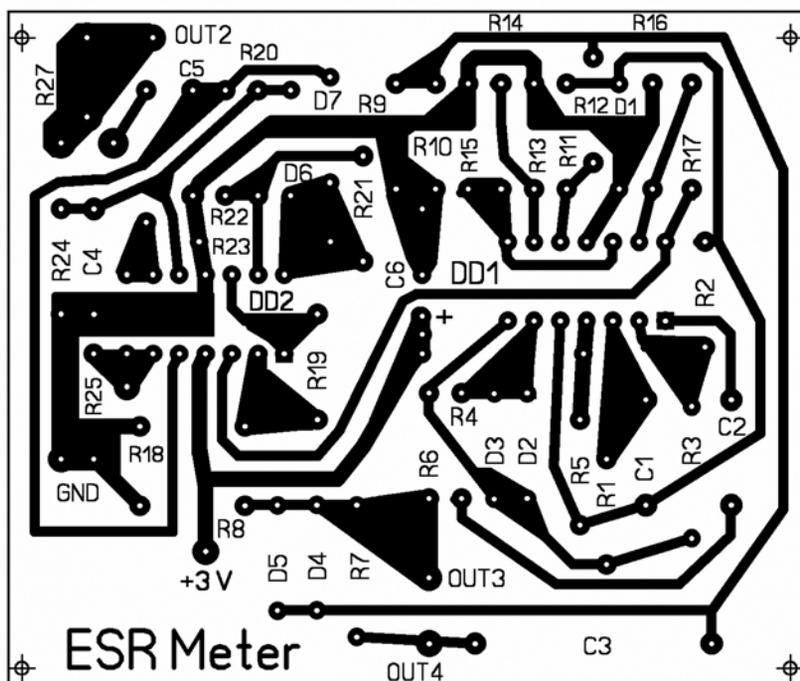


Рис. 5. Чертеж печатной платы измерителя ESR

на высокой частоте, каковым является ESR-метр, удобно использовать для проверки качества контактов различных реле, пускателей, коллекторов якорей электродвигателей и генераторов (автомобильных) и т.д.

Литература

1. Омельяненко А. Измеритель ESR электролитических конденсаторов // РЭТ, 2002, №2.
2. Абрамов С.М. Переносный измеритель внутреннего сопротивления конденсаторов // Радиоаматор, 2004, №6.