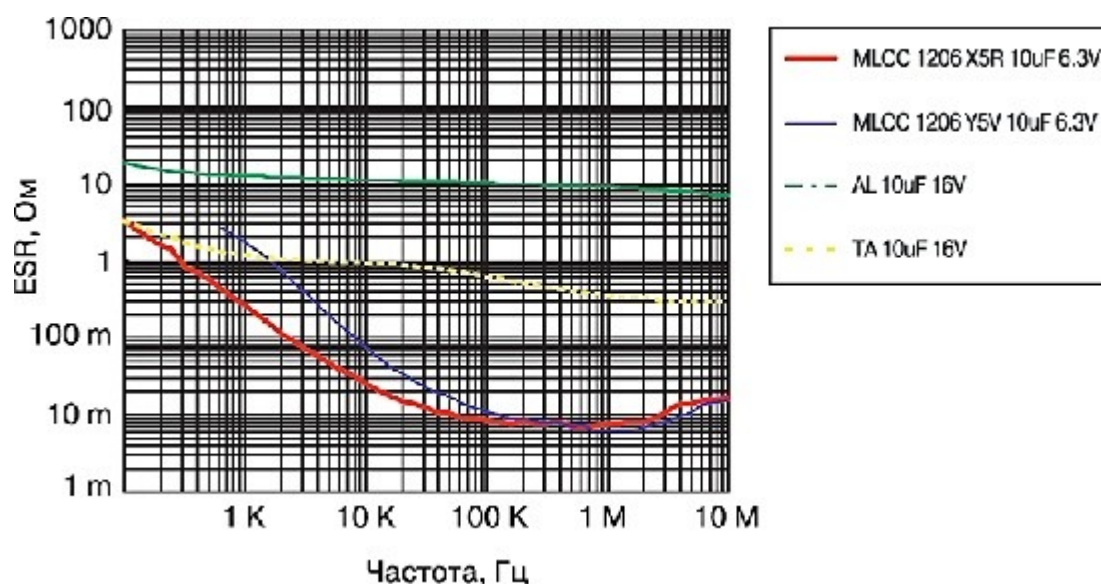


ИЗМЕРИТЕЛЬ ESR НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Какой главный параметр для оценки исправности конденсаторов? Конечно их ёмкость. Но по мере распространения импульсной высоковольтной техники, стало очевидно, что надо обратить внимание на ещё один параметр, от которого зависит надёжность и качество работы импульсных преобразователей - это эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС, по англ. ESR - equivalent series resistance). Применение конденсаторов с увеличенным значением ЭПС приводит к росту пульсаций выходного напряжения по сравнению с расчётными значениями, и бстому выходу их из строя из-за повышенного нагрева за счёт выделения тепла на ЭПС, нередко даже случаи закипания электролита, деформация корпуса, а также взрывы конденсаторов. Особая выраженность негативного влияния ЭПС именно в силовых импульсных преобразователях вызвана, работой на больших токах заряда-разряда, а также тем, что с ростом рабочей частоты ЭПС возрастает. Наличие ESR объясняется конструкцией оксидного конденсатора и обусловлена сопротивлением обкладок, сопротивлением выводов, переходным сопротивлением контактов между обкладками и выводами, а также потерями в материале диэлектрика. С течением времени ESR конденсатора возрастает, что совсем не хорошо.



ESR конденсаторов разных типов

Естественно, проконтролировать обычным Омметром эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора невозможно - тут нужен специальный прибор. В интернете есть несколько простых конструкций [ESR-метров](#), но при желании, можно собрать более точный и удобный измеритель на микроконтроллере. Например из журнала Радио 7-2010.

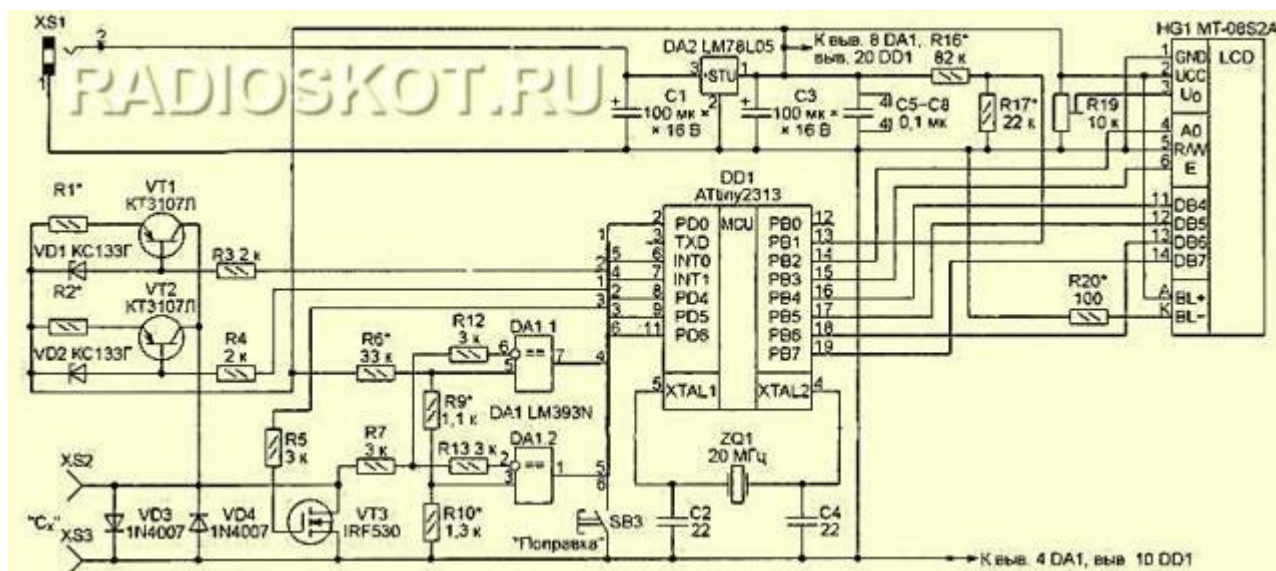


Схема измерителя ESR конденсаторов на Attiny2313

Все необходимые файлы и прошивки - [в архиве](#). После сборки и включения крутим регулятор контрастности до появления на экране LCD надписи в две строки. Если её нет - проверяем монтаж и правильность прошивки МК ATtiny2313. Если всё ОК - нажимаем кнопку "Калибровка" - в прошивку внесётся поправка на скорость срабатывания входной части измерителя. Далее понадобится несколько новых электролитических конденсаторов высокого качества ёмкостью 220...470 мкФ разных партий, лучше всего - на разные напряжения. Подключаем любой из них к входным гнездам прибора и начинаем подбирать резистор R2 в пределах 100...470 ом (у меня получилось 300 ом; можно применить временно цепочку постоянный+подстроечный) так, чтобы значение ёмкости на экране ЖКИ примерно было похоже на номинал конденсатора. К большой точности пока что стремиться не стоит - ещё будет корректироваться; затем проверить и с другими конденсаторами.



Для настройки измерителя ESR нужна таблица с типовыми значениями этого параметра для разных конденсаторов. Эту табличку рекомендуется приклеить на корпус прибора под дисплеем.

$\mu F \backslash V$	10	16	25	35	50	100	160	250
1	RADIO SKOT.RU				5	7	10	14
2,2					4	6	8	10
4,7			3	3	3	4	4	3,5
10		2	2	2	2	1,2	1,5	2,8
22	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,66	1,1	1,2
47	1,3	1,3	1,3	0,60	0,60	0,32	0,46	0,60
100	1,3	0,60	0,60	0,33	0,33	0,16	0,24	0,30
220	0,60	0,33	0,33	0,25	0,19	0,09	0,14	0,27
470	0,33	0,25	0,19	0,14	0,09	0,06	 OHMS	
1000	0,19	0,14	0,09	0,07	0,06			
2200	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04			
3300	0,07	0,06	0,05	0,04				
4700	0,06	0,05	0,04	0,03				
10000	0,04	0,03						

INFORMATION TABLE OF ESR VALUES

В следующей табличке указаны максимальные значения эквивалентного последовательного сопротивления для электролитических конденсаторов. Если у измеряемого конденсатора оно будет выше, то его уже нельзя использовать для работы в сглаживающем фильтре выпрямителя:

	10V	16V	25V	35V	63V	160V	250V
4.7 μF	>40 Ω	35.0 Ω	29.0 Ω	24.0 Ω	19.0 Ω	16.0 Ω	13.0 Ω
10 μF	20.0 Ω	16.0 Ω	14.0 Ω	11.0 Ω	9.3 Ω	7.7 Ω	6.3 Ω
22 μF	9.0 Ω	7.5 Ω	6.2 Ω	5.1 Ω	4.2 Ω	3.5 Ω	2.9 Ω
47 μF	4.2 Ω	3.5 Ω	2.9 Ω	2.4 Ω	2.0 Ω	1.60 Ω	1.40 Ω
100 μF	2.0 Ω	1.60 Ω	1.40 Ω	1.10 Ω	0.93 Ω	0.77 Ω	0.63 Ω
220 μF	0.90 Ω	0.75 Ω	0.62 Ω	0.51 Ω	0.42 Ω	0.35 Ω	0.29 Ω
470 μF	0.42 Ω	0.35 Ω	0.29 Ω	0.24 Ω	0.20 Ω	0.16 Ω	0.13 Ω
1000 μF	0.20 Ω	0.16 Ω	0.14 Ω	0.11 Ω	0.09 Ω	0.08 Ω	0.06 Ω
2,200 μF	0.09 Ω	0.07 Ω	0.06 Ω	0.05 Ω	0.04 Ω	0.03 Ω	0.03 Ω
4,700 μF	0.04 Ω	0.03 Ω	0.03 Ω	0.02 Ω	0.02 Ω	0.02 Ω	0.01 Ω
10,000 μF	0.02 Ω	0.02 Ω	0.01 Ω	0.01 Ω	0.01 Ω	0.01 Ω	0.01 Ω

Подключаем конденсатор 220 мкФ и, незначительным подбором сопротивления резисторов R6, R9, R10 (на схеме и на моём сборочном чертеже обозначены со звёздочками), добиваемся показаний ESR, близких к указанным в таблице. Проверяем на всех имеющихся заготовленных эталонных конденсаторах, в т.ч. уже можно использовать

и конденсаторы от 1 до 100 мкФ.



Так как для измерения ёмкости конденсаторов от 150 мкФ и для измерителя ESR применяется один и тот же участок схемы, после подбора сопротивления этих резисторов несколько изменится точность показаний измерителя ёмкости. Теперь можно подстроить ещё сопротивление резистора R2, чтобы эти показания стали точнее. Другими словами, нужно подбирая сопротивление R2 - уточнить показания измерителя ёмкости, подстраивая резисторы в делителе компараторов - уточнить показания ESR-метра. Причём, приоритет надо отдавать измерителю внутреннего сопротивления.



Теперь надо настроить измеритель ёмкости конденсаторов диапазона 0,1...150 мкФ. Так как для этого в схеме предусмотрен отдельный источник тока, измерение ёмкости таких конденсаторов можно сделать очень точным. Подключаем конденсаторы малой ёмкости к входным гнёздам прибора и, подбором сопротивления R1 в пределах 3,3...6,8 кОм добиваемся максимально точных показаний. Этого можно достичь, если в качестве эталонных применить не электролитические, а высокоточные конденсаторы К71-1 ёмкостью 0,15 мкФ с гарантированным отклонением 0,5 или 1%.

RADIO SKOT.RU



Когда собрал данный измеритель ESR - схема завелась сразу, понадобилась только калибровка. Этот измеритель много раз помогал при ремонте БП, так что устройство рекомендуется к сборке. Схему разработал - **DesAlex**, собрал и испытал: **sterc**.