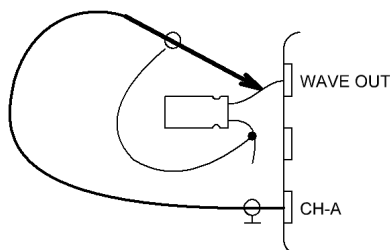
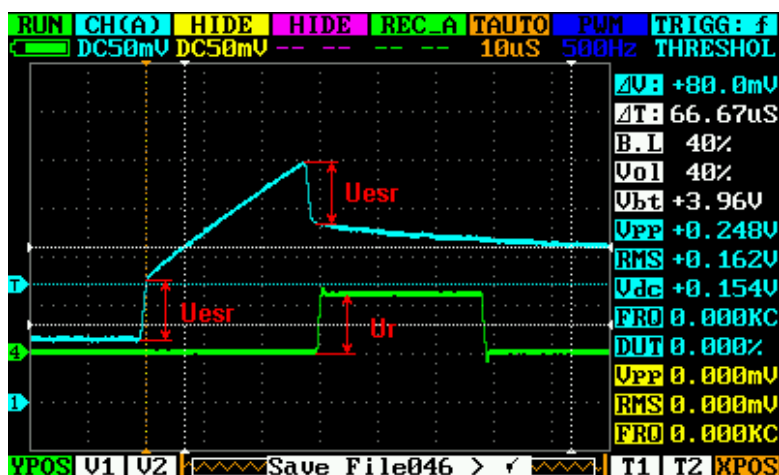


## DSO QUAD. Как оценить ESR (ЭПС) конденсатора.

Начнем с того, что ЭПС от 1 до 10 Ом можно оценить с помощью осциллографа DSO QUAD не прибегая ни к каким ухищрениям. Генератор на борту осциллографа способен обеспечить выходной ток до 50 мА (при максимальном выходном сигнале по амплитуде). Это значит, что на ЭПС в 1 Ом падение напряжения будет 50 мВ, что вполне подвластно чувствительности осциллографа. Единственным условием является непосредственное подключение вывода конденсатора к выходу генератора (см. рис). Если подключать конденсатор к генератору через щуп, то будет сказываться сопротивление щупа и информативный сигнал будет гораздо меньше. Снимать сигнал с тестируемого конденсатора можно обычным щупом (здесь сопротивление щупа уже не критично).

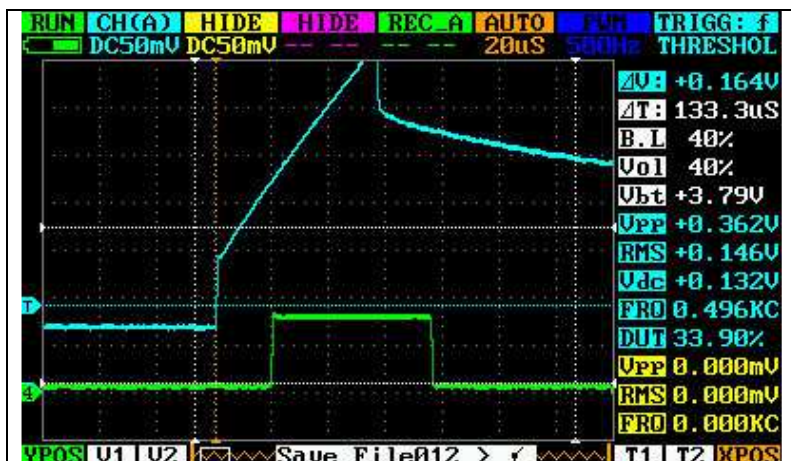


Задаем прямоугольный выходной сигнал амплитудой 2,8В с заполнением не более 5%. Это нужно, чтобы напряжение на конденсаторе было близким к нулю (чтобы обеспечить максимальный ток, следовательно, и максимальную чувствительность). И смотрим, что получилось.

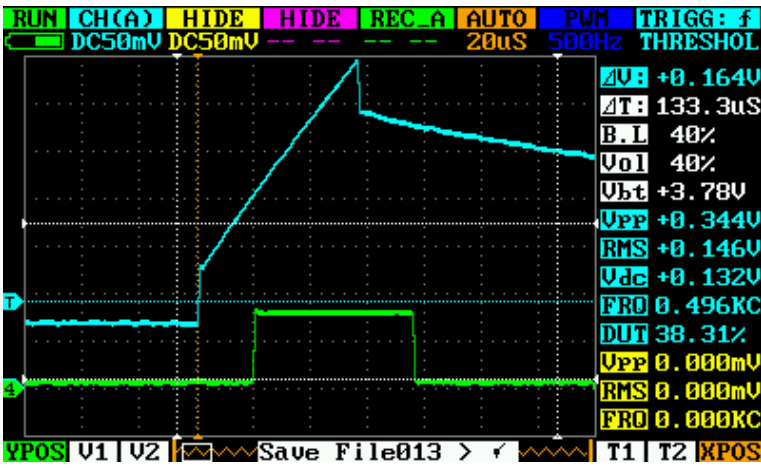


Голубая осциллограмма – напряжение на конденсаторе (с учетом падения напряжения на ЭПС)  
Зеленая осциллограмма - напряжение на эталонном резисторе (резистор ранее был подключен вместо конденсатора, а осциллограмма была сохранена в файл \*.DAT). Падение напряжения на ЭПС (ESR) конденсатора соизмеримо с падением напряжения на эталонном резисторе. Следовательно, ЭПС имеет значение очень близкое к номиналу эталонного сопротивления.

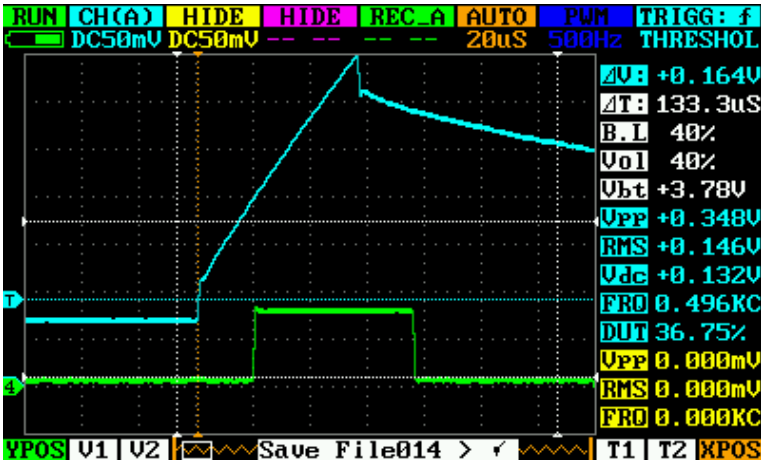
Примеры:



Конденсатор 10 мкФ 25В (И 85°P),  
эталонный резистор 2 Ома.



Конденсатор 10 мкФ 50В (ELZET 105°C), эталонный резистор 2 Ома.

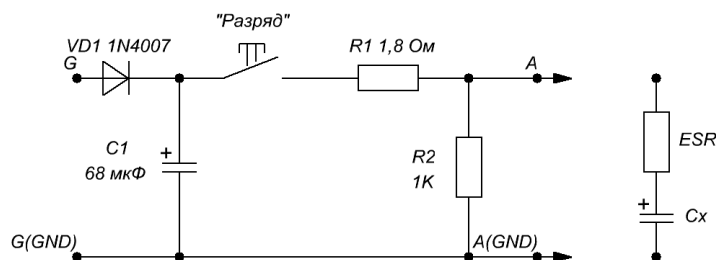


Конденсатор 10 мкФ 16В (SD 85°C), эталонный резистор 2 Ома.

Вывод. ЭПС тестируемых конденсаторов не превышает 2 Ом. Конденсаторы пригодны для дальнейшей эксплуатации. В таблице приведены допускаемые (ориентировочные) значения ЭПС.

	10V	16V	25V	35V	63V	160V	250V
1				14	16	18	20
2.2			6	8	10	10	10
47			15	7,5	4,2	2,3	5
10		6	4	3,5	2,4	3	5
22	5,4	3,6	2,1	1,5	1,5	1,5	3
47	2,2	1,6	1,2	0,5	0,5	0,7	0,8
100	1,2	0,7	0,32	0,32	0,3	0,15	0,8
220	0,6	0,33	0,23	0,17	0,16	0,09	0,5
470	0,24	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1	0,3
1000	0,12	0,1	0,08	0,07	0,05	0,06	
4700	0,23	0,2	0,12	0,06	0,06		

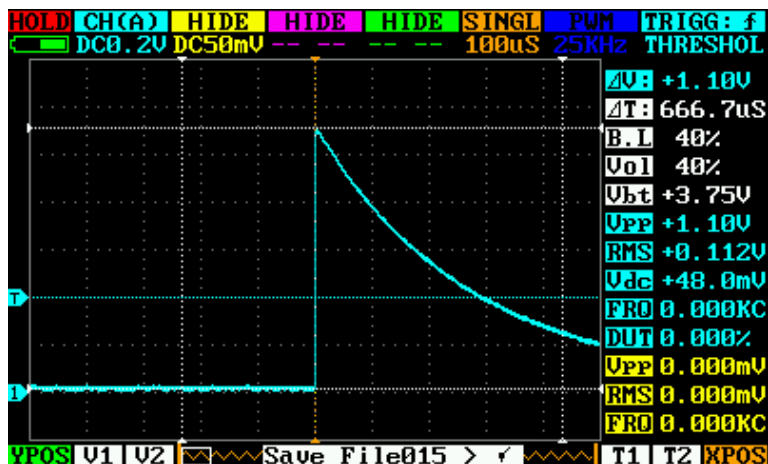
Справедливости ради следует оговориться, что данный метод не подходит для оценки ЭПС конденсатора в плате. Да и оценка сопротивлений менее 1 Ома становится проблемой (не хватает чувствительности). Но если собрать "примочку" (см. схему), то можно уже оценивать десятые доли Ома ЭПС.



К точкам А и А(GND) подключается щуп CH-A (CH-B)  
 К точкам G и G(GND) подключается щуп WAVE OUT

Пояснять принцип работы, я думаю, смысла нет, тем более что за основу взята методика, опубликованная в журнале "Радиомир" №11 за 2007 год (стр. 31). Стоит отметить, что если уменьшить выходной сигнал генератора (так, чтобы напряжение на конденсаторе C1 было менее 300 мВ), то можно попробовать оценивать ЭПС непосредственно в платах (без демонтажа).

Примеры:



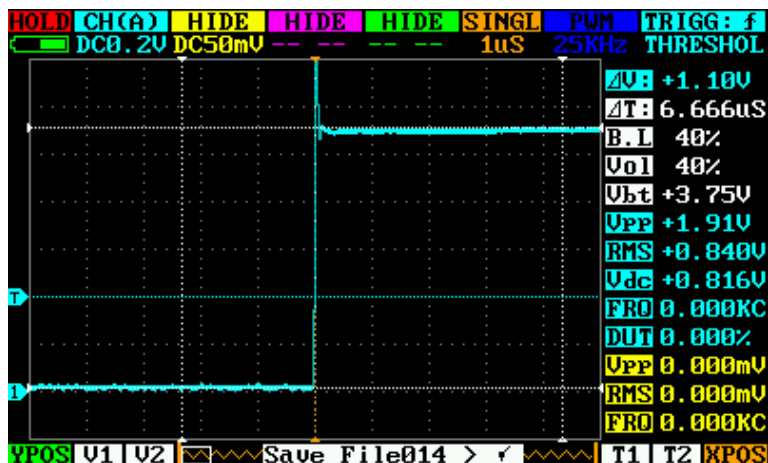
Эталонное сопротивление 2 Ома (подключается вместо тестируемого конденсатора и эмитирует ЭПС конденсатора).

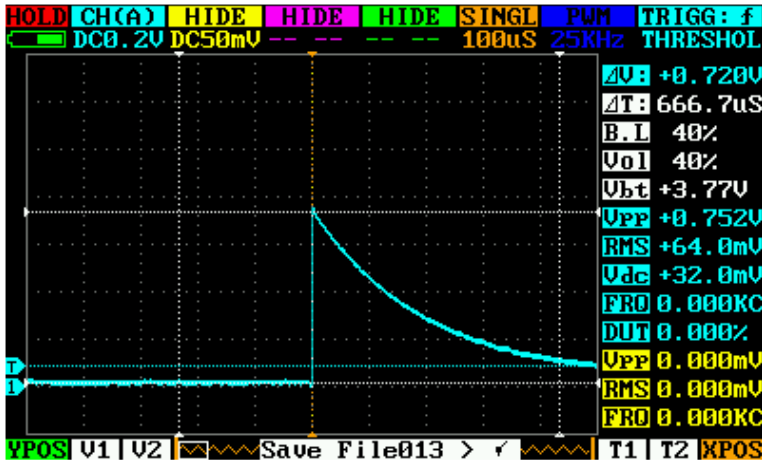
$$U_{R(\text{ЭТАЛОННОЕ})} = \frac{U_{C1}}{\frac{R_{\text{ИСТ}}}{R_{\text{ЭТАЛОННОЕ}}} + 1},$$

где  $U_{C1} = 2,8 - 0,6 = 2,2(\text{В})$  напряжение на конденсаторе C1 (амплитуда выходного сигнала генератора минус падение напряжения на диоде),  $U_{R(\text{ЭТАЛОННОЕ})}$  - напряжение на эталонном резисторе (в данном случае оно равно  $\Delta V$  и равно 1,1В),  $R_{\text{ИСТ}}$  - сопротивление источника (складывается из сопротивления R1, переходного сопротивления кнопки и ЭПС конденсатора C1),  $R_{\text{ЭТАЛОННОЕ}}$  - эталонное сопротивление (в данном случае 2 Ома).

$$R_{\text{ИСТ}} = \left( \frac{U_{C1}}{U_{R(\text{ЭТАЛОННОЕ})}} - 1 \right) \cdot R_{\text{ЭТАЛОННОЕ}}$$

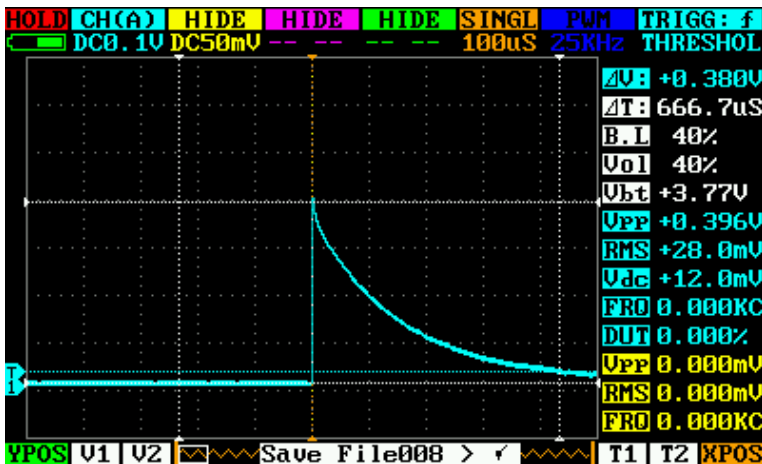
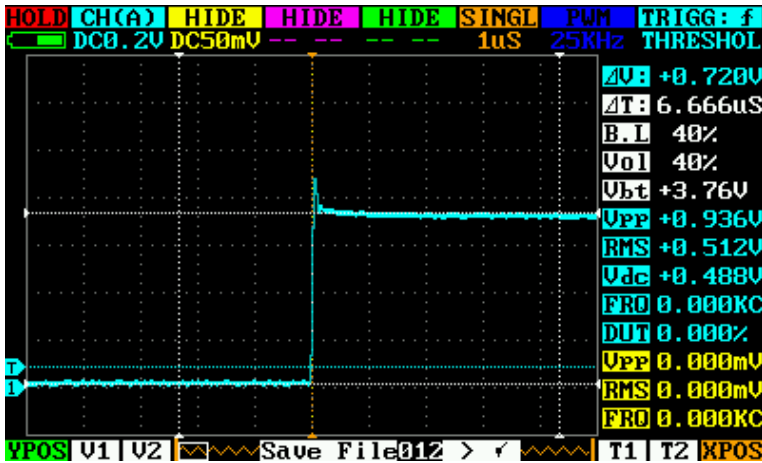
$$R_{\text{ИСТ}} = \left( \frac{2,2}{1,1} - 1 \right) \cdot 2 = 2(\text{Ом})$$





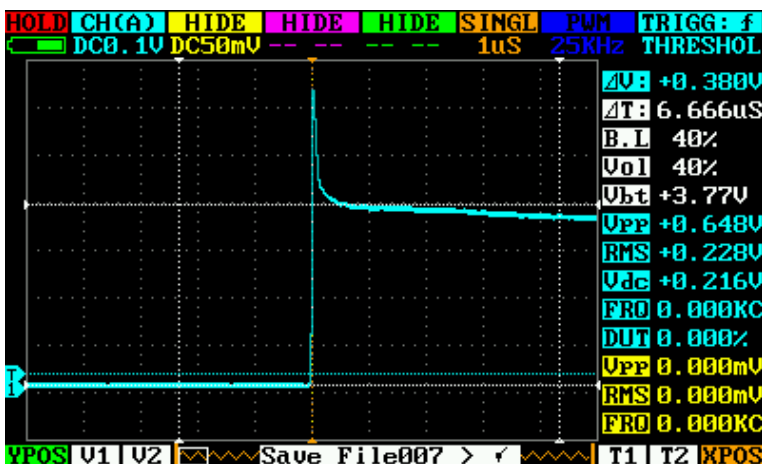
Эталонное сопротивление 1 Ом.

$$R_{ист} = \left( \frac{2,2}{0,72} - 1 \right) \cdot 1 \approx 2,05(Ом)$$

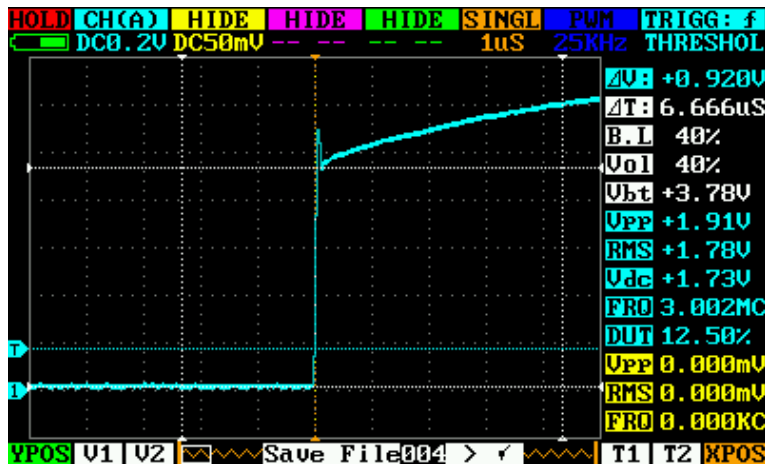


Эталонное сопротивление 0,4 Ома.

$$R_{ист} = \left( \frac{2,2}{0,38} - 1 \right) \cdot 0,4 \approx 1,92(Ом)$$

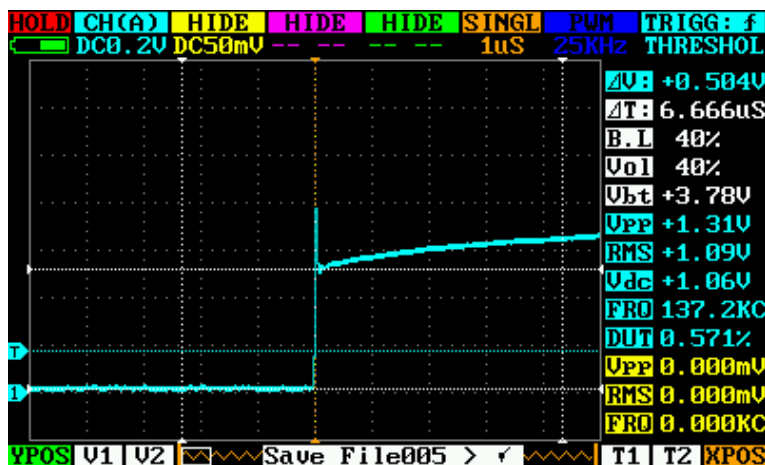


На основе сделанных замеров определим разброс внутреннего сопротивления источника. Разброс получился 0,13 Ом (менее 10%). Это значит, что погрешность вычисления ЭПС должна быть то же менее 10%. Для простоты дальнейших вычислений принимаем сопротивление источника равным 2 Ом.



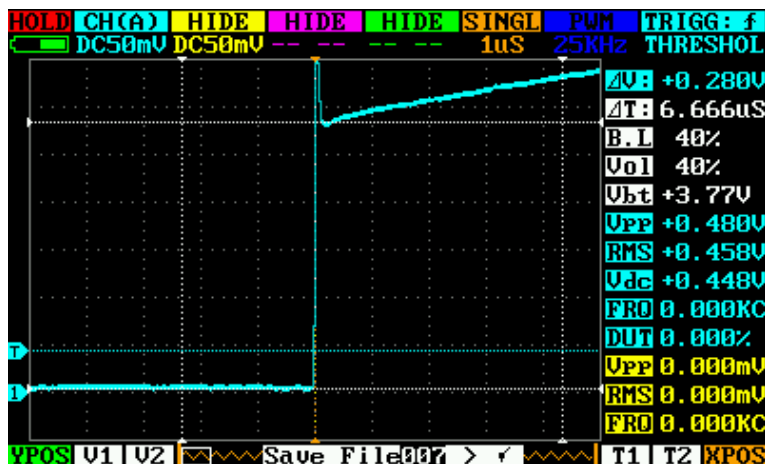
Конденсатор 10 мкФ 50В.

$$ESR = \frac{R_{ИСТ}}{\frac{U_{C1}}{U_{ESR}} - 1} = \frac{2}{\frac{2,2}{0,92} - 1} \approx 1,44(Ом)$$



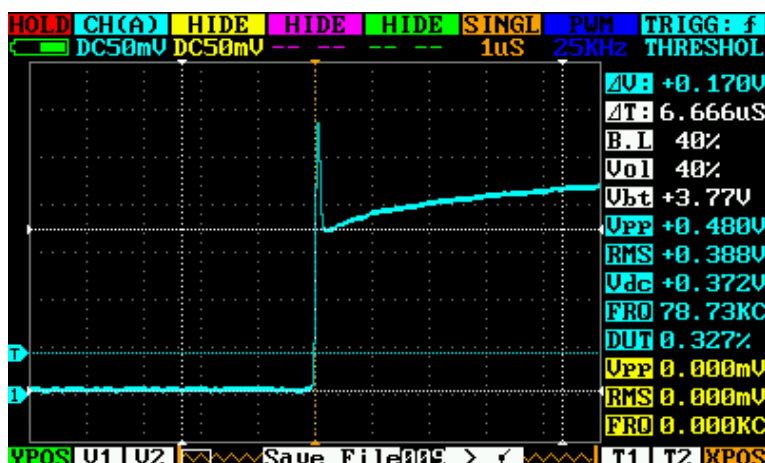
Конденсатор 47 мкФ 16В.

$$ESR = \frac{R_{ИСТ}}{\frac{U_{C1}}{U_{ESR}} - 1} = \frac{2}{\frac{2,2}{0,504} - 1} \approx 0,6(Ом)$$



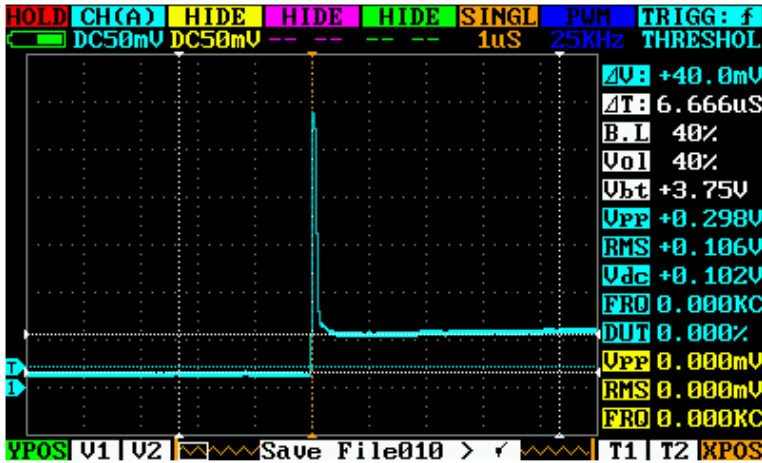
Конденсатор 100 мкФ 35В.

$$ESR = \frac{R_{ИСТ}}{\frac{U_{C1}}{U_{ESR}} - 1} = \frac{2}{\frac{2,2}{0,28} - 1} \approx 0,29(Ом)$$



Конденсатор 220 мкФ 35В.

$$ESR = \frac{R_{ИСТ}}{\frac{U_{C1}}{U_{ESR}} - 1} = \frac{2}{\frac{2,2}{0,17} - 1} \approx 0,17(Ом)$$



Конденсатор 1000 мкФ 35В.

$$ESR = \frac{R_{ИСТ}}{\frac{U_{C1}}{U_{ESR}} - 1} = \frac{2}{\frac{2,2}{0,04} - 1} \approx 0,037(Ом)$$

Для того чтобы каждый раз не рассчитывать ЭПС можно рассчитать какое должно быть напряжение при определенном сопротивлении и сравнить с напряжением на тестируемом конденсаторе.

$$U_R = \frac{U_{C1}}{\frac{R_{ИСТ}}{R} + 1}$$

Сопротивление, Ом	Напряжение, В
10	1,83
9	1,8
8	1,76
7	1,71
6	1,65
5	1,57
4	1,47
3	1,32
2	1,1
1	0,73
0,9	0,68
0,8	0,63
0,7	0,57
0,6	0,51
0,5	0,44
0,4	0,37
0,3	0,29
0,2	0,2
0,1	0,1

P.S. Режимы работы осциллографа можно посмотреть на картинках. Если есть дополнительные требования, то они отражены в тексте.