

Измерение емкости конденсатора

Александр Крупин

21 октября 2020 г.

1 Оборудование, цель работы

Цель работы: Измерить емкость конденсатора, определить наиболее точный метод.

Оборудование:

- Магазин сопротивлений (2х),
- Источник питания,
- Амперметр,
- Конденсатор известной емкости ($C_1 = 1 \text{ мкФ} \pm 0,2\%$),
- Конденсатор неизвестной емкости (C_x),
- Вольтметр,
- Осциллограф.

2 Метод №1

Попробуем определить емкость конденсатора C_x , непосредственно измерив время зарядки с помощью осциллографа. Для этого соберем схему, приведенную на рис. 1. Сопротивление "верхней ветви" R_1 выставляем максимально возможным. Процедура вычисления следующая:

1. Рассматриваем осциллограмму одного периода;
2. Находим характерное время зарядки τ для различных значений R_2 (с учетом внутреннего сопротивления генератора $R_g = 600 \text{ Ом}$);
3. Строим зависимость $\tau = \tau(R_2)$ и делаем линейную аппроксимацию (см. рис. 2);
4. Сопоставляя полученное уравнение прямой и соотношение $\tau = R_2 C_x$, получаем значение C_x .

Выходит, что $C_x \approx 3,4 \text{ мкФ}$. Получили довольно грубую оценку, так как по дороге накопили достаточное количество ошибок.

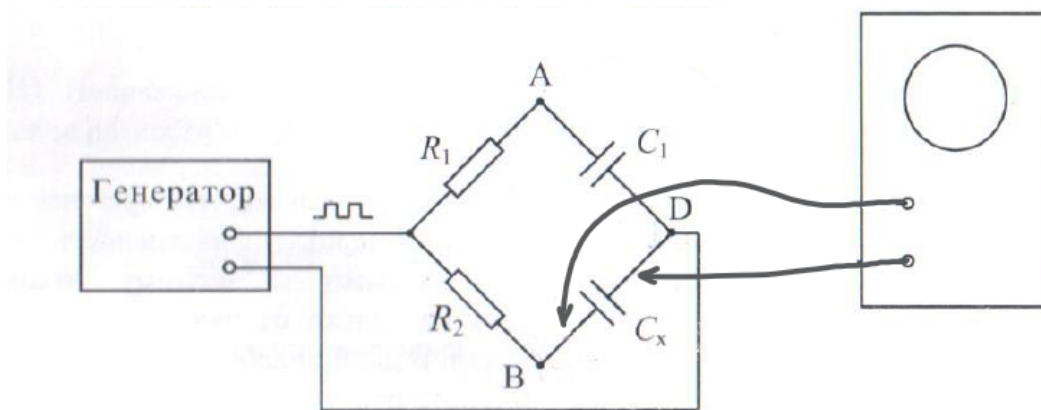


Рис. 1

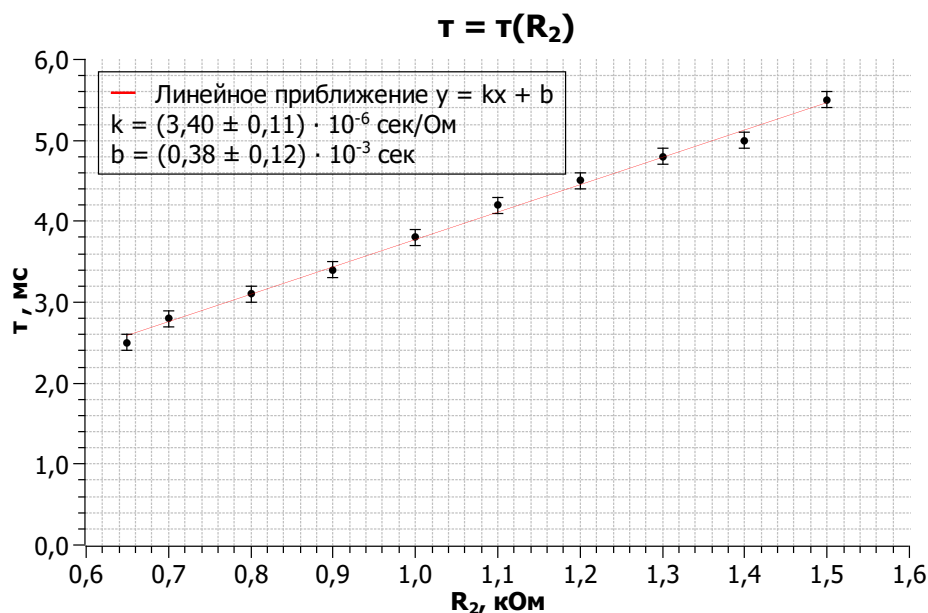


Рис. 2

3 Метод №2

Теперь присоединим осциллограф к точкам А и В (см. рис. 1) и попытаемся достичь нулевой разности потенциалов, регулируя R_2 при фиксированном R_1 (условие баланса моста). Очевидно, что сделать это с абсолютной точностью нам не удастся, поэтому будем фиксировать диапазон изменения R_2 , при котором осциллограф перестает "чувствовать" ток через перемычку АВ. Результаты измерения представлены в таб. 1. Также в этой таблицы представлены $\delta R = \frac{R_{2max} - R_{2min}}{2\langle R_2 \rangle}$ и $C_x = \frac{R_1 C_1}{\langle R_2 \rangle}$

Покажем, что относительная погрешность измерения емкости определяется погрешностью измерения R_2 :

$$\text{Пусть } C = f(R) = f(R_0) + \frac{\partial f(R)}{\partial R} \Delta R = C_0 + \Delta C, \text{ тогда } \Delta C = \frac{\partial f(R)}{\partial R} \Delta R$$

$$\text{Значит если } C_x = \frac{R_1 C_1}{R_2}, \text{ то } \Delta C_x = -\frac{R_1 C_1}{R_2} \delta R_2 \Leftrightarrow \delta C_x = -\delta R_2$$

Таким образом: $C_x = 4,11 \text{ мкФ} \pm 6\%$

Согласуется ли полученная погрешность измерения с теорией?

Нетрудно получить, что погрешность измерения для безынерционного метода определяется так: $\delta R_2 \approx \frac{e \cdot U_{\min}}{E}$, где U_{\min} – минимальное напряжение, которое регистрируется прибором как не нулевое; E – напряжение источника. Получается, что она не зависит от сопротивлений R_1 и R_2 , а также убывает с ростом напряжения от источника. В нашем случае: $U_{\min} = 200 \text{ мВ}$; $E = 11,4 \text{ В}$.

Значит $\delta R_2 \approx 5\%$, что не сильно отличается от полученного ранее результата.

R_1 , Ом	$R_{2\max}$, Ом	$R_{2\min}$, Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	δR_2	C_x , мкФ
50	16	7	11,5	0,39	4,34
150	42	32	37	0,14	4,05
300	80	69	74,5	0,07	4,03
1500	379	356	367,5	0,03	4,08
3000	750	720	735	0,02	4,08
4500	1140	1070	1105	0,03	4,07

Таблица 1

4 Метод №3

Теперь возьмем в качестве измерительного прибора гальванометр (инерционный метод измерения). Соберем схему, указанную на рис. 5. Идея измерения схожа с идеей в методе №2. Проведем измерения для двух различных значений напряжения источника $E = 11,4 \text{ В}$ и $E = 17,0 \text{ В}$ (см. таб. 2, 3).

Выходит, что $C_x = 4,17 \text{ мкФ} \pm 1\%$

Согласуется ли полученная погрешность измерения с теорией?

Теория гласит, что

$$\delta R_2 = Q_{\min} \frac{R_1 + R_2^* + R_G}{R_1 C_1 E}$$

Имеем: $Q_{\min} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$; ¹ $R_2^* = \langle R_2 \rangle$; $R_G = 1,0 \text{ кОм}$.

Построим графики $\delta R_2(R_1)$ для разных значений напряжения источника (см. рис. 3, 4). Сравнивая таб. 2, 3 и полученные графики, можно сказать, что теория, в целом, согласуется с практикой.

¹Определили на "ощупь"

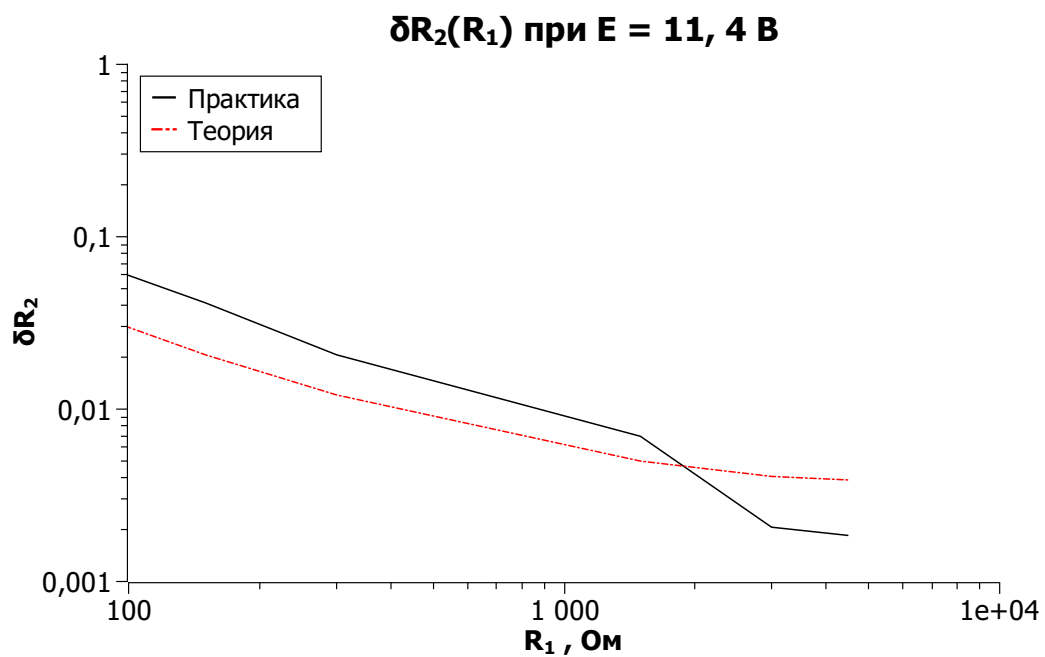


Рис. 3

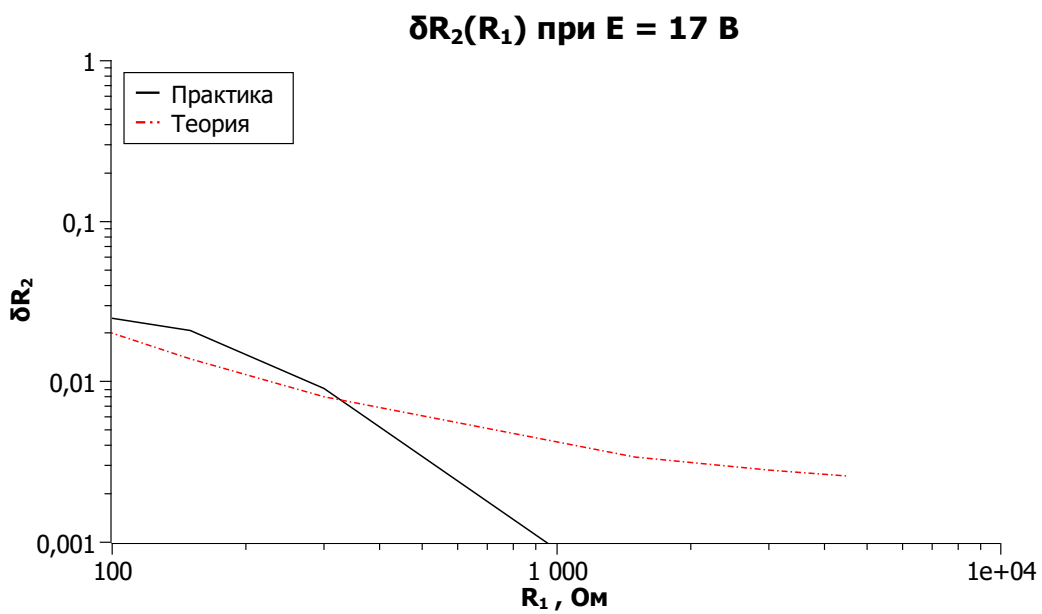


Рис. 4

R_1 , Ом	R_{2max} , Ом	R_{2min} , Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	δR_2	C_x , мкФ
50	15	12	13,5	0,11	3,70
150	38	35	36,5	0,04	4,11
300	74	71	72,5	0,02	4,14
1500	364	359	361,5	0,007	4,149
3000	723	720	721,5	0,002	4,158
4500	1087	1083	1085	0,002	4,147

Таблица 2: данные при $E = 11,4$ В

R_1 , Ом	R_{2max} , Ом	R_{2min} , Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	δR_2	C_x , мкФ
50	12,4	11,6	12	0,03	4,17
150	36,4	34,9	35,65	0,02	4,20
300	72,3	71	71,65	0,009	4,187
1500	359,7	359,4	359,55	0,0004	4,1718
3000	722	721,1	721,55	0,0006	4,1577
4500	1085	1084,7	1084,85	0,0001	4,1480

Таблица 3: данные при $E = 17$ В

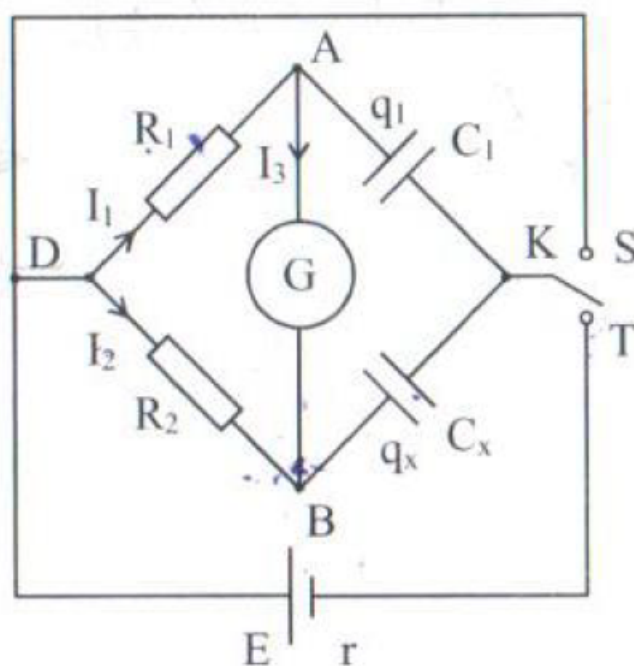


Рис. 5

5 Вывод

Мы проделали измерения емкости 3 способами. Убедились, что измерение емкости напрямую сильно проигрывает в точности измерениям с помощью мостовой схемы. Причем, наиболее точным оказался Метод №3 при $E = 17$ В и при больших значениях R_1 (это согласуется с теорией).