Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Радиофизический факультет

Отчет по лабораторной работе №218

Измерение емкости конденсатора

Выполнил студент 420 группы
Сарафанов Ф.Г.

Нижний Новгород, 2017

Содержание

Введение

Существует лишь то, что можно измерить.

Цитата приписывается Максу Планку

Для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей часто применяют компенсационный метод, заключающийся в компенсации измеряемой величины некой эталонной величиной.

В схеме типа «мост» элементы цепи соединяют «четырехугольником», в одну диагональ которого включают источник напряжения, а в другую – измерительный прибор. При определенном соотношении между параметрами элементов измерительный прибор показывает отсутствие напряжения в диагонали (баланс моста).

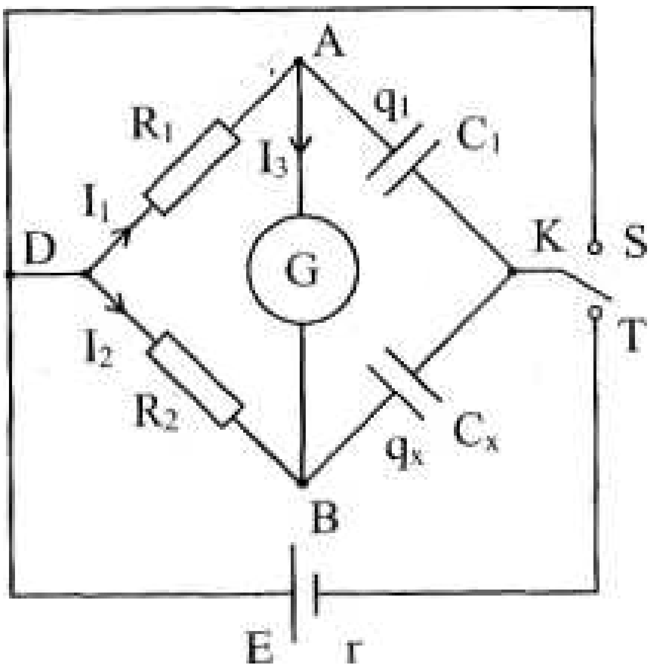


Рис. 1: Принципиальная схема установки

1 Вывод формул

1.1 Напряжение на диагонали моста

Применяя к контуру DATD второе правило Кирхгофа, получаем

$$i_1 R_1 + \frac{q_1}{C_1} = \varepsilon \tag{1}$$

гдеi_1 – ток, текущий через сопротивление R_1, а q_1 – заряд конденсатора C_1. Поскольку ток через измерительный прибор пренебрежимо мал (R_G велико), то $i_1 = \frac{\mathrm{d}q_1}{\mathrm{d}t}$ и уравнение (1) принимает вид:

$$i_1 = \frac{\mathrm{d}q_1}{\mathrm{d}t} + \frac{q_1}{R_1 C_1} = \frac{\varepsilon}{R_1} \tag{2}$$

Разделяя переменные и интегрируя:

$$\int\limits_0^{q_1} \frac{\mathrm{d}q_1}{q_1 - \epsilon C_1} = -\int\limits_0^{t} \frac{\mathrm{d}t}{R_1 C_1} \tag{3}$$

$$q(t)_1 = C_1 \varepsilon \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{R_1 C_1}\right]\right) \tag{4}$$

Отсюда следует, что

$$U_1(t) = \varepsilon \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{R_1 C_1}\right]\right) \tag{5}$$

Аналогично рассматривая контур DBTD:

$$i_2 R_2 + \frac{q_2}{C_x} = \varepsilon \tag{6}$$

$$i_2 = \frac{\mathrm{d}q_2}{\mathrm{d}t} + \frac{q_2}{R_2 C_x} = \frac{\varepsilon}{R_2} \tag{7}$$

$$\int\limits_0^{q_2} \frac{\mathrm{d}q_2}{q_2 - \varepsilon C_x} = -\int\limits_0^{t} \frac{\mathrm{d}t}{R_2 C_x} \tag{8}$$

$$q_x(t) = C_x \varepsilon \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{R_2 C_x}\right]\right) \tag{9}$$

$$U_x(t) = \varepsilon \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{R_2 C_x}\right]\right) \tag{10}$$

Напряжение U_G на измерительном приборе можно получить из соотношений $\phi_1 - \phi_2 = U_1$; $-(\phi_2 - \phi_3) = U_x$.

Получаем, что

$$\phi_1 - \phi_3 = U_G(t) = U_1(t) - U_x(t) = \varepsilon \cdot \left(\exp\left[-\frac{t}{R_2 C_x}\right] - \exp\left[-\frac{t}{R_1 C_1}\right]\right) \tag{11}$$

1.2 Отклонение стрелки в баллистическом режиме

Пусть мы знаем колличество витков на рамке N

Рамка помещена в постоянное магнитном поле и может поворачиваться вокруг своей оси. На неё подаётся ток $I \equiv I_G$

Сила Ампера, действующая на один виток равна $F_A = IBL$, где L – ширина рамки

Момент, создаваемый этой силой равен $\overrightarrow{M} = \left[\overrightarrow{r}; \overrightarrow{F_A}\right]$

Сила Ампера, действующая на всю рамку в целом тогда будет равна $F_{AO} = NIBL$

Таким образов, равнодействующий момент по модулю будет равен $M_o = HNF_A = HNIBL = IBSN$, где S – площадь рамки

В гальванометре положение рамки фиксируется пружинами специальной формы, по которым к ней подводится измеряемый ток. На рамку действует момент сил Ампера и момент упругих сил пружинок, пропорциональный углу отклонения этой рамки от положения равновесия.

$$J\frac{\mathrm{d}\omega_z}{\mathrm{d}t} = I_G NSB - D \cdot \alpha \tag{12}$$

J – момент инерции рамки, $\omega_z = \frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t}$ – её угловая скорость вращения.

Если ток протекает кратковременно, рамка практически не успевает отклониться. В этом случае уравнение легко проинтегрируется:

$$J\mathrm{d}\omega_z = I_G NSB\mathrm{d}t, \tag{13}$$

$$\omega_{z0} = \frac{NSB}{J} \cdot \int I_G dt = \frac{NSB}{J} Q, \tag{14}$$

где ω_{z0} – угловая скорость, полученная рамкой, Q – заряд, прошедший через гальванометр. После прекращения действия сил Ампера рамка, продолжая вращаться, отклоняется на некоторый угол, который можно найти, используя закон сохранения энергии:

$$\frac{J\omega_{z0}^2}{2} = \frac{D\alpha_{max}^2}{2} \tag{15}$$

Откуда

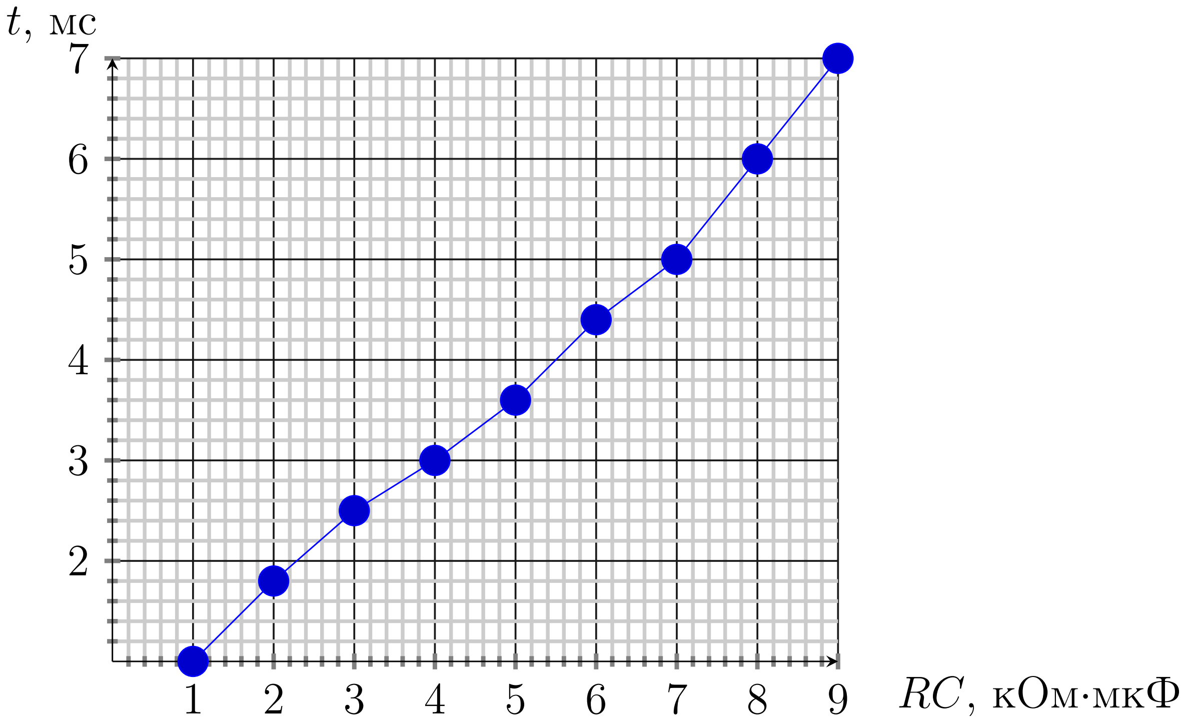
$$\alpha_{max} = \frac{NSB}{\sqrt{JD}} \cdot Q \tag{16}$$

Принципиально важно, что отклонение пропорционально заряду, протекшему через гальванометр.

2 Результаты эксперимента

2.1 Зависимость времени заряда от R_1C_1

R_1, кОм	t/k, мс	Множитель k	Δt, мс	ν, Гц	t, мс
1	1	1	0.1	100	1
2	1.8	1	0.1	90	1.8
3	2.5	1	0.1	80	2.5
4	3	1	0.1	70	3
5	1.8	2	0.2	60	3.6
6	2.2	2	0.2	50	4.4
7	2.5	2	0.2	40	5
8	1.2	5	0.5	30	6
9	1.4	5	0.5	20	7



2.1.1 Измерение при сигнале типа «меандр»

R_1, Ом	R_1', Ом	R_1'', Ом	ΔR_2, Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	C_2, мкФ
150	22.3	21.4	0.45	21.85	6.86
1,500	222.4	218.2	2.9	221.1	6.78
3,000	450	435	7.5	442.5	6.78
6,000	855	918	31.5	886.5	6.77

2.1.2 Измерение при постоянном напряжении $U = 15$ В

R_1, Ом	R_1', Ом	R_1'', Ом	ΔR_2, Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	C_2, мкФ
150	27	17	5	22	6.81
1,500	210	226	8	218	6.88
3,000	428	449	11	434	6.91
6,000	860	891	15.5	875	6.85

2.1.3 Измерение при постоянном напряжении $U = 45$ В

R_1, Ом	R_1', Ом	R_1'', Ом	ΔR_2, Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	C_2, мкФ
150	20	24	2	22	6.81
1,500	215	222.4	3.7	218.7	6.85
3,000	434	443	4.5	438.5	6.84
6,000	868	884	8	876	6.84