

11 класс

Задача №11-Е2. Источник и конденсатор

Подключаем последовательно источник, конденсатор и вольтметр, замыкаем цепь и фиксируем время изменения напряжения вольтметра от значения U_1 до U_2 . В качестве значения U_1 нельзя выбирать показания прибора в первые две – три секунды после включения, так как из-за инерции цифрового прибора они недостоверны. Аналогичные измерения повторяем несколько раз, каждый раз отключая конденсатор и замыкая его выводы для полного разряда. Для заряда конденсатора

$$\frac{dq}{dt}(2r + R_V) = U_0 - \frac{q}{C},$$

$$q = CU_0 \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right),$$

где U_0 , r – ЭДС и внутреннее сопротивление источника, R_V – сопротивление вольтметра, $\tau_1 = C(2r + R_V)$ – характерное время заряда конденсатора. Напряжение на вольтметре при этом

$$U_V = \frac{dq}{dt}(2r + R_V) = \frac{U_0 R_V}{r + R_V} e^{-t/\tau_1}$$

Для отношения напряжений, измеренных вольтметром с разницей по времени Δt

$$\frac{U_1}{U_2} = e^{\Delta t/\tau_1},$$

Отсюда

$$\tau_1 = \frac{\Delta t}{\ln \frac{U_1}{U_2}}.$$

Экспериментальные результаты, полученные для разных пар значений U_1 и U_2 , и пересчитанные на основании этих результатов значения τ_1 представлены в таблице 1.

Усреднённое по сериям экспериментов характерное время заряда конденсатора составляет $\tau_1 = 18,83$ с.

U_1 , В	U_2 , В	Δt , с	Δt среднее, с	τ_1 , с
1,5	0,5	20,62 20,94 21,00 20,66 20,72	20,79	18,92
1,6	0,8	13,03 13,06 13,09 13,28 13,18 13,09	13,12	18,93
1,6	0,4	25,91 25,72 25,94 25,78 25,75	25,82	18,63

Подключаем конденсатор к источнику, держим его подключенным в течение одной-двух минут, затем отключаем. Подключаем к заряженному конденсатору вольтметр и фиксируем время, в течение которого конденсатор разряжается от напряжения U_3 до U_4 . Для заряда на конденсаторе в этом процессе

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{(R_V + r)C},$$

$$q = CU_0 e^{-t/\tau_2},$$

где τ_2 – характерное время разряда конденсатора через вольтметр, $\tau_2 = (R_V + r)C$. Для напряжения вольтметра справедливо $U_V = CU_0 e^{-t/\tau_2}$

Для отношения напряжений, измеренных вольтметром с разницей по времени Δt

$$\frac{U_3}{U_4} = e^{\Delta t/\tau_2}$$

Отсюда

$$\tau_2 = \frac{\Delta t}{\ln \frac{U_3}{U_4}}.$$

По-прежнему, в качестве значения U_3 нельзя выбирать показания прибора в первые две – три секунды после включения. Экспериментальные результаты, полученные для разных пар значений U_3 и U_4 , и пересчитанные на основании этих результатов значения τ_2 представлены в таблице 2.

Усреднённое по сериям экспериментов характерное время заряда конденсатора составило $\tau_2 = 11,30$ с.

U_3 , В	U_4 , В	Δt , с	Δt среднее, с	τ_2 среднее, с
1,5	0,5	12,34 12,38 12,34 12,40 12,43	12,38	11,27
2,0	1,0	7,88 7,82 7,81 7,81 7,94	7,85	11,33
2,0	0,5	15,78 15,59 15,72 15,65 15,63	15,67	11,31

Определим внутреннее сопротивление источника. Используя результаты измерений τ_1 и τ_2 , можно определить отношение

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{2r + R_V}{r + R_V} = 1,67.$$

Отсюда

$$\frac{r}{R_V} \approx 2,0, \quad r \approx 2,0 \text{ МОм.}$$

Определим ЭДС источника. Подключаем вольтметр к источнику. Напряжение на вольтметре

$$U_V = U_0 \frac{R_V}{R_V + r}.$$

Экспериментально измеренное значение $U_V = 3,24$ В. Отсюда

$$U_0 = U_V \frac{R_V + r}{R_V} \approx 9,72 \text{ В.}$$

Значение электрической емкости конденсатора

$$C = \frac{\tau_1}{2r + R_V} \approx 3,75 \text{ мкФ.}$$