

# Лабораторная работа N 211

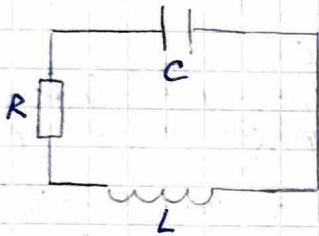
Изучение собственных затухающих колебаний при помощи осциллографа.

Цель работы: исследовать свободные затухающие колебания в контуре и процессы заряда конденсатора, исследовать фазовые колебания

Оборудование: три магазина сопротивлений ( $R_1, R_2$  и  $R_3$ ), магазин индуктивностей ( $L$ ), магазин ёмкостей ( $C$ ), источник питания ( $E$ ), реле, осциллограф

## Теория

Затухающие колебания - колебания, амплитуда которых уменьшается с течением времени, что обусловлено потерей энергии колебательной системы.



Дифф. ур-е получается с пом. II з. кирхгофа для замкнутого LCR-контур

$$U_R + U_C = E$$

$$IR + \frac{q}{C} = -L \frac{dI}{dt} \quad | : L$$

$$I = \frac{dq}{dt} ; \quad \frac{dI}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}$$

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0$$

$$q = q_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot e^{\pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \omega_0^2} t}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

Колебание будет при усл-и  $\omega_0^2 > \left(\frac{R}{2L}\right)^2$

$$\omega_0 > \frac{R}{2L}$$

$$1) \frac{1}{LC} \gg \left(\frac{R}{2L}\right)^2$$

$$R^2 \ll 4 \frac{L}{C}$$

$$R \ll 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$2) \omega_0^2 = \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \quad \text{тогда } \omega = 0$$

$$\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$$

$$R = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_{кр} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Порог срыва колебаний

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

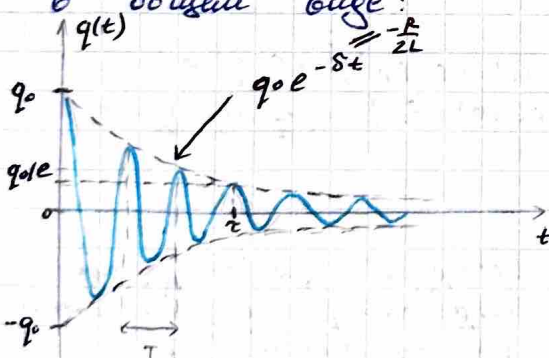
При  $Q \gg 1$  затухание мало  $\omega \approx \omega_0$

(лог.) Декремент затухания  $\delta$ ;  $\delta = \frac{R}{2L}$

- безразмерная фаз. величина, опис-я уменьшение амплитуды колеб. процесса

$$\delta T = \frac{R}{2L} \cdot \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{R}{1} \left( \frac{\pi \sqrt{C}}{L} \right) = \frac{\pi}{Q} \Rightarrow Q = \frac{\pi}{\delta T}$$

Решение ур-я в общем виде:

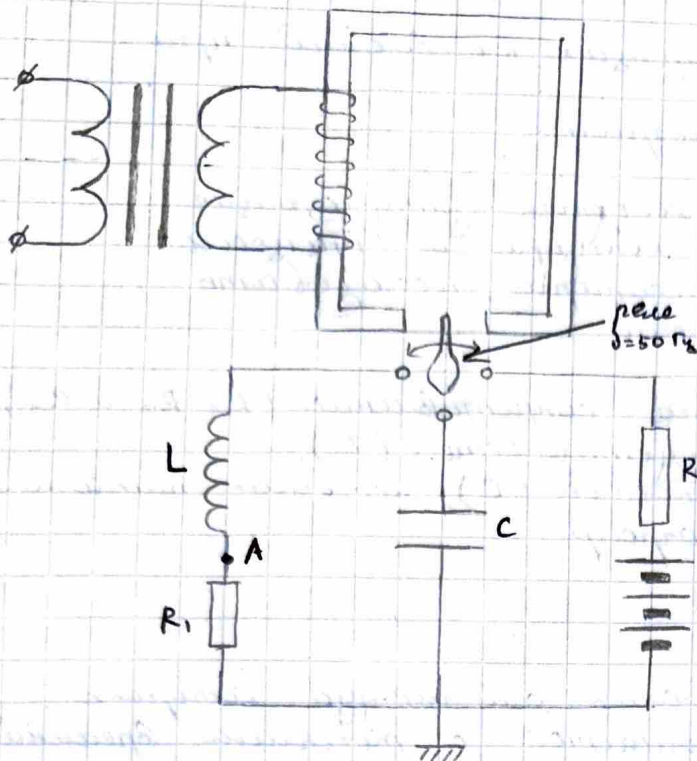


## Фобротность

- параметр колебат. системы, опред-щий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запас энергии в системе больше, чем потери за время изм-я фазы на 1 радian



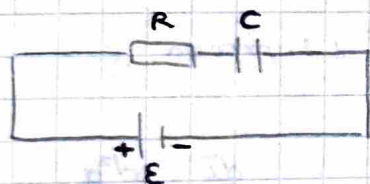
# Экспериментальная установка



конденсатор  $C$  с помощью реле подключен то к источнику тока ( $-II-$  заряжается), то к катушке сопр-я  $R_1$  и катушке индуктивности  $L$  ( $-II-$  разряжается). Подключение происходит с частотой сети.

Для наблюдения процессов используется осциллограф, на вход которого подается напряжение с конденсатора.

## Зарядка конденсатора



$$q + Rq' = E \quad (3. \text{ Ома})$$

$$u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

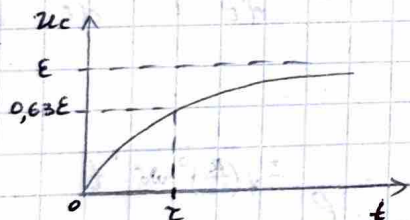
$$u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\tau = RC$$

$\tau$  - характерное время зарядки конденсатора

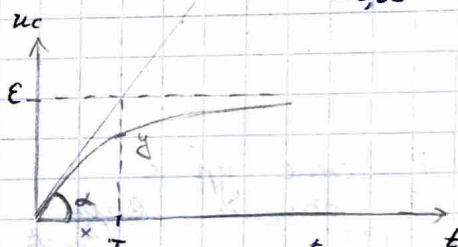
при  $t = \tau \quad u_C = E \left( 1 - \frac{1}{e} \right) \approx 0,63 E$

## I способ



## Определение $\tau$

## II способ (касая-я)



$$u_C' = (E - E e^{-\frac{t}{\tau}})' = E \cdot \frac{1}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C'(0) = E \cdot \frac{1}{\tau} \Rightarrow \frac{y}{x} = \tan \alpha = \frac{E}{\tau} \Rightarrow x = \tau$$

3,6

2,268

## ход работы

## I. процесс заряда конденсатора в зависимости от с-я $R_2$

$R_2, \text{ Ом}$	$\tau, \text{ с}$	$\tau_{\text{теор}}, \text{ с}$
500	$480 \cdot 10^{-6}$	$500 \cdot 10^{-6}$
800	$800 \cdot 10^{-6}$	$800 \cdot 10^{-6}$
1300	$1320 \cdot 10^{-6}$	$1300 \cdot 10^{-6}$

$$L = 80 \text{ мГн}$$

$$C = 1 \text{ мкФ}$$

Исследуем процесс заряда конденсатора в зависимости от сопротивления  $R_2$  (апериодический процесс)

Определяем характерное время зарядки конденсатора и сравниваем с теоретическим.

$$L = 80 \text{ мГн} \quad C = 1 \text{ мкФ}$$

## II. Затухающие колебания с фиксир. $R_1$

$R, R_{кр}$ Ом	$T, \text{с}$	$\delta T$ мкс	$Q$	$\omega, \text{лог/c}$	$\omega_{теор}$	$\delta T$ мкс	$Q$ теор
50	$1,76 \cdot 10^{-3}$	0,573	5,5	3570	3540	316	5,7
80	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,928	3,4	3490	3540	494	3,5
120	$1,8 \cdot 10^{-3}$	1,34	2,3	3490	3540	740	2,4

$$\delta_1 = 326 \text{ лог/c}$$

$$\delta_2 = 510 \text{ лог/c}$$

$$\delta_3 = 746 \text{ лог/c}$$

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln(e^{\delta T}) = \delta T$$

Цифрами частоту и логарифм-б декремента затухания  $\delta$ .  
Восчисляем добротность контура

$$\omega_{теор} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

$$\delta_{теор} = \frac{R}{2L}$$

$$Q_{теор} = \frac{\pi}{\delta \cdot T}$$

$$R_{кр} = 540 \text{ Ом}$$

$$R_{кр} = 565 \text{ Ом}$$

$$R_{кр} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_1 = 560$$

## III. Колебания при $R_1 > R_{кр}$ ( $R_1$ фикс) аperiodический режим конденсатора

$$R_1 = 840 \text{ Ом}$$

$$\tau = 880 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$\tau_{теор} = 840 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$\tau = 1,280 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$R_1 = 1300 \text{ Ом}$$

$$\tau_{теор} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

### Расчет погрешностей

$$1) \delta_{\tau_1} \approx 42 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\tau_2} \approx 15 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_x = \frac{|x_{ном} - x_{теор}|}{x_{теор}}$$

$$2) \delta_{\delta_1} = 0,36 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\delta_2} = 31 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\delta_3} = 8 \cdot 10^{-3}$$

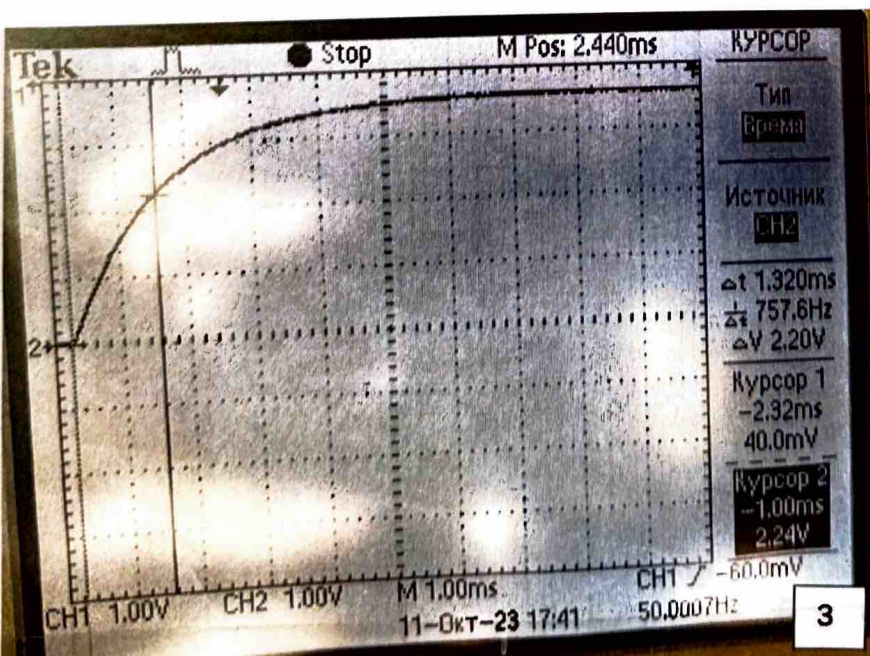
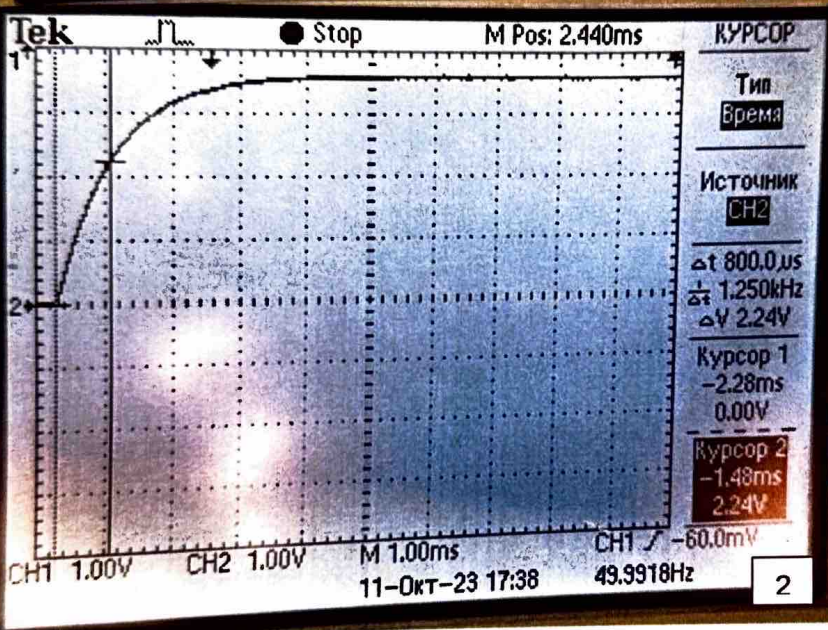
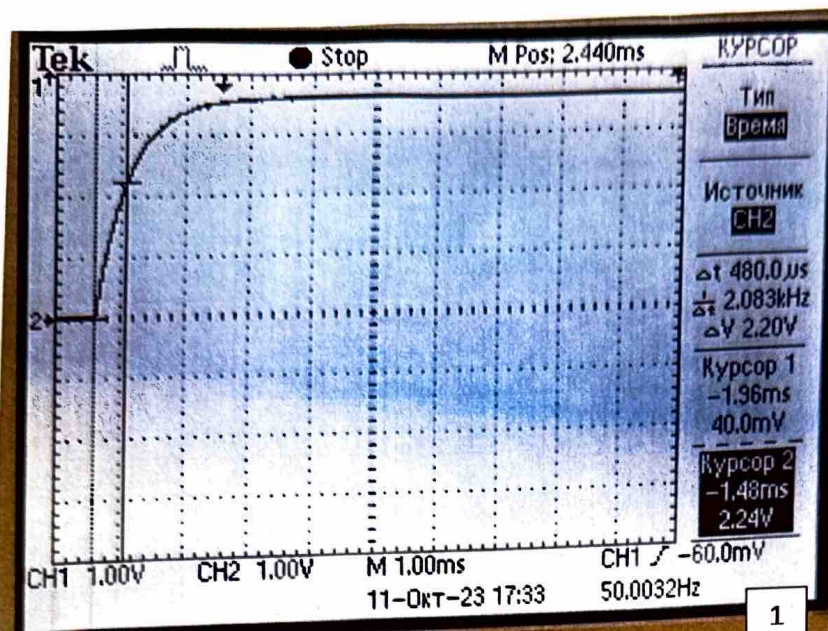
$$\delta_{Q_1} = 35 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{Q_2} = 30 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{Q_3} = 8 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{\omega_1} = 10 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\omega_2} = 13 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\omega_3} = 13 \cdot 10^{-3}$$

$$3) \delta_{\tau_1} \approx 48 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{\tau_2} \approx 15 \cdot 10^{-3}$$



# Процесс зарядки конденсатора





# Процесс разрядки конденсатора и затухания колебаний

## Срыв колебаний

