

РАБОТА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПИ, СОДЕРЖАЩЕЙ РЕЗИСТОР И КОНДЕНСАТОР

Цель работы: изучение закона изменения напряжения при разрядке конденсатора, определение постоянной времени RC-цепи и ее сопротивления R .

Введение

Рассмотрим контур, состоящий из конденсатора емкостью C , резистора с сопротивлением R , ключа K и источника тока (рис.4.1). В положении, когда ключ замкнут в цепи, происходит заряд конденсатора, если ключ находится в разомкнутом состоянии, то конденсатор разряжается. При заряде или разряде конденсатора в контуре протекает изменяющийся электрический ток. Если этот ток I изменяется не слишком быстро и так, что в каждый момент времени величина тока одинакова во всех точках контура, то для мгновенных значений I справедливы законы постоянного тока. Такие токи называются медленно меняющиеся или квазистационарными. Таким образом, все изменения во времени должны происходить настолько медленно, чтобы распространение электромагнитных колебаний (токов) можно было считать мгновенным.

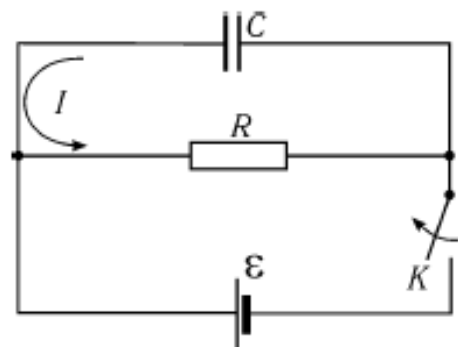


Рис. 4.1

Скорость, с которой происходит распространение колебаний вдоль контура, равна

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (4.1)$$

где c – скорость света в вакууме, ϵ и μ - диэлектрическая и магнитная проницаемость среды, окружающей проводники.

Если l — длина цепи, то время, затрачиваемое на прохождение электромагнитных колебаний вдоль контура равно

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{l}{c} \sqrt{\epsilon\mu}. \quad (4.2)$$

Для периодически изменяющихся токов условие квазистационарности будет выполнено, если

$$\tau = l/c \ll T, \quad (4.3)$$

где T — период колебаний.

При разряде конденсатора через сопротивление R в цепи (рис.4.1) протекает электрический ток

$$I = -\frac{dq}{dt}. \quad (4.4)$$

Здесь q — заряд конденсатора, пропорциональный напряжению U на его обкладках

$$q = CU, \quad (4.5)$$

где C — емкость конденсатора.

Знак «минус» в уравнении (4.4) обусловлен тем, что ток считается положительным, когда он течет от положительной обкладки к отрицательной.

В выражении (4.4) для тока входит знак минус, так как выбранное положительное направление тока соответствует уменьшению заряда конденсатора.

Согласно закону Ома для внешнего участка цепи, ток равен

$$I = \frac{U}{R}. \quad (4.6)$$

Из соотношения (4.4) с учетом выражений (4.5) и (4.6), получаем следующее дифференциальное уравнение, описывающее изменение напряжения конденсатора при его разряде с течением времени t :

$$\frac{U}{R} = -C \frac{dU}{dt}. \quad (4.7)$$

После разделения переменных в этом уравнении, в результате интегрирования получаем

$$U(t) = A \cdot e^{-t/RC}, \quad (4.8)$$

где A — постоянная интегрирования, зависящая от начального условия. Если в момент замыкания ключа напряжение на конденсаторе было U_0 , то начальное условие можно записать как $U(t=0) = U_0$. С учетом данного начального условия из (4.8) получаем, что постоянная интегрирования равна $A = U_0$, и окончательная зависимость напряжения конденсатора от времени имеет вид (рис.4.2(a)):

$$U(t) = U_0 e^{-t/RC}, \quad (4.9)$$

или

$$U(t) = U_0 e^{-t/\tau}, \quad (4.10)$$

где τ - постоянная времени цепи, содержащей емкость и сопротивление. Таким образом, напряжение на конденсаторе, а также ток в цепи после размыкания ключа убывают по экспоненциальному закону с характерным временем убывания

$$\tau = RC. \quad (4.11)$$

Постоянная времени показывает, за какое время после выключения источника питания напряжение (ток в цепи) уменьшается в $e = 2,71$ раз.

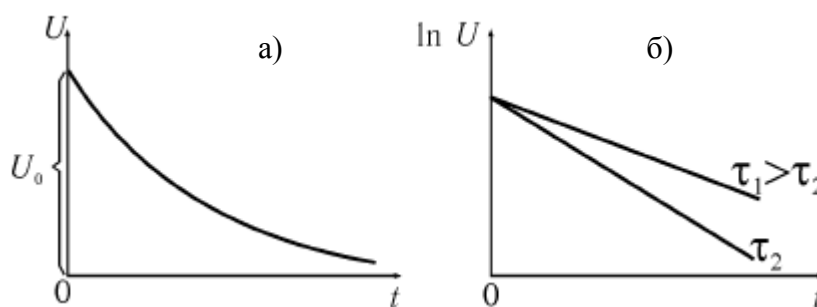


Рис.4.2

Полученные результаты показывают, что разряд конденсатора происходит не мгновенно, а с конечной скоростью.

Линеаризуем зависимость (4.10) путем логарифмирования:

$$\ln U = \ln U_0 - \frac{1}{\tau} t. \quad (4.12)$$

Видно, что зависимость $\ln U$ от t носит линейный характер (рис.4.2(б)), и по наклону этой прямой можно определить постоянную времени τ .

В данной работе исследуется зависимость напряжения на конденсаторе от времени и экспериментально определяется: постоянная времени RC -цепи и сопротивление цепи R .

Методика выполнения работы

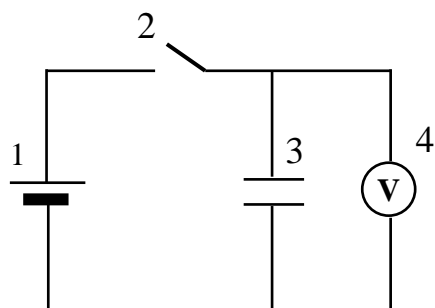


Рис. 4.3

Исследование переходных процессов в цепи, содержащих сопротивление и емкость, проводится с помощью схемы, показанной на рис. 4.3.

Конденсатор 3 заряжается до напряжения U_0 от регулируемого источника постоянного напряжения 1 через замкнутый ключ 2. Затем ключ размыкают, и конденсатор начинает разряжаться через подклю-

ченный к нему вольтметр 4, имеющий большое входное сопротивление. С помощью вольт-

метра определяется текущее значение напряжения на конденсаторе в зависимости от времени, которое фиксируется секундомером.

Таблица 4.1. Приборы и принадлежности.

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Вольтметр	
Ключ	
Источник питания	
Конденсатор 1	
Конденсатор 2	

Порядок выполнения работы

1. Приготовьте таблицы 1 и 2 для записи результатов.
2. Запишите технические характеристики приборов и принадлежностей в таблицу 4.1.
3. Соберите электрическую схему согласно рис.4.3, подключив конденсатор с наибольшим значением емкости. После сборки схемы ключ переведите в разомкнутое положение.
4. Включите источник питания и вольтметр. Установите на источнике питания напряжение от 10 до 15 В (по заданию преподавателя).
5. Замкните ключ, зарядив конденсатор от источника питания до исходного напряжения.
6. После заряда конденсатора отключите его от регулируемого источника питания постоянного напряжения, разомкнув ключ, и одновременно включите секундомер. По мере разряда конденсатора, через каждые **5 секунд**, записывайте показания вольтметра в таблицу 4.2.
7. Повторите измерения пунктов 5-6 два раза и результаты запишите в таблицу 4.2.
8. Подсоедините параллельно к конденсатору C_1 второй конденсатор C_2 и повторите аналогичные измерения п.5-7 для двух параллельно соединенных конденсаторов с общей емкостью $C_{общ}$.
9. По окончании измерений выключите источник питания и вольтметр.
10. Рассчитайте емкость для параллельно соединенных конденсаторов и запишите её в таблицу.

11. Постройте график зависимости $U(t)$ для двух значений емкостей C_1 и $C_{общ}$.
12. Постройте график зависимости $\ln U(t)$ для C_1 и $C_{общ}$. По наклону графика определите постоянные времени цепи $\langle \tau \rangle \pm \Delta \tau$ для каждого значения емкости.
13. Рассчитайте сопротивление вольтметра R по формуле (4.11) для каждого значения емкости и оцените его погрешность.
14. Сравните полученные результаты сопротивлений и напишите заключение к работе.

Таблица 4.2.

t, сек	$C_1 =$ мкФ					$C_{общ} =$ мкФ				
	$U_1, В$			$\langle U_1 \rangle$ $\pm \Delta U_1$	$\ln U_1$ $\pm \Delta \ln U_1$	$U_1, В$			$\langle U_{общ} \rangle$ $\pm \Delta U_{общ}$	$\ln U_{общ}$ $\pm \Delta \ln U_{общ}$
	1	2	3			1	2	3		
0										
5										
10										
...										
60										
	$\langle \tau_1 \rangle \pm \Delta \tau_1 =$					$\langle \tau_{общ} \rangle \pm \Delta \tau_{общ} =$				
	$\langle R_1 \rangle \pm \Delta R_1 =$					$\langle R_{общ} \rangle \pm \Delta R_{общ} =$				

Контрольные вопросы

1. Какой ток называют квазистационарным? Сформулируйте условие квазистационарности электрического тока.
2. По какому закону изменяются со временем при разрядке конденсатора напряжение, заряд и ток в RC-цепи?
3. Выведите зависимость напряжения от времени при зарядке конденсатора в RC-цепи?
4. Какую величину называют постоянной времени цепи и что она означает?
5. С какой целью в работе строят график зависимости $\ln U(t)$?
6. Как экспериментально определяют постоянную времени в RC-цепи?