

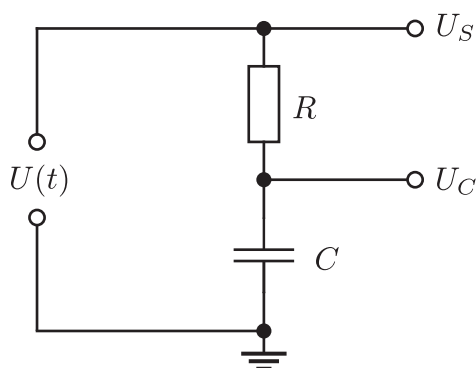
Работа 351

Зарядка и разрядка конденсатора при включении и выключении постоянного тока

Решаемые задачи

- Изучение динамики изменения напряжения на конденсаторе во время его заряда и разряда.
 - Определение времени полуразряда $T_{1/2} = R \cdot C \cdot \ln 2$
-
-

В цепи постоянного тока конденсатор ведет себя как бесконечно большое сопротивление — ток через конденсатор отсутствует. Ток возникает только при замыкании или размыкании цепи. Если замкнуть цепь, то возникает ток, который приводит к зарядке конденсатора до напряжения источника тока. При размыкании цепи конденсатор разряжается.



Рассмотрим процесс зарядки конденсатора. Для цепи, представленной на рисунке, согласно

второму правилу Кирхгофа:

$$I \cdot R + U_C = U. \quad (1)$$

С другой стороны, для конденсатора $U_C = q/C$, тогда с учетом того, что $I = dq/dt$ уравнение (1) можно записать в виде:

$$\frac{dU_C}{dt} + \frac{U_C - U}{RC} = 0. \quad (2)$$

Если $U = \text{const}$, то введя новую переменную $u = U_C - U$ полученное дифференциальное уравнение можно записать как

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot u = 0. \quad (3)$$

Решением этого уравнения с разделяющимися переменными будет $u = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$, параметр A можно найти из начальных условий. Пусть в начальный момент $t = 0$ конденсатор был полностью разряжен, $U_C(0) = 0$, $u(0) = -U$. Подставив начальные условия в выражение (3) можно

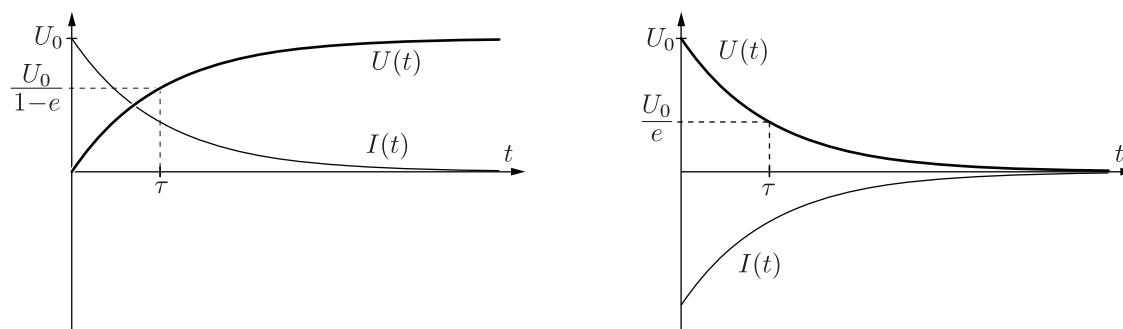


Рис. 1. Зависимость от времени напряжения и силы тока при заряде (слева) и разряде (справа) конденсатора.

найти, что $A = -U$. Таким образом, для напряжения на конденсаторе U_C получаем следующую зависимость от времени:

$$U_C(t) = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right). \quad (4)$$

Аналогично можно получить зависимость напряжения от времени для разряда конденсатора:

$$U_C(t) = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (5)$$

Величину $\tau = RC$ называют постоянной времени данного контура, она равна времени, через которое напряжение на конденсаторе уменьшится в e раз.

Временем полуразряда $T_{1/2}$ конденсатора называют время, за которое напряжение на конденсаторе уменьшится вдвое. Из выражения (6) следует, что

$$U_C(T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot U = U \cdot e^{-\frac{T_{1/2}}{RC}}, \quad (6)$$

откуда

$$T_{1/2} = RC \cdot \ln 2. \quad (7)$$

В этой работе на схему, состоящую из конденсатора и резистора подается переменное напряжение прямоугольной формы, напряжение на конденсаторе U_C регистрируется с помощью электронного осциллографа.

Оборудование

Растровая панель с разъемами DIN A4	1	57674
Резистор 470 Ом, 2 Вт	1	57740
Резистор 1 кОм, 2 Вт	1	57744
Резистор 2,2 кОм, 2 Вт	1	57748
Конденсатор 1 мкФ, 100 В	3	57815
Функциональный генератор S 12	1	522621
Двухканальный осциллограф 400	1	575212
Экранированный кабель BNC/4 мм штекер	2	57524
Пара кабелей 100 см, красный/синий	1	50146

Порядок выполнения работы

- Соберите экспериментальную установку согласно рис. 2, используя резистор с сопротивлением $R = 1$ кОм и конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ.
- Подключите генератор сигналов в качестве источника переменного напряжения и включите режим прямоугольного сигнала « \square ».

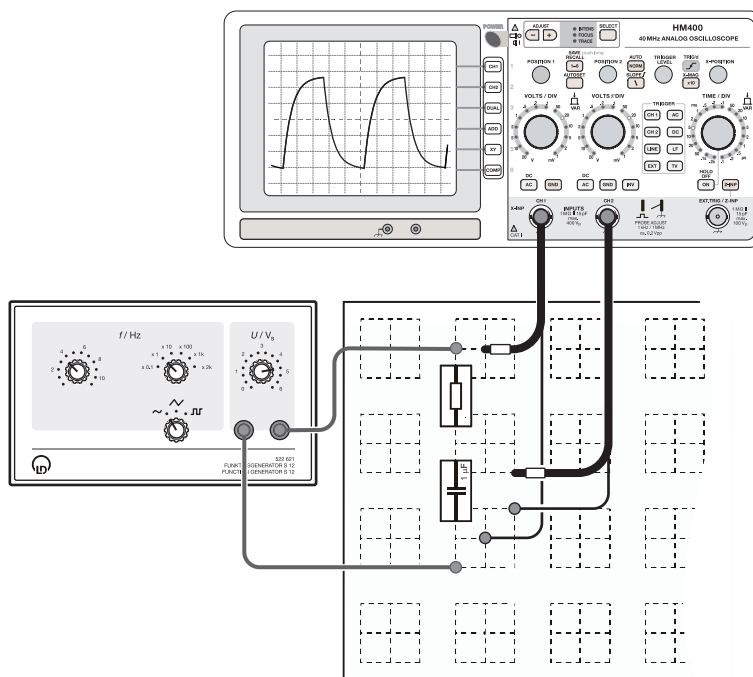


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения заряда и разряда конденсатора.

- Подключите вход «СН. 1» осциллографа к выходу генератора сигналов, а конденсатор — к входу «СН. 2» осциллографа.
- Кнопкой «DUAL» на панели осциллографа включите режим отображения обоих каналов.

Изучение процессов заряда и разряда конденсатора

- Включите генератор сигналов, подключив источник питания, и настройте его на частоту $f \approx 100$ Гц. Ручкой генератора « U/V_s » подстройте амплитуду выходного напряжения (измеряя ее с помощью осциллографа), так чтобы она равнялась 6 В.
- Выберите подходящую временную развертку в осциллографе, так чтобы на экране было видно несколько полных колебаний.
- Измерьте время t , за которое напряжение на конденсаторе падает от $U = 6$ В до $U = 3$ В во время разряда конденсатора. Результат запишите в таблицу 1. Повторите измерения времени для падения напряжения с $U = 3$ В до $U = 1.5$ В.
- Аналогично измерьте время t , за которое напряжение увеличивается с $U = 0$ В до $U = 3$ В и с $U = 3$ В до $U = 4.5$ В во время зарядки конденсатора. Результаты измерений запишите в таблицу 1.

Изучение зависимости времени полуразряда от сопротивления

- Измените емкость в цепи, сделав ее равной $C = 0,5$ мкФ, подключив последовательно два конденсатора емкостью 1 мкФ каждый.

Таблица 1. Время заряда и разряда конденсатора ($C = 1 \text{ мкФ}$, $R = 1 \text{ кОм}$, $f = 100 \text{ Гц}$)

Изменение напряжения	Разряд		Заряд	
	6 В → 3 В	3 В → 1,5 В	0 В → 3 В	3 В → 4,5 В
Время t , мс				

- Устанавливая сопротивления¹, указанные в таблице 2, для каждого из них измерьте время полуразряда $T_{1/2}$, за которое напряжение на конденсаторе U_C уменьшается в два раза по сравнению с максимальным значением. При необходимости подстройте развертку в осциллографе, чтобы измерения были более точными.
- Результаты измерений занесите в таблицу.

Таблица 2. Время полуразряда конденсатора в зависимости от сопротивления ($C = 0,5 \text{ мкФ}$, $f = 100 \text{ Гц}$)

R , кОм	0,47	1	1,47	2,2	2,67
$T_{1/2}$ мс					
$\tau = RC$					

Изучение зависимости времени полуразряда от емкости конденсатора

- Установите резистор $R = 470 \text{ Ом}$.
- Для значений емкости² C , указанных в таблице 3, измерьте время полуразряда $T_{1/2}$, за которое напряжение на конденсаторе U_C уменьшается в два раза по сравнению с максимальным значением. При необходимости подстройте развертку в осциллографе, чтобы измерения были более точными.
- Результаты измерений занесите в таблицу.

Обработка результатов

- Постройте график зависимости времени полуразряда конденсатора $T_{1/2}$ от сопротивления R , используя данные таблицы 2.

¹При необходимости подключайте несколько резисторов последовательно, например $R = 1,47 \text{ кОм}$ можно получить соединив резисторы на 1 кОм и 470 Ом .

²При необходимости подключайте несколько конденсаторов последовательно или параллельно, например $C = 0,33 \text{ мкФ}$ можно получить соединив последовательно три конденсатора на 1 мкФ .

Таблица 3. Время полуразряда конденсатора в зависимости от емкости ($R = 0,47 \text{ кОм}$ $f = 100 \text{ Гц}$)

$C, \text{ мкФ}$	0,33	0,5	0,67	1	2
$T_{1/2} \text{ мс}$					
$\tau = RC$					

- Постройте график зависимости времени полуразряда конденсатора $T_{1/2}$ от его емкости C , используя данные таблицы 3.
- Для всех значений емкости и сопротивления рассчитайте постоянную времени $\tau = RC$, результаты вычислений занесите в таблицы 2 и 3.
- Постройте график зависимости времени полуразряда конденсатора $T_{1/2}$ от τ . Проведите через экспериментальные точки прямую ($T_{1/2} = k \cdot \tau$), и по графику найдите коэффициент k . Сравните полученное значение с теоретическим (см. уравнение (6)).
- Объясните полученные результаты.

Вопросы для подготовки

1. Емкость проводника. Конденсатор. Единицы емкости.
2. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов. Электрическая энергия, запасенная в конденсаторе.
3. Квазистационарные токи. Переходные процессы в цепи с конденсатором.
4. Электронный осциллограф. Назначение осциллографа и его блок-схема.
5. Осциллографический метод изучения сигнала: частоты следования, периода, амплитуды, длительности и фазы.