

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский)
федеральный университет"
Набережночелнинский институт (филиал)

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДКИ И РАЗРЯДКИ
КОНДЕНСАТОРА**

Учебно-методическое пособие

Набережные Челны
2022

УДК 530 (077)

Тазмеев Г.Х., Тазмеев Х.К. Изучение процессов зарядки и разрядки конденсатора: учебно-методическое пособие к лабораторной работе по физике. - Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2022 – 14 с.

Рецензент: доцент, к.т.н. С.К. Савицкий

Учебно-методическое пособие предназначено в помощь студентам для выполнения лабораторной работы по физике.

*Печатается по рекомендации
Учебно-методической комиссии отделения информационных
технологий и энергетических систем НЧИ КФУ*

© Набережночелнинский институт КФУ, 2022

Цель работы: ознакомление с квазистационарными токами;
определение постоянной времени контура,
содержащего конденсатор.

Приборы и принадлежности: осциллограф, звуковой генератор, источник питания, магазин сопротивлений, магазин емкостей, соединительные провода.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ.

Процессы зарядки и разрядки конденсатора относятся к неустановившимся электрическим процессам. При этих процессах ток в контуре непрерывно меняется во времени. Однако, если процессы происходят не слишком быстро, к нему могут быть применены законы постоянного тока.

Применимость законов постоянного тока определяется условием квазистационарности. Квазистационарность означает, что мгновенные значения тока I практически одинаковы на всех участках проводов. Для этого процессы должны происходить настолько медленно, чтобы распространение электромагнитных возмущений можно было считать мгновенным.

Электромагнитные возмущения распространяются с конечной скоростью, равной c – скорости света в вакууме. Обозначим через l длину провода, соединяющего обкладки конденсатора. На прохождение длины l электромагнитное возмущение затрачивает время $\tau = l/c$. Условие квазистационарности будет выполнено, если

$$\tau \ll T, \quad (1)$$

где T – характерное время процесса.

За T принимается время, в течение которого ток в контуре изменяется в $e = 2,71$ раз.

Рассмотрим процессы в электрическом контуре, представленном на рисунке 1. Когда переключатель находится в положении 1, конденсатор C заряжается от источника \mathcal{E} . Если переключатель ставится в положение 2, то конденсатор разряжается.

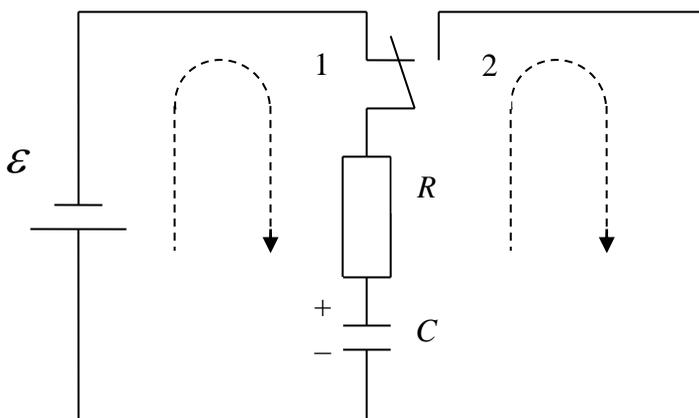


Рис.1.

Зарядка конденсатора.

Обозначим через \mathcal{E} э.д.с. источника, через R – сопротивление контура (включая внутреннее сопротивление источника) и выберем положительное направление тока, как показано на рис.1. Применяя к контуру $\mathcal{E}RC\mathcal{E}$ второе правило Кирхгофа (в замкнутом контуре алгебраическая сумма э.д.с. равна алгебраической

сумме падений напряжений на всех сопротивлениях, входящих в этот контур), получим

$$RI + U = \mathcal{E}. \quad (2)$$

Здесь I – мгновенное значение силы тока, U – мгновенное значение напряжения на конденсаторе. Выразим их через заряд q на обкладках конденсатора.

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad U = \frac{q}{C}. \quad (3)$$

Из написанных равенств (2) и (3) мы можем исключить две из трёх переменных величин I , U и q , а затем получить уравнение для какой-либо одной из них. Исключая из (2) напряжение U , находим

$$RCI + q = \mathcal{E}C.$$

Дифференцирование этого уравнения по t даёт

$$RC \frac{dI}{dt} + \frac{dq}{dt} = 0.$$

Исключим q . Тогда имеем

$$RC \frac{dI}{dt} + I = 0. \quad (4)$$

Мы получили для определения I дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами.

Разделим переменные

$$\frac{dI}{I} = -\frac{dt}{RC}.$$

Интегрируя правые и левые части, находим

$$\ln I = -\frac{t}{RC} + \ln A, \quad (5)$$

где A – произвольная постоянная, зависящая от начальных условий. Положим, что мы начинаем отсчёт времени с момента замыкания переключателя. Тогда начальное условие имеет вид

$$t = 0: \quad I = I_0 \text{ – начальное значение тока.}$$

С учётом этого условия из (5) следует: $A = I_0$.

Определим I_0 . При $t = 0$, т.е. в момент замыкания переключателя, напряжение $U = 0$. Поэтому в соответствии с уравнением (2), имеем

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}.$$

Таким образом, выражение (5) принимает вид

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\frac{t}{RC}$$

или

$$I = I_0 e^{-t/RC} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}.$$

Как следует из последней формулы, сила тока имеет наибольшее значение в начальный момент времени и асимптотически стремится к нулю в процессе зарядки (рис.2).

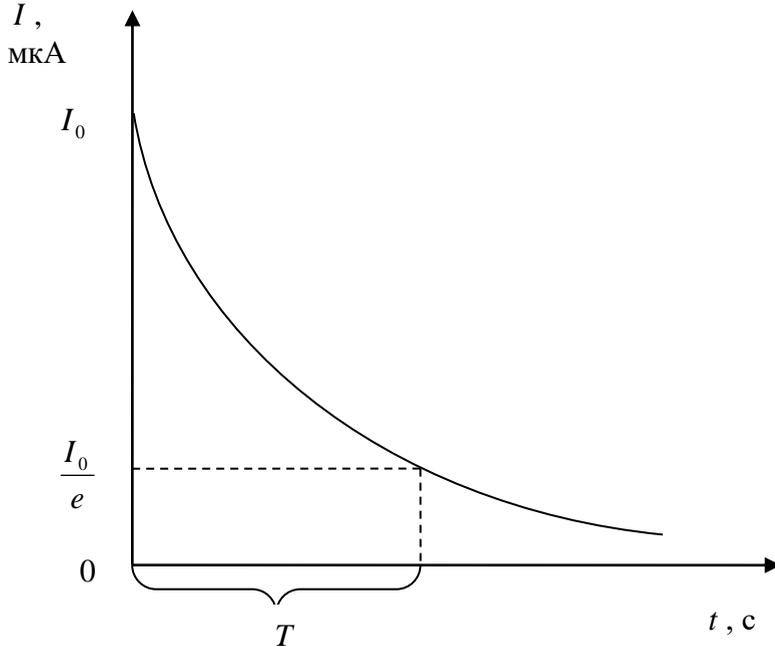


Рис.2.

Зависимость напряжения от времени имеет вид

$$U = \mathcal{E} - RI = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$$

При $t = 0$ это выражение даёт $U = 0$. С увеличением времени t напряжение U непрерывно увеличивается и асимптотически приближается к э.д.с. \mathcal{E} источника.

Разряд конденсатора.

В этом случае исходные уравнения будут

$$RI = U; \quad U = \frac{q}{C}; \quad I = -\frac{dq}{dt}.$$

В отличие от процесса зарядки, в выражение для тока I входит знак минус, так как выбранное нами положительное направление тока соответствует уменьшению заряда конденсатора. Исключая из написанных равенств U и q , получим

$$RC \frac{dI}{dt} + I = 0.$$

Это уравнение точно такое же, как и уравнение (4). Решением является выражение (5).

Считаем, что конденсатор заряжен до напряжения, равного э.д.с. источника. Тогда в начальный момент времени $t = 0$:

$$U = \mathcal{E}; \quad I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}.$$

Таким образом, ток разрядки меняется во времени по такому же закону, что и ток зарядки

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}.$$

Зависимость напряжения от времени в этом случае имеет вид

$$U = \mathcal{E} \cdot e^{-t/RC}.$$

С увеличением времени t , напряжение непрерывно снижается до нуля.

Полученные результаты показывают, что процессы зарядки и разрядки (установление электрического равновесия) происходят не мгновенно, а с конечной скоростью. Для рассмотренного контура, содержащего сопротивление и ёмкость, быстрота установления зависит от произведения

$$T = RC,$$

которое имеет размерность времени и называется постоянной времени данного контура. Постоянная времени T является характерным временем процессов зарядки и разрядки. Если оно удовлетворяет условию (1), то рассматриваемые процессы будут квазистационарными.

2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

Структурная схема установки приведена на рис.3.

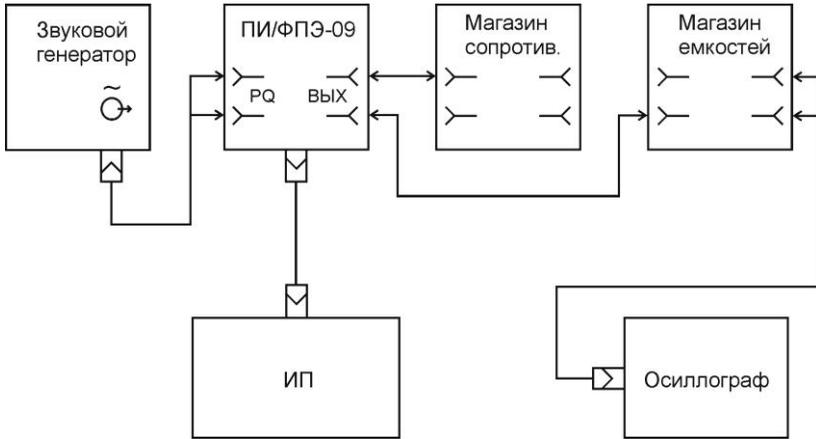


Рис.3.

В качестве сопротивления и емкости служат магазины сопротивлений и емкостей, что позволяет исследовать процессы зарядки и разрядки конденсатора при различных значениях постоянной времени контура T . Источником э.д.с. является модуль ПИ/ФПЭ-09, который питается от источника ИП. Модуль ПИ/ФПЭ-09 преобразует синусоидальный сигнал от звукового генератора в прямоугольные импульсы с различной скважностью. В течение времени, равного продолжительности прямоугольного импульса напряжения, магазин емкостей заряжается через магазин сопротивлений, а в промежуток времени между импульсами разряжается. Таким образом, на экране осциллографа наблюдается последовательность циклов зарядки и разряда магазина емкостей. Период

циклов задается частотой синусоидального сигнала от звукового генератора.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.

ЗАДАНИЕ 1. Определение постоянной времени контура T (параметры R и C контура задаются преподавателем).

1. Соберите схему (рис.3) и подготовьте приборы к включению.

Осциллограф:

ручка «СТАБ» - в крайнем правом положении;

переключатель « $\ominus Y$ » - в положении « \approx »

«СИНХР» - в положении « $+ \approx$ »

«V/ДЕЛ» - в положении «2»;

«mS/ДЕЛ, μS /ДЕЛ» - в положении «0,1 mS/ДЕЛ»;

тумблер «СИНХР» - в положении « \square »

тумблер «РАЗВ. $\ominus X$ » - в положении «РАЗВ».

Звуковой генератор:

множитель частоты – в положении « 10^2 ».

Модуль ПИ/ФПЭ-09:

кнопка « \square » - нажата;

кнопка «ГРУБО»(левая) – нажата;

ручка потенциометра – в крайнем левом положении.

2. Включите приборы. Поставьте на выходе звукового генератора напряжение 3 В.

3. Плавно изменяя частоту на звуковом генераторе и изменяя положение переключателя «mS/ДЕЛ, μS /ДЕЛ» осциллографа в пределах от «0,2mS/ДЕЛ» до «50 μS /ДЕЛ»,

получите на экране осциллограмму, соответствующую не более одному циклу «зарядка-разряд» конденсатора. При помощи ручки «УРОВЕНЬ» установите осциллограмму в неподвижное положение.

4. Перемещая осциллограмму ручками « \updownarrow » и « \leftrightarrow », определите величину H в делениях шкалы (рис.4 или рис.5).

5. Вычислите величину $h = H/e$, где $e = 2,71$.

6. Установите осциллограмму на экране так, как показано на рис.4 или рис.5, и определите $T_{эп}$ (или $T_{эз}$) в делениях шкалы.

7. Определите значение (или $T_{эз}$) в секундах. Например, пусть отрезок $T_{эп}$ составляет 0,8 делений, а переключатель « $mS/ДЕЛ, \mu S /ДЕЛ$ » находится в положении «0,1 $mS/ДЕЛ$ », тогда $T_{эп} = (0,8 \text{ дел.}) \cdot (0,1 \text{ } mS/\text{дел.}) = 0,08 \text{ мс} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ с}$.

8. Переключатель «СИНХР» поставьте в положение « \sim » и повторите пункты 6 и 7.

9. Вычислите теоретическое значение T и сравните с $T_{эп}$ и $T_{эз}$.

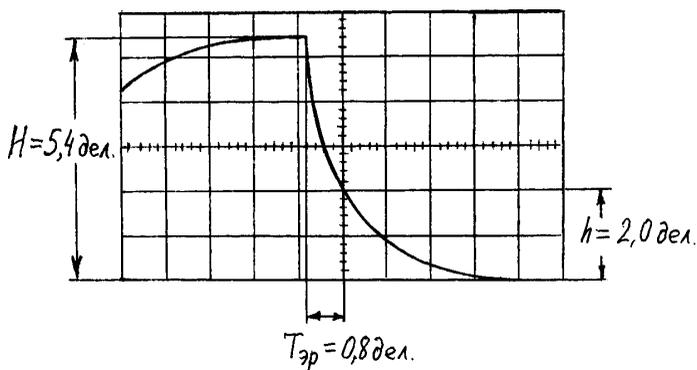


Рис.4.

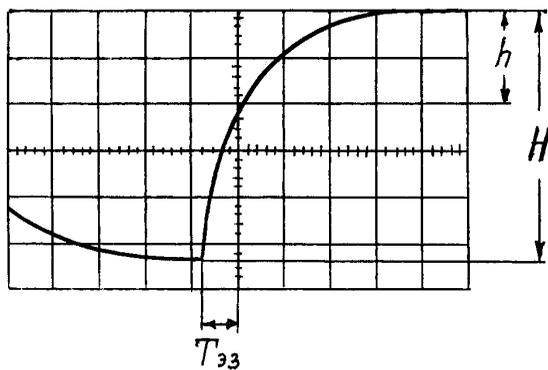


Рис.5.

ЗАДАНИЕ 2. Исследование влияния R и C на процессы зарядки и разрядки конденсатора и получение пилообразных сигналов.

1. Нажмите на модуле ПИ/ФПЭ-09 кнопку «ГРУБО» (правую) и поставьте на осциллографе переключатель

«V/ДЕЛ» в положение «0,5», а переключатель « $mS/ДЕЛ$, $\mu S /ДЕЛ$ » в положение «0,2 $mS/ДЕЛ$ ».

2. Постепенно увеличивайте R и C и следите за изменениями осциллограммы. Вращая ручку потенциометра на модуле ПИ/ФПЭ-09, меняйте скважность полученных пилообразных сигналов.

3. Соблюдая масштаб, срисуйте осциллограмму и укажите параметры R и C

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. В чем заключается условие квазистационарности процессов зарядки и разрядки конденсатора?

2. Выводите формулы для тока зарядки и для тока разрядки конденсатора.

3. Получите формулы для напряжения в процессах зарядки и разрядки конденсатора.

4. Представьте в виде графика изменение напряжения во времени для многократных последовательных цикла “зарядка – разрядка”.

5. Что такое постоянная времени контура T ?

6. Объясните причины расхождения T и T_0 .

ЛИТЕРАТУРА.

1. Калашников Э.Г. Электричество.–М.: Наука, 1977.–592с.