

ТЕХНИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ВУЗОВСКОМ ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕСАТОРА

К. М. Маркевич, К. А. Олехнович

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

Значимость конденсатора возросла в науке и технике с развитием радиоэлектроники; он может являться компонентом схем замещения диодов, транзисторов, микросхем и еще выполняет самостоятельную функцию в электрических схемах. Если способность конденсатора накапливать и отдавать электрический заряд рассматривать как переходные процессы, то это выводит обучающихся на более глубокое изучение в физике свойств этого элемента радиоэлектроники.

Изучение конденсатора в физике связывают с процессами его зарядки и разрядки [1–6]. Для организации зарядки конденсатора используют ступенчатое воздействие источника напряжения, которое подают на RC-цепь посредством ключа; разрядка конденсатора реализуется замыканием заряженного конденсатора на резистор, через который происходил его заряд (рисунок 1а). Реакция конденсатора на подключаемое постоянное напряжение реализует переходной процесс его зарядки. Реакция заряженного конденсатора при подключении его на резистор R есть переходной процесс его разрядки. Математические модели процессов зарядки и разрядки конденсатора разные. Это зависит от того, какой параметр в ходе исследований контролируется исследователем. Если в ходе процессов зарядки и разрядки конденсатора снималась зависимость напряжения на конденсаторе от времени $u_c = f(t)$ [2–6], то математические модели строились по параметру u_c . Если экспериментально исследовалась зависимость тока $i_c = f(t)$ [1], то и математическая модель строилась по параметру тока i_c , или приводилась к параметру заряда на конденсаторе q_c [1; 3].

В [1] рассмотрены математические модели зарядки и разрядки конденсатора на основе зависимостей $i_c = f(t)$ и $q_c = f(t)$, где i_c – ток зарядки (разрядки); q_c – заряд конденсатора, t – время зарядки (разрядки) (до десятков секунд). Ток, как правило, измеряется микроамперметром; время – ручным секундомером. В исследовании не учитываются выходные (источника напряжения) и входные (измерителя тока) сопротивления. Это качественное изучение переходных процессов в RC-цепи. Теория в [2] также посвящена заряду и разряду конденсаторов в RC-цепи, но математические модели рассматриваются в параметрах напряжения u_c ; исследуется зависимости $u_c = f(t)$. В исследованиях есть задание по определению емкости конденсатора C, но не учитывается входное сопротивление вольтметра (может составлять единицы МОм). Сопротивление R в RC-цепи, тоже порядка МОм.

С учетом того, что сопротивление R цепи RC в [2] 1 МОм и сопротивление вольтметра того же порядка, точность измерения C снижается. Описание в [3] посвящено измерению емкости конденсатора C.

Указанные выше аспекты позволяют сделать вывод: исследования будут более корректными, если в ходе их проведения учитывать сопротивления инстументария как на входе, так и выходе RC-цепи. Это также значит, что исследования [1–6] имеют качественный характер. Если в качестве одного из заданий лабораторной работы есть задание по определению емкости конденсатора, то результат этого задания будет иметь большую погрешность, обусловленную обозначенными выше допущениями: пренебрежением сопротивлений источника напряжения и входным сопротивлением измерителя напряжения на конденсаторе. Поскольку исследования процессов зарядки и разрядки конденсатора в переходных процессах многовариантны, что выше показано, остановимся на случае, когда для исследований используется осциллограф. Использование последнего влечет за собой применение генератора прямоугольных импульсов. Не вникая в подробности организации такой лабораторной работы (они рассмотрены в [5; 6]), приведем физическую модель, которая исключает ранее указанные допущения физической модели, показанной на рисунке 1а. Это физическая модель приведена на рисунке 1б.

Как известно [1–7], для упрощенной модели зарядки конденсатора используются уравнения (1) и (2):

$$RC \frac{du_{c3}}{dt} + u_{c3} = E \quad (1)$$

$$u_{c3} = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}), \quad (2)$$

где (2) является решением уравнения (1); RC – постоянная времени заряда конденсатора; E – напряжение, до которого зарядиться конденсатор за время t .

Уточненная физическая модель зарядки конденсатора (рисунок 1б) описывается уравнениями (3) и (4):

$$(R_{\Gamma} + R)C \frac{dU_{c3}}{dt} + \frac{1}{R_0}(R_{\Gamma} + R_0 + R)U_{c3} = E, \quad (3)$$

$$U_{c3} = E - Ee^{-\frac{R_{\Gamma}+R+R_0}{CR_0(R_{\Gamma}+R)}t} = E(1 - Ee^{-\frac{R_{\Gamma}+R+R_0}{CR_0(R_{\Gamma}+R)}t}). \quad (4)$$

Здесь (4) является решением уравнения (3); R_{Γ} – внутреннее сопротивление генератора прямоугольных импульсов; R_0 – входное сопротивление осциллографа; R – сопротивление, через которое происходит зарядка конденсатора емкостью C до напряжения E за время t .

Рассмотрение работ [1–6] показывает, что для исследования зарядки и разрядки конденсатора многие авторы используют промежутки времени порядка секунд. Чтобы реализовать такое время на практике, следует иметь величины емкости конденсатора C сотни (тысячи) микрофард, а также значения сопротивления R порядка мегаом. Типичные входные сопротивления осциллографов с открытым входом – 1 МОм (например, АКИП 4115/1А). Согласно законам

электричества, при заряде конденсатора сопротивления R и R_0 включаются параллельно. Если эти сопротивления R и R_0 равны по величине 1 МОм, то зарядка конденсатора реально происходит при сопротивлении 0,5 МОм, что не учитывается в (1) и (2).

Что касается выходного сопротивления генератора прямоугольных импульсов R_L , то оно может иметь величину порядка килоом, сотни Ом, а поэтому его вклад в процессы зарядки и разрядки конденсатора невелик. Тем не менее, зная некоторое усредненное значение этой величины, можно уточнить выражения (1) и (2). Сопротивления источников напряжений может составлять от десятых и сотых долей Ом до единиц килоом. Их учет не существенен для обеих моделей рисунка 1. Таким образом выражения (3) и (4) более точно описывают процессы зарядки и разрядки конденсатора сравнительно с физической моделью рисунка 1а. Тем более это существенно, если на основе переходных процессов определяется емкость заряжаемого конденсатора. Однако рассмотренное – всего частные случаи из возможных исследований процессов зарядки и разрядки конденсатора с использованием осциллографа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуев, А. С. Изучение процессов зарядки и разрядки конденсаторов / А. С. Чуев, В. Н. Бовенко. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 18 с.
2. Ставинский, Н. Н. Изучение процессов заряда и разряда конденсаторов: физический практикум / Н. Н. Ставинский // Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток, 2014. – 8 с.
3. Услугин, Н. Ф. Переходные процессы в цепях с конденсаторами. Физический практикум / Н. Ф. Услугин. – Нижний Новгород : НГУ. – 2018. – 14 с.
4. Переходные процессы в цепях постоянного тока с конденсатором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itteach.ru/fizika/perechodnie-protsessi-v-tsepyach-postoyannogo-toka-s-kondensatorom>. – Дата доступа: 04.09.2023.
5. Зарядка и разрядка конденсатора при включении и выключении постоянного тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1880781099/351.pdf>. – Дата доступа: 04.09.2023.
6. Величко, Л. А. Измерение емкости конденсатора на основе переходных процессов / Л. А. Величко, Н. Н. Ворсин, К. М. Маркевич. – Брест : БрГТУ, 2018. – С. 11–19.
7. Теоретические основы электротехники. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / А. В. Крутов [и др.]. – Минск : БГТА, 2021. – Ч. 2. – С. 37–44.