

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



ФЭЛ-23 (К)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА — РАЗРЯДА
КОНДЕНСАТОРА.
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ
КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА
ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)**

Тула, 2022 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА — РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ).

Цель работы: изучение заряда и разряда конденсатора при различных параметрах емкости и сопротивления электрической цепи и вычисление постоянной времени τ .

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Конденсатор. Параметры и виды конденсаторов.

Конденсатор состоит из двух проводников (обкладок) заряженных разноименными равными зарядами. Способность конденсатора накапливать электрический заряд характеризуется его емкостью:

$$C = \frac{q}{U_c} \quad (1.1)$$

где q – заряд на обкладках конденсатора; U_c – напряжение между обкладками

Единица измерения емкости:

$$[C] - \text{Фарад}; 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф} \\ 1 \text{ пкФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$$

Плоский конденсатор представляет собой две параллельные пластины площадью S , расположенные на расстоянии d , между пластинами располагается диэлектрик для увеличения емкости.

Емкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (1.2)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика; ε_0 – электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Между пластинками конденсатора существует электрическое поле и конденсатор является накопителем электрической энергии:

$$W_c = \frac{CU_c^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (1.3)$$

Существует несколько видов конденсаторов:

- Бумажный конденсатор состоит из туго свернутых лент фольги (обкладок) и парафинированной бумаги (диэлектрик), сложенных вместе. Площадь поверхности велика, расстояние между обкладками определяется толщиной бумаги;

- В электролитических конденсаторах площадь обкладок небольшая, а расстояние между пластинами равно толщине химической пленки (диэлектрик), которая имеет толщину ~ 100 атомов. Емкость такого конденсатора велика. Пленка сохраняется, если конденсатор подключен в соответствии с маркировкой, поэтому при подключении необходимо обращать внимание на полярность;

- В керамических конденсаторах увеличение емкости достигается за счет диэлектрика у которого $\epsilon \approx 10^4$.

Процессы зарядки и разрядки конденсатора, когда изменяются ток в цепи и напряжение на конденсаторе, называются переходными процессами. Законы Ома и Кирхгофа, установленные для постоянного тока, справедливы в переходных процессах только для мгновенных значений тока и напряжения, когда их изменения не происходят слишком быстро.

Если за время, необходимое для передачи возмущения в самую далекую точку цепи, сила тока изменяется незначительно, мгновенные значения силы тока во всех сечениях цепи будут практически одинаковы. Токи, удовлетворяющие такому условию, называются квазистационарными.

Скорость передачи электромагнитного возмущения $C = 3 \times 10^8$ м/с. Обычно в переходных процессах скорость изменения величины тока и напряжения являются квазистационарными и их мгновенные значения подчиняются законам Ома и Кирхгофа.

Заряд и разряд конденсатора.

Рассмотрим процессы заряда и разряда конденсатора емкостью C в схеме, показанной на рис. 1.1. Когда переключатель K находится в положении 1, конденсатор будет заряжаться от источника с ЭДС — U_0 ; а в положении 2 — конденсатор будет разряжаться через сопротивление R . Можно показать, что процессы, протекающие в таких цепях, являются медленными, поэтому такие процессы считаются квазистационарными.

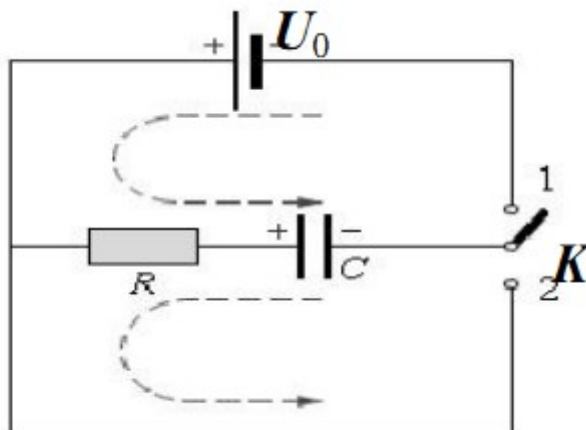


Рис. 1.1. Электрическая схема заряда и разряда конденсатора.

Вначале рассмотрим процесс заряда конденсатора, при этом выберем положительное направление тока как показано на рис. 1.1. Применяя к контуру второе правило Кирхгофа, получим:

$$RI + U_C = U_0, \quad (2.1)$$

где I – мгновенное значение силы тока в цепи, U_C – мгновенное значение напряжения на конденсаторе. Воспользуемся определением:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (2.2)$$

где q – заряд конденсатора, t – время, прошедшее с момента начала заряда, т. е. с момента включения ключа.

Объединив выражения (2.1) и (2.2), а также воспользовавшись (1.1), получим дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами для нахождения U_C :

$$\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC}U_C - \frac{U_0}{RC} = 0. \quad (2.3)$$

Разделяя переменные в этом дифференциальном уравнении, получим:

$$\frac{dU_C}{U_0 - U_C} = \frac{dt}{RC} \quad (2.4)$$

Т. к. напряжение источника постоянно $U_0 = \text{const}$, уравнение (2.4) можно переписать в виде:

$$\frac{d(U_0 - U_C)}{U_0 - U_C} = -\frac{dt}{RC} \quad (2.5)$$

При интегрировании следует учесть начальные условия, когда при $t = 0$ напряжение на конденсаторе $U_C = 0$. В результате находим:

$$\int_0^{U_C} \frac{d(U_0 - U_C)}{U_0 - U_C} = -\int_0^t \frac{dt}{RC} \quad (2.6)$$

Откуда:

$$\ln(U_0 - U_C)|_0^{U_C} = -\frac{t}{RC}|_0^t \quad (2.7)$$

Получаем:

$$\ln\left(\frac{U_0 - U_C}{U_0}\right) = -\frac{t}{RC} \quad (2.8)$$

В результате находим закон изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени $U_C = U_C(t)$:

$$U_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (2.9)$$

$$U_C = U_0(1 - \exp(-\frac{t}{RC})).$$

С ростом времени напряжение на конденсаторе непрерывно увеличивается и асимптотически приближается к ЭДС U_0 источника.

Напряжение на зажимах сопротивления R изменяется по закону:

$$U_R = U_0 - U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.10)$$

Тогда зависимость зарядного тока от времени в соответствии с законом Ома имеет вид:

$$I = \frac{U_0 - U_C}{R} = \frac{U_0}{R} \exp(-\frac{t}{RC}) = I_0 \exp(-\frac{t}{RC}). \quad (2.11)$$

На рис. 1.2 представлены графики зависимости $U_C(t)$ и $I(t)$.

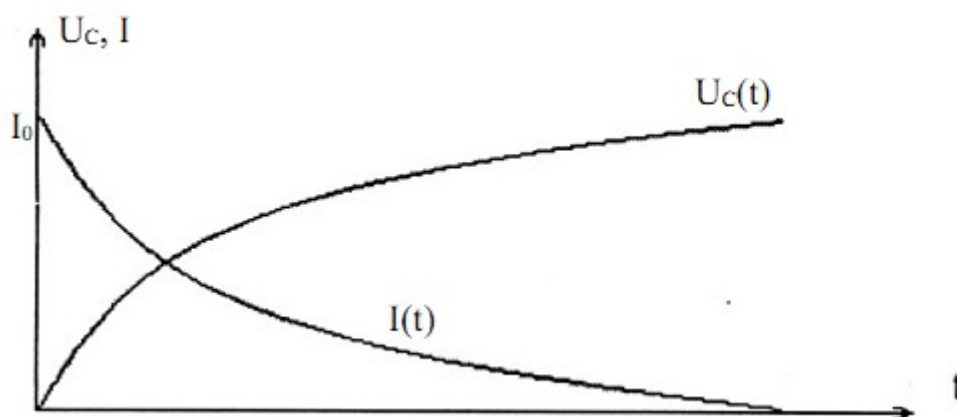


Рис. 1.2. Графики зависимости $U_C(t)$ и $I(t)$ при зарядке конденсатора.

В момент времени включения зарядный ток имеет максимальное значение $I_{\max} = I_0 = U_0/R$.

Как видно из выражения (2.11), за время $\tau = RC$ зарядный ток уменьшается в $e = 2.71828...$ раз. Это время τ называется временем релаксации

либо просто постоянной времени электрической цепи. Напряжение за это время возрастает от нулевого значения до $0,63 \cdot U_0$.

При зарядке конденсатора энергия, полученная от генератора, расходуется на выделение тепла на сопротивлении и запасается в электрическом поле конденсатора.

Разрядка конденсатора.

При замыкании выключателя К в положение 2, заряженный конденсатор С, обладающий энергией $W_c = \frac{CU_c^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$, начинает разряжаться, т. е. в цепи появляется разрядный ток.

Согласно закону Ома мгновенное значение силы тока через сопротивление при разрядке конденсатора равно $I = U_c / R$.

Поскольку заряд конденсатора при разрядке уменьшается с течением времени, то $I = -\frac{dq}{dt}$. Так как $dq = C \cdot dU_c$, то $I = -C \cdot \frac{dU_c}{dt}$.

Согласно второму правилу Кирхгофа получаем:

$$RI = U_c \quad (3.1)$$

Откуда:

$$-RC \frac{dU_c}{dt} = U_c \quad (3.2)$$

В результате получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{RC} = 0. \quad (3.3)$$

После разделения переменных имеем:

$$\frac{dU_c}{U_c} = -\frac{dt}{RC} \quad (3.4)$$

Интегрируя полученное выражение с учетом того, что при $t=0$, $U_c = U_0$, имеем:

$$\int_{U_0}^{U_c} \frac{dU_c}{U_c} = - \int_0^t \frac{dt}{RC} \quad (3.5)$$

Интегрирование выражения (3.5) дает зависимость напряжения на конденсаторе от времени в процессе его разряда:

$$U_c = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3.6)$$

Или, если в момент времени t_0 напряжение на конденсаторе равно некоторому значению $U_{нач}$, то:

$$U_c = U_{нач} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right), \quad (3.7)$$

где $U_{нач} = U_{max}$ – напряжение на конденсаторе перед его разрядом.

Следовательно, напряжение на конденсаторе при его разрядке уменьшается по экспоненциальному закону, а разрядный ток определяется по закону:

$$I = \frac{U_c}{R} = \frac{U_{нач}}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) = I_{нач} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right), \quad (3.8)$$

где $I_{нач} = I_{max}$ – сила тока в момент времени $t=0$.

На рис. 1.3 представлены графики зависимости $U_c(t)$ и $I(t)$ при разрядке конденсатора.

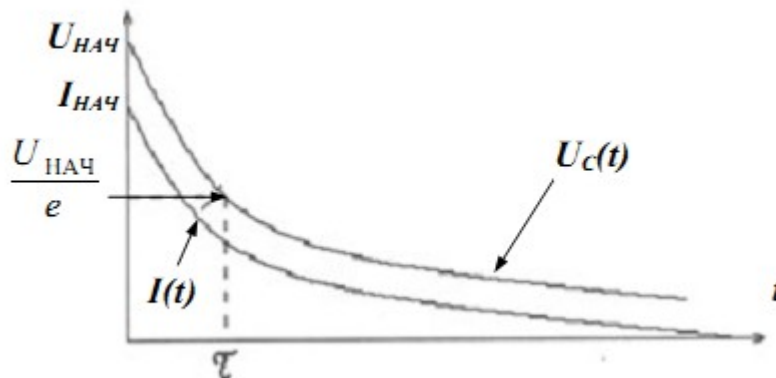


Рис. 1.3. Графики зависимости $U_c(t)$ и $I(t)$ при разрядке конденсатора.

На рис. 1.4 представлены графики, изображающие зависимость напряжения конденсатора от времени при его заряде и разряде.

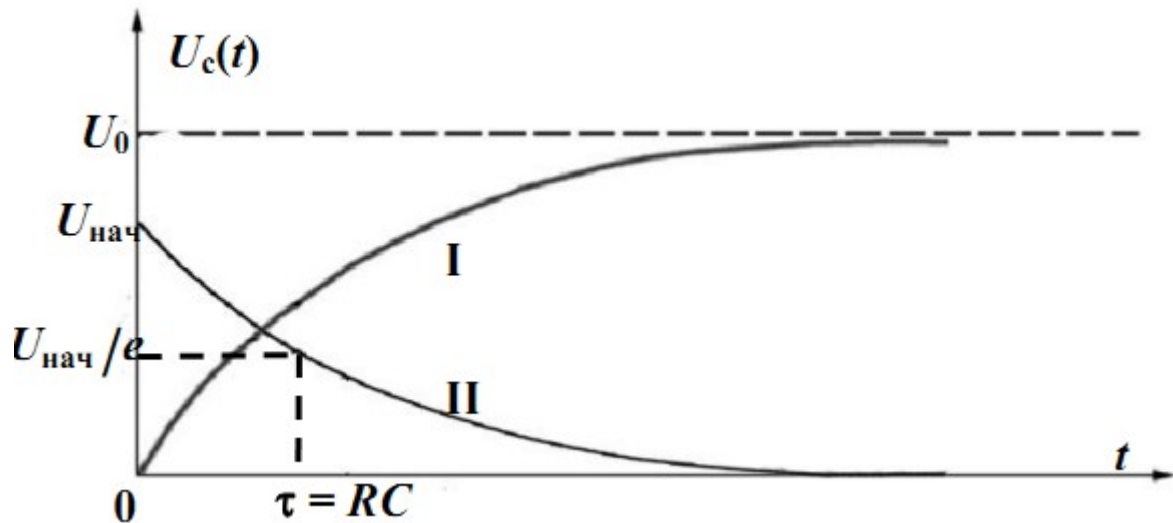


Рис. 1.4. Графики, изображающие зависимость напряжения конденсатора от времени при его заряде (I) и разряде (II).

В начальный момент времени разрядный ток имеет максимальное значение $I_{\text{нач.}} = I_{\text{max}} = U_{\text{нач}}/R$. За время $\tau = RC$ разрядный ток уменьшается в e раз. Энергия, сосредоточенная в электрическом поле заряженного конденсатора, выделяется в виде тепла на сопротивлении R . Рассмотренные переходные процессы используются в радиотехнике, для измерения малых промежутков времени, для получения мощных электрических разрядов, в релаксационных генераторах (генераторах пилообразного напряжения).

Итак, в переходных процессах, происходящих при заряде и разряде конденсатора, ток и напряжение на конденсаторе с течением времени изменяется по экспоненциальному закону.

Произведение RC имеет размерность времени и называется постоянной времени или временем релаксации $\tau = RC$. За время τ заряд конденсатора уменьшается в e раз.

Полученные результаты показывают, что процессы заряда и разряда конденсатора происходят не мгновенно, а с конечной скоростью. В рассмотренном случае электрической цепи (рис. 1.1) быстрота этих процессов зависит от произведения $\tau = RC$. Как видно из рис. 1.4, постоянная времени показывает, через какое время после начала разряда напряжение на конденсаторе уменьшается в $e = 2,72$ раз.

Вообще говоря, согласно уравнениям, выведенным выше, заряд конденсатора бесконечно долго стремится к величине ЭДС, поэтому для оценки времени заряда конденсатора используют величину $t = 5\tau$ — это время, за которое напряжение на конденсаторе достигнет значения

99,2% от ЭДС источника. В некоторой литературе принято считать, что процесс заряда и разряда конденсатора, практически, полностью заканчивается за время $t=3\tau - 4\tau$ рис. 1.5.

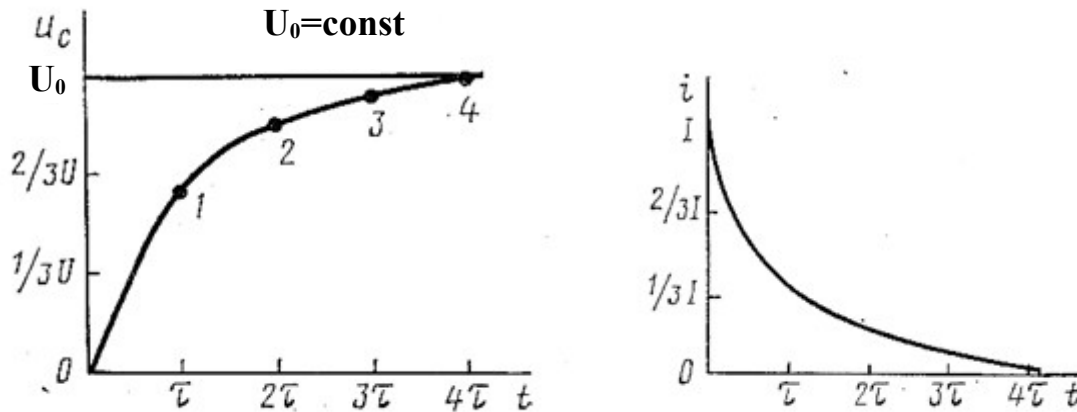


Рис. 1.5. Графики, изображающие зависимость напряжения конденсатора и тока в цепи от времени при его заряде. Из рисунка видно, что процесс зарядки практически заканчивается через $t = 4\tau - 5\tau$. Причем, чем больше τ , тем больше времени потребуется, чтобы напряжение на конденсаторе достигло значения напряжения источника. Следовательно, по постоянной времени τ можно определять продолжительность переходного процесса. Так как $\tau=RC$ то чем больше R и C , тем медленнее происходит процесс зарядки - разрядки конденсатора. $t=\tau \rightarrow U_C=0,636U_0$; $t=2\tau \rightarrow U_C=0,85U_0$; $t=3\tau \rightarrow U_C=0,95U_0$

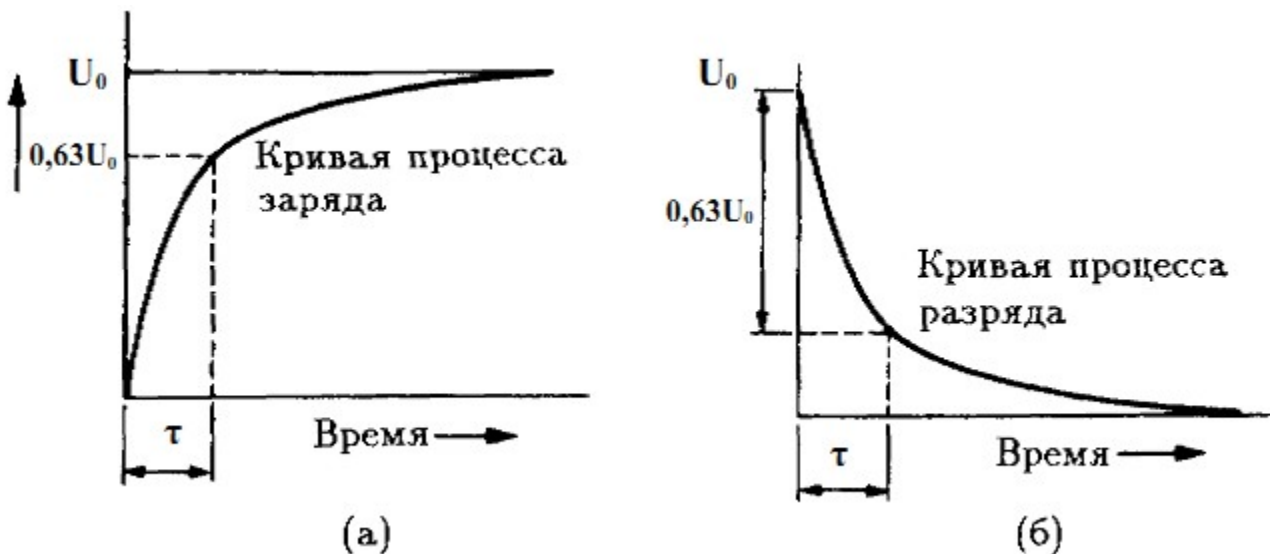


Рис. 2.1. К определению постоянной времени τ по кривой заряда (а) и разряда (б) конденсатора.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Аппаратная часть. Приборы и оборудование.

Лабораторная работа выполняется на комбинированном учебном комплексе ФЭЛ-23(К), имеющим сопряжение с ПК. Все параметры эксперимента, установленные и измеренные значения параметров выводятся в соответствующие окна программы - оболочки для работы с установкой – LabVisual 3. Лабораторный комплекс работает только в сопряжении с ПК. Прибор питается от USB – порта ПК (напряжение питания $U_0=5,00$ В), поэтому кнопка «СЕТЬ» и сетевой кабель отсутствуют. Блок — схема эксперимента приведена на рис. 3.1.

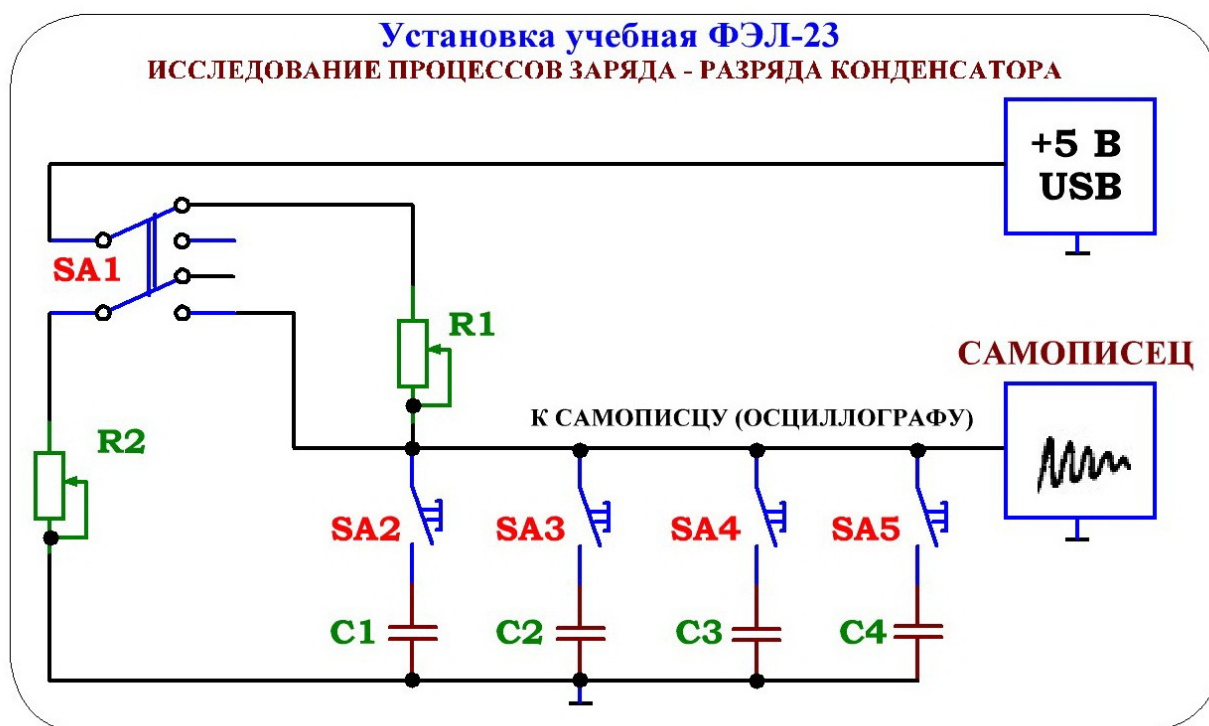


Рис. 3.1. Электрическая блок-схема учебной установки ФЭЛ-23(К). С помощью переключателя SA1 собрана цепь заряда магазина ёмкостей C1...C4.

Учебная установка питается от USB порта ПК напряжением $U_0=5,00$ В. Сдвоенный переключатель SA1 «ЗАРЯД — РАЗРЯД» имеет два положения - «ЗАРЯД I» и «РАЗРЯД II».

При положении переключателя SA1 «ЗАРЯД I» напряжение питания через регулируемый резистор **R1** подаётся на встроенный магазин ёмкостей C1...C4 (рис. 3.1). Конденсаторы подключаются и отключаются от цепи нажатием соответствующих кнопок SA2 ... SA5 (кнопка нажата — соответствующий конденсатор подключён к цепи, кнопка отжата — соответствующий конденсатор отключён от цепи). Суммарная ёмкость цепи **C** (эквивалентный конденсатор) равна сумме ёмкостей параллельно подключённых конденсаторов C1...C4.

При положении переключателя SA1 «РАЗРЯД II» (рис. 3.2) заряженный эквивалентный конденсатор **C** из магазина ёмкостей разряжается через регулируемый резистор **R2**.

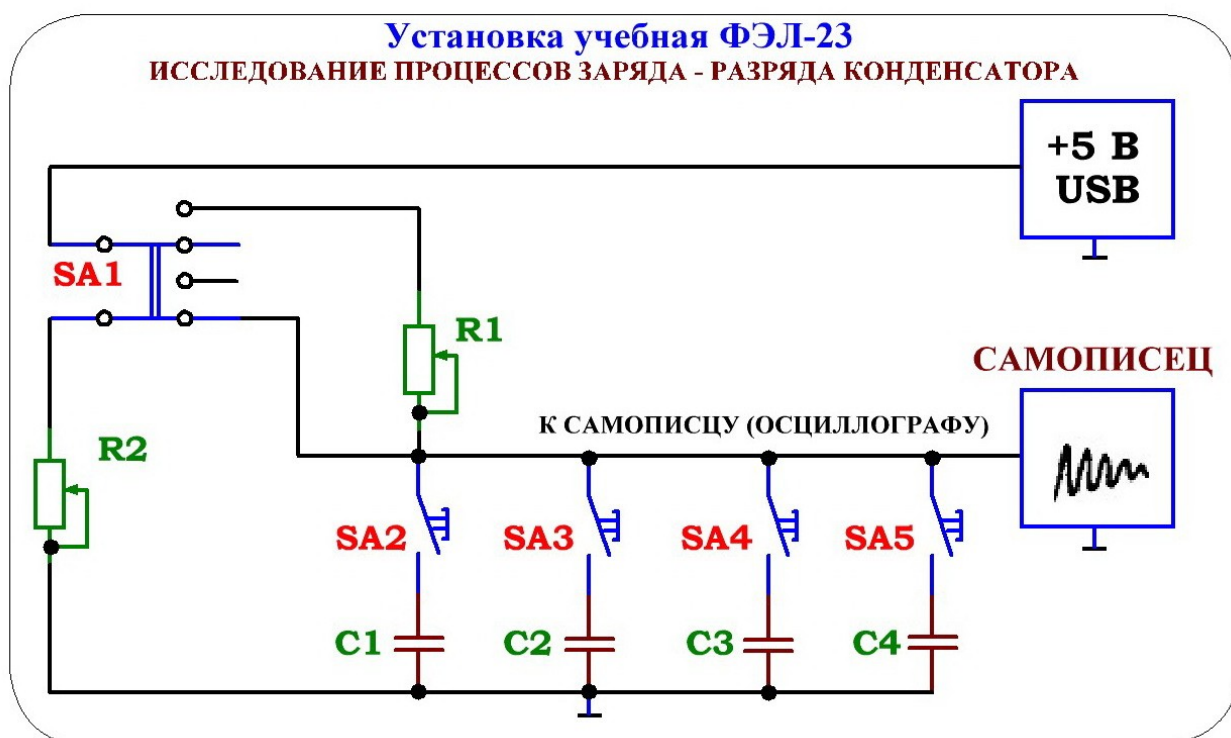


Рис. 3.2. Электрическая блок-схема учебной установки ФЭЛ-23(К). С помощью переключателя SA1 собрана цепь разряда магазина ёмкостей C1...C4.

Сигнал напряжения от времени $U_c = U_c(t)$ на эквиваленте конденсатора C передаётся через встроенный АЦП на микроконтроллер и далее подаётся на USB – выход учебного прибора. Получаемые кривые заряда — разряда визуализируются на экране ПК в специальной программной среде LabVisual.

Номиналы элементов электрической цепи:

Диапазон регулирования зарядного резистора $R1 = 0,2 \dots 20,2$ кОм

Диапазон регулирования разрядного резистора $R2 = 0,2 \dots 20,2$ кОм

$C1 = 100$ мкФ; $C2 = 220$ мкФ; $C3 = 470$ мкФ; $C4 = 1000$ мкФ

Программная часть.

Подготовка к работе.

Для сопряжения работы учебной установки с персональным компьютером используется специально разработанный протокол передачи данных LabVisual, разделяющий байты управления и байты данных. Для визуализации принятых данных служит программа-оболочка LabVisual для ФЭЛ-23(К). Установка подключается к USB порту компьютера при помощи специального соединительного кабеля.

Программа LabVisual может успешно работать на компьютерах под управлением ОС Windows с разрядностью 32 бита так и опционально на компьютерах под управлением ОС Linux при помощи эмулятора среды окружения VirtualBox. На прилагаемых дисках либо флэш — картах в соответствующих папках содержатся сборки программ для установки и работы в этих операционных системах.

Подробная инструкция по установке среды LabVisual 3 содержится в прилагаемом руководстве к программе.

В комплекте с лабораторной установкой поставляется ПЭВМ с предустановленным дистрибутивом среды LabVisual и установленным и настроенным программным обеспечением (всё предустановленное программное обеспечение поставляется согласно лицензии GNU GPL v2 и является свободным и бесплатным, если не оговорено обратное; подробно см. п. 1.1 и пп. 4 — 5 Руководства к среде LabVisual 2.5).

После загрузки программной среды (~ 1 мин.) автоматически запустится программа оболочка LabVisual для работы с экспериментальной установкой. Если программа не запустилась автоматически, на рабочем столе следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на ярлык LabVisual. При этом должно открыться главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой (рис. 4.1). Программа LabVisual имеет интуитивно понятный, дружелюбный пользователю интерфейс.

Во избежание сбоев в работе, сопряжение с ПК посредством USB — порта и конфигурация USB-передатчика на учебном приборе осуществляется в специальном порядке.

Для работы в автоматизированном режиме с ПК необходимо:

- 1) соединить USB выход прибора с USB портом ПК соединительным кабелем типа USB A-B. Рекомендованная длина соединительного кабеля не более 1,8 м.
- 2) Запустить программную среду LabVisual для работы с прибором.
- 3) Убедиться, что устройство корректно опознано в системе. Для этого запустить Диспетчер Устройств Windows. В диспетчере устройств должно появиться два устройства: «HID – совместимое устройство, определённое поставщиком» и «USB устройство ввода» в разделе

«Устройства HID»

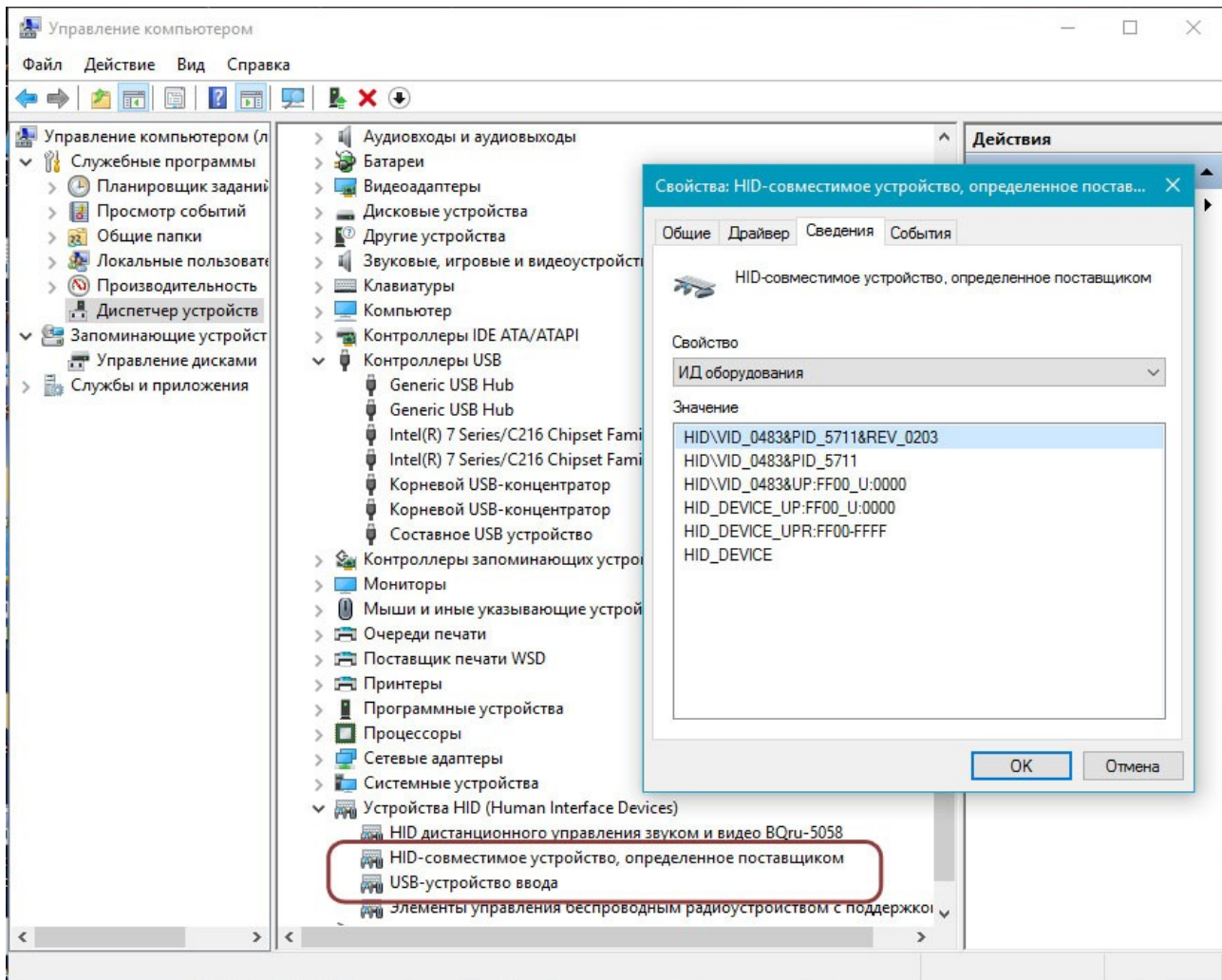


Рис. 4.1. Корректно определенное устройство в диспетчере задач Windows.

- 4) Если устройство не определилось (виден символ устройства с восклицательным знаком «!», код ошибки 10, код ошибки 43), то следует удалить данное устройство нажатием правой кнопки мыши из списка устройств, отключить прибор от USB – порта ПК и не менее чем с 5 секундной паузой повторить подключение.
- 5) Установка дополнительных драйверов для работы устройства в системе не требуется.
- 6) В среде LabVisual проверить состояние прибора: УСТРОЙСТВО → Параметры Прибора VID=1155, PID=22289
- 7) Приступить к выполнению эксперимента.

После соединения прибора с USB – портом ПК, при запущенной среде LabVisual, необходимая подпрограмма для измерения должна запуститься автоматически рис. 4.2.

Основным компонентом для работы с учебной установкой является встроенный USB – самописец (рис. 4.3). Самописец имеет два независимых канала измерения: 1) Сигнал напряжения $U_c = U_c(t)$ с эквивалентного конденсатора C (красная кривая U_c), который одновременно подаётся на встроенный стрелочный измерительный прибор в программу LabvVisual, отградуированный в Вольты, а также на цифровой программный вольтметр; 2) Калибровочные импульсы (меандр) $U_{\text{кал.}}$ (желтая кривая) амплитудой $U_{\text{КАЛ}} = 5,00 \pm 0,05$ В, длительностью $\delta = 1,00 \pm 0,20$ сек. и периодом $T = 2,00 \pm 0,20$ сек.

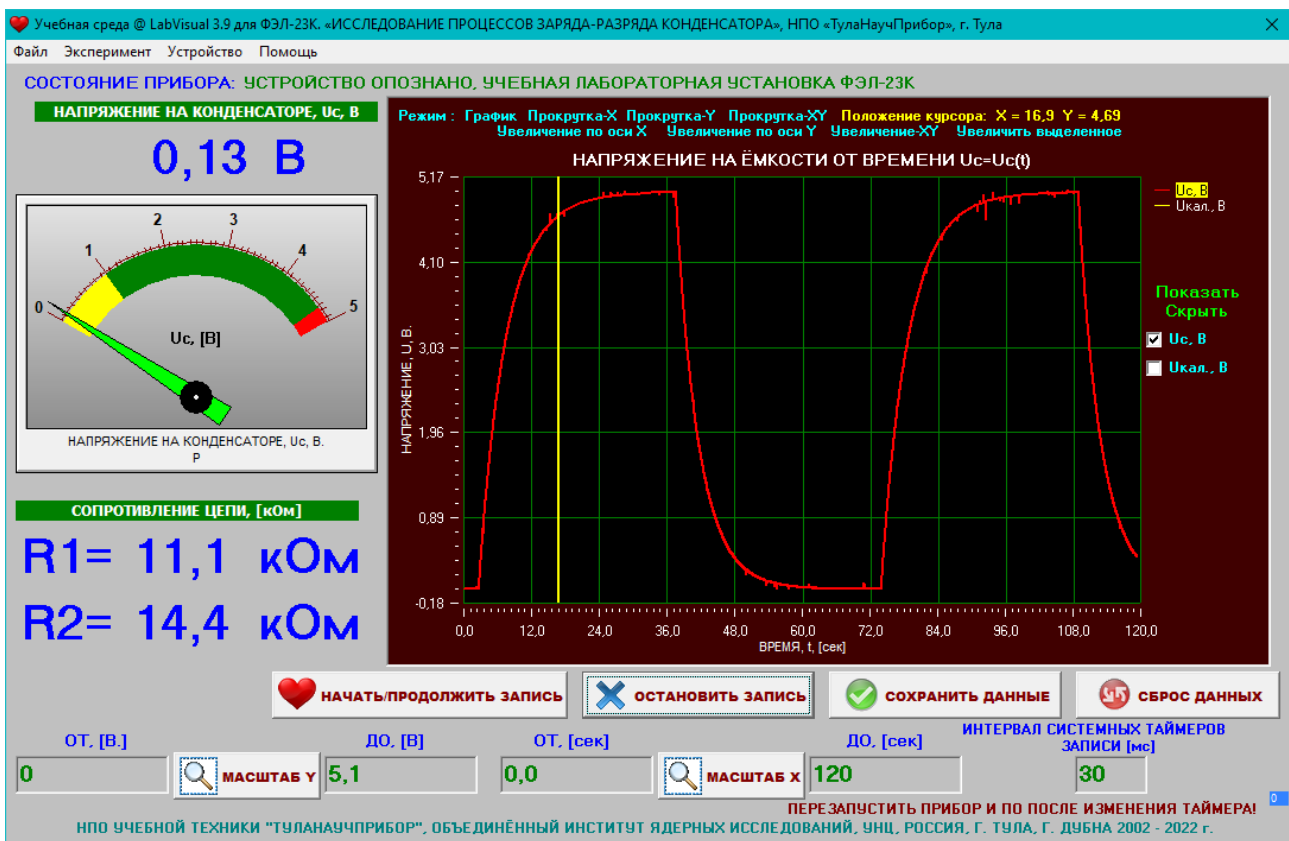


Рис. 4.2. Подпрограмма работы с USB — самописцем. Кривые заряда и разряда конденсатора.

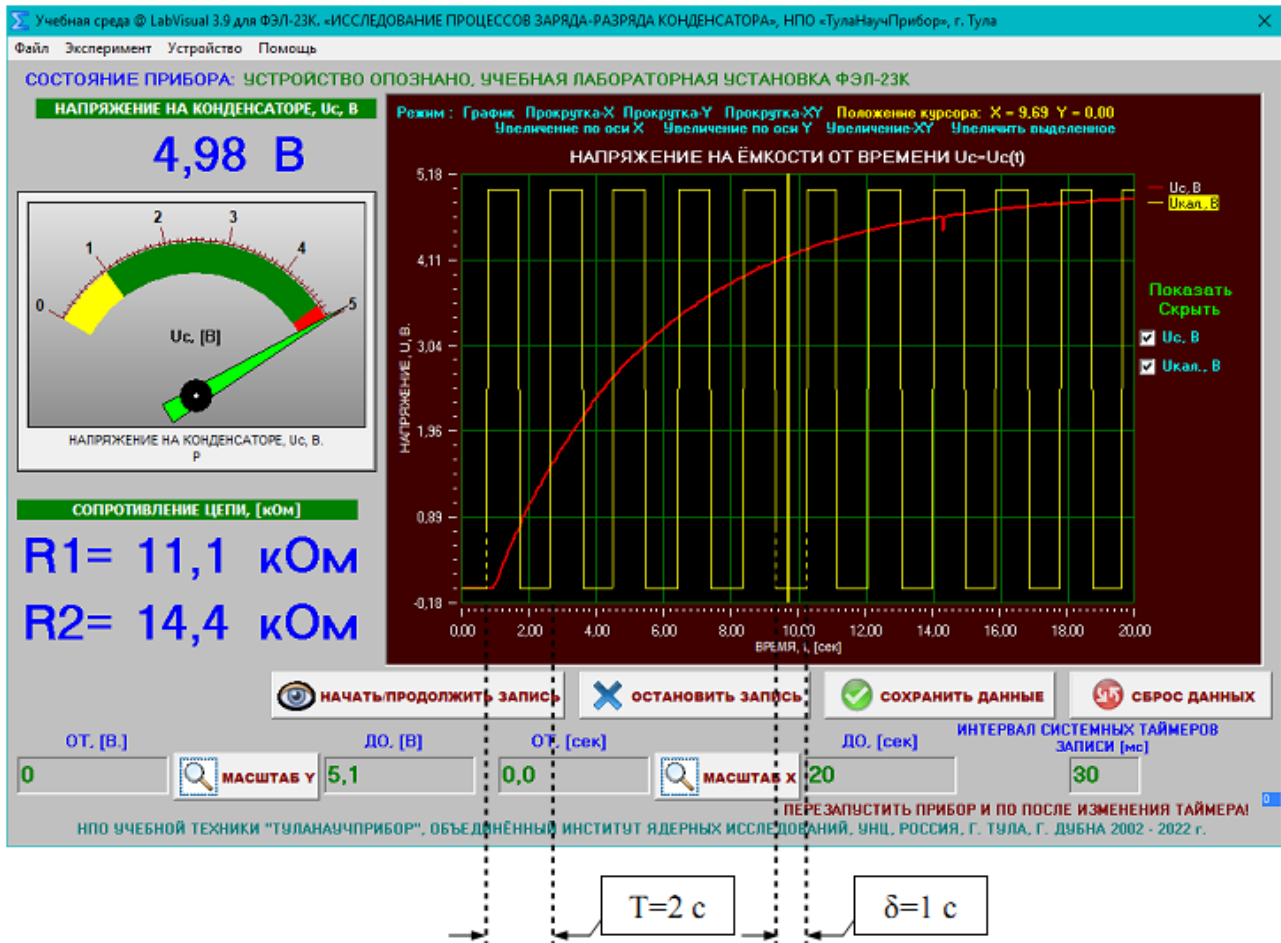


Рис. 4.3. Подпрограмма работы с USB — самописцем. Кривая заряда конденсатора и калибровочные импульсы.

В верхней части окна самописца находятся пункты, нажатие на которые позволяет выбрать режим: график — основной режим с выводом одного либо двух сигналов ($U_C = U_C(t)$ и $U_{КАЛ} = U_{КАЛ}(t)$); различные режимы прокрутки и увеличения. Для установления точных координат (X , Y) в данной точке осциллограммы следует выбрать режим «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», затем справа из списка (U_C , $U_{КАЛ}$) выбрать нужную осциллограмму, для которой необходимо уточнить координаты, и нажать левой кнопкой мыши на нужную точку на записанном графике. При этом пункт «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА» покажет значение X (время) и Y в данной точке. Перемещать курсор можно стрелками на клавиатуре. Время записи каждой осциллограммы ограничено двумя минутами, после чего буфер данных очищается, показания сбрасываются и запись начинается снова. Запись калибровочных импульсов $U_{КАЛ}$ включается и отключается установкой галочки у соответствующего пункта «ПОКАЗАТЬ/СКРЫТЬ» справа от графика.

«ИНТЕРВАЛ СИСТЕМНЫХ ТАЙМЕРОВ ЗАПИСИ» определяет с какой периодичностью будут считываться данные из буфера приёма для построения

осциллограммы. Чем этот интервал меньше, тем на самописце визуально будут отображаться более «правильные» кривые, т. к. будут считываться большее количество точек для построения сигнала. Однако, для слабых ПК это может создавать дополнительную нагрузку на процессор, в этом случае интервал нужно увеличить, например до 100 — 150 мс. После его изменения необходимо перезапустить прибор и программу. Установленные значения таймеров сохраняются в конфигурационном файле. По умолчанию «ИНТЕРВАЛ ЗАПИСИ» = 30 [мс].

Пример работы с прибором и обработка данных.

- 1) Запустить программное обеспечение LabVisual.
- 2) Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК.
- 3) Выполнить действия, описанные в пункте «Программная часть.

Подготовка к работе» настоящего руководства.

4) Установить резисторы R1 и R2, через которые происходит заряд и разряд конденсатора в среднее положение $R1 = R2 = 10,0 \text{ кОм}$.

5) Подключить в схему конденсатор C1 из встроенного магазина сопротивлений, нажав кнопку SA2 C1. Остальные конденсаторы должны быть отключены от схемы (соответствующие кнопки должны быть отжаты). Переключатель SA1 установить в положение «РАЗРЯД II», предварительно разрядив магазин ёмкостей.

6) Экспериментатор нажимает кнопку «НАЧАТЬ ЗАПИСЬ» в программе управления учебной установкой и одновременно переводит переключатель SA1 в положение «ЗАРЯД I».

7) При этом в окне самописца должен наблюдаться сигнал напряжения на конденсаторе от времени $U_C = U_C(t)$ рис. 4.4, рис. 2.1 (а).

8) При достижении напряжения на конденсаторе $U_C = 4,90 \pm 0,05 \text{ В}$ нажать на кнопку «ОСТАНОВИТЬ ЗАПИСЬ» самописца.

9) При необходимости увеличить и переместить в удобное место с помощью соответствующих кнопок полезную область сигнала и приступить к обработке.

10) Нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа U_C и щелкнуть левой кнопкой мыши в начале кривой заряда конденсатора (красный график). Определить координату X_0 начала времени отсчёта заряда.

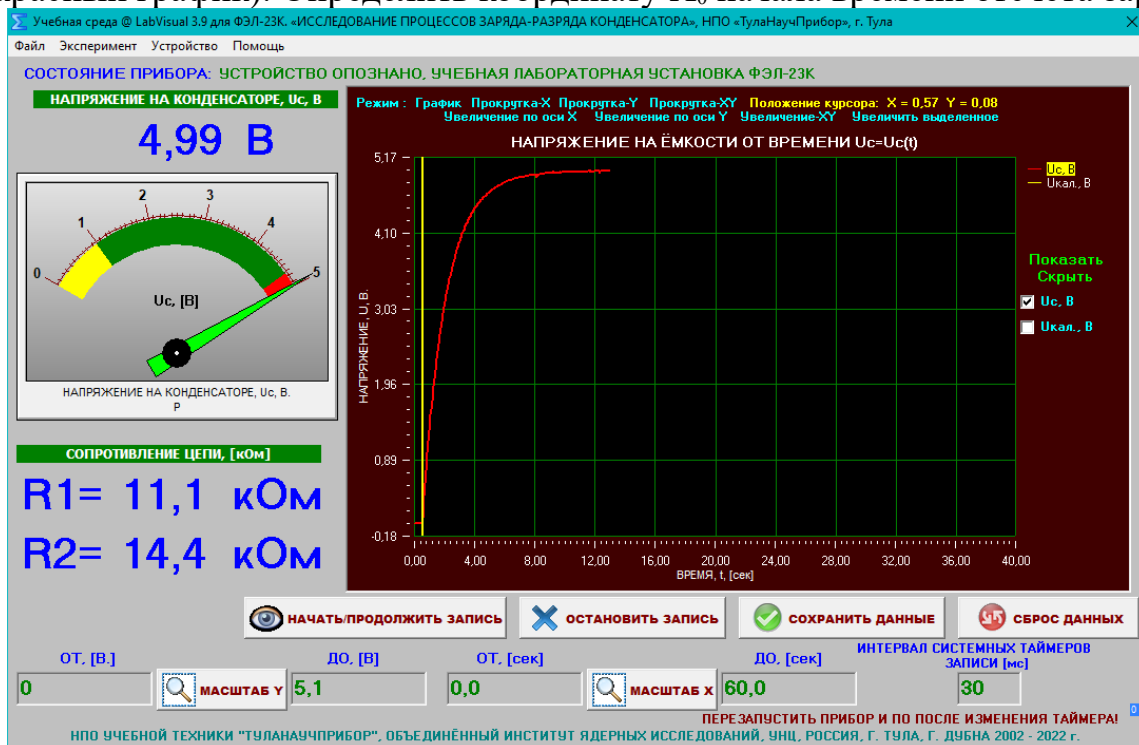


Рис. 4.4. Кривая заряда конденсатора. Метка установлена в начале отсчёта времени. Согласно рисунку $X_0 \approx 0,57 \text{ сек}$.

11) Перемещая метку по графику, найти точку Y_τ со значением напряжения $Y_\tau = U_C = 0,636 \cdot U_0 \approx 3,18 \pm 0,05$ В рис. 4.5, рис. 2.1 (а).

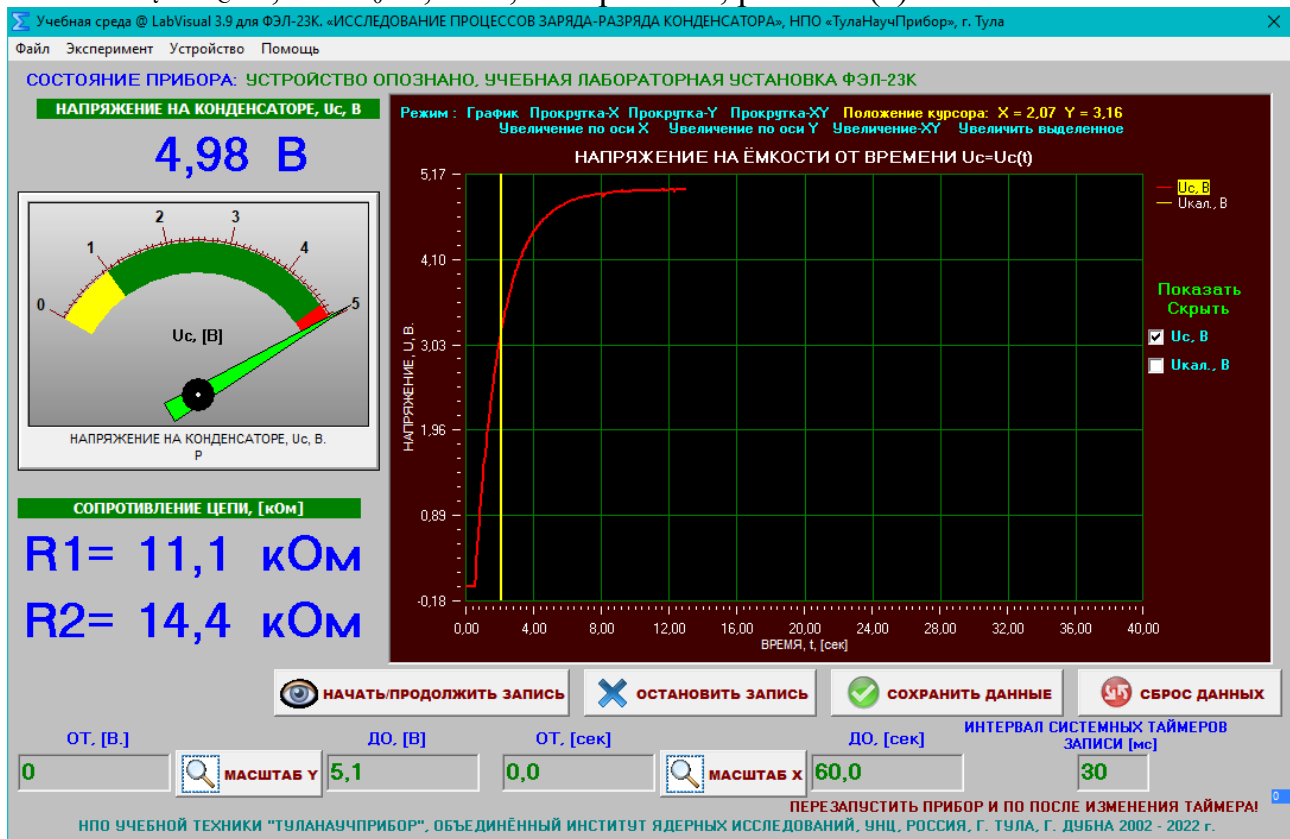


Рис. 4.5. Кривая заряда конденсатора. Метка установлена в положении

$Y_\tau = U_C = 0,636 \cdot U_0 \approx 3,18 \pm 0,05$ В. Согласно рисунку $X_1 \approx 2,07$ сек.

12) Определить координату X_1 в точке Y_τ . В случае рис. 4.5 $X_1 \approx 2,07$ сек.

13) Вычислить экспериментально постоянную времени $\tau_{\text{экс}} = X_1 - X_0$. В случае рис. 4.5 $\tau_{\text{экс}} \approx 2,07 - 0,57 = 1,5$ сек.

14) Вычислить теоретически постоянную времени $\tau_{\text{теор}} = R_1 \cdot C$. Для схемы с $R_1 = 11,1$ кОм $= 11100$ Ом и $C = C_1 = 100$ мкФ $= 100 \cdot 10^{-6}$ Ф $\tau_{\text{теор}} = 1,1$ сек.

15) Нажать кнопку «НАЧАТЬ/ПРОДОЛЖИТЬ ЗАПИСЬ» самописца и одновременно перевести переключатель SA1 в положение «РАЗРЯД II».

16) При этом в окне самописца должна наблюдаться кривая напряжения разряда конденсатора от времени $U_C = U_C(t)$ рис. 4.6, рис. 2.1 (б).

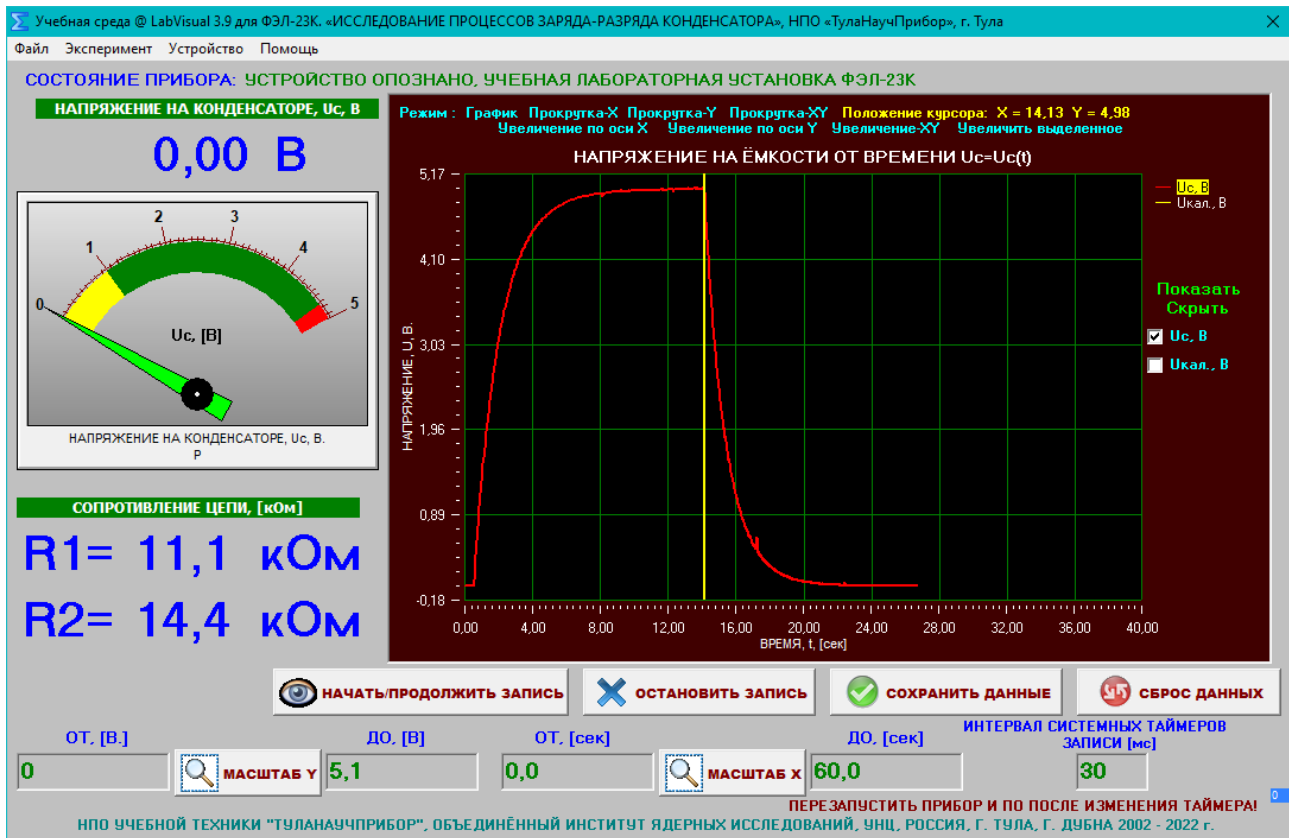


Рис. 4.6. Кривая разряда конденсатора. Метка установлена в начале отсчёта времени. Согласно рисунку $X_0 \approx 14,13$ сек.

17) При достижении напряжения на конденсаторе $U_c = 0,00 \pm 0,05$ В нажать на кнопку «ОСТАНОВИТЬ ЗАПИСЬ» самописца.

18) При необходимости увеличить и переместить в удобное место с помощью соответствующих кнопок полезную область сигнала и приступить к обработке.

19) Нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа U_c и щелкнуть левой кнопкой мыши в начале кривой разряда конденсатора (красный график). Определить координату X_0 начала времени отсчёта разряда.

20) Перемещая метку по графику, найти точку Y_τ со значением напряжения $Y_\tau = U_c = (1 - 0,636) \cdot U_0 \approx 0,364 \cdot U_0 = 1,82 \pm 0,05$ В рис. 4.7, рис. 2.1 (б).

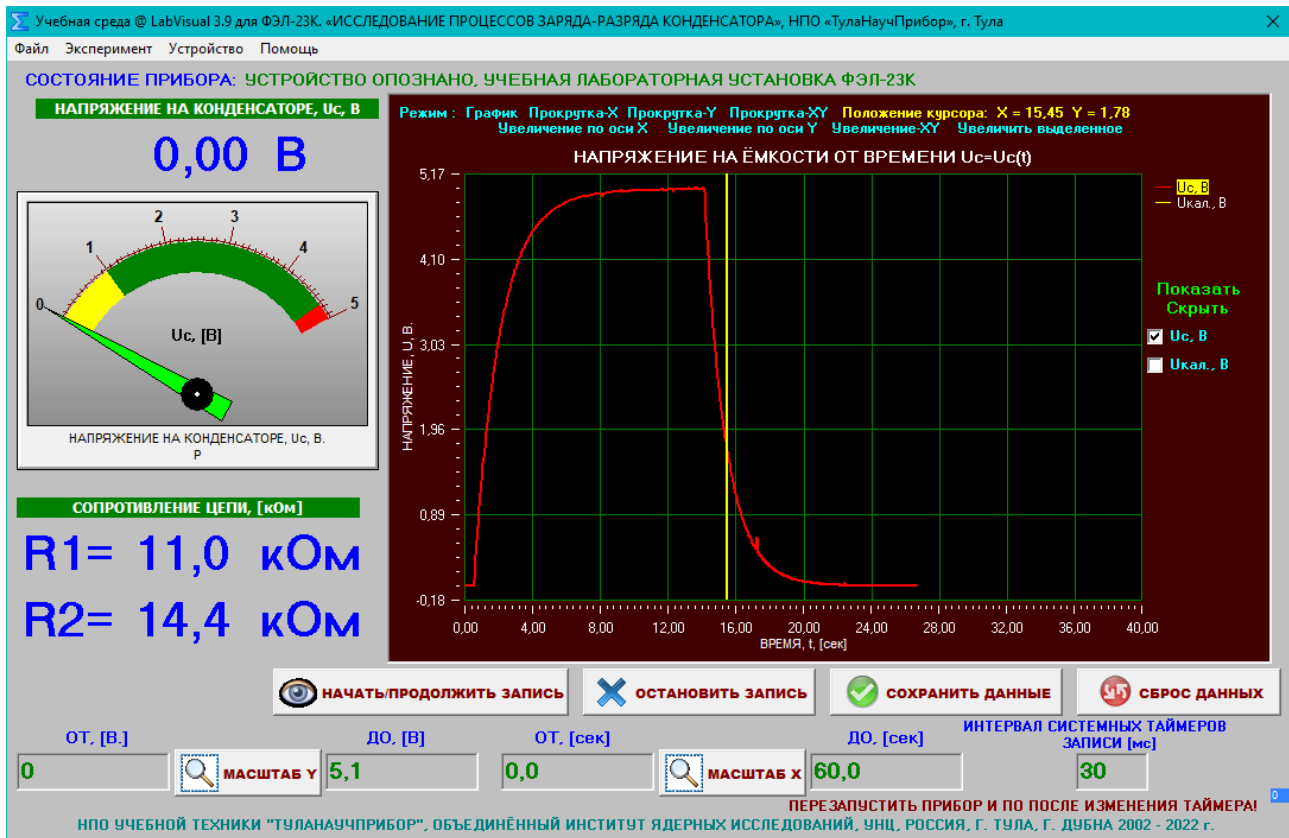


Рис. 4.7. Кривая разряда конденсатора. Метка установлена в положении $Y_{\tau} = U_c = 0,364 \cdot U_0 = 1,82 \pm 0,05$ В. Согласно рисунку $X_1 \approx 15,45$ сек.

21) Определить координату X_1 в точке Y_{τ} . В случае рис. 4.7 $X_1 \approx 15,45$ сек.

22) Вычислить экспериментально постоянную времени $\tau_{\text{экс}} = X_1 - X_0$. В случае рис. 4.7 $\tau_{\text{экс}} \approx 15,45 - 14,13 = 1,3$ сек.

23) Вычислить теоретически постоянную времени $\tau_{\text{теор}} = R_2 \cdot C$. Для схемы с $R_2 = 14,4 \text{ кОм} = 14400 \text{ Ом}$ и $C = C_1 = 100 \text{ мкФ} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ $\tau_{\text{теор}} = 1,4$ сек.

24) Повторить указанные выше действия для других значений сопротивлений R_1 и R_2 и других ёмкостей из магазина конденсаторов $C_1 \dots C_4$. Суммарная ёмкость цепи C (эквивалентный конденсатор) равна сумме ёмкостей параллельно подключённых конденсаторов $C_1 \dots C_4$.

25) Для проверки работы самописца можно включить отображение калибровочных импульсов $U_{\text{КАЛ}}$ установкой галочки у соответствующего пункта «ПОКАЗАТЬ/СКРЫТЬ» справа от графика.

26) После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора. **На данном шаге НЕ подключайте прибор к USB порту ПК.**
2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.
3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.
4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно прилагаемому руководству к среде LabVisual.
5. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.
6. Подключить установку к USB порту ПК согласно пункту «Программная часть. Подготовка к работе».
7. Выполнить задания согласно пунктам «Пример работы с прибором и обработка данных».
8. Сравнить полученные экспериментальные результаты с теоретическими расчётами. Следует помнить, что осциллографический метод определения постоянной времени электрической цепи нагляден, но точность измерения составляет 10 — 20 %, в особенности для значений τ менее 2 секунд.
9. По окончании работы следует закрыть программу-оболочку LabVisual и все открытые подпрограммы, закрыть виртуальную среду VirtualBox (при работе в среде Linux).
10. По окончании измерений отключить учебную установку от USB – порта ПК. **После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.**
11. Выключить компьютер, нажав на кнопку, находящуюся в крайнем нижнем левом углу экрана. Из доступных действий выбрать «ВЫХОД»--> «ВЫКЛЮЧИТЬ КОМПЬЮТЕР».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Какие процессы в электрической цепи называются стационарными, квазистационарными, переходными?
2. Изобразите графики зависимости тока в процессе зарядки и разрядки конденсатора.
3. Изобразите графики зависимости напряжения в процессе зарядки и разрядки конденсатора.
4. Какая величина называется постоянной времени контура, каков ее физический смысл?
5. Покажите на принципиальной электрической схеме установки цепи зарядки и разрядки конденсатора.
6. Чем определяется продолжительность времени зарядки или разрядки конденсатора.
7. Сформулируйте правила Кирхгофа.
8. Расскажите о методике определения времени релаксации, используя кривую заряда — разряда.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. *Калашников Н.П.* Основы физики. М.: Дрофа, 2004. Т. 1
2. *Савельев И.В.* Курс физики. СПб.: Лань, 2016. Т. 2.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. М.: ACADEMIA, 2005.
4. *Иродов И.Е.* Электромагнетизм. М.: Лань, 2009.
5. *Трофимова Т.И.* Курс физики. М.: Академия, 2015.
6. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Справочник по физике. М.: Наука, 2008.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**