

## **302. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

### **302.1. Цель работы**

Изучение движения электронов в электрическом поле; наблюдение исследуемых сигналов и измерение их основных параметров; изучение процессов заряда и разряда конденсатора и определение времени релаксации.

### **302.2. Теоретический материал**

Движение заряженных частиц в электрическом поле. Конденсаторы. Заряд и разряд конденсатора. [1. С. 89 – 91, 210 – 212].

### **302.3. Постановка задачи**

В работе необходимо исследовать процессы заряда и разряда конденсаторов, рассчитать время релаксации и определить неизвестную емкость конденсатора  $C$ . Результаты измерений представить в виде таблиц и графиков.

### **302.4. Описание установки**

Для изучения движения электронов в электрическом поле, а также исследования процессов заряда и разряда конденсатора и определения времени релаксации используется осциллограф.

Осциллограф обладает высокой чувствительностью и безынерционностью, что позволяет исследовать процессы с длительностью до  $10^{-8}$  с в широком диапазоне частот.

Принцип отображения формы электрических сигналов на экране осциллографа можно представить следующим образом.

Исследуемый переменный электрический сигнал является функцией времени. Две пары пластин электронно-

лучевой трубки (ЭЛТ) отклоняют электронный луч в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для наблюдения на экране ЭЛТ исследуемого сигнала необходимо, чтобы луч отклонялся по горизонтальной оси пропорционально времени, а по вертикальной оси – пропорционально исследуемому напряжению. С этой целью к горизонтально отклоняющим пластинам подводят пилообразное напряжение, которое заставляет луч перемещаться по горизонтали с постоянной скоростью слева направо и быстро возвращаться обратно. Исследуемый сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины, и, следовательно, положение луча в каждый момент времени однозначно соответствует значению исследуемого сигнала в этот момент. За время действия пилообразного напряжения луч вычерчивает кривую изменения исследуемого сигнала со временем. Изображение на экране осциллографа называется осциллограммой.

Структурная схема осциллографа представлена на рис. 302.1. В нее входят: электронно-лучевая трубка, канал вертикального отклонения, канал горизонтального отклонения и блок питания (БП).

Электронно-лучевая трубка – это электровакуумный прибор, который преобразует электрический сигнал в видимое изображение.

ЭЛТ состоит из электронного прожектора, формирующего узкий пучок электронов, горизонтально и вертикально отклоняющих систем и флюоресцирующего экрана, предназначенного для получения видимого изображения.

Электронный прожектор (см. рис. 302.1) состоит: из подогревателя 1, катода 2 с косвенным нагревом, модулятора 3, ускоряющего 4 и фокусирующего 5 электродов. Перечисленные элементы электронного прожектора служат для создания электронного пучка, регулировки его

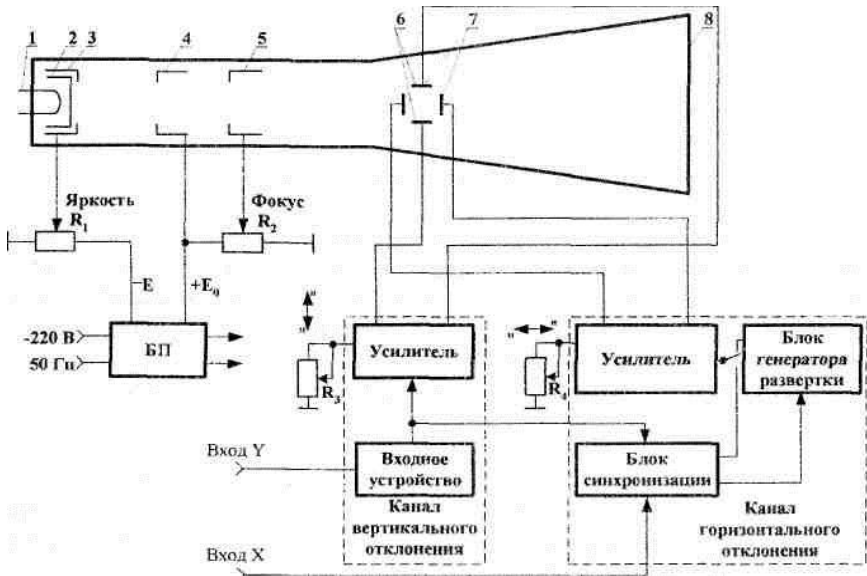


Рис. 302.1

интенсивности (ручка «INTEN») и фокусировки (ручка «FOCUS»).

Пройдя ускоряющее поле электронного прожектора, электроны приобретают кинетическую энергию и движутся к экрану, пролетая между вертикально и горизонтально отклоняющими пластинами 6 и 7. При отсутствии напряжений на отклоняющих пластинах электроны движутся прямолинейно с постоянной скоростью и, попадая на экран 8, создают на нем светящееся пятно. Если на вертикально отклоняющие пластины 6 подана разность потенциалов  $U_y$ , то в пространстве между пластинами на электрон будет действовать сила  $F_y = eU_y/d$ , сообщающая ему ускорение  $a_y$  в направлении, перпендикулярном пластинам:

$$a_y = \frac{eU_y}{md}, \quad (302.1)$$

где  $e$  и  $m$  – заряд и масса электрона соответственно;

$d$  – расстояние между пластинами.

Перемещение электрона вдоль оси  $Y$   $y_1$  в области между пластинами 1 (рис. 302.2) равно

$$y_1 = \frac{a_y t_1^2}{2}, \quad (302.2)$$

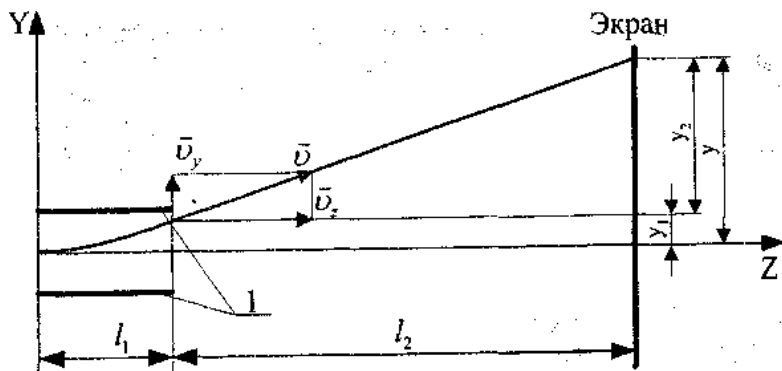


Рис. 302.2

где  $t_1$  – время пролета электрона между пластинами.

В соотношении (302.2)

$$t_1 = \frac{l_1}{v_z}, \quad (302.3)$$

где  $l_1$  – длина отклоняющих пластин;  $v_z$  – скорость движения электронов вдоль оси  $z$ .

Подставляя значения  $a_y$  и  $t_1$  из выражений (302.1) и (302.3) в соотношение (302.2), получим

$$y_1 = \frac{e l_1^2 U_y}{2 m d v_z^2}. \quad (302.4)$$

Перемещение электрона вдоль оси  $Y$   $y_2$  после прохождения отклоняющих пластин до экрана ЭЛТ может быть записано в виде

$$y_2 = v_y t_2, \quad (302.5)$$

где  $v_y$  – скорость электрона вдоль оси Y, которую он приобрел к моменту вылета из пространства между пластинами и экраном;

$t_2$  – время движения электрона от отклоняющих пластин до экрана ЭЛТ.

Составляющую скорости  $v_y$  и время  $t_2$  можно определить из соотношений

$$v_y = a_y t_1 \quad (302.6)$$

и

$$t_2 = \frac{l_2}{v_z}. \quad (302.7)$$

Подставляя значения  $a_y$ ,  $t_1$ , и  $t_2$  из выражений (302.1), (302.3) и (302.7) в выражение для  $y_2$  (302.5), получим

$$y_2 = \frac{el_1 l_2 U_y}{mdv_z^2}. \quad (302.8)$$

Полное отклонение  $y = y_1 + y_2$  получим, используя соотношения (302.4) и (302.8), в виде

$$y = \frac{el_1(l_1 + 2l_2)U_y}{2mdv_z^2}. \quad (302.9)$$

Модуль скорости электрона определяется следующим соотношением:

$$v = \sqrt{v_z^2 + v_y^2}, \quad (302.10)$$

где  $v_z$  определяется из формулы (302.9)

$$v_z = \sqrt{\frac{el_1(l_1 + 2l_2)U_y}{2mdy}}; \quad (302.11)$$

$v_y$  – определяется из уравнения (302.6), подставляя в него вместо  $a_y$ ,  $t_1$  и  $v_z$  их значения из (302.1), (302.3) и (302.11) соответственно:

$$v_y = \sqrt{\frac{2el_1 y U_y}{md(l_1 + 2l_2)}}. \quad (302.12)$$

Из формулы (302.9) видно, что отклонение электрона зависит от разности потенциалов отклоняющих пластин и пропорционально ему. Обозначим

$$P = \frac{eI_1(l_1 + 2l_2)}{2mdv_z^2}. \quad (302.13)$$

Тогда  $y = PU_y$ . Величина  $P = y/U_y$  называется чувствительностью ЭЛТ в направлении Y. Обратная чувствительности величина  $k_y = U_y/y$  показывает, какая разность потенциалов, приложенная к вертикально отклоняющим пластинам, вызывает смещение луча на единицу длины в направлении оси Y. Если к пластинам приложить периодически изменяющееся напряжение, то электронный луч на экране прочертит прямую линию, длина которой будет пропорциональна максимальному значению напряжения, приложенного к пластинам.

Аналогичные явления происходят с электронным лучом при подаче разности потенциалов на горизонтально отклоняющие пластины 7.

Чтобы на экране трубки вызвать смещение электронного луча на расстояние  $x$  в направлении горизонтальной оси, необходимо приложить напряжение  $U_x$  к горизонтально отклоняющим пластинам. Величина  $k_x = U_x/x$  показывает, какая разность потенциалов, приложенная к горизонтально отклоняющим пластинам, вызывает смещение луча на единицу длины в направлении оси X. Если разность потенциалов  $U_x$  и  $U_y$  подать одновременно на горизонтально и вертикально отклоняющие пластины, то электронный луч одновременно сместится вдоль соответствующих осей и займет положение на экране трубки, характеризуемое координатами  $x$  и  $y$ . Обычно на вертикально отклоняющие пластины подается исследуемый сигнал, а на горизонтально отклоняющие пластины подается сигнал от генератора развертки в виде пилообразного напряжения (рис. 302.3).

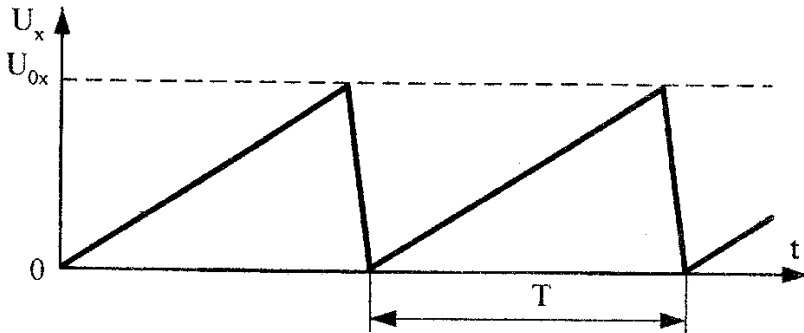


Рис. 302.3

Чтобы получить изображение входного сигнала, необходимо одновременно с подачей сигнала на вертикально отклоняющие пластины подать линейно изменяющееся во времени напряжение на горизонтально отклоняющие пластины, т.е. подать развертывающее напряжение. Принципиально важным являются выбор момента подачи развертывающего напряжения и скорость его изменения во времени.

Схема синхронизации и запуска развертки осуществляет выбор момента времени запуска развертки и формирует импульсы постоянной амплитуды независимо от величины и формы проходящего на вход сигнала. Например, для синусоидального сигнала оптимальным является момент времени, совпадающий с моментом изменения полярности сигнала.

Если генератор развертки, вырабатывающий пилообразное напряжение, запускать в моменты, когда входной сигнал меняет свою полярность, например, от отрицательной к положительной, электронный луч всегда будет попадать в точку на экране с одинаковыми координатами, а это обеспечит создание неподвижного изображения.

Функциональное назначение генератора развертки заключается в формировании пилообразного напряжения с периодом  $nT$ , где  $n$  – целое число, равным или кратным периоду измеряемого сигнала. Пилообразное напряжение усиливается до необходимой величины усилителем горизонтального отклонения и поступает на горизонтально отклоняющие пластины. Это обеспечит смещение электронного луча вдоль горизонтальной оси с постоянной скоростью.

На горизонтально отклоняющие пластины кроме пилообразного напряжения можно также подавать внешнее напряжение непосредственно или через усилитель горизонтального отклонения.

Основное назначение усилителя горизонтального отклонения то же, что и усилителя вертикального отклонения. Усилитель имеет возможность с помощью переменного резистора  $R_4$  регулировать начальную разность потенциалов на горизонтально отклоняющих пластинах для изменения положения изображения на экране осциллографа по горизонтали.

В настоящей работе используется осциллограф АСК-7022, в котором ЭЛТ имеет двойной набор электронных прожекторов, работающих на общий экран, а также имеется два усилителя вертикального отклонения.

В данной работе осциллограф применяется для изучения процессов заряда и разряда конденсатора.

Предположим, что конденсатор емкостью  $C$  был заряжен количеством электричества  $q$ . При подключении заряженного конденсатора к резистору с сопротивлением  $R$  по последнему потечет ток и конденсатор будет разряжаться. За время  $dt$  заряд конденсатора уменьшится на величину

$$dq = -Idt, \quad (302.14)$$

где  $I$  – мгновенное значение тока.

По закону Ома



$$I = \frac{U}{R} = \frac{q}{RC}, \quad (302.15)$$

где  $U$  – мгновенное значение напряжения на конденсаторе.

Продифференцировав уравнение (302.15), получим

$$dq = RCdI. \quad (302.16)$$

Приравнивая правые части уравнения (302.16) и (302.14), имеем

$$RCdI = -Idt.$$

Решив это дифференциальное уравнение, получим

$$I = I_0 e^{-\frac{1}{RC}t}, \quad (302.17)$$

где  $I$  – ток в цепи через время  $t$  после подключения резистора;

$I_0$  – ток в цепи в первый момент после подключения к конденсатору резистора;

$e$  – основание натурального логарифма.

Аналогичная зависимость имеет место и для напряжения на конденсаторе

$$U = U_{0раз} e^{-\frac{1}{RC}t},$$

где  $U_{0раз}$  – начальное напряжение при разряде конденсатора.

Ток заряда конденсатора имеет направление, противоположное току разряда, и изменяется в зависимости от времени по тому же закону, что и ток разряда (302.17).

Напряжение на конденсаторе при его заряде возрастает следующим образом:

$$U = U_{0зар} \left( 1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right),$$

где  $U_{0зар}$  – конечное значение напряжения при заряде конденсатора.

Время  $\tau$ , в течение которого ток заряда (или разряда) конденсатора уменьшается в  $e$  раз, называется временем релаксации. По истечении времени релаксаций  $\tau = RC$  ток в цепи равен

$$I = \frac{I_0}{e}.$$

Время релаксации может быть определено по формуле

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{I_0}{I}}. \quad (302.18)$$

Лабораторная установка для исследования процессов заряда и разряда конденсатора (рис. 302.4) состоит из осциллографа АСК-7022, передняя панель которого представлена на рис. 302.5, лабораторного макета и генератора сигналов SFG -2110.

Лабораторный макет представляет собой цепь, позволяющую исследовать временную зависимость заряда и разряда конденсатора и наблюдать форму входного напряжения, характер изменения напряжения на емкости при заряде и разряде, а также характер изменения тока при заряде и разряде.

Источником входного сигнала (периодической последовательности прямоугольных импульсов) является генератор SFG-2110. Сигнал подается с гнезда «Выход» генератора TTL/CMOS OUTPUT генератора на гнездо «Вход» лабораторного макета. Второй выход генератора OUTPUT подключен к входу внешней синхронизации осциллографа.

Переключатель  $S1$  макета имеет два положения. В положении «1» переключатель замкнут, и сопротивления  $R1$  и  $R2$  образуют резистивный делитель. При этом гнезда «Y1» и «Y2» соединяются параллельно, а емкости  $C1$  и  $C2$ ,

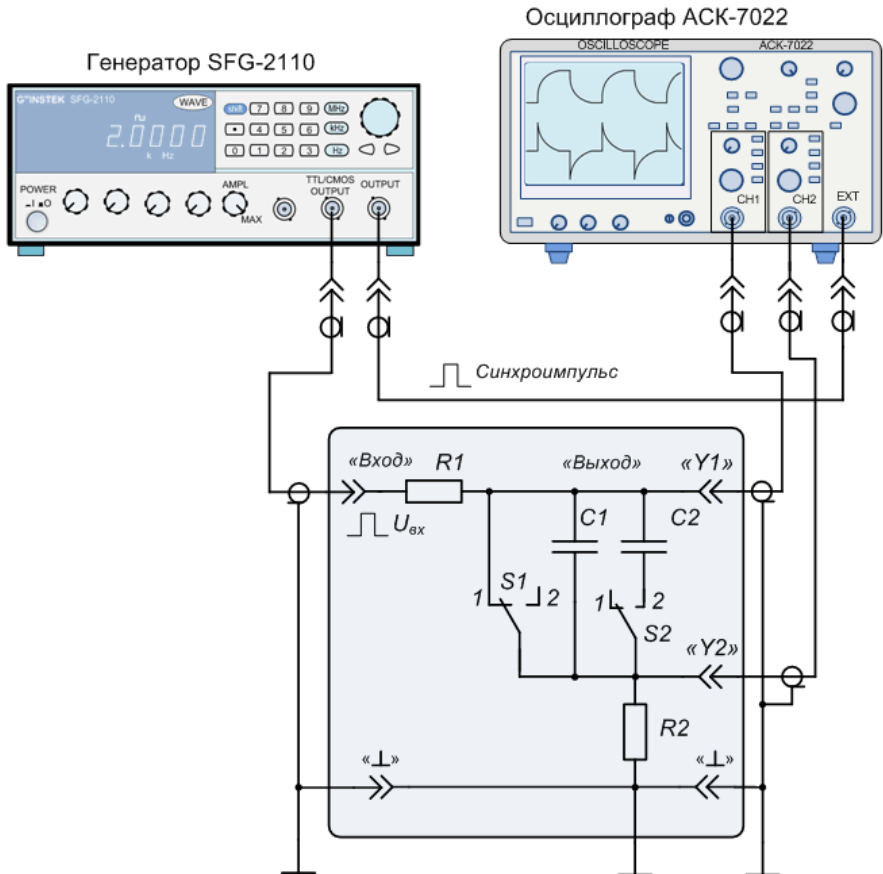


Рис. 302.4

независимо от положения переключателя  $S_2$ , не оказывают влияния на форму входного сигнала. В этом положении переключателя  $S_2$  контролируется форма входного сигнала.

Для исследования процессов заряда и разряда конденсатора переключатель  $S_2$  устанавливают в положение «2».

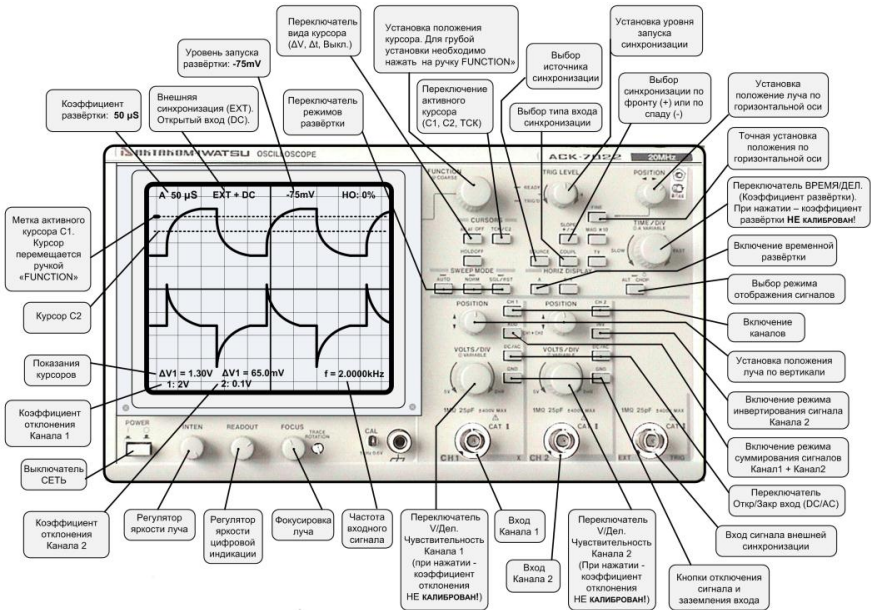


Рис. 302.5

Переключатель  $S2$  также имеет два положения и предназначен для изменения емкости в цепи лабораторного макета. Положение «1» соответствует включению конденсатора  $C1$  положение «2» – параллельному включению конденсаторов  $C1$  и  $C2$ .

Соотношение резисторов макета удовлетворяет неравенству  $R1 \gg R2$ .

Таким образом, на гнездо «Y1» выведен сигнал, пропорциональный напряжению на емкости  $C1$ , на гнездо «Y2» – сигнал, пропорциональный току в исследуемой цепи.

### 302.5. Порядок выполнения экспериментальной части работы



1. Собрать экспериментальную установку по схеме

(см. рис. 302.4). Установка состоит из электронного осциллографа **АСК-7022**, функционального генератора **SFG2110**, выдающего прямоугольные импульсы, и лабораторного макета. Прямоугольные импульсы амплитудой 5 В и частотой следования 2 кГц с генератора через резистор **RI** поступают на конденсаторы **CI** или **CI+C2**. Лабораторный макет позволяет исследовать временную зависимость заряда и разряда конденсатора и наблюдать на экране осциллографа форму входного напряжения, характер изменения напряжения на конденсаторе при заряде и разряде, а также характер изменения тока при заряде и разряде.

2. Подключить питание генератора и включить его кнопкой «**POWER**» (СЕТЬ).

3. Установить на генераторе **SFG2110** (см. рис. 302.4) ручку «**AMPL**» (АМПЛИТУДА) в среднее положение. Эта ручка должна находиться в нажатом положении. Генератор будет выдавать напряжение на выходе «**OUTPUT**» (ВЫХОД) 5 В.

4. Установить с помощью клавиш цифрового набора частоту сигнала 2 кГц и после набора частоты нажать клавишу «**kHz**». При этом на дисплее будут видны цифры **2.0000**, а под ними – значение единиц измерения частоты **kHz**.

5. Клавишей «**WAVE**» (ФОРМА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА) выбрать прямоугольную форму сигнала () . На дисплее над цифрами частоты сигнала будет светиться индикатор импульсов прямоугольной формы  и индикатор «**TTL/CMOS**».

Если будут ошибочно нажаты другие кнопки, и генератор будет выдавать сигнал другой формы или на дисплее появится «**ERROR**» (ОШИБКА), то можно нажать кнопку «**SHIFT**», а затем – кнопку «2», при этом в генераторе восстановятся заводские настройки. После

этого можно вновь выполнить пп. 3-5.

Остальные органы управления генератора не используются в данной работе.

Для исследования процессов заряда и разряда конденсатора переключатель **S1** установить в положение 2.

6. Подключить питание осциллографа **АСК-7022** и включить сетевой выключатель «**POWER**» (СЕТЬ) (см. рис. 302.4).

7. После прогрева осциллографа, регулятором «**INTEN**» (ЯРКОСТЬ) установить необходимую яркость луча. При необходимости регулятором «**READOUT**» (ПОКАЗАНИЯ) произвести установку яркости дисплея (буквенно-цифровой индикации в верхней и нижней части экрана). На этом дисплее отображаются основные параметры и режимы работы осциллографа. Регулятором «**FOCUS**» (ФОКУСИРОВКА) произвести фокусировку луча.

8. Нажать кнопку «**A**» (ВКЛЮЧЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЁРТКИ). В этом режиме развёртку по горизонтали осуществляет блок развёртки с генератором пилообразного напряжения и блоком синхронизации, а развёртку по вертикали – два канала усилителей: «**CH1**» (КАНАЛ1) и «**CH2**» (КАНАЛ2).

В осциллографе АСК-7022 используется электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с одной электронной пушкой, а получение на экране двух осциллограмм осуществляется с помощью электронного коммутатора. Такой тип осциллографа называется двухканальным.

9. Включить Канал-1 кнопкой «**CH1**» (КАНАЛ1), а Канал-2 – кнопкой «**CH2**» (КАНАЛ2). При этом на дисплее (в нижней части экрана) появится надпись «**1 : ... V**» «**2 : ... mV**», показывающая установленные коэффициенты отклонения соответствующих каналов. Кнопками «**GND**» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) в каждом канале можно отключать вход

канала от исследуемого сигнала и заземлять его, при этом на экране будет видна горизонтальная нулевая линия. На дисплее возле индикации коэффициента отклонения появится знак  $\perp$ .

10. Включить кнопкой «**AUTO**» (АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАЗВЁРТКА) переключателя режимов развёртки «**SWEEP MODE**» режим автоматической развёртки (**первый режим**). В этом режиме запуск развёртки происходит даже при отсутствии сигнала синхронизации, но, конечно, осциллограмма будет нестабильна, потому что генератор развёртки будет работать на частоте собственных колебаний, которая никак не связана с частотой исследуемого сигнала. Когда же сигнал синхронизации присутствует, то в режиме автоматической развёртки происходит синхронизация развёртки и на экране будет устойчивое положение исследуемого сигнала.

Во **втором режиме** (кнопка «**NORM**» (ЖДУЩАЯ РАЗВЁРТКА)) при отсутствии сигнала синхронизации запуска развёртки не происходит, и на экране не будет линии развёртки, что не всегда удобно. Например, если амплитуда сигнала синхронизации окажется меньше уровня запуска развёртки, то осциллограмма может просто исчезнуть с экрана. Поэтому этот режим не используется в данной работе.

**Третий режим** (кнопка «**SGL/RST**» (ОДНОКРАТНАЯ РАЗВЁРТКА)) служит для одиночного прохода развёртки и в данной работе не используется.

11. Кнопкой «**SOURCE**» (ВЫБОР ИСТОЧНИКА СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ) выбрать режим «**EXT**» (ВНЕШНЯЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ). В этом режиме сигнал синхронизации будет поступать через разъём «**EXT TRIG**» (ВНЕШНЯЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ) с разъёма «**OUTPUT**» (ВЫХОД) генератора **SFG2110** (см. рис. 302.4). Достоинст-

вом внешней синхронизации является то, что стабильность осциллограммы не зависит от формы исследуемого сигнала и его амплитуды. Кнопкой «**SOURCE**» можно также выбирать и другие источники сигнала синхронизации (от Канала – 1, от Канала – 2 или от напряжения сети), но они в данной работе не используются.

12. Кнопкой «**COUPL**» (ВЫБОР ТИПА ВХОДА СИНХРОНИЗАЦИИ) выбрать тип открытого «**DC**» или закрытого «**AC**» входа синхронизации. Этой же кнопкой можно выбирать типы входов «**HF REJ**» (ПОДАВЛЕНИЕ ВЧ) или «**LF REJ**» (ПОДАВЛЕНИЕ НЧ), при этом сигнал синхронизации проходит через фильтры, которые подавляют высокочастотные или низкочастотные компоненты сигнала синхронизации. В данной работе фильтры в канале синхронизации не используются.

13. Кнопкой «**SLOPE +/ -**» (ВЫБОР СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ФРОНТУ ИЛИ ПО СПАДУ) включается способ запуска развёртки по фронту  $\uparrow$  сигнала синхронизации (+) (сигнал меняется от минимума к максимуму), или по спаду  $\downarrow$  сигнала синхронизации (-) (сигнал меняется от максимума к минимуму). Для получения осциллограммы, такой как на рис.302.7.б, 302.7.в, необходимо производить синхронизацию по фронту (+). При выборе внешней синхронизации (EXT), открытого входа (DC) и выбора синхронизации по фронту (+) в верхней части экрана появится надпись «**EXT + DC**».

14. Установить, вращая ручку переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.), коэффициент развёртки, равный **50  $\mu$ S**. Индикация коэффициента развёртки «**A 50  $\mu$ S**» будет видна в левом верхнем углу экрана. При нажатии на ручку «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) и её вращении устанавливается некалиброванный коэффициент развёртки, при этом дисплей будет показывать «**A > 50  $\mu$ S**». Этот режим не используется в данной работе.



15. Вращая ручку «**TRIG LEVEL**» (УРОВЕНЬ ЗАПУСКА), необходимо получить устойчивую осциллограмму временных зависимостей заряда и разряда конденсатора (см. рис. 302.7, б, 302.7, в) на экране осциллографа. В нижнем правом углу экрана появится надпись «**f = 2.0000 kHz**», показывающая частоту входного сигнала.

16. Кнопкой «**MAG x 10**» (РАСТЯЖКА ЛИНИИ РАЗВЁРТКИ В 10 РАЗ) можно «растянуть» длину линии развёртки – увеличить её в 10 раз, при этом в правом нижнем углу экрана появляется надпись «**MAG**». Но из-за возрастания скорости перемещения луча по экрану, уменьшается его яркость, поэтому этот режим не используется в данной работе.

17. Установить переключателем «**VOLTS/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) Канала-1 «**CH1**» коэффициент отклонения в положение 2V /дел., а Канала-2 – 100 mV/дел. При этом в левом нижнем углу экрана дисплей будет показывать «**1 : 2V**» и «**2 : 100 mV**». Нажатие на ручки этих переключателей приведёт к установке некалиброванного коэффициента отклонения канала. При этом на экране появится надпись: «**1 :> 2V**» или «**2 :> 100 mV**». Этот режим не используется в данной работе, и для его отключения следует повторно нажать на эту ручку.

18. Кнопка «**AC/DC**» служит для переключения входов Канала-1 в режим закрытого или открытого входа. При закрытом входе на надписи «**1 : 2V**» над буквой **V** появляется знак «**~**». В данной работе эта кнопка может быть в любом положении.

19. В результате выполнения предыдущих пунктов на экране должно появиться устойчивое изображение формы сигнала. С помощью регуляторов установки положения луча по вертикали «**POSITION**  $\updownarrow$ » (ПОЛОЖЕНИЕ  $\updownarrow$ ) в Канале-1 и Канале-2 установите изображение исследуемого сигнала примерно как на рис. 302.5.

Положение вдоль горизонтальной оси можно устанавливать регулятором «**POSITION** < >» (он находится в правом верхнем углу передней панели осциллографа), причём при нажатии кнопки «**FINE**» (ПЛАВНО), производится плавная регулировка.

Все описанные операции служат для предварительной настройки осциллографа.

20. Далее при выполнении измерений различных параметров исследуемого сигнала можно устанавливать переключателем «**VOLTS/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) другие коэффициенты отклонения, изменяя размер изображения, а с помощью переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) производить «сжатие» или «растяжку» изображения по горизонтальной оси.

21. На осциллографе АСК-7022 возможно производить измерения с помощью курсоров. Использование курсоров ускоряет измерения и значительно уменьшает погрешность измерения по сравнению с традиционными методами измерения с помощью масштабной сетки экрана осциллографа.

В режиме временной развёртки можно измерять разность напряжения  $\Delta V$  по вертикальной оси и длительность временных интервалов  $\Delta t$  по горизонтальной оси. Для включения курсорных измерений необходимо нажать кнопку « **$\Delta V \Delta t$  OFF**» ( $\Delta V \Delta t$  ВЫКЛ.), которая переключает виды курсоров в последовательности: **горизонтальные курсоры – вертикальные курсоры – выкл.** При включении горизонтальных курсоров (измерение разности напряжения  $\Delta V$ ) на экране появляются две пунктирные горизонтальные линии курсора С1 и курсора С2, причём кнопкой выбора активного курсора «**ТСК/С2**» можно сделать активным любой из курсоров: С1 или С2. В режиме **ТСК** (СЛЕЖЕНИЕ) будут активны оба курсора (режим

слежения в данной работе **не используется**). Если выбран активным курсор  $C1$ , то в верхнем правом углу экрана появится надпись «**f: V – C1**». Если выбран активным курсор  $C2$ , то появится надпись: «**f: V – C2**». Активный курсор на экране выделен яркой меткой на конце пунктира, и его можно перемещать, вращая ручку «**FUNCTION**» (ФУНКЦИЯ), которая при нажатии на неё и вращении осуществляет грубое перемещение. Отсчёт показаний курсоров  $\Delta V$  будет показан в нижнем левом углу экрана. Например, « **$\Delta V1 = 1.30V$** ».

Выбрав кнопкой « **$\Delta V \Delta t \text{ OFF}$** » ( $\Delta V \Delta t$  ВЫКЛ.) вертикальные курсоры, можно по горизонтальной оси измерять длительности временных интервалов  $\Delta t$ . При этом на экране вверху справа появится надпись: «**f: H – C1**» или – «**f: H – C2**» в зависимости от выбранного активного курсора. Отсчёт показаний  $\Delta t$  будет показан в нижнем левом углу экрана. Например, если дисплей (при произвольно установленных курсорах) показывает « **$\Delta t = 200 \mu S, 1/\Delta t = 5.00kHz$** », то надпись « **$1/\Delta t = 5.00kHz$** » означает, что микроконтроллер осциллографа «**вычислил**» величину обратную измеренному интервалу  $\Delta t = 200 \mu S$  и получилось **5 кГц**.

Остальные органы управления осциллографа не используются в данной работе.

22. Вращая ручку переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.), получить на экране осциллографа изображение одного периода зависимости  $U_c(t)$  и  $I_c(t)$  (см. рис 302.6,б и рис 302.6,в) соответственно.

Форму входного сигнала  $U_{вх}$  можно проконтролировать, установив переключатель  $S1$  в положение «1». Затем вновь установить этот переключатель в положение «2».

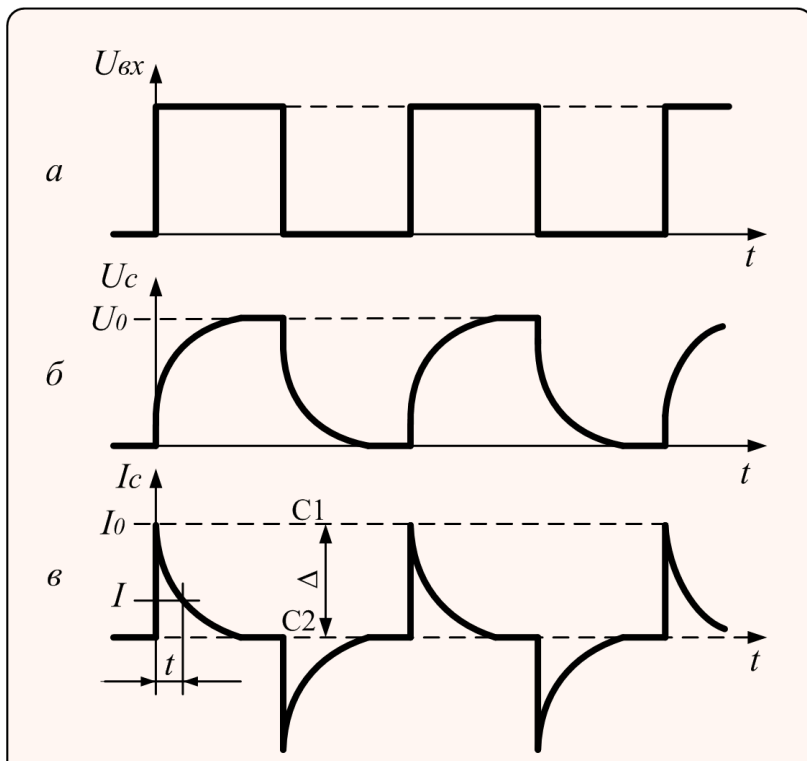


Рис. 302.6

23. Используя курсоры, измерить величины  $U_0$ ,  $I_0$ . При измерении  $U_0$  и  $I_0$  выбрать кнопкой « $\Delta V \Delta t$  OFF» ( $\Delta V \Delta t$  ВЫКЛ.) горизонтальные курсоры. Установить курсор C2 на горизонтальную ось. Для этого можно выключить исследуемый сигнал кнопкой «GND» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) в соответствующем канале, совместить курсор C2 с горизонтальной линией, а затем снова включить сигнал. Установить курсор C1 на вершины соответствующих импульсов (рис. 302.6, в). Отсчёт показаний курсоров будет показан внизу экрана. Если производится измерение параметров напряжения на конденсаторе  $U_c(t)$  (см. рис. 302.6, б), то надо считывать показания « $\Delta V1 = \dots V$ », а если

измеряется величина тока через конденсатор  $I_c(t)$  (см. рис. 302.6,е), то надо считывать показания « $\Delta V2 = \dots mV$ ».

При измерениях токов необходимо показания курсоров  $\Delta V2$  пересчитать в величину тока  $I_0 = \Delta V2/R2$ , где  $R2 = 1,2 \text{ кОм}$ .

24. Определить величину  $I$  для произвольной точки  $t$ . Для измерения  $I$  «растянуть» осциллограмму с помощью переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.), установив коэффициент развёртки, равный  $20 \mu S$ . Затем регулятором «**POSITION < >**» установить изображение осциллограммы так, чтобы произвольная точка  $t$  лежала на одной из вертикальных линий масштабной сетки экрана, измерить величину  $I$  устанавливая курсор – С2 на горизонтальную ось графика зависимости  $I_c(t)$  (аналогично п. 23), а курсор С1 – на точку пересечения зависимости  $I_c(t)$  с выбранной вертикальной линией масштабной сетки. Считать показания. Для удобства измерений  $I_c(t)$  можно выключить Канал-1 кнопкой «**CH1**» (КАНАЛ1).

Измерить величину  $t$ . Для этого необходимо выбрать кнопкой « **$\Delta V \Delta t$  OFF**» ( $\Delta V \Delta t$  ВЫКЛ.) вертикальные курсоры, установить курсор С2 на начало осциллограммы, а курсор С1 на ту вертикальную линию масштабной сетки экрана, которая была выбрана для измерения величины  $I$ . Рассчитать по формуле (302.18) время релаксации  $\tau$ .

25. По известным величинам сопротивлений  $R1=27 \text{ кОм}$  и  $R2=1,2 \text{ кОм}$  и рассчитанному значению  $\tau$  определить неизвестную емкость  $C1$  из формулы  $\tau = RC$ , где  $R = R1 + R2$ .

26. Установить переключатель  $S2$  в положение «2» и повторить пп. 22 – 25 для определения неизвестной емкости  $C2$ . При этом надо сначала определить суммарную емкость, а затем уже вычислить из формулы  $C2 = C_{\Sigma} - C1$  собственно величину  $C2$ .

27. Результаты измерений и вычислений занести в

табл. 302.1.

28. Оценить абсолютную и относительную погрешность измерений.

Таблица 302.1

Поло- жение $S_2$	$I_0$ , А	$I$ , А	$U_0$ , В	$t$ , с	$\tau$ , с	$R$ , кОм	$C$ , Ф
«1»						28.2	
«2»						28.2	

### Контрольные вопросы

1. Выведите формулу для чувствительности ЭЛТ.
2. Расскажите об устройстве и принципах работ ЭЛТ.
3. Как происходит движение электронов в ЭЛТ?
4. Почему для развертки осциллографа используют пилообразное напряжение?
5. Выведите формулы для изменений тока и напряжения при заряде и разряде конденсатора.
6. Объясните работу схемы лабораторного макета.
7. Каково назначение элементов схемы лабораторного макета?