

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 47

**ИЗУЧЕНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В
РЕЗОНАНСНОМ КОНТУРЕ**

Работу поставил доцент Авксентьев Ю.И.

Москва - 2020

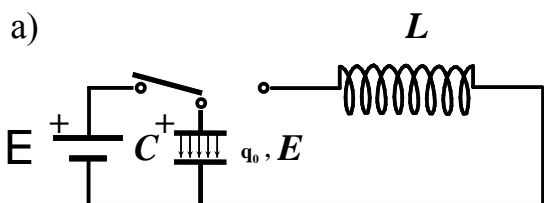
ИЗУЧЕНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В РЕЗОНАНСНОМ КОНТУРЕ

Краткое теоретическое введение

§ 1 Собственные электрические колебания в идеальном контуре.

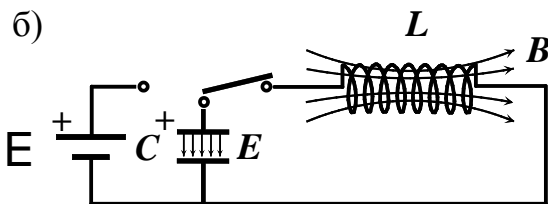
Собственные колебания происходят в изолированной системе, выведенной из положения равновесия. Рассмотрим простейший электрический контур. Он состоит из последовательно соединенных емкости C и индуктивности L .

Чтобы возбудить в контуре колебания, вначале присоединим конденсатор к источнику питания E (рис. 1а). В результате на обкладках конденсатора появится заряд q_0 , а между обкладками – электрическое поле E . Отключим



теперь источник питания и замкнем конденсатор на индуктивность (рис. 1б). Конденсатор начнет разряжаться, и в контуре потечет ток, сила которого

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$



Вместе с уменьшением электрического заряда конденсатора начнет уменьшаться и электрическое поле. При этом в катушке индуктивности возникает магнитное поле B . Найдем закон, по которому изменяются заряд на обкладках конденсатора и ток в контуре.

По второму правилу Киргофа сумма падений напряжений вдоль замкнутого

контура равна сумме эдс, действующих в нем:

$$\frac{q}{C} = -L \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

где $\frac{q}{C} = U_C$ - напряжение на конденсаторе, $\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt}$ - электродвижущая сила самоиндукции.

Учитывая, что $i = \frac{dq}{dt}$, перепишем (2) следующим образом:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} q. \quad (3)$$

Это дифференциальное, однородное уравнение второго порядка. Решить его – значит найти такую функцию времени $q = f(t)$, которая после подстановки ее в это уравнение обратит его в тождество. Нетрудно догадаться, какой вид должна

иметь искомая функция. Из уравнения (3) следует, что функция $q = f(t)$ должна обладать следующим свойством: вторая производная этой функции по времени с точностью до постоянного множителя должна равняться самой функции. Таким свойством, в частности, обладает функция косинус - $q = \cos(t)$. Очевидно, что это свойство функции не изменится, если саму функцию и ее аргумент умножить на некоторые константы A_0, ω_0 и в дополнение к этому прибавить к аргументу $\omega_0 t$ третью константу φ_0 . Таким образом, решение уравнения (3) следует искать в виде

$$q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

В теории колебаний константа A_0 называется амплитудой колебания, ω_0 круговой частотой колебаний, а φ_0 начальной фазой колебаний. Отметим также, что аргумент $\omega_0 t + \varphi_0$ гармонической функции принято называть фазой колебаний.

Для нахождения значений констант A_0, ω_0, φ_0 необходимо вычислить вторую производную $\frac{d^2 q}{dt^2}$ и вместе с функцией q подставить в уравнение (3). Путем вычислений убеждаемся, что функция $q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ удовлетворяет уравнению (3), при условии, если частота колебаний ω_0 равна

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (4)$$

Амплитуда A_0 и начальная фаза φ_0 определяются начальными условиями. Если колебания в контуре возбуждаются так, как представлено на рис. 1, то начальные условия имеют следующий вид:

$$t = 0,$$

$$1) q = q_0,$$

$$2) i = i_0 = \frac{dq}{dt} = 0$$

где q_0 - электрический заряд, возникший на обкладках конденсатора после подключения его к источнику с ЭДС \mathcal{E} .

После подстановки $q = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ в 1) и 2) и решения полученной системы уравнений получим: $A_0 = q_0, \varphi_0 = 0$.

Итак, заряд на обкладках конденсатора $q(t)$ изменяется со временем по гармоническому закону :

$$q = q_0 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right). \quad (5)$$

Таким образом, мы выяснили, что частота собственных колебаний контура ω_0 зависит только от параметров системы: индуктивности L и емкости C .

При вычислении ω_0 надо брать L и C в одной системе единиц: L - в генри, C - в фарадах. Период колебаний T_0 связан с частотой формулой

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (6)$$

То же самое можно сказать об изменении напряжения на конденсаторе:

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right).$$

Продифференцировав (5) по времени, получим силу тока в цепи:

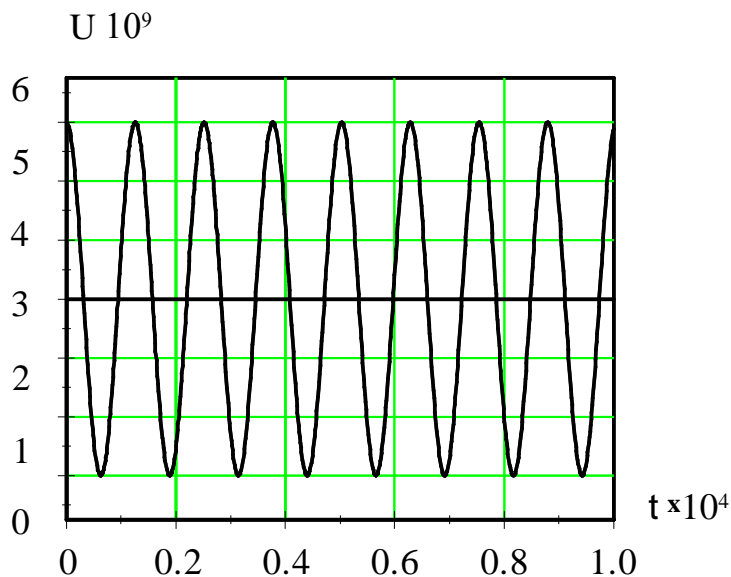


Рис. 2

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\sqrt{LC}} q_0 \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right) = i_0 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Из последнего равенства видно, что колебания тока опережают колебания заряда и напряжения между обкладками конденсатора на $\frac{\pi}{2}$ радиан. Заряд конденсатора обращается в нуль, когда сила тока достигает своей наибольшей величины $i_0 = \omega_0 q_0$. На экране осциллографа колебания напряжения на конденсаторе выглядят так, как это изображено на рис. 2.

§2 Вынужденные электрические колебания

Колебания, которые происходят в электрическом контуре под действием периодически изменяющейся электродвижущей силы (ЭДС), называются вынужденными колебаниями. В случае свободных колебаний амплитуда и начальная фаза определяются начальными условиями, а частота зависит только от свойств самой системы (ее параметров L , C и R). Как показывает опыт,

частота вынужденных колебаний определяется частотой вынуждающей силы. Поэтому можно предположить, что, если в цепи контура действует ЭДС, изменяющаяся по гармоническому закону

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$, то колебания в контуре будут происходить с той же частотой ω .

Рассмотрим вынужденные колебания, возникающие при включении источника переменной ЭДС последовательно с элементами колебательного контура (рис. 3). Предположим, что ЭДС изменяется по гармоническому закону:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t. \quad (7)$$

Тогда согласно второму правилу Киргофа сумма падений напряжений на

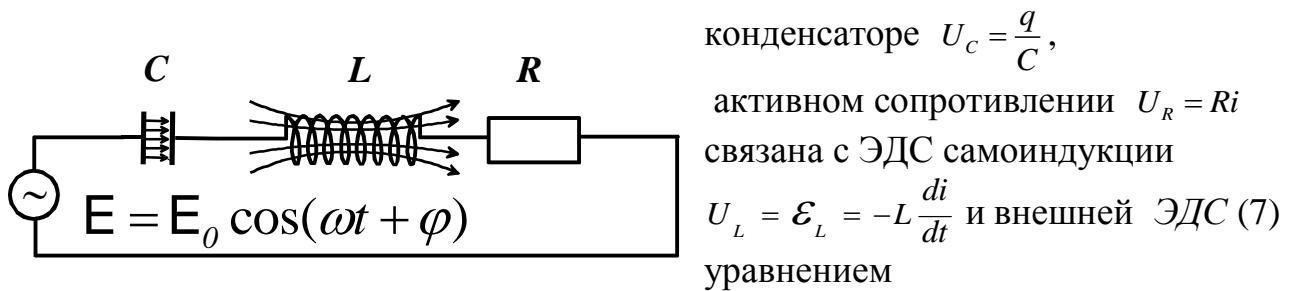


Рис. 3

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t. \quad (8)$$

Если использовать обозначения

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \beta = \frac{R}{2L} \quad (\beta - \text{коэффициент затухания}),$$

то это уравнение может быть переписано в виде,

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = \frac{\mathcal{E}_0}{L} \cos \omega t. \quad (9)$$

Покажем, что этому уравнению удовлетворяет функция,

$$q(t) = q_0 \cos(\omega t + \alpha), \quad (10)$$

описывающая гармоническое колебание с частотой внешней ЭДС. В этой функции α представляет собой разность фаз колебаний заряда и внешней ЭДС. Подставим (10) и ее производные

$$\frac{dq}{dt} = -\omega q_0 \sin(\omega t + \alpha),$$

$$\frac{d^2q}{dt^2} = -\omega^2 q_0 \cos(\omega t + \alpha).$$

в уравнение (9) :

В результате подстановки получим соотношение:

$$(\omega_0^2 - \omega^2)q_0 \cos(\omega t + \alpha) - 2\omega\beta q_0 \sin(\omega t + \alpha) = \frac{\mathcal{E}_0}{L} \cos \omega t .$$

Это равенство должно выполняться при любом t . Раскрывая $\cos(\omega t + \alpha)$ и $\sin(\omega t + \alpha)$ и приравнявая коэффициенты при $\cos \omega t$ и $\sin \omega t$ в левой и правой частях равенства, находим:

$$(\omega_0^2 - \omega^2)q_0 \cos \alpha - 2\omega\beta q_0 \sin \alpha = \frac{\mathcal{E}_0}{L} \quad (11)$$

$$(\omega_0^2 - \omega^2)q_0 \sin \alpha + 2\omega\beta q_0 \cos \alpha = 0 . \quad (12)$$

Из (12) получаем

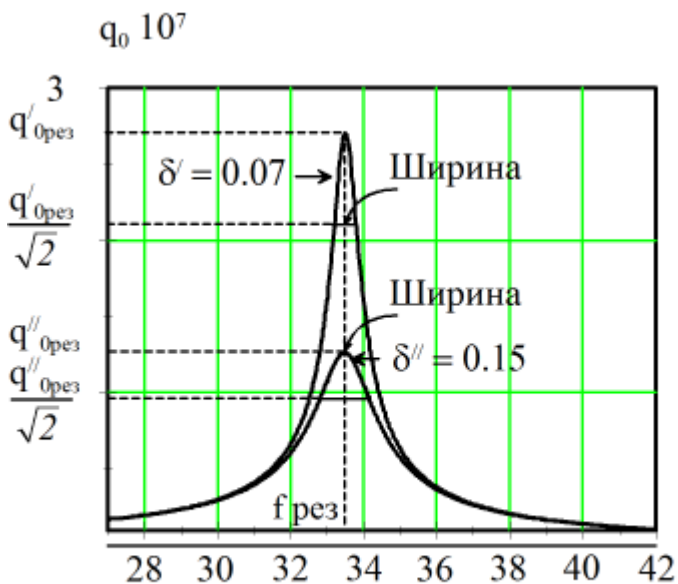
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega\beta}{\omega^2 - \omega_0^2} . \quad (13)$$

Возводя в квадрат (11) и (12) и складывая результат, находим:

$$q_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{L\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\beta^2}} . \quad (14)$$

Таким образом, при наличии в контуре последовательно включенного генератора, ЭДС которого изменяется во времени по гармоническому закону (7), в нем возникают установившиеся гармонические вынужденные колебания (10) с частотой внешней ЭДС ω . Вначале процесса одновременно с вынужденными колебаниями возникают собственные колебания, которые складываются с вынужденными колебаниями. Однако, из-за наличия затухания собственные колебания постепенно затухают. Амплитуда колебаний (14) и сдвиг фаз между вынужденными колебаниями и колебаниями ЭДС генератора (13) зависят от параметров самого контура R, L, C и величин, определяющих внешнюю ЭДС - ω, \mathcal{E}_0 . Из формулы (14) видно, что амплитуда вынужденных колебаний q_0 пропорциональна амплитуде внешней ЭДС \mathcal{E}_0 и зависит от соотношения между собственной частотой колебаний контура ω_0 и частотой внешней ЭДС ω .

Рассмотрим эту зависимость подробнее. Когда частота генератора стремится к нулю (очень медленные колебания), амплитуда вынужденных колебаний стремится к



величине $q_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{L\omega_0^2}$. При

увеличении ω амплитуда q_0 сначала увеличивается, так как уменьшается знаменатель в формуле (14) (уменьшается величина разности $\omega_0^2 - \omega^2$),

до тех пор, пока ω не приблизится к ω_0 . При

дальнейшем увеличении ω знаменатель в формуле (14) начинает увеличиваться. При этом амплитуда q_0 стремится к нулю при ω , стремящейся к бесконечности. На графике

Рис. 4

зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты генератора изобразится кривой, имеющей максимум вблизи $\omega = \omega_0$, рис. 4. Явление, заключающееся в увеличении амплитуды вынужденных колебаний, когда частота внешней ЭДС приближается к собственной частоте системы, называется резонансом, а график зависимости амплитуды от частоты внешней ЭДС – амплитудной резонансной кривой.

При не слишком малых коэффициентах затухания β максимум на амплитудной резонансной кривой лежит не при $\omega = \omega_0$. Чтобы найти значение ω , при которой величина q_0 является максимальной, можно воспользоваться тем фактом, что функция имеет максимум в той точке, где ее производная обращается в нуль. Очевидно, что нахождение максимума для функции q_0 сводится к нахождению минимума знаменателя (14). Поэтому, продифференцировав подкоренное выражение (14) по ω и приравняв результат нулю, находим:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (15)$$

Можно также показать, что когда затухание мало, амплитуда имеет максимальное значение

$$q_{0рез} = \frac{\mathcal{E}_0}{2L\omega_0\beta}. \quad (16)$$

Отсюда видно, что $q_{0\text{рез}}$ обратно пропорциональна коэффициенту затухания β . Если бы мы не принимали во внимание затухание ($\beta = 0$) при выводе формулы (14), то получили бы, что при резонансе амплитуда становится бесконечной (нуль в знаменателе формулы (16), чего на самом деле никогда не бывает).

Если увеличить коэффициент затухания, не изменяя остальных параметров контура и ЭДС, то резонансная кривая на графике (рис. 4) пойдет ниже. Резонанс становится менее резко выраженным. При очень большом затухании максимум вообще исчезает.

Затухание в колебательном контуре характеризуют также шириной $\Delta\omega$ резонансной кривой на высоте $\frac{q_{0\text{рез}}}{\sqrt{2}}$. Можно показать, что ширина кривой $\Delta\omega$ на этой высоте, приблизительно, равна 2β (см. ниже). Величина $\Delta\omega = 2\beta$ называется шириной резонансной кривой или полосой пропускания.

Для характеристики колебательного контура часто используют величину Q , называемую добротностью колебательного контура. Добротность колебательного контура при малых потерях энергии в контуре определяется соотношением

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W} \quad (17)$$

где W - полная энергия в контуре, а ΔW - энергия, рассеянная в контуре в течение времени, равному периоду колебаний. Полная энергия контура и потери энергии за период равны соответственно $W = \frac{LI_0^2}{2}$ и $\Delta W = RI_{\text{эфф}}^2 T$, где I_0 - амплитудное, а $I_{\text{эфф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ - эффективное значение тока в контуре.

Подставляя W и ΔW в (17), получим

$$Q = \frac{2\pi W}{\Delta W} = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{\pi}{\delta} = \frac{\omega_0}{2\beta} . \quad (18)$$

Из (18) следует, что добротность Q и полоса пропускания $\Delta\omega$ связаны следующим соотношением:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} . \quad (19)$$

Определим теперь величину напряжения на конденсаторе: $U = \frac{q}{C}$.

Используя (10), находим $U = U_0 \cos(\omega t + \alpha)$, где $U_0 = \frac{q_0}{C}$ - амплитуда напряжения на конденсаторе. Подставляя в последнюю формулу q_0 из (14), получим

$$U_0 = \frac{\omega_0^2 \mathcal{E}_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \beta^2}}. \quad (20)$$

Из формулы (20) видно, что амплитуда напряжения на конденсаторе при $\omega = 0$ равна \mathcal{E}_0 . Этот факт имеет простой физический смысл, поскольку случай $\omega = 0$ соответствует не зависящей от времени ЭДС, и установившееся напряжение на конденсаторе должно равняться ее значению \mathcal{E}_0 .

В условиях резонанса $\omega \approx \omega_0$ и при малых β амплитуда напряжения равна:

$$U_{0\text{рез}} = \frac{\omega_0 \mathcal{E}_0}{2\beta}. \quad (21)$$

Так как при малых β $Q = \frac{\omega_0}{2\beta}$, то

$$U_{0\text{рез}} = \frac{\omega_0 \mathcal{E}_0}{2\beta} = Q \mathcal{E}_0. \quad (22)$$

Таким образом, при резонансе амплитуда напряжения на конденсаторе в Q раз больше, чем амплитуда внешней ЭДС.

Ширина резонансной кривой

Рассмотрим резонансную кривую напряжения на конденсаторе вблизи резонанса при малом затухании β , то есть при малых значениях разности $\omega - \omega_0$. В этом случае $\omega + \omega_0 \approx 2\omega_0$, и подкоренное выражение в (20) можно упростить следующим образом:

$$(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \beta^2 = [(\omega_0 - \omega)^2 (\omega_0 + \omega)^2 + 4\omega^2 \beta^2] \approx 4[(\omega_0 - \omega)^2 \omega_0^2 + \beta^2 \omega_0^2].$$

Используя формулу (20), находим:

$$U_{0\text{рез}}^2 = \frac{\mathcal{E}_0^2 \omega_0^2}{4[(\omega_0 - \omega)^2 + \beta^2]}. \quad (23)$$

Определим, при каком значении ω квадрат амплитуды напряжения на конденсаторе уменьшается в два раза по сравнению с квадратом его значения при резонансе. Используя (22) и (23) находим условие:

$$\frac{(\omega_0 - \omega)^2 + \beta^2}{\beta^2} = 2,$$

которое определяет соответствующее значение частоты ω .
Отсюда

$$|\omega_0 - \omega| = \beta. \quad (24)$$

Итак, при отклонении частоты на величину $\pm\beta$ от резонансного значения ω_0 , квадрат амплитуды напряжения на конденсаторе уменьшается в два раза. Величина $\Delta\omega = 2\beta$ называется «шириной резонансной кривой на уровне $1/2$ » или *полосой пропускания*. Таким образом мы показали, что формула (19) $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$, действительно, справедлива.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Целью работы является: изучение вынужденных колебаний в электрическом колебательном контуре и измерение основных его параметров. Общий вид установки представлен на рис. 5.

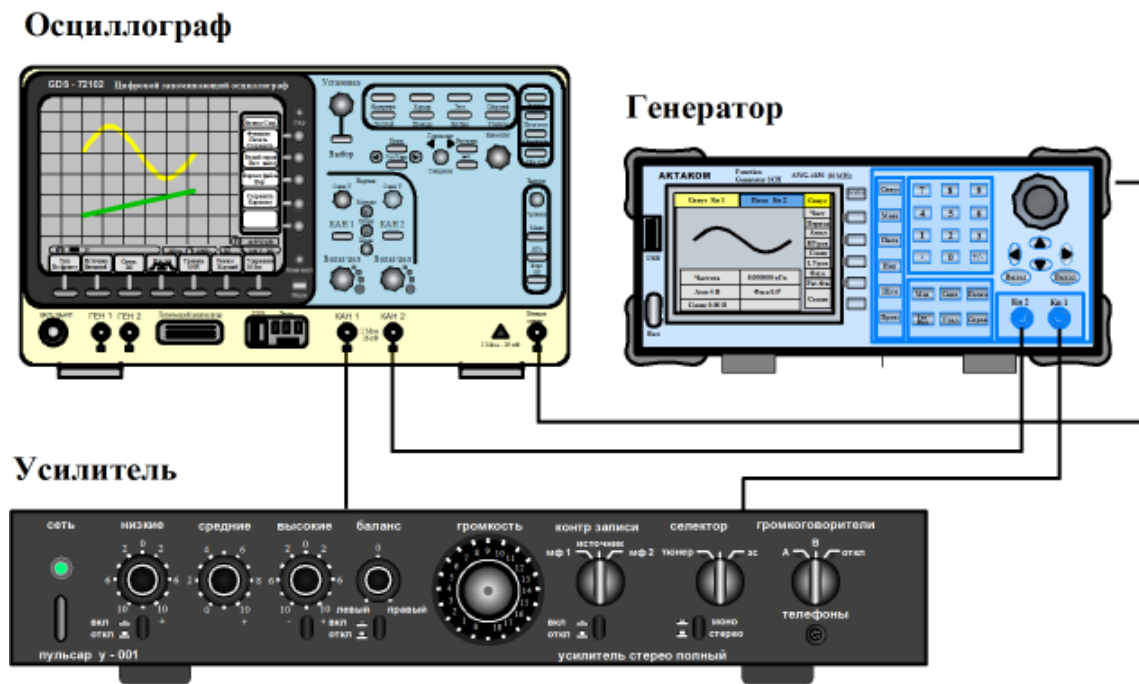


Рис. 5 Общий вид установки

В состав установки входят приборы:

1. Генератор AWG -4150.
2. Осциллограф GDS-72102.
3. Усилитель ПУЛЬСАР У-001.

Установка позволяет выполнять три лабораторные работы. Переход от одной работы к другой осуществляется с помощью пульта управления, рис. 6.

На верхней поверхности пульта установлены шесть тумблеров, которые определяют номер выполняемой работы.

Под тумблерами располагается таблица, в которой указаны эти положения.

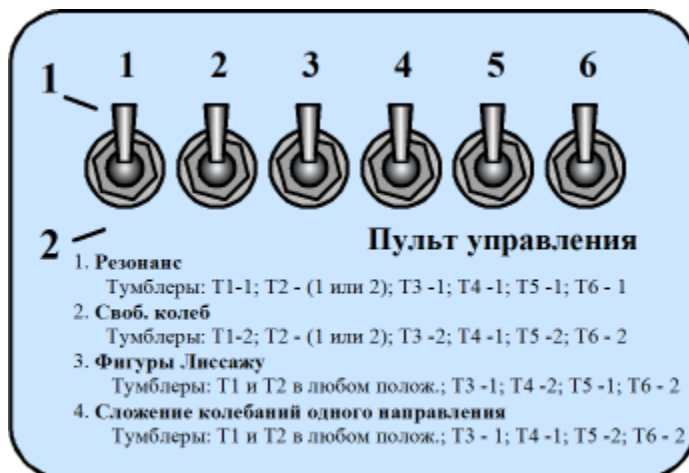


Рис. 6 Панель пульта управления

Генератор AWG-4150 и осциллограф GDS-72102 являются цифровыми измерительными приборами. Цифровые приборы даже внешне резко отличаются от аналоговых. У них нет привычных ручек точной и грубой установки параметров электрических сигналов, нет привычных шкал и лимбов. Вместо этого они управляются кнопками в том числе для установки значения частоты в цифровой форме.

Генератор AWG-4150.

Генератор AWG-4150 относится к типу генераторов сигналов произвольной формы и стандартных функций. Он может создать аналоговый сигнал практически любой формы. Для создания и изменения сигналов в генераторе используется метод *дискретизации*. Дискретизация это представление аналогового непрерывного сигнала $S(t)$ множеством n его значений $S(t_0), S(t_1), S(t_2) \dots S(t_{n-1})$, взятых в моменты времени $t_0, t_1, t_2 \dots t_{(n-1)}$. Эту совокупность принято называть выборками, взятыми в моменты времени $t_0, t_1, t_2 \dots t_{(n-1)}$. Выборки следуют через фиксированный постоянный промежуток времени. Этот промежуток называют *периодом дискретизации* или *интервалом выборок* и обычно обозначается буквой T . Величину обратную периоду дискретизации $F_s=1/T$ называют *частотой выборок* или *частотой дискретизации*. Сигнал $S(t)$

Особенность данной установки состоит в том, что графическое изображение резонансной кривой высвечивается на экране осциллографа сразу после окончания цикла измерения и может быть переписано на флеш-память для последующей распечатки на принтере.

Особенности цифровых измерительных приборов.

нужной формы может быть задан путем использования его математической формулы, например, $y = \sin(\omega t + \varphi)$.

Генератор AWG представляет собой сложную систему воспроизведения, которая создает сигналы на основе опроса памяти, хранящей N заранее подготовленных оцифрованных за время одного периода *выборок* (отсчетов) сигналов заданной формы. Типичное число *выборок* N составляет от нескольких сотен до многих тысяч за один период. В AWG значения *выборок* сохраняются в двоичной форме в быстром *Оперативном Запоминающем Устройстве (ОЗУ)*. Число форм сигналов, зашитых в память, может достигать 16-и и более. По сути AWG генератор можно представить как плеер компакт-дисков, который считывает данные сохраненные в реальном времени. В AWG данные считываются из собственной памяти сигнала, в CD-плеере - с диска. На рис. 7а показана серия выборок.

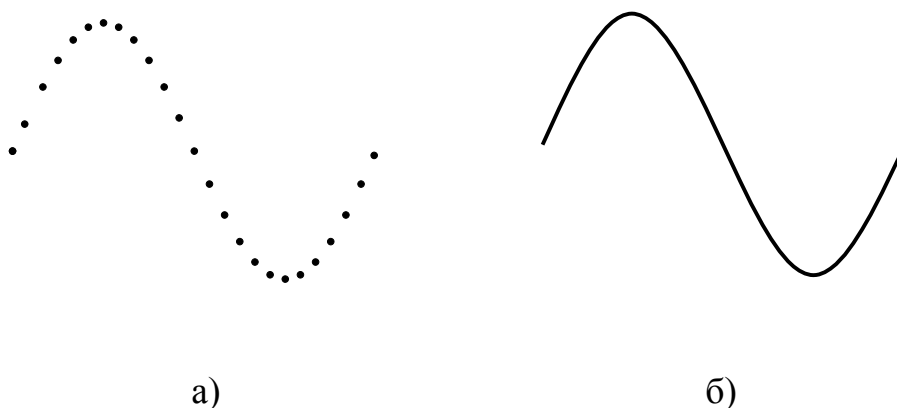


Рис. 7

Все выборки, точки на рис. 7а, характеризующие дискретные отсчеты сигнала, получены через равные интервалы времени. Попуская выборки через цифроаналоговый преобразователь (*АЦП*) получают сигнал в аналоговой форме, рис. 7б. После *АЦП* сигнал поступает на выход генератора. AWG генератор позволяет быстро, точно и в широких пределах менять такие характеристики сигналов, как частота, амплитуда и фаза.

Многие приложения требуют наличия нескольких испытательных сигналов. Например, для тестирования анти блокировочной системы тормозов автомобиля требуется четыре сигнала (по вполне очевидным причинам). Биофизические исследования требуют нескольких генераторов для имитации различных электрических сигналов, генерируемых человеческим телом. В ответ на эти потребности появились AWG с различными конфигурациями выходных каналов. Некоторые AWG могут выводить до четырех независимых аналоговых сигналов. Другие предлагают до двух аналоговых выходов и до 16 дополнительных высокоскоростных выходов *цифровых сигналов*. Цифровой

сигнал - это сигнал, который может принимать только два значения, например, 0 или 1. Цифровые сигналы используются для тестирования полупроводниковых приборов, и *программируемых логических интегральных схем (ПЛИС)*, или цепей записи жестких дисков.

Осциллограф GDS-72102

Цифровой осциллограф можно рассматривать как конструктивное объединение аналогового осциллографа и электронно-вычислительной машины. С его помощью можно не только отображать характеристику напряжения в реальном времени, но и выполнять различные математические операции: складывать и вычитать сигналы в разных каналах, растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала и т.д.

Поступающий на осциллограф входной сигнал $S(t)$ проходит через масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения) и попадает в *аналого-цифровой преобразователь, АЦП*. Задача этого звена - заменить полученную аналоговую зависимость дискретной последовательностью его значений для разных моментов времени (*выборками*). Каждая *выборка* записывается в *оперативное запоминающее устройство, ОЗУ*, при этом, все предыдущие записанные отсчеты сдвигаются на одну ячейку (*регистр сдвига*), а самый первый S_1 исчезает, как бы "выталкивается". Если *ОЗУ* состоит из M ячеек, то в нем, постоянно обновляясь, содержится M последних, "свежих" *выборок*. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо $S(t_i)$ в очередной *выборке* впервые не превысит заданный оператором уровень. После этого, содержимое некоторого количества ячеек *ОЗУ* переписывается в запоминающее устройство, где каждой ячейке соответствует точка на экране, отличающаяся от фона. Координата X определяется номером ячейки, а координата Y значением *выборки*, которое находится в этой ячейке.

В отличие от аналоговых осциллографов, цифровые осциллографы позволяют запоминать в оперативном запоминающем устройстве много *выборок*, а потом "вытягивать" их порциями, соответствующими ширине экрана.

Также еще одно принципиальное отличие от аналоговых осциллографов состоит в том, что на цифровом осциллографе можно видеть предысторию сигнала, до появления импульса запуска, это называют "*предварительным запуском*". *Выборки* переписываются из оперативного запоминающего устройства в запоминающее устройство так, что в момент появления импульса запуска первой ячейкой запоминающего устройства будет та, что дает точку на вертикальной линии, проходящей через центр экрана. Последующие точки располагаются вправо от нее, предыдущие - налево. Положение первой ячейки можно смещать влево или вправо от центра и тем самым соответственно уменьшать или увеличивать видимый интервал предыстории.

Частоту дискретизации (частоту "выборки") можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развертки в аналоговых осциллографах.

Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициенты усиления или деления соответственно входного усилителя или делителя напряжения.

Благодаря перечисленным преимуществам цифровые осциллографы почти вытеснили аналоговые осциллографы.

Передняя панель и назначение органов управления генератора AWG-4150 и осциллографа GDS-72102 .

Генератор AWG-4150.

Передняя панель генератора представлена на рис. 8.

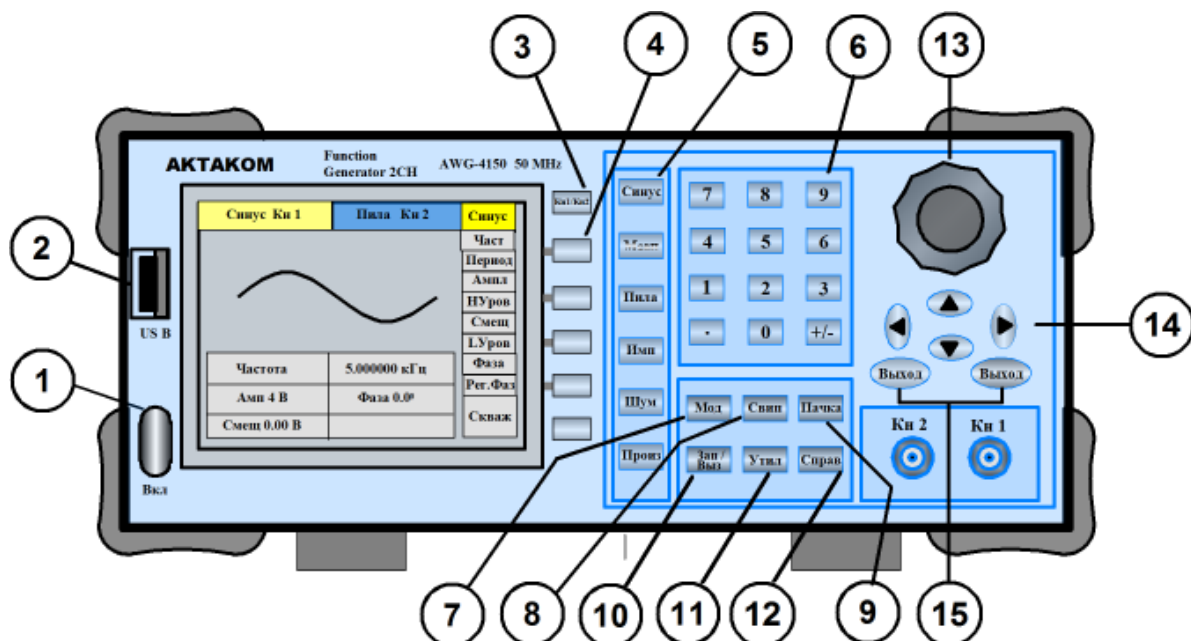


Рис. 8 Передняя панель генератора AWG-4150

Назначение органов управления.

- 1 - Кнопка ВКЛЮЧЕНИЕ / ВЫКЛЮЧЕНИЕ генератора.
- 2 - USB - порт.
- 3 - Кнопка ВЫБОР КАНАЛА.
- 4 - Кнопки бокового меню.
- 5 - Кнопки ВЫБОР ФОРМЫ сигнала.
- 6 - Цифровые кнопки.

- 7 - Меню МОДУЛЯЦИЯ.
- 8 - Меню СВИПИРОВАНИЯ.
- 9 - Меню СОЗДАНИЕ ПАЧЕК ИМПУЛЬСОВ.
- 10 - Меню ЗАПИСЬ / ВЫЗОВ формы сигнала.
- 11 - Меню УТИЛИТЫ (служебные настройки).
- 12 - Кнопка СПРАВКА.
- 13 - Ручка поразрядного изменения цифровых настроек.
- 14 - Кнопки со стрелками (для выбора разряда для изменения).
- 15 - Кнопки включения каналов 1-2 генератора.
- Разъем ВЫХОД СИНХРОНИЗАЦИИ находится на задней панели генератора, рис. 11 (sync out).

Осциллограф GDS 72102. Передняя панель осциллографа представлена на рис. 9.

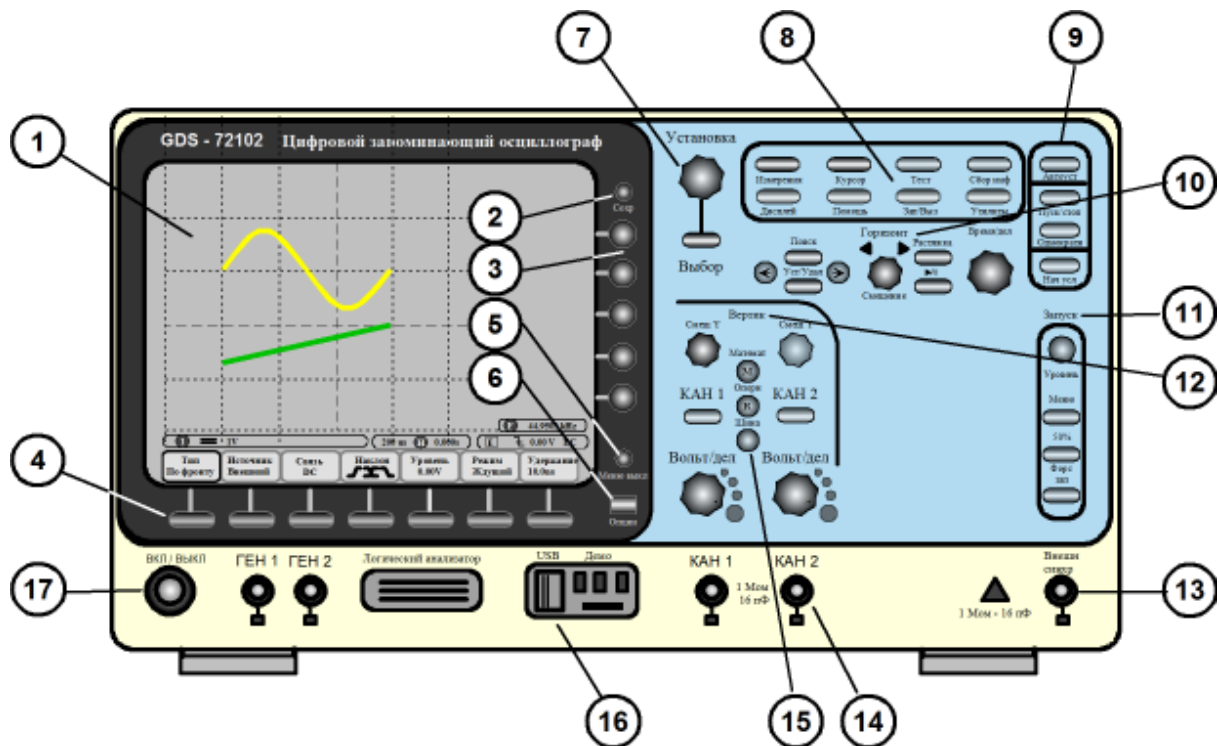


Рис. 9 Передняя панель осциллографа GDS 72102

Назначение органов управления.

- 1 - Дисплей.
- 2 - Кнопка СОХРАНЕНИЕ: позволяет быстро сохранить в память

- или вывести на печать содержимое экрана.
- 3 - БОКОВЫЕ КНОПКИ МЕНЮ.
 - 4 - НИЖНИЕ КНОПКИ МЕНЮ.
Боковые и нижние кнопки используются для выбора пользователем на экране режимов и функций в предлагаемом меню интерфейса.
 - 5 - Кнопка МЕНЮ используется для того, чтобы показать или скрыть на экране системное меню.
 - 6 - Кнопка ОПЦИИ : (в работе не используется).
 - 7 - Регулятор УСТАНОВКА и ВЫБОР : регулятор предназначен для регулировки (увеличения / уменьшения) выбранного параметра. Исполнительная кнопка ВЫБОР предназначена для подтверждения выбора.
 - 8 - ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КНОПКИ (8 темно-серых кнопок, расположенных горизонтально справа от ЖК - дисплея) служат для выбора установок и действий в текущем активном меню.
 - 9 - Кнопка АВТОУСТАНОВКА из вертикальной группы из 9 кнопок : при нажатии кнопки осциллограф автоматически выберет значения настроек горизонтальной и вертикальной систем и системы запуска для получения на экране осциллограммы входного сигнала (в работе не используется).

Назначение остальных кнопок из этой группы:

- Кнопка ПУСК / СТОП: нажатие кнопки приводит к запуску или остановке процесса сбора информации о входном сигнале.
- Кнопка ОДНОКР.: нажатие кнопки активизирует однократный запуск. При выполнении условий запуска осциллограф произведет однократную регистрацию и остановится. Захваченный исследуемый сигнал будет присутствовать на дисплее осциллографа до последующего нажатия на кнопку ПУСК /СТОП.
- Кнопка НАЧАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ: нажатие кнопки устанавливает положение органов управления в состояние по умолчанию (в состояние, в котором они находились в момент включения осциллографа, в работе не используется).
- 10 - Горизонтальные элементы управления позволяют изменять горизонтальные масштаб и положение осциллограмм.
Регулятор СМЕЩЕНИЕ изменяет горизонтальное положение осциллограмм каналов.
Кнопка РАСТЯЖКА (в работе не используется).
Регулятор ВРЕМЯ /ДЕЛЕНИЕ позволяет выбрать значение горизонтальной развертки для осциллограммы.

Кнопка ПОИСК и кнопки ВПРАВО, ВЛЕВО (в работе не используются).

Кнопка УСТ / УДАЛ. (в работе не используются).

11 - Группа кнопок ЗАПУСК определяет момент начала регистрации данных и отображения формы сигнала осциллографом.

Регулятор УРОВЕНЬ устанавливает уровень запуска осциллографа.

Кнопка МЕНЮ вызывает на экран меню управления системой.

Кнопка 50 % в работе не используется.

Кнопка ФОРС. ЗАПУСК (в работе не используется).

12 - Группа кнопок и регулировок по вертикали.

КАН 1, КАН 2 кнопки включения первого и второго каналов осциллографа.

Кнопки СМЕЩ Y изменяют положение осциллограмм каналов на экране по вертикали.

Регуляторы ВОЛЬТ/ДЕЛ устанавливают коэффициенты отклонения каналов.

13 - Разъем ВНЕШ СИНХР - входное гнездо источника внешней синхронизации (от генератора AWG -4150).

14 - Входные разъемы 1-го и 2-го каналов.

15 - Кнопки из группы 15 (в работе не используются).

16 - РАЗЪЕМ USB для передачи данных во внешнюю память.

17 - ВКЛ/ВЫКЛ - кнопка включения/выключения осциллографа.

Усилитель Пульсар У- 001.

Передняя панель усилителя представлена на рис. 10.

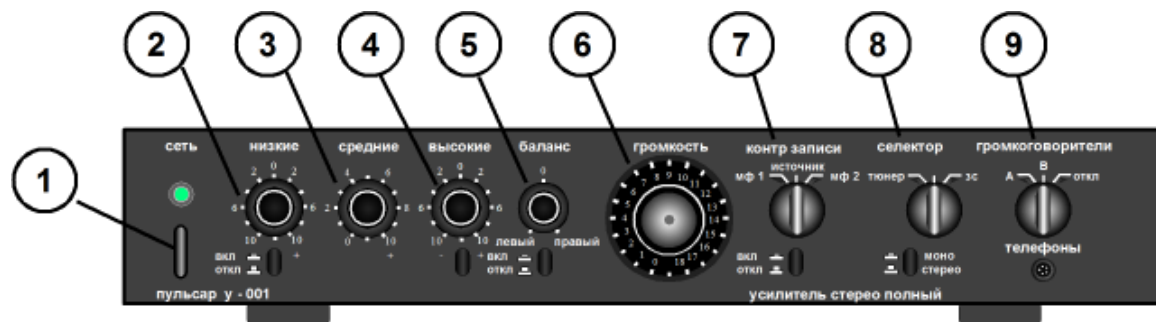


Рис. 10 Передняя панель усилителя Пульсар У-001

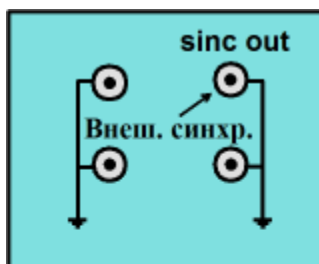
Назначение органов управления.

- 1 - Кнопка включения прибора.
 - 2,3,4 – Ручки регулировки уровня усиления низких, средних и высоких частот.
 5. – Баланс усиления левого и правого канала.
 6. – Регулятор громкости.
 7. – Контроль
 8. – Селектор.
 9. – Громкоговорители левого и правого канала.
- Разъемы входа и выхода усилителя на задней панели, рис. 11 .

Включение и подготовка установки к работе.

Перед включением установки убедитесь в том, что:

1. все приборы соединены кабелем так, как показано на рис. 5 (места подключения кабелей на задних панелях генератора и усилителя показаны на рис. 11),



Задняя панель генератора



Задняя панель усилителя

Рис. 11 Задние панели генератора и усилителя

2. тумблеры на блоке управления установлены в положения, соответствующие выполняемой задаче,

3. Обратите внимание, что напряжение на колебательный контур в установках №№ 2-4 поступает от блока управления установки № 1 (см. схемы на рис. 15.1и 15.2 в приложении). В таблице 2 приложения указано также, какие приборы и каналы должны быть включены или выключены).

Порядок включения и настройки приборов

- генератор,
- усилитель,
- осциллограф.

Такой порядок выбран для того, чтобы избежать при включении перегрузки усилителя.

Включение и настройка генератора AWG-4150 в установке № 1 (генераторы установок №№ 2 - 4 выключены)

Нажмите кнопку 1 включения прибора (см. рис. 8). На дисплее прибора появится предложение выбрать язык общения. Для выбора нажмите кнопку из группы кнопок 4, находящуюся напротив ячейки с надписью *Язык Русский*. После этого надписи в подсвечиваемых ячейках на экране будут появляться на русском языке. Надписи в ячейках обновляются в зависимости от того, какая из кнопок на передней панели прибора нажата. После этого можно приступить к поочередной настройке каналов 1, 2 генератора.

Настройка 1 канала.

1. - Настройка начинается с выбора канала.

Кнопкой 3 выберите для настройки 1 канал, *Ch1*. : желтый цвет полосы в верхней ячейке дисплея означает, что выбран 1 канал.

2. - Кнопкой SINE из группы кнопок 5 выберете форму генерируемого сигнала (синусоидальная). При выборе кнопка подсвечивается (при включении прибора эта кнопка обычно подсвечивается по умолчанию).

3. - Установите амплитуду колебаний, равную 38 мВ (38 мVpp).

Для этого: из группы кнопок 4 нажмите кнопку расположенную напротив надписи *Ампл*, на клавиатуре 6 наберите 38 и нажмите кнопку напротив *mVpp*. Надпись *Amp1 38 mVpp* высветится в одной из ячеек экрана. Ниже подобные процедуры не будут описываться так подробно.

4. - Выберете режим свипирования синусоидального сигнала: *кн. 8*.

Наклонная линия на дисплее означает, что частота сигнала изменяется по линейному закону.

5. - Установите *ВРЕМЯ СВИП* - 10с,

- конечную частоту 25 кГц ,

- начальную частоту 5 кГц ,

- синхронизацию *Внутренняя* (кн. только нажать).

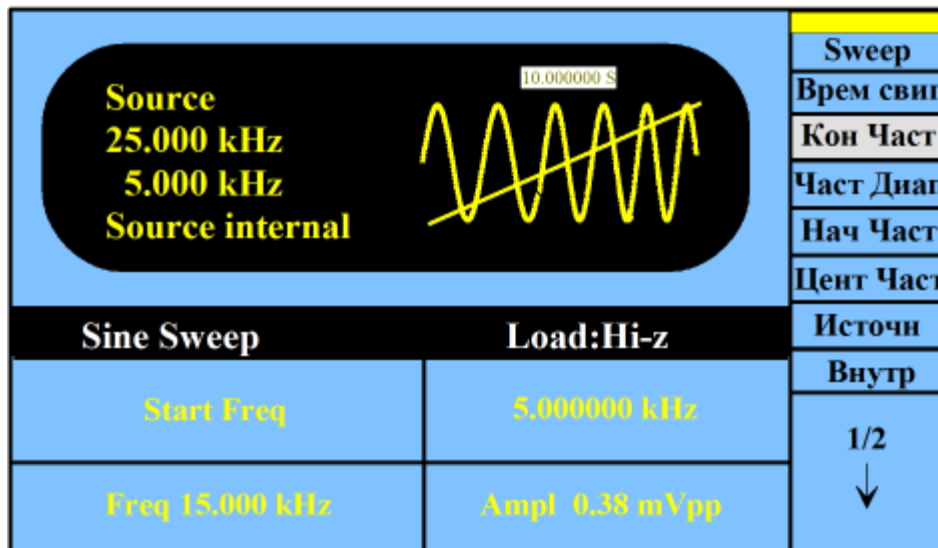
Настройка 2 канала.

1. Кнопкой 3 выберете для настройки второй канал. Полоска в ячейке дисплея окрасится в зеленый цвет.

2. Кнопкой RAMP из группы 5 выберите режим генерации пилообразного напряжения.
3. Установите ПЕРИОД колебания 10c .
4. Установите ВЕРХ УРОВ напряжения 3В ,
5. Установите НИЖН УРОВ напряжения 0В ,

Канал 1

а)



Канал 2

б)

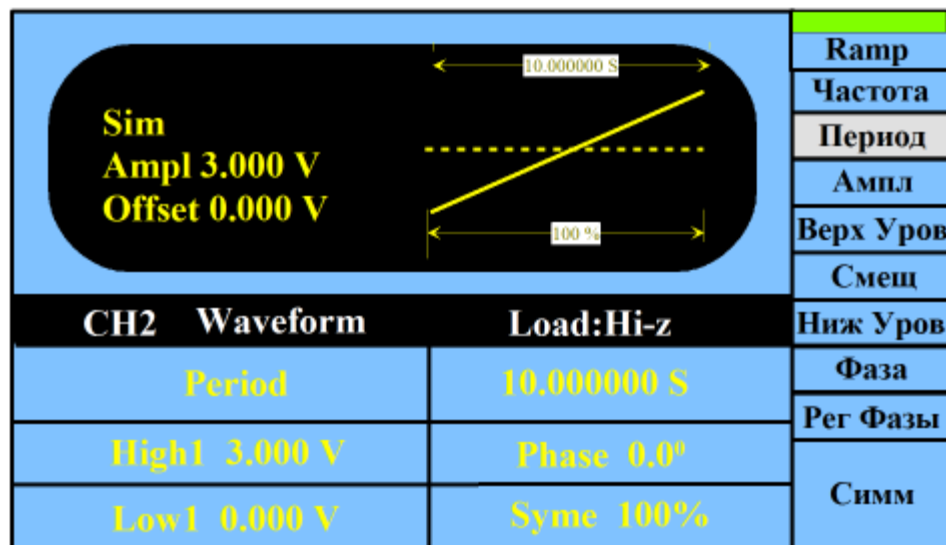


Рис. 12 Дисплей генератора

6. Перейдите от генерации пилообразного напряжения к генерации линейного напряжения: кн. из группы 4 подсветите надпись СИММ, вращением рукоятки 13 трансформируйте изображение зубца пилы к изображению наклонной линии. Вращение прекратите, когда надпись в ячейке дисплея не примет вид *Syme 100%*.

Подайте сигнал синхронизации на разъем SYNC на задней панели генератора

1. Нажмите кнопку *11 Utility*,
2. Кнопками из гр. 4 поочередно подсветите надписи в боковых окошках *Синхр*, *Включено*, канал *Ch1*. Завершите настройку нажатием кнопки *Готово*.

На этом программа настройки генератора завершается.

Проверка настройки каналов.

Поочередно кнопкой 3 выведите на экран результаты настройки каналов 1 и 2.

Сравните результаты настроек с рисунками 12а и 12б. При обнаружении отличий внесите соответствующие исправления.

Кнопками 15 подайте напряжение на выходные разъемы генератора *Ch1*, *Ch2*.

Настройка усилителя Пульсар У- 001.

1. Включите усилитель - кнопка 1.
2. Убедитесь, что ручки настройки прибора 2 - 9 находятся в положениях отмеченных белыми точками, а кабели на задней стенке прибора подключены к разъемам так, как это указано на рис. 11.
3. Убедитесь, что кнопки под ручками настройки 2-9 находятся в следующих положениях: 2- отжата, 4- отжата, 5- отжата, 7- отжата, 8- нажата.

Настройка осциллографа GDS-72102 на установках № 1 - № 4.

1. Включите осциллограф - кнопка 17 (рис. 9).
2. Дождитесь появления надписи - *Самотестирование при включении пройдено*.
3. Убедитесь, что кнопки *КАН1* и *КАН2* подсвечены.

4. Установите

- рукоятками *Вольт/дел* чувствительность по 1 каналу - $2V$, по 2 каналу - $1V$ (цифры желтого и голубого цветов на дисплее),
- коэффициент развертки по горизонтали $1S$ (рукоятка *Время/дел* из группы кнопок 10), рис.12.

5. Выведите на дисплей нижнее меню, кнопка *Меню* из группы 11 *Запуск*.

6. Нажимая поочередно кнопки под нижним меню, кнопками бокового меню установите режим работы осциллографа.

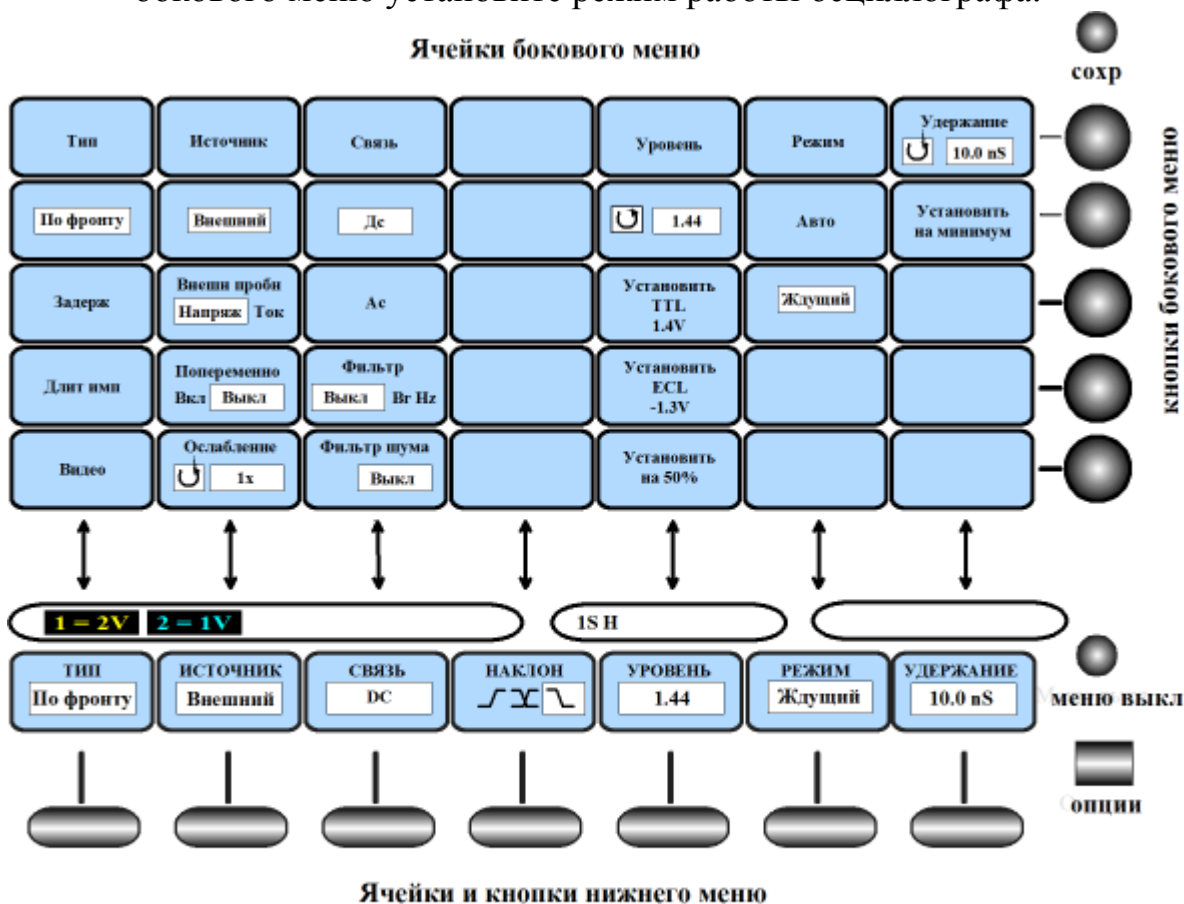


Рис. 13 Настройка режима работы осциллографа

Установленный режим высвечивается в ячейках бокового меню, рис.13 .

7. Перейдите в режим однократного запуска - нажмите кнопку *Пуск/стоп* из группы кнопок 9. О выполнении команды сигнализирует красный цвет кнопки.

Осциллограф готов к проведению измерений.

Проведение измерений.

1. Нажмите кнопку *Однократн* из группы кнопок 9 (рис. 9). Через 10-15 сек на дисплее появятся: изображение резонансной кривой (желтый цвет) и изображение прямой линии (голубой цвет). Длительность развертки обеих осциллограмм *10 сек* (соответствует периоду свипирования синусоидального сигнала), цена большого деления сетки дисплея по горизонтали - *коэффициент развертки - равна 1S*), цена большого деления сетки по вертикали - *чувствительность Вольт/делен - по 1 каналу 2В* (резонансная кривая), по 2 каналу *1В* (прямая линия).
2. Установите начало изображений в нижний левый край дисплея (рукоятка *Смещение* из гр. кн. 10, рукоятки *Смещ Y* из гр. кн. 12). Если изображение резонансной кривой не укладывается на дисплее, уменьшите амплитуду синусоидального напряжения на генераторе. Измерения можно повторить два или три раза, корректируя, если это необходимо, положение линий на дисплее.
3. Измерьте и запишите в тетрадь: резонансную частоту колебаний, амплитуду колебаний при резонансе и полосу пропускания резонансного контура на уровне $U_{рез}/\sqrt{2}$. При измерении резонансной частоты учтите, что резонансная кривая измерена в диапазоне частот *5 кГц-25 кГц*.
4. Включите в контур дополнительное сопротивление - тумблер *T2* на пульте управления переключите в положение 2.
5. Следуя указаниям в пунктах 1 и 2 настоящего раздела, получите изображение резонансной кривой с дополнительным сопротивлением в контуре.
6. Следуя указаниям п.3 измерьте характеристики колебательного контура с затуханием.

Сохранение изображений резонансных кривых на USB-флеш-накопителе, распечатка.

1. Вставьте в гнездо *16* осциллографа *USB-флеш-накопитель*. Дождитесь появления на дисплее сообщения *Обнаружено USB устройство*.
2. Нажмите кнопку *Зап /Выз* из группы 8. На дисплее появится меню режима записи изображения, рис. 14.
3. Поочередно нажимая кнопки нижнего меню кнопками бокового меню установите команды режима записи. Выбранные команды подсвечиваются.

4. Кнопкой 5 погасите окошки меню на дисплее.
5. Для переноса изображения с дисплея на *USB-флеш-накопитель*, нажмите кнопку 2, *Сохран.* На дисплее появится сообщение *Сохранить изображение в USB в BMP выполнено*. Извлеките из гнезда *USB-флеш-накопитель* и перенесите его в компьютер для распечатки изображения.
6. Распечатка. Откройте рисунок в программе *Microsoft Office Picture Manager*.

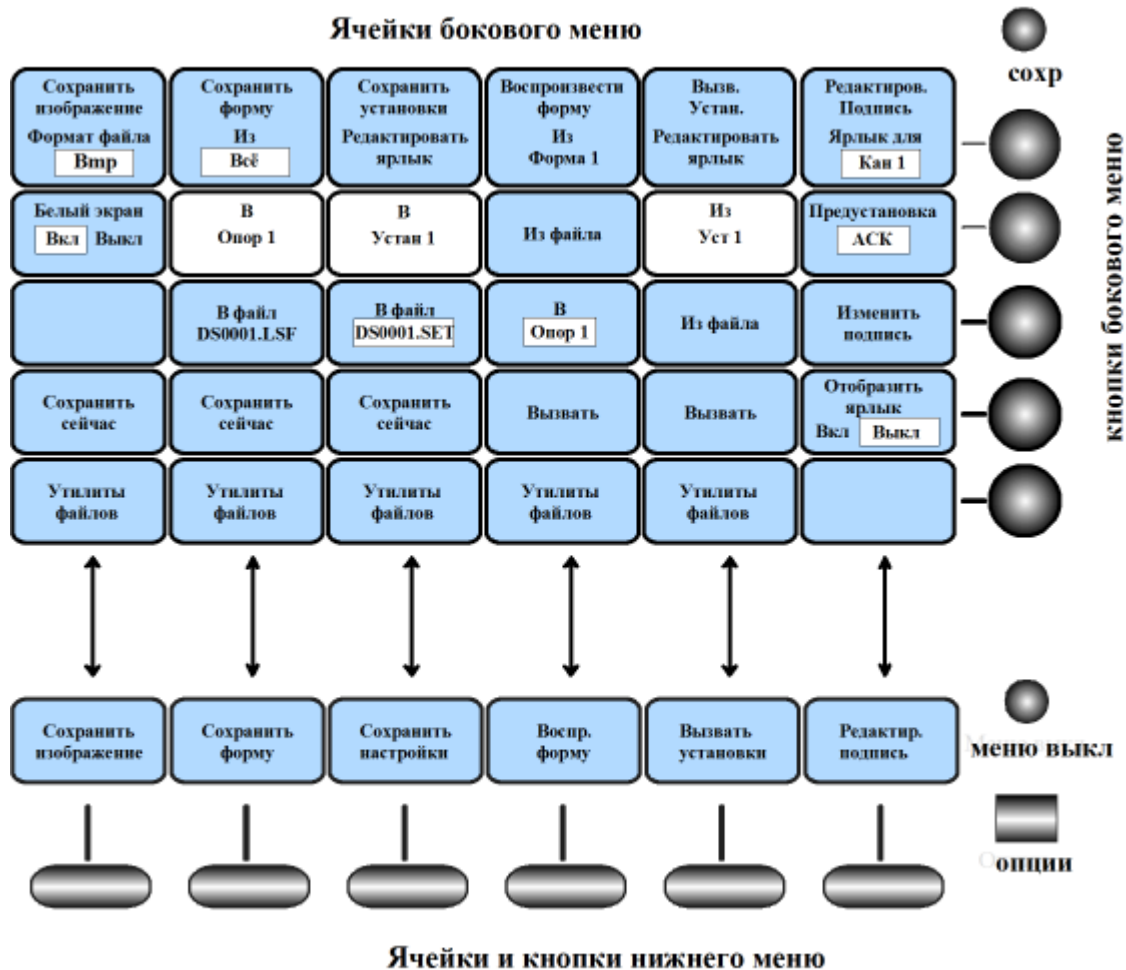


Рис. 14 Настройка режима записи изображения

и

7. Перейдите командами *Рисунок-Цвет-Насыщенность* - (-100) от цветного изображения к чернобелому.
8. Распечатайте рисунок.

Обработка экспериментальных данных.

Таблица 1

№ установки	1	2	3	4
$L, \text{ мГн}$	10,3	10,3	10,4	10,3

1. Вычислите электрическую емкость колебательного контура

$$C = \frac{1}{L\omega_{\text{рез}}^2} = (\dots \pm \dots) \text{ нФ}, \varepsilon_C = \dots\% , \omega_{\text{рез}} = 2\pi f_{\text{рез}}.$$

Значения индуктивностей приведены в Таблице 1.

Результат представьте в нанофарадах (нФ). $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$.

2. Вычислите добротности контуров Q' и Q'' , ($Q = \frac{f_{\text{рез}}}{\Delta f}$).

3. Вычислите логарифмические декременты затухания контуров δ' и δ'' , ($\delta = \frac{\pi}{Q}$).

4. Вычислите активные сопротивления R' и R'' колебательных контуров, ($R = \Delta\omega L$).

Принципиальная схема установки приведена на рис. 15-1, 15-2. в приложении.

Контрольные вопросы.

1. Какие элементы входят в состав колебательного контура?
1. Какими параметрами характеризуется колебательный контур?
2. Добротность колебательного контура. Физический смысл.
3. Вывести формулу для вычисления собственной частоты колебаний идеального колебательного контура.
4. Записать дифференциальное уравнение свободных колебаний с затуханием и общий вид его решения (для заряда q).
5. Декремент затухания колебательного контура. Физический смысл.
6. Влияние затухания на частоту собственных колебаний контура.
7. Логарифмический декремент затухания колебательного контура. Физический смысл.
8. Резонанс. Определение.
9. Резонансная кривая. Влияние затухания на резонансную частоту и форму резонансной кривой.

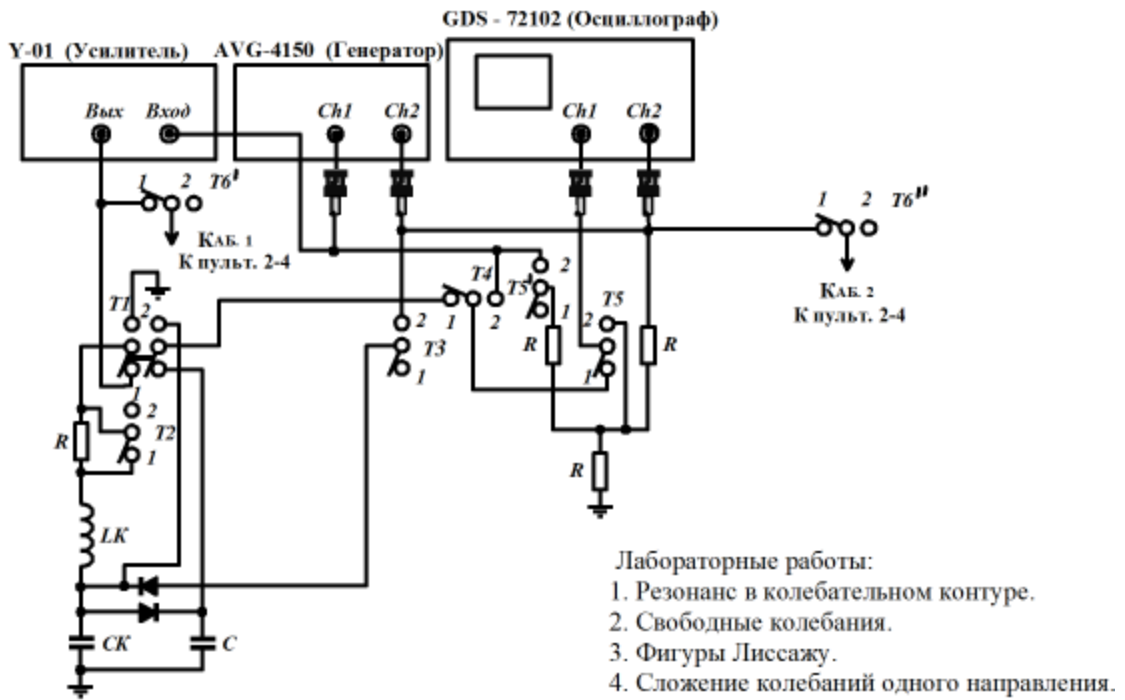


Рис. 15.1 Принципиальная схема установки № 1

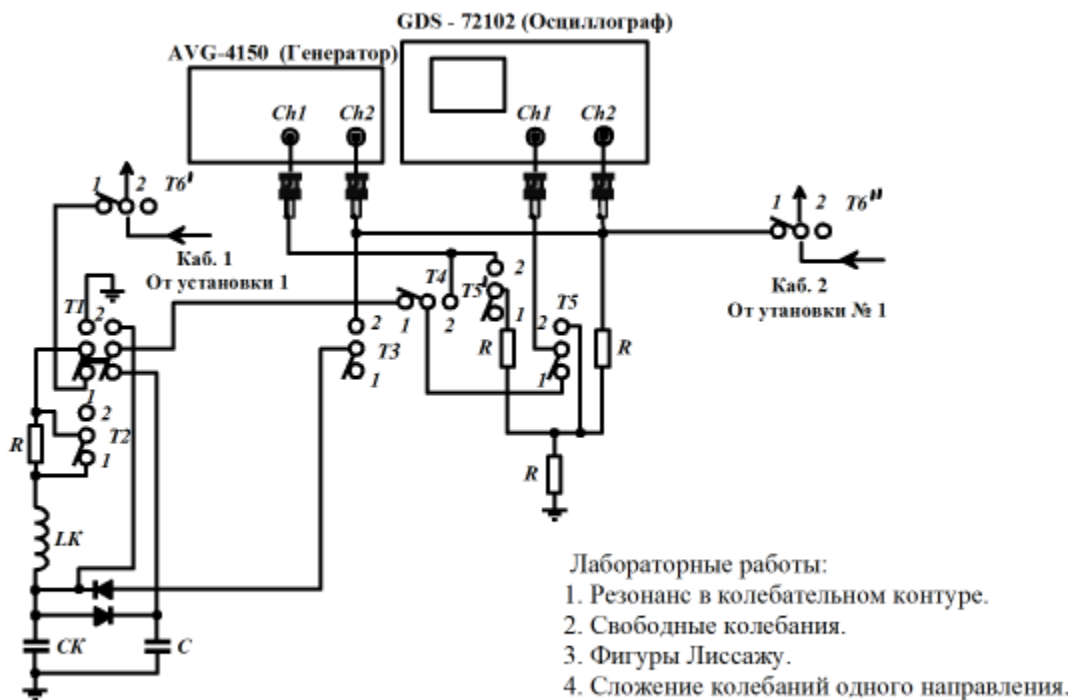


Рис. 15.2 Принципиальная схема установок №№ 2-4