

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Институт профессионального образования
Кафедра электропривода и автоматизации

Ирина Анатольевна Лобур

ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ (ОП 09)

Методические материалы к лабораторным
и самостоятельным работам

Рекомендовано цикловой методической комиссией специальности
СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств в качестве электронного
издания для использования в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензенты: Негадаев В.А. – канд. тех. наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
Шаулева Н. М. – канд. тех. наук, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», председатель цикловой методической комиссии специальности 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

Лобур, И. А. Электрорадиоизмерения (ОП.09): методические указания к лабораторным работам для обучающихся специальности 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств», очной формы обучения / сост. И. А. Лобур; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст: электронный.

Приведен теоретический и практический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины. Методические материалы к лабораторным работам по дисциплине «Электрорадиоизмерения» (ОП.09) содержат перечень и содержание лабораторных и самостоятельных занятий, список учебно-методических материалов.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2024
© Лобур И.А.,
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	213
ЛИТЕРАТУРА	214

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью освоения дисциплины «Электрорадиоизмерения» является приобретение обучающимися знаний в области сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств в соответствии с требованиями технической документации, а также в области настройки и регулировка электронных приборов и устройств средней сложности с учетом требований технических условий

Основными задачами изучения дисциплины «Электрорадиоизмерения», являются:

- ознакомление с технологическим оборудованием, приспособлениями и инструментами, назначениями и рабочими функциями деталей и узлов собираемых приборов;
- выработка навыков работы с контрольно – измерительной аппаратурой, приспособлениями и инструментами;
- подготовка к самостоятельному и технически грамотному выбору средств и систем диагностирования, использованию систем диагностирования при выполнении оценки работоспособности электронных приборов и устройств.

Содержание дисциплины в соответствии с учебным планом

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Электрорадиоизмерения» предусматривает проведение лабораторных работ и самостоятельной обучающимися очной формы обучения.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перечень лабораторных работ, изучаемых в семестре:

Лабораторная работа № 1. Изучение технического описания и органов управления генераторов низкой и высокой частоты.

Лабораторная работа № 2. Изучение технического описания и органов настройки и регулировки импульсного генератора.

Лабораторная работа № 3. Измерение напряжения и тока в электрических цепях электромеханические вольтметром и амперметром.

Лабораторная работа № 4. Измерение напряжения и тока в электрических цепях комбинированным прибором (мультиметром).

Лабораторная работа № 5. Измерение мощности в цепи с включённой нагрузкой (выполняется на ЭВМ с применением программы Multisim)

Лабораторная работа № 6. Изучение техники осциллографических измерений. Измерение напряжения (амплитуды электрического сигнала) с помощью осциллографа.

Лабораторная работа № 7. Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа

Лабораторная работа № 8. Изучение органов управления двухлучевого осциллографа и режимов работы каналов.

Лабораторная работа № 9. Измерение временных интервалов осциллографом, определение погрешностей измерения.

Лабораторная работа № 10. Измерение частоты сигнала частотомером, определение погрешностей измерений

Лабораторная работа № 11. Измерение сдвига фаз двух электрических гармонических сигналов двухлучевым осциллографом

Лабораторная работа № 12. Измерение искажений электрических сигналов микропроцессорным измерителем

Лабораторная работа № 13. Измерение коэффициента модуляции амплитудно-модулированного сигнала

Лабораторная работа № 14. Измерение параметров полупроводниковых приборов

При подготовке к лабораторным занятиям обучающиеся самостоятельно изучают основную и дополнительную литературу, готовят конспекты по темам, предложенным преподавателем.

На лабораторных занятиях преподаватель осуществляет контроль подготовки качества знаний обучающегося, используя: опрос, обсуждение вопросов по темам изучаемой дисциплины, письменный опрос при текущем контроле и предоставление отчетов по лабораторным работам.

Лабораторная работа №1 «Изучение технического описания и органов управления генераторов низкой и высокой частоты»

1. Цель работы

- 1) Изучить принцип действия и структурную схему генераторов высокой и низкой частоты.
- 2) Получить навыки работы с генератором высокой частоты и измерения их выходных параметров.
- 3) Дать анализ полученных результатов и сделать вывод о проделанной работе.

2. Приборы и оборудование

- 1) Генератор высокой частоты Г4–18А.
- 2) Осциллограф двухлучевой С1–55
- 3) Вольтметр В7–35.
- 4) Частотомер ЧЗ–34А.

3. Теоретическая часть

Генераторы высокочастотных сигналов (свыше 30 кГц) являются источниками гармонических модулированных или смодулированных электрических колебаний, параметры которых (напряжение U , частота f , модуляция M , частота модуляции $f_{\text{мод}}$) могут изменяться в широких пределах,

Генераторы высокочастотных сигналов имеют следующие диапазоны работы:

- радиовещательный диапазон от 30 кГц до 50 МГц;
- диапазон ультравысоких частот от 50 до 300 МГц;
- диапазон сверхвысокой частоты от 300 МГц до 10 ГГц.

Диапазон выходного напряжения находится в пределах от 0,1 мкВ до 1 В.

Генераторы высокочастотных сигналов используются, в основном, для настройки высокочастотных каскадов радиоприёмных и передающих устройств. Особенностью генераторов высокочастотных сигналов является наличие амплитудной, частотной, импульсной модуляций и возможность получения малых выходных напряжений.

Простейшая структурная схема генератора высокой частоты представлена на рис. 1.3.1.

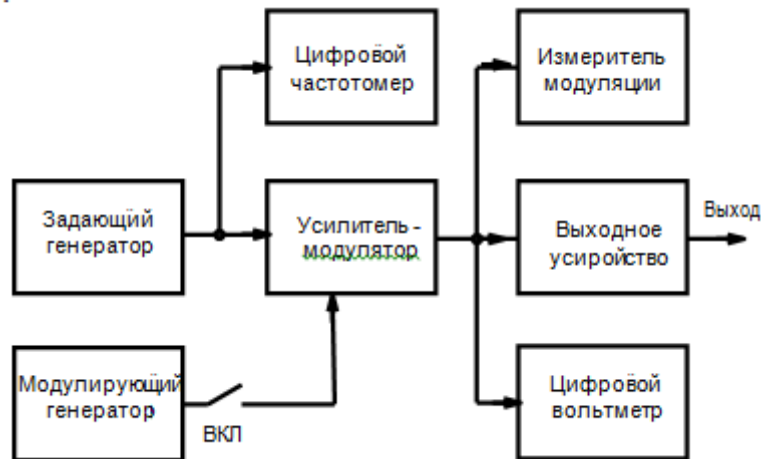


Рис. 1.3.1 Структурная схема генератора высокой частоты

Задающий LC–генератор вырабатывает синусоидальные напряжения. Диапазон генерируемых частот разбивается на ряд поддиапазонов, перестройка частоты $f = \frac{1}{2 \times \pi \times L \times C}$ в пределах поддиапазона осуществляется конденсатором переменной ёмкости, переход же к новому диапазону – с помощью коммутации катушек индуктивности.

Формирование поддиапазонов можно осуществить, подавая сигнал на цепочку делителей частоты и через совокупность фильтров на модулятор. Модуляция осуществляется в широкополосном усилителе–модуляторе с переменным коэффициентом усиления, управляемым электрическим напряжением

Модулирующее напряжение создаётся либо внутренним генератором, либо внешним генератором. На выходе модулятора образуется высокочастотный сигнал, амплитуда или частота которая изменяется по закону изменения модулирующего сигнала.

Модуляция контролируется измерителем характеристик модуляции. Значение модулирующего напряжения на входе поддерживается неизменным. Этот процесс в генераторе автоматизирован. Выходное устройство представляет собой систему калиброванных аттенюаторов, уменьшающих напряжение в целое число раз (кратное 10), и потенциометра, обеспечивающего плавную регулировку выходного напряжения.

Применение низкоомных резисторов позволяет получить необходимые частотные характеристики аттенюатора. Однотипность звеньев дает возможность сохранить постоянство входного и выходного

сопротивлений аттенюатора в целом независимо от общего значения затухания.

Электронный вольтметр включен на входе аттенюатора, отградуирован в значениях выходного сигнала. Выход генератора рассчитан на подключение типового коаксиального кабеля с выносным делителем напряжения. В генераторах высокой частоты предусматривается вспомогательный выход через широкополосный усилитель для точного измерения частоты цифровым частотомером.

Основным параметром амплитудно-модулированного колебания является коэффициент модуляции, характеризующий глубину изменения огибающей амплитуд. Определение понятия коэффициента модуляции особенно наглядно для тональной АМ (см. рис. 1.3.2), когда модулирующая функция является гармоническим колебанием:

$$s(t) = S_0 \times \cos(\Omega t + \gamma)$$

Огибающую модулированного колебания при этом можно представить в виде:

$$A(t) = A_0 + K_{\text{ам}} \times s(t)$$

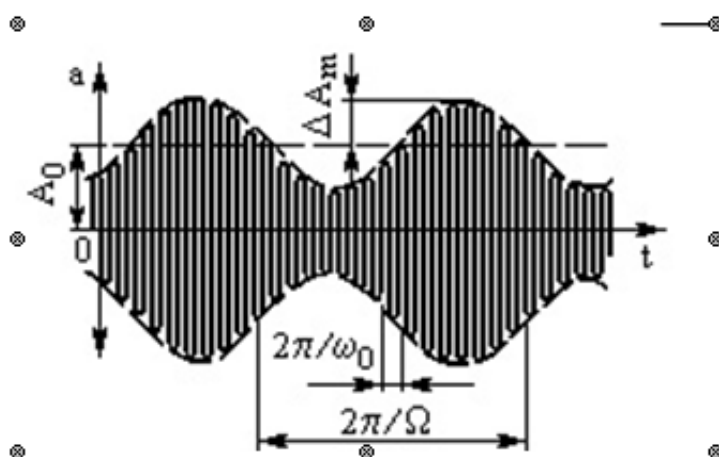


Рис. 1.3.2. Параметры амплитудно-модулированного колебания

Отношение $M = \Delta A_m / A_0$ – называется коэффициентом модуляции. Коэффициент модуляции выражается в процентах. Максимальное изменение амплитуды не должно превышать ее значения, и поэтому максимальная величина коэффициента модуляции $M = 1$.

Кроме того, все модулированные колебания характеризуются глубиной модуляции. Глубина модуляции равна отношению коэффициента модуляции или индекса модуляции к максимальному значению коэффициента модуляции, принимаемому за 100%.

При амплитудной модуляции коэффициент и глубина модуляции совпадают. Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом осциллограмм (непрерывная развертка).

Метод осциллограмм заключается в том, что к вертикально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки осциллографа подводится исследуемое напряжение амплитудно-модулированных колебаний, а к горизонтально отклоняющим пластинам напряжение непрерывной линейной развертки, частота которых должна быть равна или в целое число раз меньше частоты модуляции. При этом на экране трубки получается осциллограмма модулированных колебаний (см. рис. 1.3.3).

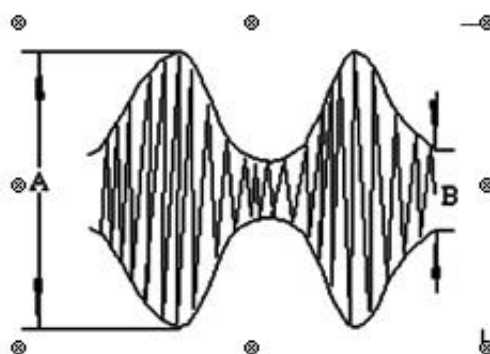


Рис. 1.3.1. Осциллограмма модулированного колебания.

Измерив на полученной осциллограмме расстояния А и В, определяют коэффициент модуляции (глубину модуляции) по формуле

$$M = \frac{A - B}{A + B} \times 100\%(+)$$

Генератором низкой частоты называют генератор сигнала с частотой от единиц герц до нескольких сотен килогерц. Диапазон частот различных типов низкочастотных генераторов могут изменяться в широких пределах – от сотых долей герца до сотен килогерц. Обычно для отдельного генератора коэффициент перекрытия по частоте составляет в среднем 10^4 .

По частотному диапазону генераторы низкой частоты делятся на следующие группы:

- инфразвуковые (менее 20 Гц);
- звуковые (от 20 Гц до 20 кГц);
- ультразвуковые (от 20 до 300 кГц).

Измерительные генераторы низкой частоты используются очень широко при настройке УНЧ, НЧ–каскадов радиоприемников, при измерениях частоты, фазы, индуктивности, емкости и в других случаях.

По принципу работы задающего генератора (ЗГ) измерительные генераторы низкой частоты делятся на группы:

- типа LC;
- типа RC;
- на биениях.

В LC–генераторах частота определяется индуктивностью и емкостью колебательного контура:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Такие генераторы обычно имеют несколько фиксированных частот и применяются в качестве модуляторов в ИГ высокой частоты (ВЧ). В качестве ИГ они практически не применяются из-за необходимости создания катушек индуктивности с большими значениями индуктивности, обладающих большими габаритами и весом.

Генератор на биениях работает следующим образом. Генератор фиксированной частоты генерирует колебания частотой f_1 . Генератор регулируемой частоты генерирует колебания с частотой f_2 , которая плавно регулируется в некоторых пределах. На выходе смесителя образуются колебания с частотой $f = f_2 - f_1$, называемые биениями. Они поступают на фильтр низких частот, где задерживаются все колебания, кроме частоты f , усиливаются и через аттенюатор передаются на выход генератора. Структурная схема генератора на биениях приведена на рис. 1.3.4.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ–106 представляет собой RC – генератор с плавной установкой частоты и системой стабилизации уровня выходного напряжения. Структурная схема генератора ГЗ–106 приведена на рис. 1.3.5.

В RC–генераторах частота определяется значениями сопротивления и емкости, входящими в цепь положительной обратной связи, необходимой для генерации сигнала. Частота выходного сигнала определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Основой прибора является задающий генератор представляющий собой усилитель охваченный цепью положительной обратной связи с RC– цепочкой, и цепью отрицательной обратной связи.

Усилитель напряжения обеспечивает заданный уровень напряжения, подаваемого на выход через аттенюатор. Он должен иметь большую стабильность коэффициента усиления, малые нелинейные искажения и высокую чувствительность

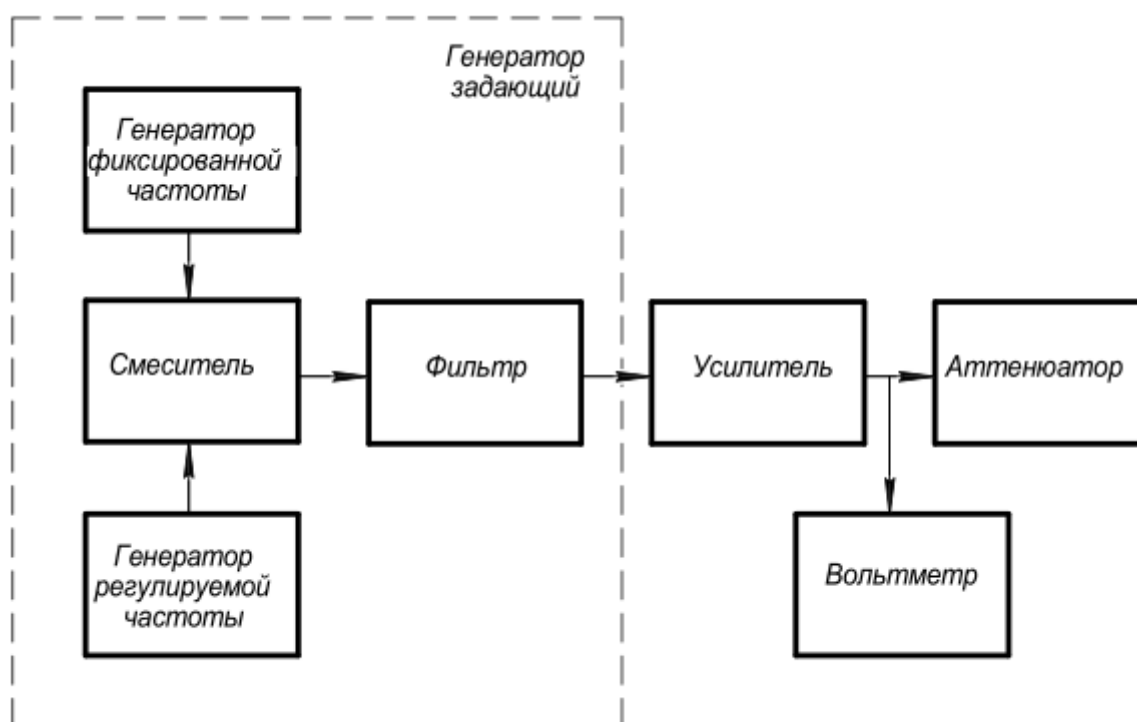


Рис. 1.3.4. Структурная схема генератора на биениях

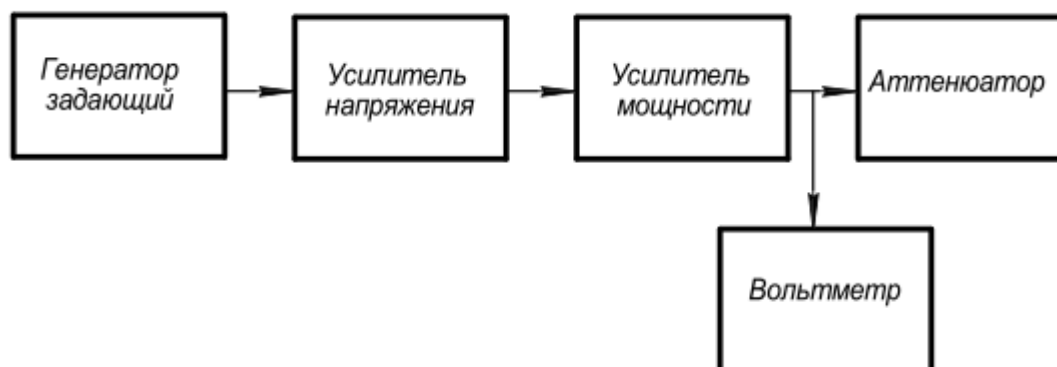


Рис. 1.3.5. Упрощённая структурная схема генератора ГЗ–106

Основное значение усилителя мощности – обеспечить мощность сигнала, поступившего с задающего генератора. Усилитель мощности работает в режиме большого сигнала, что обуславливает большое потребление мощности от источника сигнала, поэтому КПД и уровень нелинейных искажений являются существенными показателями. Чаще всего усилитель мощности выполняется в виде транзисторного усилителя, работающего в режиме В или АВ.

Аттенюатор представляет собой делители напряжения и служит для подачи на выход генератора определенного уровня напряжения. Применение низкоомных резисторов позволяет получить необходимые частотные характеристики аттенюатора.

Однотипность звеньев дает возможность сохранить постоянство входного и выходного сопротивлений аттенюатора в целом независимо от общего значения затухания. Чаще всего входное и выходное сопротивление аттенюатора одинаковы и составляют 600 Ом. Общее затухание всех звеньев аттенюатора выбирается примерно 100–120 дБ, причем затухание одного звена может быть 10 или 20 дБ.

Выходное сопротивление с учетом назначения измерительных генераторов низкой частоты обычно составляют 5, 200, 600 Ом и 5 кОм. Если генератор работает на нагрузку, сопротивление которой превышает возможные выходные сопротивления прибора, включается внутреннее нагрузочное сопротивление. Это предусмотрено потому, что при холостом ходе напряжение на вторичной обмотке трансформатора превышает расчетную величину, что, в свою очередь, не позволяет правильно определить напряжение на нагрузке по измерительным приборам и отсчетным устройствам выходных цепей генератора.

Значение внутреннего нагрузочного сопротивления принимается равным выходному сопротивлению аттенюатора и составляет 600 Ом. Конечные значения рабочей части шкалы у вольтметров измерительных генераторов устанавливаются $1 \cdot 10^n$ и $3,16 \cdot 10^n$ (n – любое целое положительное число, отрицательное число или ноль). Такой выбор конечных значений определяется тем, что, как правило, вольтметры измерительных генераторов имеют еще шкалу, градуированную в децибелах.

Градуировка в децибелах выполняется относительно начального уровня 0,775. Этот уровень в технике проводной связи выбирается за абсолютный нулевой уровень по напряжению.

Следует помнить, что напряжение на выходе генератора фактически определяется по показаниям вольтметра и установленному ослаблению выходных аттенюаторов только при согласованной нагрузке. При отсутствии согласования измеренное напряжение на выходе генератора будет отличаться от значения, определенного по показаниям встроенного вольтметра с учетом установленного ослабления аттенюатора. Внешний вид передней панели генератора ГЗ–106 приведена на рис. 1.3.6.



Рис. 1.3.6. Внешний вид передней панели генератора ГЗ–106

На рис. обозначены:

- 1 – переключатель режима работы;
- 2 – переключатель множителя частоты;
- 3 – ручка плавной установки частоты;
- 4 – измеритель уровня выходного сигнала;
- 5 – включатель напряжения питания;
- 6 – ручка плавной установки уровня выходного сигнала;
- 7 – гнезда дискретной установки уровня выходного сигнала.

4. Порядок выполнения работы

Провести измерения напряжения на выходе генератора высокой частоты цифровым вольтметром в следующем порядке.

Собрать схему измерения согласно рисунку 1.4.1.

Установить переключатель "ДИАПАЗОНЫ MHz" в положение, соответствующее требуемому диапазону.

Установить среднюю частоту в пределах диапазона генератора.

Вращением ручки "УСТАНОВКА УРОВНЯ К" установить стрелку измерителя на риску "К". Визир "μV" установить влево до отказа.

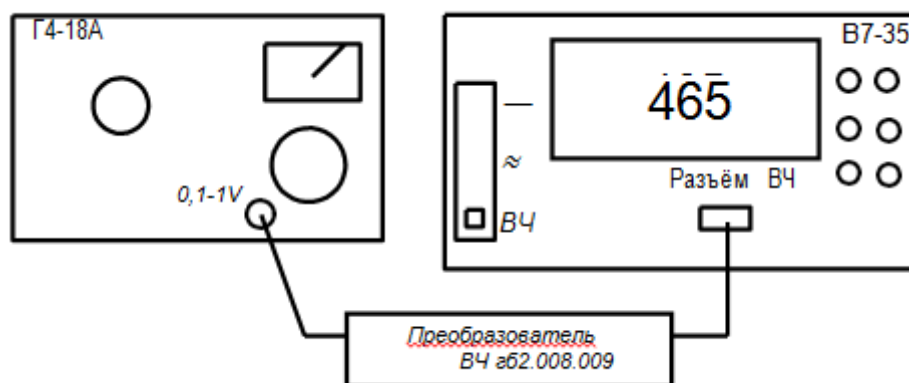


Рис. 1.4.1 Схема измерений напряжения на выходе генератора высокой частоты

Для получения напряжения свыше 0,1 вольта генератор Г4–18А имеет выходное гнездо "0,1 — 1V", напряжение на которое поступает прямо с декадного аттенюатора с коэффициентом ослабления через 2 дБ.

Выходное напряжение с гнезда "0,1–1V" выводится кабелем и через преобразователь ВЧ подаётся на вход ВЧ вольтметр В3–35.

Произвести замеры цифровым вольтметром. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 1.4.1.

Расчётные формулы:

а) вычисление амплитудного значения U_m измеренного напряжения:

$$U_m = 1,41 \times U_{\text{изм}}$$

б) вычисление значения среднев्यпрямленного $U_{\text{ср.в}}$ измеренного напряжения:

$$U_{\text{ср.в}} = 0,9 \times U_{\text{изм}}$$

в) вычисление абсолютной погрешности Δ_U измерения напряжения:

$$\Delta_U = \frac{K_T \times U_{\text{ном}}}{100}$$

г) вычисление относительной погрешности δ_U измерения напряжения:

$$\delta_U = \frac{\Delta_U}{U_{\text{изм}}} \times 100\%$$

где K_T – класс точности (относительная погрешность) измерительного прибора; $U_{\text{изм}}$ – показания измерительного вольтметра; $U_{\text{ном}}$ – верхний предел шкалы, на которой было произведено измерен.

Табл.1.4.1. Результаты измерений и расчетов напряжения на выходе генератора

Диапазон МГц	Измеренное напряжение $U_{\text{изм}}$, В	U_m , В	U_{CB} , В	Δ_U , В	δ_U , %	Предел измерения
I						
II						
III						
IV						

Провести измерения частоты выходного сигнала генератора цифровым частотомером.

Собрать схему измерения согласно рисунку 1.4.2.

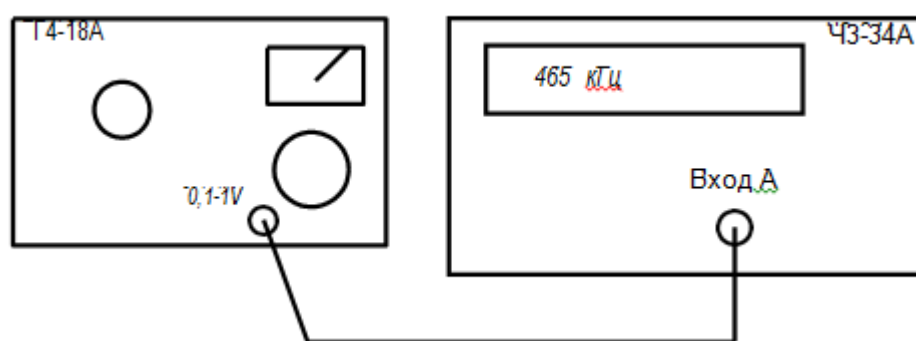


Рис. 1.4.2. Схема измерения частоты выходного сигнала генератора

Установить значение синусоидального выходного напряжения по измерителю уровня выходного сигнала генератора равное 1 В. Для этого вращением ручки "УСТАНОВКА УРОВНЯ К" установить стрелку измерителя на риску "К".

Установить значение частоты синусоидального выходного сигнала согласно таблице 4.2. и произвести замеры установленной частоты цифровым частотомером. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 1.4.2.

Табл.1.4.2. Результаты измерений и расчётов значений выходной частоты

Параметр	Значения частоты генератора F_{Γ}				
	200 кГц	650 кГц	2 МГц	7 МГц	15 МГц
Измеренная частота $F_{\text{изм}}$, кГц					
Δ_F , кГц					
$\gamma_{\text{и}}$, %					
$\gamma_{\text{ч}}$, %					

Расчётные формулы:

а) вычисление абсолютной номинальную погрешность измерения частоты по формуле:

$$\Delta_F = F_{\Gamma} - F_{\text{изм}}$$

где F_{Γ} – номинальное значение частоты сигнала на выходе генератора; $F_{\text{изм}}$ – показания частотомера.

б) вычисление относительной номинальной погрешности измерения частоты по формуле:

$$\gamma_{\text{и}} = \frac{\Delta_F}{F_{\Gamma}} \times 100\%$$

в) вычисление основной относительной погрешности измерения частоты частотомером

$$\gamma_{\text{ч}} = \left(\delta_0 + \frac{1}{F_{\text{изм}} \times t_{\text{сч}}} \right) 100$$

где δ_0 – основная относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора или внешнего источника опорной частоты; $F_{\text{изм}}$ – измеряемая частота в Гц; $t_{\text{сч}}$ – время счета в сек.

Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом осциллограмм выполнить по схеме, изображенной на рис. 6, с помощью электронного осциллографа С1–55 производить в следующей последовательности..

Собрать схему измерения, изображённую на рис. 1.4.3.

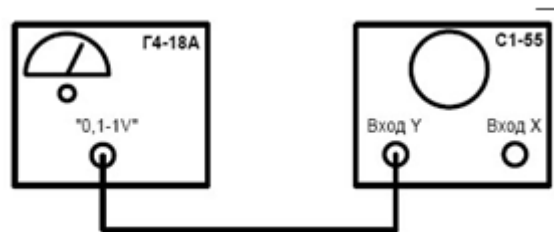


Рис. 1.4.3. Схема измерения коэффициента амплитудной модуляции

Установить переключатель "ДИАПАЗОНЫ МНz" в положение, соответствующее требуемому диапазону.

Установить нужную частоту в пределах диапазона прибора и более плавно отрегулировать ее верньерной ручкой (ручка с нониусными делениями).

Вращением ручки "УСТАНОВКА УРОВНЯ К" установить стрелку измерителя на риску "К". Визир " μ V" установить влево до отказа.

Для получения напряжения свыше 0,1 вольта генератор Г4-18А имеет выходное гнездо "0,1 — 1V", напряжение на которое поступает прямо с декадного аттенюатора с коэффициентом ослабления через 2 дБ.

При помощи этого аттенюатора и ручки " μ V" можно регулировать величину снимаемого напряжения. При повороте ручки " μ V" стрелка индикатора уровня отклоняется влево, при этом уровень "К" поправлять нельзя.

Выходное напряжение с гнезда "0,1-1V" выводится кабелем, прикладываемым к генератору, не имеющим на конце делителя. Выходное сопротивление этого выхода около 100 ом. Погрешность установки выходного напряжения с этого гнезда не гарантируется.

При снятом модулирующем напряжении и верхнем ("УРОВЕНЬ "К") положении тумблера "УРОВЕНЬ "К"—М%" произвести установку стрелки измерителя уровня выходного сигнала на контрольную риску (визир " μ V" при этом в левом крайнем положении).

Затем установить переключатель рода работ в положение 1000 Гц, а тумблер "УРОВЕНЬ "К"—М%" в положение М% и непосредственно по стрелочному измерителю установить требуемый процент глубины модуляции в пределах от 10% до 95% с помощью ручки "УСТ. М%".

Произвести измерение коэффициента амплитудной модуляции $M\% = 20; 40; 60; 80; 100$.

Параметры сигнала генератора:

- частота $F_{\text{нес}} = 3,5 \text{ МГц}$;
- выходное напряжение $U_{\text{вых}} = 0,7 \text{ В}$;
- частота модуляции $F_{\text{мод}} = 1000 \text{ Гц}$.

Измерить коэффициент амплитудной модуляции согласно п.4.7.5 настоящих методических указаний.

Рассчитать погрешности измерений:

абсолютная погрешность равна $\Delta = |M_{\text{ген}} - M_{\text{изм}}|$

приведенная погрешность равна: $\gamma = \frac{\Delta \times 100\%}{M_{\text{ген}}}$

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.4.3.

Табл.1.4.3. Результаты измерений и вычислений коэффициента амплитудной модуляции.

Условия измерений	$M_{\text{ген}}$, %	A, дел	B, дел	$M_{\text{изм}}$, %	Δ , %	γ , %
$F_{\text{нес}} = 3,5 \text{ МГц}$ $F_{\text{мод}} = 1000 \text{ Гц}$ $U_{\text{вых}} = 0,7 \text{ В}$	20					
	40					
	60					
	80					
	100					

Провести измерения напряжения на выходе генератора низкой частоты цифровым вольтметром в следующем порядке.

Собрать схему измерения согласно рисунку 1.4.4.

Установить значение частоты выходного синусоидального сигнала генератора равной 50 кГц.

Установить значение синусоидального выходного напряжения по измерителю уровня выходного сигнала генератора согласно таблице 1 и произвести замеры цифровым вольтметром. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 1.4.4.

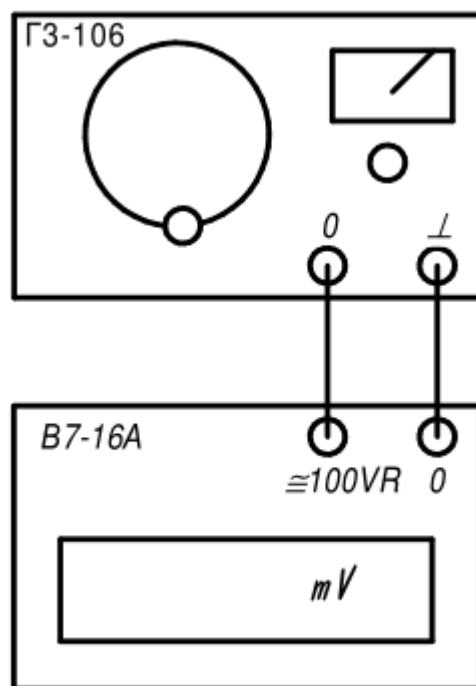


Рис. 1.4.4. Схема измерения напряжения на выходе генератора

Табл.1.4.4. Результаты измерений и расчетов.

Выходное напряжение генератора U_{Γ} , В	Измеренное напряжение $U_{\text{изм}}$, В	U_m , В	$U_{\text{ср.в}}$, В	ΔU , В	δU , %	Предел измерения
1						
2						
3						
4						
5						

Расчётные формулы:

вычисление амплитудного значения U_m измеренного напряжения:

$$U_m = 1,41 \times U_{\text{изм}}$$

вычисление значения средневыпрямленного U ср.в измеренного напряжения:

$$U_{\text{ср.в}} = 0,9 \times U_{\text{изм}}$$

вычисление абсолютной погрешности ΔU измерения напряжения:

$$\Delta_U = \frac{K_T \times U_{\text{ном}}}{100}$$

вычисление относительной погрешности δU измерения напряжения:

$$\delta_U = \frac{\Delta_U}{U_{\text{изм}}} \times 100\%$$

где K_T – класс точности (относительная погрешность) измерительного прибора; $U_{\text{изм}}$ – показания измерительного вольтметра; $U_{\text{ном}}$ – верхний предел шкалы, на которой было произведено измерение.

Провести измерения частоты выходного сигнала генератора цифровым частотомером.

Собрать схему измерения согласно рисунку 1.4.5.

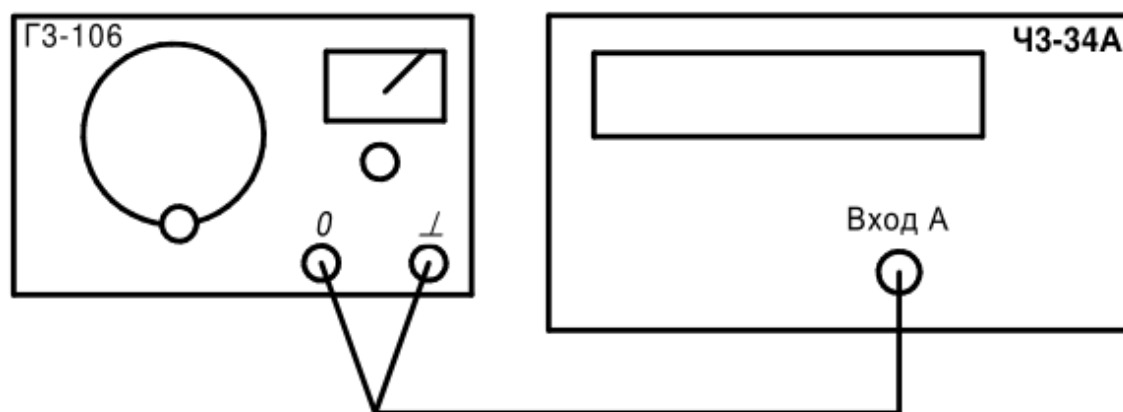


Рис. 1.4.5. Схема измерения частоты выходного сигнала генератора.

Установить значение синусоидального выходного напряжения по измерителю уровня выходного сигнала генератора равное 1 В.

Установить значение частоты синусоидального выходного сигнала согласно таблице 4.5. и произвести замеры установленной частоты цифровым частотомером. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 1.4.5.

Таб.1.4.5. Результаты измерений и расчётов

Параметр	Значения частоты генератора F_{Γ}				
	20 Гц	200 Гц	2 кГц	20 кГц	200 кГц
Измеренная частота $F_{\text{изм}}$, кГц					
ΔF , кГц					
$\gamma_{\text{и}}$, %					
$\gamma_{\text{ч}}$, %					

Расчётные формулы:

а) вычисление абсолютной номинальную погрешность измерения частоты по формуле:

$$\Delta_F = F_{\Gamma} - F_{\text{изм}}$$

где F_{Γ} – номинальное значение частоты сигнала на выходе генератора; $F_{\text{изм}}$ – показания частотомера.

б) вычисление относительной номинальной погрешности измерения частоты по формуле:

$$\gamma_{\text{и}} = \frac{\Delta_F}{F_{\Gamma}} \times 100\%$$

в) вычисление основной относительной погрешности измерения частоты

частотомером:

$$\gamma_{\text{ч}} = \left(\delta_0 + \frac{1}{F_{\text{изм}} \times t_{\text{сч}}} \right) 100$$

где δ_0 – основная относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора или внешнего источника опорной частоты; $F_{\text{изм}}$ – измеряемая частота в Гц; $t_{\text{сч.}}$ – время счета в сек.

5. Содержание отчета

- 1) Наименование работы.
- 2) Цель работы.
- 3) Приборы и оборудование.
- 4) Схемы измерений.
- 5) Таблицы результатов измерений.
- 6) Расчётные формулы.
- 7) Основные технические характеристики измерительных приборов, применённых в работе.
- 8) Выводы о проделанной работе.

6. Контрольные вопросы

Структурная схема высокочастотного генератора, назначение основных узлов;

Структурная схема низкочастотного генератора на основе RC-генератора, назначение;

Структурная схема низкочастотного генератора на биениях, назначение основных узлов;

Основные технические данные высокочастотного генератора;

Основные технические данные низкочастотного генератора;
Применение высокочастотного генератора;
Применение низкочастотного генератора;
Измерение коэффициента АМ осциллографическим методом;
Назначение органов управления высокочастотного генератора;
Назначение органов управления низкочастотного генератора;
Дать определение глубины модуляции;
Дать определение изменению коэффициента амплитудной модуляции методом осциллограмм (непрерывная развертка);
Дать определение коэффициента модуляции;
Что такое огибающая модулированного колебания;
Назвать виды модуляции.

7. Литература

Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М. Дрофа, 2005.

Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. – М. Энергоатомиздат, 1987.

Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. –М: «КноРус», 2011г.

Приложения к лабораторной работе №1

Приложение А

Генератор ГЗ–106

А.1 Генератор ГЗ–106 – источник синусоидальных и прямоугольных электрических колебаний в диапазоне звуковой и ультразвуковой частоты.

А.2 Генератор ГЗ–106 – малогабаритный портативный генератор РС–типа с плавной установкой частоты в пределах каждого из 4 поддиапазонов.

А.3 Генератор ГЗ–106 может использоваться как источник сигнала в системах контроля радиотехнических средств, в комплектах аппаратуры связи и дальней связи, в селективных и широкополосных системах.

А.4 В режиме синхронизации генератор ГЗ–106 представляет собой активный фильтр и может применяться для уменьшения гармонических искажений синхронизирующего сигнала, повышения его

выходного уровня, получения синусоидального сигнала из несинусоидального.

А.5 Выходное напряжение отсчитывается по шкале встроенного вольтметра (шкала вольтметра отградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального сигнала – вольтах) и выходному аттенюатору.

А.6 Технические характеристики генератора ГЗ–106:

- а) диапазон частот: 20 Гц–200 кГц (4 поддиапазона);
- б) основная погрешность установки частоты: $\pm(3+30/f) \%$;
- в) нестабильность частоты: $\pm 20 \cdot 10^{-4} f$ (за 15 минут) и $\pm 200 \cdot 10^{-4} f$ (за 3 часа);
- г) выходное напряжение: 5 В (600 Ом);
- д) ослабление выходного напряжения: 0–60 дБ с дискретностью через 20 дБ (с делителем) и –22 дБ (плавно регулируемое);
- е) погрешность установки выходного напряжения: $\pm 6 \%$ (установка опорного уровня) и $\pm 0,8$ дБ (делитель);
- ж) нестабильность выходного напряжения: $\pm 1 \%$ (за 15 минут) и $\pm 10 \%$ (за 3 часа);
- и) коэффициент гармоник, %: 0,5 (20–200 Гц); 0,3 (200 Гц–20 кГц); 1 (20–200 кГц);
- к) параметры сигнала прямоугольной формы:
 - амплитуда: 5 В (600 Ом);
 - скважность: 2;
 - длительность фронта и среза: 150 нс;
- л) потребляемая мощность: 20 ВА;
- м) питание: 220 \pm 22 В, 50 Гц или 115 В, 400 Гц;
- н) масса: 4,6 кг.
- п) габариты: 225х258х162 мм.

Приложение Б

Вольтметр В7–16А

Б.1 Назначением вольтметров является измерение напряжения в электрических цепях. Вольтметр В7–16А имеет ряд преимуществ перед другими приборами подобного класса.

Б.2 Основные технические характеристики:

- а) число индицируемых разрядов – 4;
- б) измерение напряжения постоянного тока – 100 мкВ...1000В;
- в) измерение напряжения переменного тока – 100 мкВ...1000В;

- г) основная погрешность не более – 0,2%;
- д) частота измеряемого напряжения – 20Гц....30МГц;
- е) измерение сопротивления постоянному току – 0,1...10 МОм;
- ж) активное входное сопротивление – 10 МОм;
- и) габаритные размеры – 384х128х360 мм;
- к) масса – 7 кг.

Приложение В

Частотомер ЧЗ–34А

В.1 Назначение частотомера ЧЗ–34А:

Частотомер электронносчетный ЧЗ–34А предназначен для измерения частоты, периода электрических колебаний, интервалов времени, отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов.

В.2 Особенности частотомера ЧЗ–34А:

- а) измерение частоты синусоидальных сигналов (от 10Гц до 120МГц);
- б) измерение частоты импульсных сигналов (от 10Гц до 20МГц);
- в) измерение периода электрических колебаний (от 10мкс до 100с);
- г) измерение интервалов времени (от 0,1мкс до 100с);
- д) измерение отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов;
- е) измерение выдачи сигнала импульсной (от 0,1Гц до 10МГц)

и

синусоидальной формы (10МГц);

ж) автоматический и ручной запуск

В.3 Технические характеристики:

- а) диапазон измеряемых частот – 10Гц–120МГц (0,12ГГц–4ГГц с блоком ЯЗЧ–51);
- б) диапазон частот при измерении периода – 0,01Гц–100кГц;
- в) погрешность измерения:
 - частоты – $\pm \delta 0 \pm 1$ ед. сч.,
 - периода – $\pm \delta 0 \pm ((3 \cdot 10^{-3})/n \pm f_{вх}/(f_{факт} \cdot n))$;
 где $\delta 0 = \pm 10^{-7}$ – погрешность основного внутреннего генератора;
- г) диапазон измеряемых интервалов времени – 10^{-7} с– 10^2 с;

- д) пределы измерения отношения частот – (10Гц–20МГц)/(0,01Гц–100кГц);
- е) напряжение входного сигнала :
 - синусоидального – 0,1В–100В;
 - импульсного – 0,5В–100В;
- ж) нестабильность частоты кварцевого генератора за 1 сутки – $\pm 5 \cdot 10^{-9}$;
- и) входной импеданс:
 - при измерении частоты – 15 кОм/80пФ;
 - при измерении периода – 1 кОм/100пФ;
- к) потребляемая мощность – 100В·А;
- л) габаритные размеры – 480х120х420мм;
- м) масса – 22кг.

Лабораторная работа №2 «Изучение технического описания и органов настройки и регулирования импульсного генератора»

1. Цель работы

- 1) Изучить принцип действия и структурную схему импульсного генератора.
- 2) Получить навыки работы с импульсным генератором и измерения его выходных параметров.
- 3) Дать анализ полученных результатов и сделать вывод о проделанной работе.

2. Приборы и оборудование

Генератор импульсов Г5–54.

Электронносчетный частотомер ЧЗ–34А.

Осциллограф С1–72.

3. Теоретические данные

Измерительные генераторы импульсных сигналов обычно выдают импульсы прямоугольной формы, основные параметры которых можно регулировать в некоторых пределах.

Генераторы используются для проверки и настройки различной электронной аппаратуры, работающей в импульсном режиме.

Кроме того, генераторы импульсов могут быть использованы при измерении параметров интегральных микросхем.

Основные параметры импульсного сигнала (см. рис. 2.3.1. и 2.3.2.).

Метрологические характеристики импульса устанавливаются в соответствии с ГОСТ 16465–70:

длительность импульса на уровне 0,5 его высоты, τ ;

фронт, τ_f – соответствует времени нарастания импульса от $0,1U_m$ до $0,9U_m$

спад, τ_s – соответствует времени убывания импульса от $0,9U_m$ до $0,1U_m$;

амплитуда, U_m ;

период следования, T ;

частота, F ;

задержка, t_z ;

неравномерность вершины, h_1 ;

скважность импульсов, $q = \frac{T_{И}}{\tau}$

коэффициент заполнения, $\gamma = \frac{\tau}{T_{И}}$

Выбросы на вершине h_1 и в паузе h_2 импульса – кратковременные изменения мгновенного значения импульсного напряжения на участке установления вершины и на участке спада импульса от линий, определяющих вершину импульса и его основание соответственно.

Они выражаются в процентах от значения амплитуды импульса. Импульс считается прямоугольными, если выполняется условие:

$$\tau_{\phi} + \tau_c < \tau$$

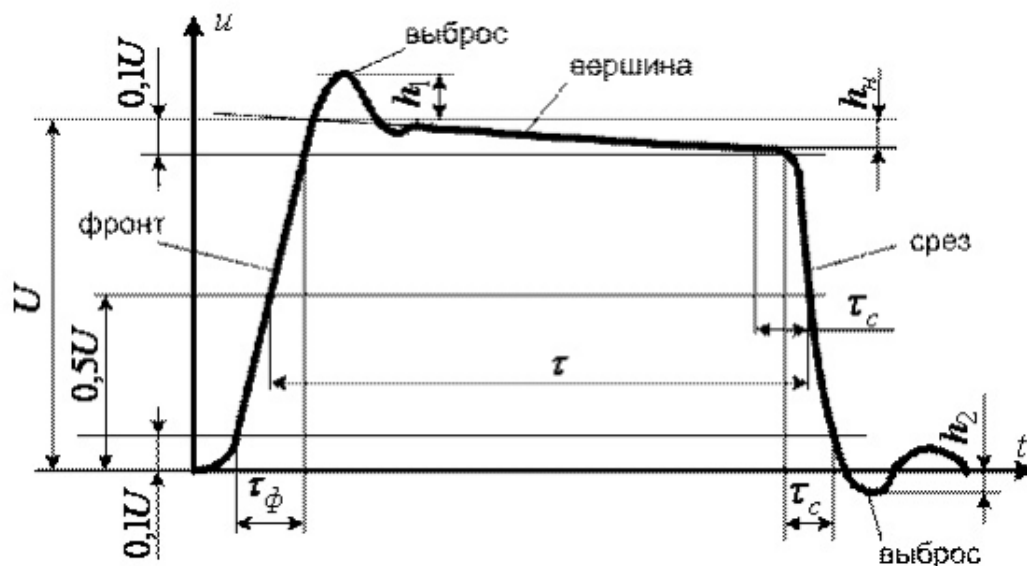


Рис. 2.3.1. Реальная форма одиночного импульса

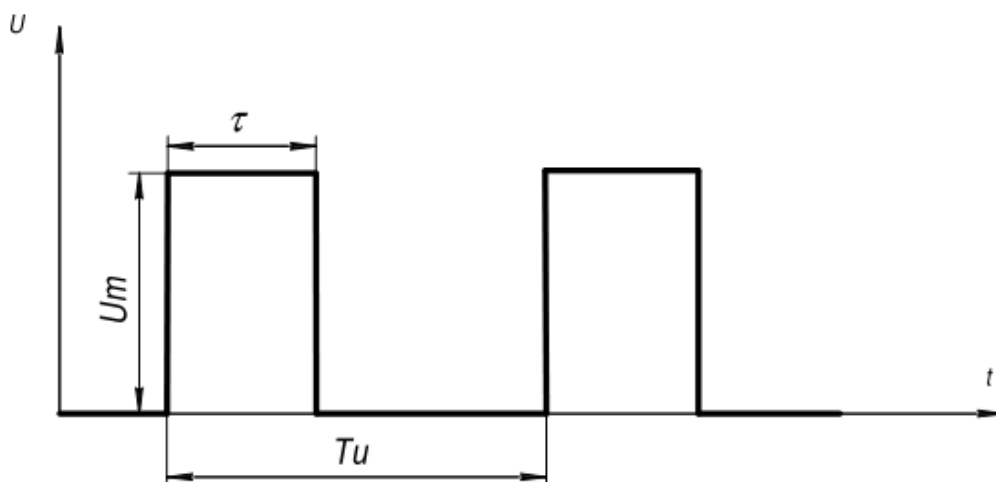


Рис. 2.3.2. Последовательность импульсного сигнала

Классификация генераторов импульсов.

В зависимости от выходной последовательности основных импульсов

генераторы импульсных сигналов делятся на генераторы:

- одинарных импульсов;
- парных импульсов;
- кодовых пакетов;
- кодовых комбинаций;
- псевдослучайных последовательностей импульсов с про-

граммным и ручным

управлением параметрами.

По числу каналов генераторы подразделяются на:

- одноканальные;
- многоканальные.

Структурная схема генератора импульсов.

Структурная схема одноканального генератора импульсов приведена на рис. 2.3.3.

Выходная последовательность импульсов с заданными параметрами формируется на выходе основные импульсы – ОИ.

Кроме этой последовательности, на выходе СИ формируется другая последовательность импульсов синхроимпульсов.

Возможны три режима запуска генератора импульсов:

- внутренний;
- внешний;
- однократный.

Первые два режима обеспечивают формирование на выходе генератора периодических импульсных последовательностей, третий – формирование только одного импульса.

При внутреннем запуске верхний ключ на входе блока синхронизации, обозначенный квадратом с точкой, замкнут, остальные разомкнуты. К блоку синхронизации будет подключен задающий (внутренний) генератор.

Режим внешней синхронизации устанавливается при нажатии соответствующего ключа с обозначением импульса положительной полярности, отрицательной полярности или синусоиды. В этом случае задающий генератор отключается, а на вход СИ блока синхронизации должен быть подан сигнал от внешнего генератора, например, аналогичного генератора импульсов.

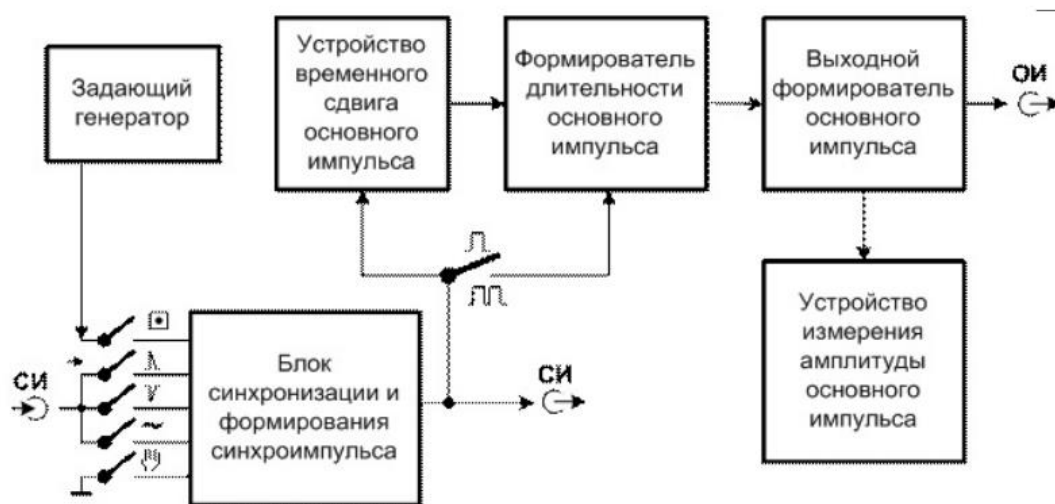


Рис. 2.3.3. Структурная схема генератора импульсов

Форма сигнала, поступающего от внутреннего или внешнего генератора, может быть синусоидальной или импульсной. Частота колебаний этого сигнала определяет частоту (период T) повторения основных импульсов и импульсов синхронизации. Блок синхронизации преобразует сигналы, поступающие на его вход, в последовательность коротких импульсов, частота следования которых равна частоте входного сигнала.

При этом из напряжения от внешнего генератора короткие импульсы формируются:

- по фронту импульса положительной полярности;
- по фронту импульса отрицательной полярности;
- по перепаду напряжения синусоидальной формы.

Формирование только одного периода выходного сигнала осуществляется путем кратковременного нажатия кнопки ручного запуска на входе блока синхронизации, обозначенной в виде руки.

Импульсы с выхода блока синхронизации используются для формирования основных импульсов, а также поступают на выход синхроимпульсов. СИ для синхронизации внешних устройств, например, генераторов, осциллографов.

Устройство временного сдвига в режиме формирования последовательности одиночных импульсов обеспечивает появление основного импульса на выходе ОИ относительно синхроимпульса на выходе СИ, в режиме формирования последовательности парных импульсов задержку второго основного импульса пары относительно синхроимпульса.

Надо помнить, что значение временного сдвига не должно превышать при формировании последовательности одиночных импульсов периода основных импульсов. При формировании последовательности парных импульсов величина должна принимать значения в пределах . Устройство формирования длительности основного импульса обеспечивает формирование основных импульсов необходимой регулируемой длительности. Иногда регулируются также длительность фронта и среза.

Выходной формирователь обеспечивает требуемую (регулируемую) амплитуду основных импульсов на выходе, изменение их полярности и согласование устройства формирования длительности основного импульса и нагрузки.

Контроль установленного значения амплитуды основных импульсов на выходе осуществляется с помощью устройства измерения амплитуды, которое обычно представляет собой амплитудный вольтметр. С помощью аттенюатора в схеме выходного формирователя осуществляется уменьшение установленной амплитуды импульсов в необходимое число раз. Обычно аттенюатор позволяет ослабить сигнал до 40 – 50 дБ, а в некоторых генераторах до 100 дБ.

Одним из важных параметров генераторов импульсов является выходное сопротивление, которое может составлять 50, 75, 500 и 1000 Ом, что должно учитываться при подборе их нагрузки во избежание искажения формы импульсов.

Двухканальный генератор имеет общие для каждого канала задающий генератор и блок синхронизации и отдельные устройства формирования временного сдвига, формирователи длительности импульса и его амплитуды. Кроме того, двухканальный генератор импульсов можно создать с использованием двух рассмотренных выше одноканальных генераторов. Для этого первый генератор работает в режиме внутреннего запуска. Синхроимпульс первого генератора подается на вход СИ второго генератора, включенного в режим внешнего запуска. Таким образом, оба генератора будут работать от одного задающего генератора, то есть синхронно. Схемы регулируемых задержек, имеющихся в обоих каналах, позволяют регулировать временной сдвиг между выходными импульсами первого и второго каналов.

Диапазон основных технических характеристик импульсных генераторов:

- длительность импульсов от долей наносекунд до единиц секунд;
- частота повторения от сотых долей герца до сотен мегагерц;
- амплитуда импульса от долей вольта до десятков вольт;
- погрешность установки параметров импульсных сигналов в большинстве моделей 10 %, у некоторых прецизионных генераторов 10 –2 –10 –4 % по временным параметрам.

4. Порядок выполнения работы

Провести измерения частоты следования выходных импульсов генератора в следующем порядке.

Собрать схему измерения согласно рисунку 2.4.1.

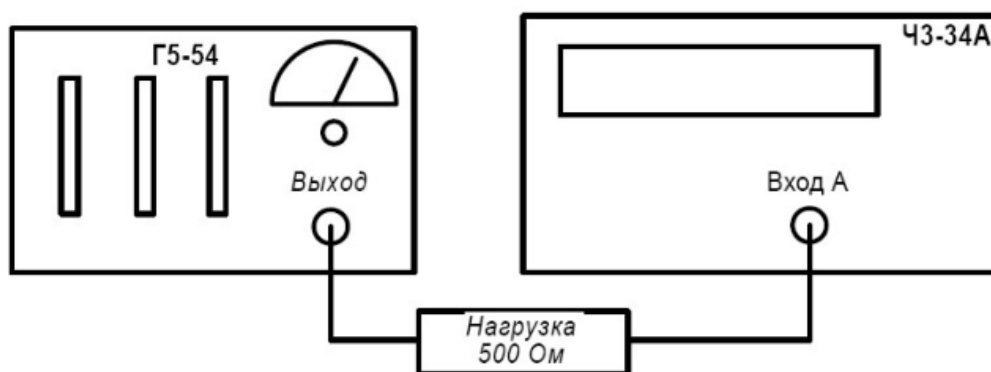


Рис. 2.4.1. Схема измерения частоты следования выходных импульсов генератора

Устанавливая значения частот выходных импульсов на генераторе Г5–54 указанные в таблице 1, снять показания частотомера ЧЗ–34А.

Длительность выходного импульса положительной полярности установить в пределах 5– 10 мкс.

Табл.2.4.1. Результаты измерения частоты выходного сигнала

Параметр	Частота выходных импульсов генератора $F_{Г}$, кГц								
	0,1	0,5	1	12	30	40	50	70	90
$F_{ИЗМ}$, кГц									
ΔF , кГц									
δ_F , %									

Расчётные формулы:

а) вычисление абсолютной погрешности ΔF измерения частоты:

$$\Delta F = F_{\Gamma} - F_{\text{изм}}$$

где F_{Γ} – частота выходных импульсов генератора Г5–54; $F_{\text{изм}}$ – показания цифрового частотомера ЧЗ–34А.

б) вычисление относительной погрешности δF измерения частоты:

$$\delta F = \frac{\Delta F}{F_{\Gamma}} 100$$

Построить график зависимости относительной погрешности δF от частоты F . Провести измерения амплитуды и длительности выходного сигнала генератора электронным осциллографом.

Собрать схему измерения согласно рисунку 2.4.2.

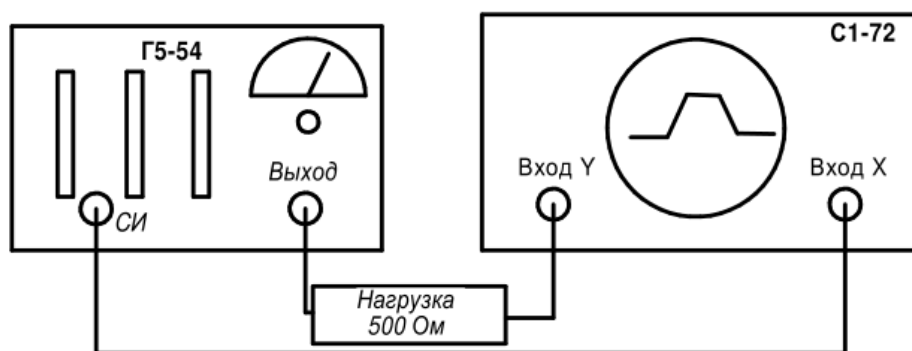


Рис. 2.4.2. Схема измерения амплитуды и длительности выходного сигнала

Получить на экране осциллографа изображение импульсной последовательности с генератора импульсов, установив на нем параметры, применив внешний запуск развертки осциллографа импульсом с гнезда “синхроимпульсы” генератора Г5–54:

а) при измерении амплитуды импульса – частота F_{Γ} – 10 кГц, длительность импульса $\tau = 5$ мкс;

б) при измерении длительности импульса – амплитуды импульса $U_{\Gamma} = 2$ В, частота $F_{\Gamma} = 1$ кГц.

Провести измерение следующих параметров импульсной последовательности генератора:

а) амплитуду импульса, используя калиброванные значения коэффициентов отклонения.

Сравнить ее с показанием вольтметра генератора с учетом включенного коэффициента ослабления.

Отклонение луча l_y на экране будет пропорционально подаваемому на вход Y сигнала и будет характеризоваться коэффициентом отклонения $K_{откл}$, используя который можно определить амплитуду (размах) входного сигнала (см. рис. 2.4.3.):

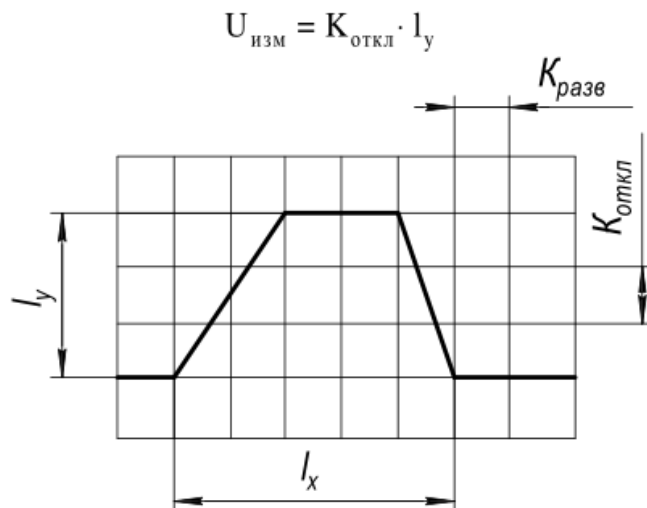


Рис. 2.4.3. Измерение амплитуды и длительности выходного импульса осциллографом.

Оценить точность измерения. Результат измерения представить в виде $U_{имп} = U_{из} \pm \Delta U$ с учетом правила округления. Результаты измерений свести в таблицу 2.4.3.

Табл.2.4.2 Результаты измерения амплитуды выходного сигнала

Параметр	Амплитуда выходного импульсного сигнала по шкале генератора $U_{г}$, В			
	0,6	2	6	20
$K_{откл}$, В/дел				
L_y , дел				
$U_{изм}$, В				
Δ_A , В				
δ_A , %				

б) длительности импульсов с помощью калиброванной раз-
вертки.

При измерении длительности импульса необходимо “растя-
нуть” его по горизонтали до величины не менее 0,4 размера экрана и,
измерив на экране размер импульса l_x по уровню 0,5 амплитуды,
определить длительность импульса (см. рис. 4.2.):

$$\tau_{\text{имп}} = K_{\text{РАЗВ}} \times l_x$$

Данные измерений свести в таблицу 2.4.3, соблюдая правила
округления.

Табл. 2.4.3. Результаты измерения длительности выходных им-
пульсов

Параметр	Длительность выходных импульсов по шкале генерато- ра τ , мкс				
	1	10	30	100	300
$K_{\text{РАЗВ}}$, мкс/дел					
l_x , дел					
$\tau_{\text{изм}}$, мкс					
Δ_{τ} , мкс					
δ_{τ} , %					

Оценка погрешностей измерений.

а) Измерение амплитуды импульса

Поскольку определение амплитуды импульса относится к
косвенным измерениям и определение погрешности производится на
основании узаконенных правил.

Вычисляя частные погрешности путем нахождения частных
производных, и переходя к относительным погрешностям, получим

$$\delta_A = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_K^2}$$

где δ_A – относительная погрешность измерения амплитуды
импульса, δ_1 – относительная погрешность измерения отклонения
(размер импульса по вертикали), δ_K – предел допустимой основной
погрешности коэффициента канала вертикального отклонения (см.
технические данные на осциллограф).

В свою очередь визуальная погрешность измерения отрезка по
ГОСТ на электронно–лучевые осциллографы составляет:

$$\delta_1 = \frac{0,4 \times q}{l}$$

где q – толщина луча на экране осциллографа, мм; l – измеренное отклонение, мм.

Абсолютное значение погрешности определить по формуле:

$$\Delta_A = \delta_A \times U_{\text{изм}}$$

б) Измерение длительности импульса.

Относительная погрешность измерения временного интервала определится:

$$\delta_\tau = \sqrt{\delta_l^2 + \delta_K^2}$$

где δ_l – относительная погрешность измерения отклонения луча (длительности импульса); δ_K – предел допускаемой основной погрешности коэффициента развертки.

Значение абсолютной погрешности измерения длительности импульса, периода повторения определится:

$$\Delta_\tau = \delta_\tau \times \tau_{\text{изм}}$$

5. Содержание отчета

- 1) Наименование работы.
- 2) Цель работы.
- 3) Приборы и оборудование.
- 4) Выполнение работы:
- 5) Схемы измерений.
- 6) Таблицы результатов измерений.
- 7) Расчётные формулы и осциллограммы сигнала при измерении амплитуды и длительности импульса.
- 8) График зависимости относительной погрешности δF от частоты F .
- 9) Основные технические характеристики измерительных приборов, применённых в работе.
- 10) Выводы о проделанной работе.

6. Контрольные вопросы

Классификация импульсного генераторов.

Структурная схема импульсного генератора, назначение основных узлов.

Применение импульсных генераторов.

Параметры прямоугольных импульсов.

Основные технические данные генератора Г5–54

Назначение органов управления генератора Г5–54.

7. Литература

Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М. Дрофа, 2005.

Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. – М. Энергоатомиздат, 1987.

Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. – М: «КноРус», 2011 г.

Приложение к лабораторной работе №2

Приложение А

Генератор Г5–54

А.1 Генератор Г5–54 источник простых видов выходных последовательностей импульсов.

А.2 Генератор Г5–54 применяется для исследования различных радиотехнических устройств.

А.3 Основные технические характеристики генератора Г5–54:

- а) частота (период) повторения: 0,01 Гц–100 кГц.
- б) погрешность установки частоты: 0,1%.
- в) максимальная амплитуда импульса: 50 В (500 Ом).
- г) погрешность установки амплитуды: $0.1U + K \times 1$ В.
- д) длительность импульсов: 0,1–1000 мкс.
- е) неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами: менее 5 %.
- ж) временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса: 0–1000 мкс.
- и) потребляемая мощность: 50 ВА.
- к) масса: 6 кг.
- л) габариты: 370x227x185 мм.

Приложение Б

Осциллограф С1–72

Б.1 Осциллограф С1–72 предназначен для исследования сигналов с амплитудой 40 мВ – 60 В и длительностью 0,2 мкс – 0,5 с.

Б.2 Портативность прибора позволяет широко использовать его для ремонта и обслуживания различных радиотехнических и электронных устройств.

Б.3 Технические данные осциллографа С1–72

Б3.1 Канал вертикального отклонения:

- а) полоса пропускания – 0–10 МГц;
- б) время нарастания переходной характеристики – 35 нс;
- в) коэффициент отклонения – 20мВ/дел. –10В/дел.;
- г) погрешность – $\pm 5\%$;
- д) входное сопротивление – 1 МОм, 40 нФ; 10 МОм, 15 пФ (с

выносным делителем).

Б3.2 Канал горизонтального отклонения:

- а) коэффициент развёртки – 0,05мкс/дел. –50мс/дел.;
- б) погрешность – $\pm 5\%$.

Б3.3 Канал синхронизации:

- а) внутренняя – при изображении 6 мм и более (до 10 МГц);
- б) внешняя – сигналами амплитудой 0,3–3 В и частотой до 10 МГц;
- в) погрешность – $\pm 5\%$.

Б3.4 Тип индикатора – электронно–лучевая трубка 8ЛО4И, рабочая часть экрана – 30х60 мм.

Б3.5 Питание – от сети 220 В, 50 Гц; 115 или 220 В, 400 Гц; от источника постоянного тока 24 В; 0,75 А.

Б3.6 Потребляемая мощность – 35 ВА.

Б3.7 Габаритные размеры – 225х140х60 мм.

Б3.8 Масса – 8,5 кг.

Приложение В

Частотомер ЧЗ–34А

В.1 Назначение частотомера ЧЗ–34А:

Частотомер электронносчетный ЧЗ–34А предназначен для измерения частоты, периода электрических колебаний, интервалов времени, отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов.

В.2 Особенности частотомера ЧЗ–34А:

- а) измерение частоты синусоидальных сигналов(от 10Гц до 120МГц);
- б) измерение частоты импульсных сигналов (от 10Гц до 20МГц);
- в) измерение периода электрических колебаний (от 10мкс до 100с);
- г) измерение интервалов времени (от 0,1мкс до 100с);

д) измерение отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов;

е) измерение выдачи сигнала импульсной (от 0,1Гц до 10МГц) и синусоидальной формы (10МГц);

ж) автоматический и ручной запуск

В.3 Технические характеристики:

а) диапазон измеряемых частот – 10Гц–120МГц (0,12ГГц–4ГГц с блоком ЯЗЧ–51);

б) диапазон частот при измерении периода – 0,01Гц–100кГц;

в) погрешность измерения:

– частоты – $\pm \delta 0 \pm 1$ ед. сч.,

– периода – $\pm \delta 0 \pm ((3 \cdot 10$

$-3) / n \pm f_{вх} / (f_{такт} \cdot n))$;

где $\delta 0 = \pm 10^{-7}$ – погрешность основного внутреннего генератора;

г) диапазон измеряемых интервалов времени – 10^{-7} с– 10^2 с;

д) пределы измерения отношения частот – (10Гц–20МГц)/(0,01Гц–100кГц);

е) напряжение входного сигнала :

– синусоидального – 0,1В–100В;

– импульсного – 0,5В–100В;

ж) нестабильность частоты кварцевого генератора за 1 сутки – $\pm 5 \cdot 10^{-9}$;

и) входной импеданс:

– при измерении частоты – 15 кОм/80пФ;

– при измерении периода – 1 кОм/100пФ;

к) потребляемая мощность – 100В·А;

л) габаритные размеры – 480х120х420мм;

м) масса – 22кг.

Лабораторная работа №3 «Измерение напряжений и тока в электрических цепях электромеханическим вольтметром и амперметром»

1. Цель работы

Ознакомиться с измерительными приборами, изучить методику измерений постоянных напряжений и токов, определения погрешностей и обработки результатов эксперимента

2. Теоретические сведения

Виды измерительных приборов

Измерительные приборы разнообразны по назначению, принципу действия, метрологическим и эксплуатационным характеристикам. По форме представления измерительной информации их подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые приборы бывают электромеханическими и электронными. Электромеханический прибор состоит из измерительной цепи 1, измерительного механизма 2 и отсчетного устройства 3. Измерительная цепь 1 служит для преобразования измеряемой физической величины X (напряжения, силы тока, мощности и т.п.) в некоторую промежуточную электрическую величину X_1 (ток или напряжение), функционально связанную с величиной X и непосредственно воздействующую на измерительный механизм 2 (делитель напряжения, шунт). Отсчетное устройство 3 содержит шкалу с делениями и указатель (механический – стрелка или световой – пятно). Обобщенная структурная схема такого прибора показана на рис. 3.2.1.

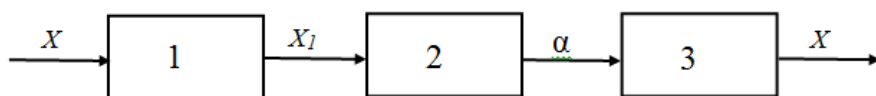


Рис. 3.2.1 Обобщенная структурная схема

В целях повышения чувствительности прибора, расширения диапазона измерений величин в сторону малых значений измерительная цепь содержит электронные узлы. Такие приборы, в отличие от обычных аналоговых приборов прямого преобразования, называют электронными.

Цифровым называется прибор, у которого выходной сигнал является цифровым, т.е. содержит информацию о значении измеряемой величины, закодированную в цифровом коде. Структура цифрового прибора во входной части подобна структуре электронного аналогового прибора. Необходимым элементом каждого цифрового измерительного прибора является аналого–цифровой преобразователь (АЦП). АЦП – это измерительное устройство, которое осуществляет автоматическое преобразование размера выходной величины (преимущественно напряжения) входного преобразователя в её цифровое (численное) значение. На выходе цифрового прибора используется цифровое отсчетное устройство, с помощью которого через дешифратор результат измерения представляется в виде цифр и других знаков.

При измерении часто используются приборы, называемые мультиметрами, предназначенные для измерений в различных диапазонах нескольких электрических величин: постоянных и переменных тока и напряжения, электрического сопротивления и т.д.

Вольтметры

Аналоговые вольтметры постоянного и переменного периодического напряжения строят на базе измерительных механизмов различных типов. Измерительный механизм (ИМ) имеет следующие характеристики: R_M – сопротивление механизма, I_M – ток полного отклонения механизма и следовательно, напряжение полного отклонения стрелки механизма.

$$U_M = I_M \cdot R_M$$

Если измеряемое постоянное напряжение превышает U_M ($U_x > U_M$), то включают масштабный преобразователь (делитель) измеряемого напряжения (рис. 3.2.2). Тогда конечное значение шкалы вольтметра будет $U_k = U_M \cdot K_{МП}$.

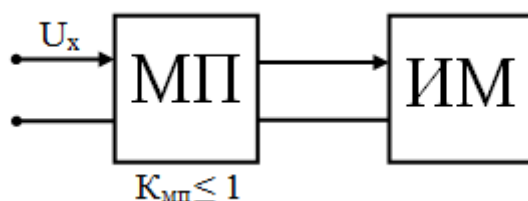


Рис. 3.2.2. Электромеханический вольтметр постоянного напряжения

Недостатками вольтметра постоянного напряжения будут малое сопротивление между зажимами вольтметра R_v и недостаточная чувствительность.

Электронный аналоговый вольтметр имеет большее R_v и большую чувствительность за счёт включения электронного масштабного преобразователя с $K_{мп} \geq 1$ (рис. 3.2.3).

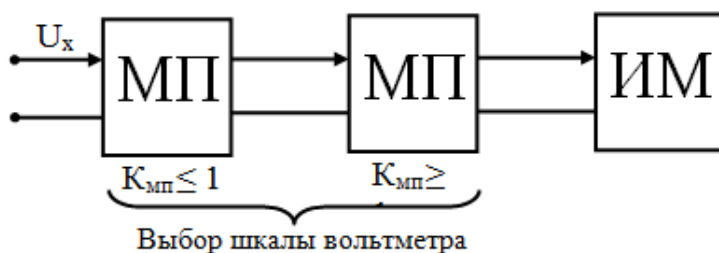
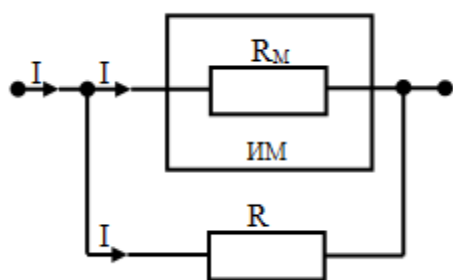


Рис. 3.2.3. Электронный вольтметр постоянного напряжения

Амперметры

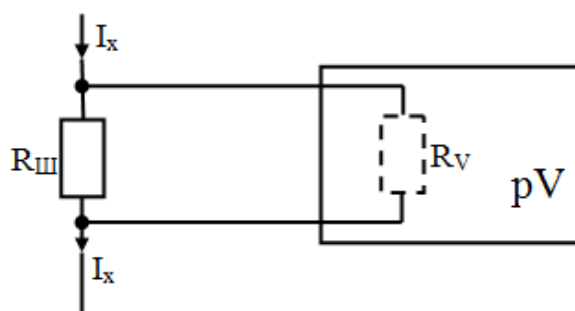
Электрический ток в цепи может быть измерен прямыми или косвенными методами. При прямом измерении постоянного тока используется измерительный механизм, имеющий ток полного отклонения I_m и сопротивление R_m . Расширение шкалы (рис. 3.2.4). до значения I_x производится за счёт включения шунта, сопротивление которого выбирают из условия:



$$R_{ш} = R_m \left(\frac{I_m}{I_x - I_m} \right).$$

Рис. 3.2.4. Расширение шкалы амперметра

При косвенном методе измерения значение тока с помощью измерительного преобразователя преобразуют в другую физическую величину, значение которой измеряют. Так при преобразовании значения измеряемого тока в напряжение используют вольтметры, шкала которого градуируется в единицах тока.



При $R_{ш} \ll R_v$ измеряемое
значение тока определится

$$I_x = \frac{U_v}{R_{ш}}$$

Рис. 3.2.5. Косвенное измерение тока

Виды измерений

Измерение тока и напряжения в электрической цепи проводят в диапазоне частот от 0 Гц до 1 ГГц. На более высоких частотах эти величины теряют свою однозначность в линии передачи и в её поперечном сечении. По этим причинам на сверхвысоких частотах предпочитают измерять мощность, а не ток и напряжение.

С точки зрения получения значения измеряемой величины по результатам первичных измерений различают прямые и не прямые (косвенные) измерения.

Прямое измерение – это измерение, при котором значение величины X получают непосредственно по показанию соответствующего прибора $X_{п}$; без дополнительных расчетов. $X = X_{п}$.

Примеры прямых измерений: измерение силы тока – амперметром, напряжения – вольтметром и т.д. При не прямом (косвенном) методе измерения величины X определяют по результатам прямых измерений величин y_1, y_2, \dots, y_n , которые связаны с нею определенной функциональной зависимостью.

$$X = f(y_1, y_2, \dots, y_n)$$

Классификация погрешности измерений

Качество измерений тем выше, чем ближе результат измерения X_i к истинному значению X .

$$\Delta = X_i - X$$

Количественной характеристикой качества измерения является погрешность измерения. Погрешность измерительных приборов отражает свойства только самого измерительного устройства, обусловленные структурными схемами, конструктивными особенностями приборов; применяемых в них материалов и элементов, технологии их изготовления, регулировки и градуировки. Следует различать погрешность измерительного прибора (инструментальная погрешность) и погрешность измерения прибором некоторого сигнала. Погреш-

ность прибора – это часть погрешности измерения некоторого сигнала измерительным прибором, обусловленную неидеальностью (несовершенством) средств измерительной техники; она в определенной степени влияет на точность измерений. Погрешность прибора, определяемая по формуле (1), называется абсолютной. Более наглядное представление о точности измерений дает относительная погрешность прибора, которая рассчитывается по формуле (2)

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100 \, \%.$$

Для сравнения приборов между собой введено понятие приведенная погрешность прибора γ_n , равная отношению его абсолютной погрешности Δ к значению шкалы X_k , которое принимается равным номинальному значению $X_{ном}$ для приборов с равномерной шкалой:

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{X_{ном}}$$

Если абсолютная погрешность прибора постоянна по всей шкале, то его относительная погрешность существенно увеличивается к началу шкалы. Поэтому целесообразно выбирать прибор (или шкалу прибора) с таким пределом измерения, при котором его указатель при измерении располагается ближе к концу шкалы.

Одной из характеристик прибора является класс точности. Класс точности прибора K_n определяет наибольшую (предельную) допустимую приведенную погрешность прибора в рабочей области шкалы, выраженную абсолютным числом, значение которого равно приведенной погрешности в процентах. По классу точности можно определить наибольшую абсолютную погрешность Δ , которую может иметь прибор в любой точке шкалы (без учета знака).

Например, при использовании вольтметра со шкалой $0 \div 100 \text{ В}$ ($X_{ном}=100\text{В}$) класса точности 1.5 на любой отметке его шкалы основная абсолютная погрешность не превышает значения

$$\Delta \leq \pm K_n \cdot X_{ном} / 100\% = \pm 1.5 \cdot 100 / 100\% = 1.5 \text{ В}$$

При этом она может на отдельных отметках шкалы быть меньше 1.5 В или даже равна нулю. Приведенная погрешность соответствует максимальной относительной погрешности.

Класс точности электроизмерительного прибора устанавливают на заводе при калибровке по образцовому прибору в нормальных условиях. Нормальными условиями считаются температура окружающей среды $(20 \pm 5)^\circ\text{С}$, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$, атмо-

сферное давление $(100\,000 \pm 4\,00)$ Па или (760 ± 30) мм рт. ст., напряжение питающей сети $220\text{В} \pm 2\%$ с частотой 50 Гц.

По зависимости погрешности с измеряемой величиной X различают аддитивные погрешности (независящие от X), и мультипликативные (линейно зависящие от X). Для аналоговых измерительных приборов с аддитивной погрешностью установлены такие классы точности: $K(\%) = (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2, \dots$

В зависимости от места и причины возникновения различают такие основные составляющие погрешности от:

несоответствия (неадекватности) модели измеряемого объекта его реальным свойствам и величине;

упрощения математических моделей измерительных преобразований;

взаимного влияния средств измерений и объекта;

несовершенство средств измерений;

влияния внешних факторов на объект и средства измерений;

несовершенства вычислительного алгоритма и обработки результата наблюдения.

Погрешности измерения напряжения и тока

Измерение напряжения источника

Измерительный прибор (вольтметр) включают параллельно участку цепи, на котором измеряют напряжение R_i – внутреннее сопротивление источника.

При измерении напряжения вольтметром, имеющим входное сопротивление R_v , возникают методическая (систематическая) погрешность и инструментальная (случайная) погрешность.

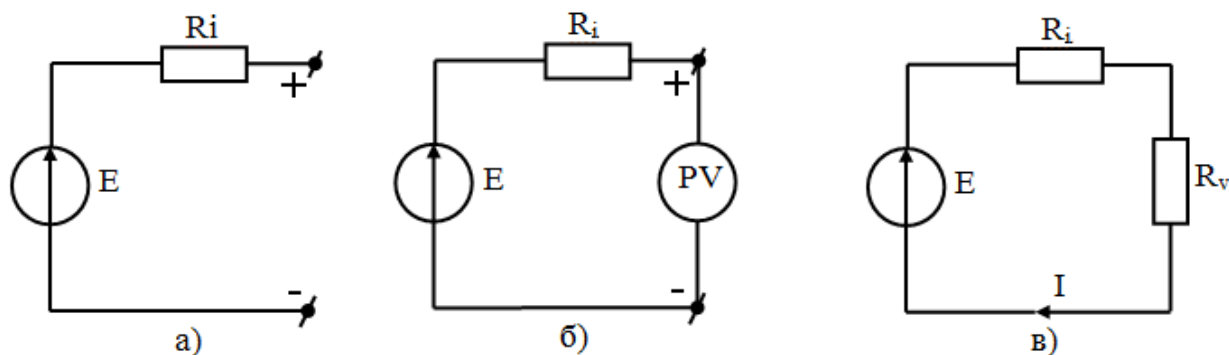


Рис. 3.3.1. Схема включения вольтметра

методическая обусловлена влиянием измерительного прибора с сопротивлением R_v на значение измеряемого напряжения U_{II} ;

инструментальная погрешность определяется классом точности прибора и выбранной шкалой.

Абсолютное значение погрешности будет:

$$\Delta_M = U_{II} - U.$$

Относительное значение методической погрешности:

$$\delta_M = \frac{\text{измеряемое_значение} - \text{истинное_значение}}{\text{истинное_значение}} = \frac{U_{II} - U}{U},$$

где

$$U_{II} = I \cdot R_v = \frac{E}{R_i + R_v} \cdot R_v.$$

Выполнив преобразования, для относительной методической погрешности получим выражение:

$$\delta_M = -\frac{R_i}{R_i + R_v}.$$

Из выражения видно, что чем больше входное сопротивление вольтметра R_v , тем меньше методическая погрешность.

Для определения инструментальной погрешности необходимо знать класс точности прибора K_{II} , который определяется:

$$K_{II} = \frac{\Delta_{\max}}{U_K} \cdot 100\%, \text{ для прибора с аддитивной погрешностью,}$$

$$K_{II} = \frac{\Delta_{\max}}{U_{II}} \cdot 100\%, \text{ для прибора с мультипликативной погрешно-}$$

стью.

$$K_{II} = \delta(\%) = \pm \left[a + b \left(\left| \frac{U_K}{U_{II}} \right| - 1 \right) \right], \%, \text{ для прибора с мультипликативной}$$

погрешностью и нелинейной шкалой,

где U_K – конечное значение выбранной шкалы прибора; U_{II} – показание прибора на выбранной шкале; a , b – коэффициенты для выбранной шкалы прибора (определяются по паспорту прибора).

Соответственно, инструментальная погрешность определяется для приборов с аддитивной погрешностью:

$$\Delta_{\max} = \pm \frac{K_{II} \cdot U_K}{100\%},$$

для приборов с мультипликативной погрешностью (цифра, обозначающая класс точности прибора указывается в кружочке):

$$\Delta_{\max} = \pm \frac{K_{\Pi} \cdot U_{\Pi}}{100\%},$$

для приборов с мультипликативной погрешностью и нелинейной шкалой с классом точности a / b :

$$\Delta_{\max} = \pm \frac{K_{\Pi} \cdot U_{\Pi}}{100\%} \cdot \frac{a}{b}.$$

Действительное значение напряжения источника определится выражением:

$$E = U_{\Pi} + \Pi = U_{\Pi} + \delta_M \cdot E = U_{\Pi} \left(1 + \frac{R_i}{R_v} \right),$$

где Π – поправка на систематическую (методическую) погрешность, равная по значению и противоположная по знаку абсолютной методической погрешности.

В окончательном виде результат измерения напряжения с учетом методической и инструментальной погрешностей записывают в виде:

$$E = U_{\Pi} \left(1 + \frac{R_i}{R_v} \right) \pm \Delta_{\max}.$$

Измерение силы тока

В электрическую цепь (рис. 3.3.2.а) прибор для измерения тока (амперметр) включается последовательно с нагрузкой R_H (рис. 3.3.2.б). Как и при измерении напряжения, так и при измерении тока амперметром, имеющим сопротивление R_A , возникают методическая и инструментальная погрешности.

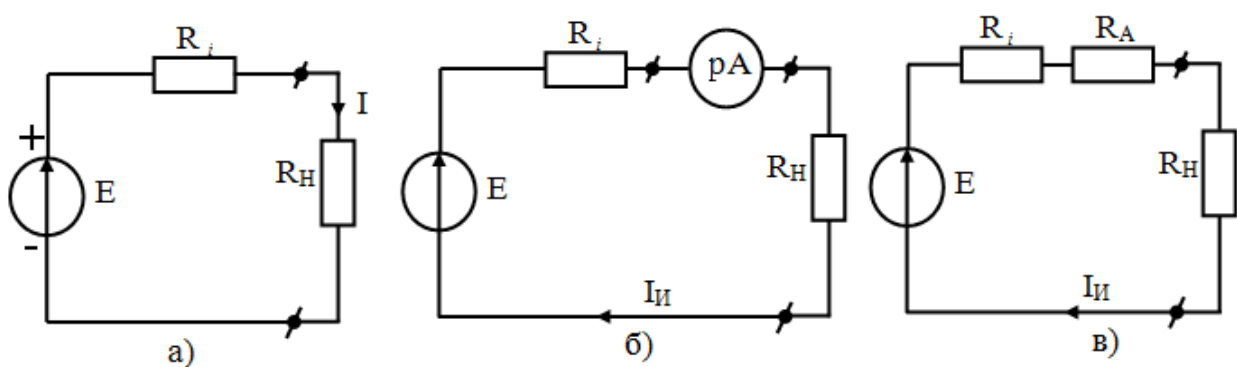


Рис. 3.3.2. Схема включения амперметра.

До включения амперметра через R_H протекал ток I , после включения амперметра, имеющего сопротивление R_A , в цепи будет протекать измеряемый ток I_{Π} (рис. 3.3.2.в).

Относительное значение методической погрешности:

$$\delta_M = \frac{\Delta_M}{I} = \frac{\text{измеряемое_значение} - \text{истинное_значение}}{\text{истинное_значение}} = \frac{I_H - I}{I},$$

где

$$I_H = \frac{E}{R_H + R_A + R_H}, \quad I = \frac{E}{R_H + R_H}.$$

Выполнив преобразования, для относительной методической погрешности получим выражение:

$$\delta_M = -\frac{R_A}{R_H + R_H + R_A}.$$

Из выражения видно, что методическая погрешность является систематической и её значение тем меньше, чем меньше сопротивление амперметра R_A .

Действительное значение тока с учетом поправки на методическую погрешность будет:

$$I = I_A + \Pi = I_A + \delta_M \cdot I = I_A + I \cdot \frac{R_A}{R_H + R_H + R_A},$$

Преобразовав последнее выражение, для действительного значения тока, протекающего через R_H , получим выражение:

$$I = I_A \cdot \frac{R_H + R_A + R_H}{R_H + R_H}.$$

Конечное значение результата измерения записывают в виде:

$$I = I_A \cdot \frac{R_H + R_A + R_H}{R_H + R_H} \pm \Delta_{\max}.$$

Измерение напряжения на участке цепи

Относительная методическая погрешность измерения в этом случае будет:

$$\delta_M = \frac{U_H - U_2}{U_2}, \text{ где } U_H = \frac{E}{R_1 + R_9} \cdot R_9, \quad U_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_2, \quad R_9 = \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V}.$$

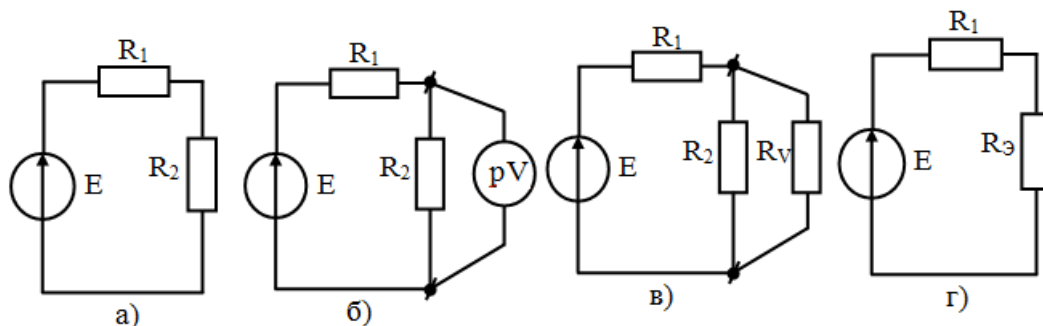


Рис. 3.3.3. Измерение напряжения на участке цепи.

После преобразований для относительной методической погрешности получим выражение:

$$\delta_M = -\frac{1}{1 + R_V \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)}.$$

Действительное значение напряжения на резисторе с сопротивлением R_2 после введения поправки на методическую погрешность будет:

$$U_{\text{э}} = U_{\text{и}} + \delta_M \cdot U_2 = U_{\text{и}} \cdot \frac{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_V}}{1 + \frac{R_1}{R_2}}, \text{ где } U_{\text{и}} - \text{показание вольтметра.}$$

ра.

Инструментальная погрешность определяется классом точности и шкалой прибора. Найденное значение напряжения на R_2 будет:

$$U_2 = U_{\text{и}} \cdot \frac{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_V}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \pm \Delta_{\text{max}}.$$

Ход работы

Измерение постоянного напряжения (приборами В7–26, Щ4313).

1) Измерить ЭДС источника питания прибором В7–26.

а) Подготовка вольтметра В7–26 к измерению напряжения.

Включить “Сеть” прибора. Переключатель рода работы установить в положение “+U” или “–U”. После прогрева (5÷15 минут) закоротить (соединить проводником) входы «U» и «*» прибора. Переключатель поддиапазонов измерения напряжения поставить в положение 0,3(0,1)В. Регулировкой “Устан. «0»” добиться «0» по шкале «U».

Затем перевести переключатель поддиапазонов в положение 3(10)В. Снять закоротку.

б) Включить источник питания и установить необходимую величину Э.Д.С. Е.

в) Подключить В7–26 к источнику питания (рис. 3.4.1). Измерить ЭДС. Записать конечное значение шкалы вольтметра U_K и его класс точности (указан на лицевой панели).

$$R_v^{B7-26} = 30 \text{ МОм}$$

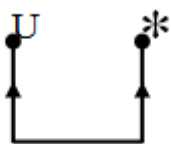


Рис. 3.4.1. Подключение В7-26 к источнику питания

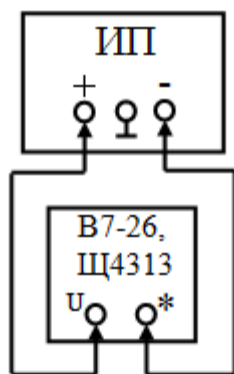


Рис. 3.4.2. Подключение Щ4313

2) Измерить ЭДС источника питания прибором Щ4313.

а) Подготовка мультиметра Щ4313 к измерению напряжения. Включить «Сеть» прибора Щ4313, выбрать род работы «U», выставить “грубую” шкалу.

б) Подключить Щ4313 к источнику питания (рис. 3.4.2.), выбрать шкалу и измерить ЭДС. Записать измеренное значение и конечное значение шкалы вольтметра.

Для мультиметра Щ4313 класс точности рассчитать по формуле:

$$K_{\Pi} = \delta = \pm \left[a + b \left(\frac{U_K}{U_X} - 1 \right) \right],$$

а и b определить из таблицы (см. паспорт прибора).

$$R_v^{\text{Щ}4313} = 1 \text{ МОм}.$$

Измерение силы электрического тока в цепи (прибором Щ4313)

Установить на источнике питания рекомендованное значение напряжения E , на магазине сопротивлений – величину нагрузки: R_{H1} (R_{H2}). **Не включая** источник питания, собрать схему (рис. 3.4.3.). На Щ–4313 нажать клавиши «mA» и «500». Измерить ток в цепи, пра-

вильно выбрав шкалу прибора. Записать I_A , I_K . По паспорту прибора определить коэффициенты a и b (для расчёта K_{II}).

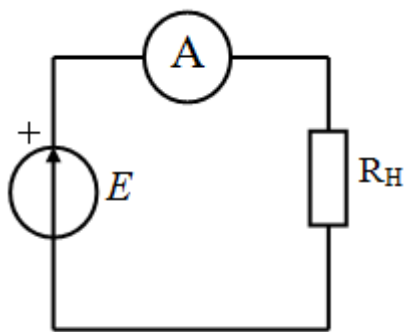


Рис. 3.4.3. Схема для измерения

Обработка результатов измерений

Результаты измерений выражаются числом, содержащим значащие цифры. Значащими считаются все цифры в числовом результате, в том числе и нуль, если он находится в середине или в конце числа.

Пример. Результаты измерения напряжений 121В и 0,00121В содержат три, а 126,05В и 12500В – пять значащих цифр.

В конечной записи результатов измерений следует соблюдать следующие правила округления. В выражении погрешности удерживается не более двух значащих цифр, причём последняя округляется до нуля или пяти.

Пример. а) Погрешность измерения тока составляет $\pm 0,125A$. Удерживая одну значащую цифру, значение погрешности округляется до $\pm 0,1A$

б) Погрешность измерения напряжения составляет $\pm 0,152В$. Удерживая две значащие цифру, значение погрешности округляется до $\pm 0,15В$.

Числовое значение результата измерений должно оканчиваться цифрой или нулем того же десятичного знака, что и значение погрешности.

Пример. $125,832 \pm 0,15$ записывается $125,83 \pm 0,15$.

Если первая отбрасываемая цифра меньше пяти, то последняя удерживаемая цифра не изменяется.

Пример. $(125,721 \pm 0,2)В$ округляется до $(125,7 \pm 0,2)В$.

Если первая отбрасываемая цифра больше пяти или равна пяти, то последняя удерживаемая цифра увеличивается на единицу.

Пример. $25,268 \pm 0,4$ округляется до $25,3 \pm 0,4$;

$25,253 \pm 0,3$ округляется до $25,3 \pm 0,3$.

Если первая отбрасываемая цифра равна пяти и за ней не следует значащих цифр (или следуют только нули), то округление производится до ближайшего четного.

Пример. $10,650 \pm 0,3$ округляется до $10,6 \pm 0,3$;

$10,550 \pm 0,3$ округляется до $10,6 \pm 0,3$.

Обработка результатов измерения напряжения

Вычислить инструментальную погрешность и записать результат измерений с её учетом: $U = U_{изм} \pm \Delta_U$.

Найти методическую погрешность: $\delta_M = -\frac{R_i}{R_i + R_V}$, где $R_i = 5 \text{ Ом}$,

$R_V^{B7-26} = 30 \text{ МОм}$, $R_v^{Щ4313} = 1 \text{ МОм}$.

Определить поправку и погрешность поправки по формулам:

$$\Pi = -\Delta_M \approx -\delta_M \cdot U_{изм}; \quad \Delta_\Pi = \pm \frac{\partial \Pi}{\partial U_{изм}} = \pm \delta_M \cdot \Delta_V.$$

Результат с учётом инструментальной и методической погрешности записывается в виде:

$$U = U_{изм} + \Pi \pm \sqrt{\Delta_\Pi^2 + \Delta_U^2}.$$

Обработка результатов измерения тока

Записать результат с учётом инструментальной погрешности.

$$I = I_{изм} \pm \Delta_I.$$

Найти методическую погрешность:

$$\delta_M = -\frac{R_a}{R_i + R_a + R_n}.$$

Определить поправку и погрешность поправки:

$$\Pi = -\Delta_M \approx -\delta_M \cdot I_{изм};$$

$$\Delta_\Pi = \pm \frac{\partial \Pi}{\partial I_{изм}} = \pm \delta_M \cdot \Delta_I.$$

Результат с учётом инструментальной и методической погрешности записывается в виде:

$$I = I_{изм} + \Pi \pm \sqrt{\Delta_\Pi^2 + \Delta_I^2}.$$

Лабораторная работа №4 «Измерение напряжения и тока в электрических цепях комбинированным прибором (мультиметром)».

Цель работы:

- 1) Изучение основных функций мультиметра;
- 2) Изучение методик измерения мультиметром физических величин;
- 3) Проведение экспериментов по измерению сопротивления, постоянного тока и напряжения, а также обработка их результатов.

Общие сведения о мультиметрах

Цифровые мультиметры предназначены для выполнения следующих функций:

- измерения постоянного и переменного напряжения;
- измерения постоянного и переменного тока;
- измерения сопротивлений;
- измерения электрической емкости конденсаторов;
- выполнения диодного и транзисторного теста;
- звуковой прозвонки;
- измерения температуры;
- измерения частоты.

Схема лицевой панели мультиметра представлена на рис. 4.2.1. Включение питания мультиметра осуществляется с помощью кнопки 1. Выбор функции мультиметра и предела измерений выполняется с помощью поворота переключателя 6. Мультиметр имеет четыре входных гнезда, защищенных от перегрузки, превышающей указанные пределы. Во время работы необходимо установить щуп черного цвета в гнездо «СОМ», а щуп красного цвета в гнездо, соответствующее данному режиму измерения. Появление значения «1» на дисплее во время измерений указывает на перегрузку, в этом случае следует выбрать больший предел измерения.

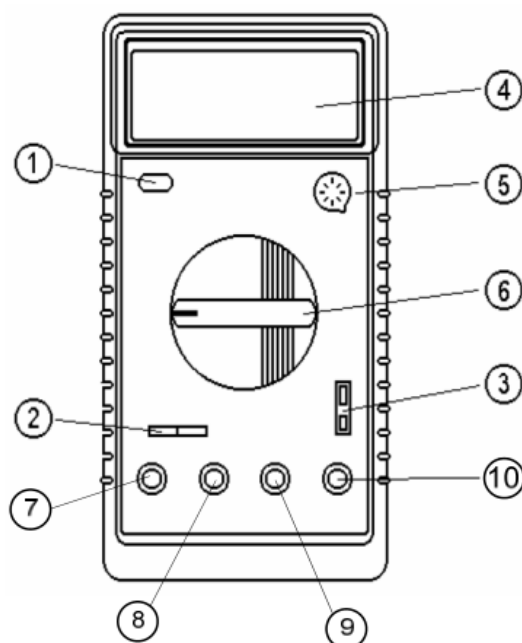


Рис. 4.2.1. Схема лицевой панели цифрового мультиметра Mastech MY64: 1 – кнопка включения питания; 2 – гнездо для измерения подключения электрических конденсаторов; 3 – гнездо для измерения температуры; 4 – ЖК дисплей; 5 – гнездо подключения транзисторов; 6 – переключатель функций; 7 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 10 А; 8 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 200 мА; 9 – гнездо СОМ; 10 – гнездо для подключения щупа при измерении напряжения, частоты, сопротивления

Выполнение основных функций

Для измерения напряжения необходимо:

- 1) подключить щуп черного цвета к гнезду 9 (рис. 1), щуп красного цвета – к гнезду 10 мультиметра;
- 2) с помощью поворотного переключателя 6 выбрать нужный предел измерения постоянного или переменного напряжения и подключить щупы к контактам источника напряжения;
- 3) при измерении постоянного напряжения на дисплее отразится полярность сигнала.

Для измерения силы тока необходимо:

- 1) подключить щуп черного цвета к гнезду 9 (рис. 4.2.1.), щуп красного цвета – к гнезду 7 (для измерения силы тока в диапазоне 200 мА – 10 А) или к гнезду 8 (для измерения силы тока до 200 мА);

2) с помощью поворотного переключателя 6 выбрать нужный предел измерения и с помощью щупов подключить мультиметр последовательно к исследуемой нагрузке;

3) при измерении постоянного напряжения на дисплее отразится полярность сигнала.

Для измерения частоты необходимо:

Подключить щуп черного цвета к гнезду 9, щуп красного цвета – к гнезду 10 мультиметра;

Установить поворотный переключатель 6 в положение «KHz» и подключить щупы к клеммам источника сигнала.

Для измерения сопротивления необходимо

Подключить щуп черного цвета к гнезду 9, щуп красного цвета – к гнезду 10 мультиметра;

С помощью поворотного переключателя 6 выбрать нижний предел измерения и с помощью щупов подключить мультиметр последовательно к исследуемой нагрузке;

При изменении величины сопротивления, включенного в схему, необходимо убедиться в том, что питание схемы отключено.

Для измерения электрической емкости конденсаторов необходимо:

С помощью переключателя 6 выбрать нужный предел измерения электрической емкости;

Необходимо убедиться в том, что электрический конденсатор полностью разряжен.

Для проверки диодов необходимо :

Подключить щуп черного цвета к гнезду 9, щуп красного цвета – к гнезду 10 мультиметра;

Установить переключатель функций 6 в положение \rightarrow и подключить щуп красного цвета к аноду, щуп черного цвета – к катоду измеряемого диода.

Для проверки транзистора необходимо:

Установить поворотный переключатель 6 в положение « h_{FE} »;

Определить тип проводимости (PNP/NPN) проверяемого транзистора и местоположение эмиттера, коллектора базы. Установить выводы транзистора в соответствующие гнезда 5 мультиметра;

На дисплее отразится коэффициент h_{FE} транзистора при токе базы 10 μ A и напряжении коллектор–эмиттер 3,2 В.

Для «прозвонки» соединений необходимо:

Установить переключатель функций 6 в положение ⌚ и подключить щупы мультиметра к клеммам проверяемой цепи. Звуковой сигнал прозвучит, если существует электрический контакт между клеммами (т.е. сопротивление менее 50 Ом)

Для измерения температуры необходимо установить переключатель функций 6 в положение «°C», на дисплее отразится температура окружающей среды.

Технические характеристики мультиметра приведены в табл. 4.3.1, табл. 4.3.2 и табл. 4.3.3.

Табл. 4.3.1. Технические характеристики мультиметра при измерении постоянного и переменного напряжения, сопротивления, частоты и электрической емкости конденсаторов

Диапазон	Разрешающая способность	Точность измерения
Постоянное напряжение		
200 mV	0,1 mV	$\pm 0,5\% \pm 1 D$
2 V	1 mV	$\pm 0,5\% \pm 1 D$
20 V	10 mV	$\pm 0,5\% \pm 1 D$
200V	0,1 V	$\pm 0,5\% \pm 1 D$
1000V	1 V	$\pm 0,5\% \pm 2 D$
Переменное напряжение		
200 Mv	0,1 mV	$\pm 1,2 \% \pm 3 D$
2 V	1 mV	$\pm 0,8 \% \pm 3 D$
20 V	10 mV	$\pm 0,8 \% \pm 3 D$
200 V	0,1 V	$\pm 0,8 \% \pm 3 D$
1000V	1 V	$\pm 1,2 \% \pm 3 D$
Сопротивление		
200 Ом	0,1 Ом	$\pm 0,8 \% \pm 3 D$
2 kОм	1 Ом	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$
20 kОм	10 Ом	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$
200 kОм	100 Ом	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$
2 М Ом	1 kОм	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$
20 М Ом	10 kОм	$\pm 0,8 \% \pm 2 D$
200 М Ом	100 kОм	$\pm 5 \% (- 10 \text{ единиц}) \pm 10 D$
Частота		
2 kHz	1 Hz	$\pm 2 \% \pm 5 D$
20 kHz	10 Hz	$\pm 1,5 \% \pm 5 D$
Электрическая емкость		
2 nF	1 pF	$\pm 4 \% \pm 3 D$
20 nF	1 pF	$\pm 4 \% \pm 3 D$
200 nF	1 nF	$\pm 4 \% \pm 3 D$
2 μ F	1 nF	$\pm 4 \% \pm 3 D$
20 μ F	1 nF	$\pm 4 \% \pm 3 D$

Табл.4.3.2 Технические характеристики мультиметра при измерении постоянного и переменного тока

Диапазон	Разрешающая способность	Точность	Падение напряжения при измерении
Постоянный ток			
2 мА	1 мкА	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$	110 мВ / мА
2 мА	10 мкА	$\pm 0,8 \% \pm 1 D$	15 мВ / мА
200 мА	0,1 мА	$\pm 1,5 \% \pm 1 D$	5 мВ / мА
10 А	10 мА	$\pm 2 \% \pm 1 D$	0,03 мВ / мА
Переменный ток			
2 мА	1 мкА	$\pm 1 \% \pm 3 D$	110 мВ / мА
2 мА	10 мкА	$\pm 1 \% \pm 3 D$	15 мВ / мА
200 мА	0,1 мА	$\pm 1,8 \% \pm 3 D$	5 мВ / мА
10 А	10 мА	$\pm 3 \% \pm 7 D$	0,03 мВ / мА

Табл. 4.3.3. Технические характеристики мультиметра при измерении температуры

Температура				
Диапазон, °С	Разрешающая способность	Точность		
		–20°С...0°С	0°С....400°С	400°С...1000°С
–20...1000	1°С	$\pm 5 \% \pm 4 D$	$\pm 1 \% \pm 3 D$	$\pm 2 \%$

Порядок выполнения работы

1. Измерение сопротивления

1. Установить регулятор сопротивления переменного резистора R xНаборного поля в среднее положение.

2. Установить переключатель режима работы мультиметра в положение 20 кОм.

3. Соединить проводником гнездо 9 мультиметра (рис. 4.2.1) с контактом К22.1 переменного резистора Наборного поля.

4. Подключить с помощью щупа красного цвета гнездо 10 мультиметра (рис. 1) к контакту К23.1 переменного резистора Наборного поля.

5. На экране отразится измеренное значение сопротивления.

6. Отключить щуп красного цвета мультиметра от контакта К23.1 переменного резистора. Спустя 10 секунд повторно подключить щуп красного цвета мультиметра к контакту К23.1.

7. Провести не менее 10 повторных измерений, результаты которых занести в таблицу (табл.4.4.1.).

8. Нарисовать электрическую схему измерения.

Табл.4.4.1. Результаты измерений

Номер эксперимента	Полученное значение
1	
2	
3	
....	
10	
M_x	
D_x	
σ_x	

2. Измерение постоянного напряжения

1. Установить регулятор «Установка U+» регулятора Р2 панели «Блок питания» в среднее положение.

2. Установить переключатель режима работы мультиметра в положение измерения постоянного напряжения, предел измерения 20 В.

3. Соединить проводником гнездо 9 мультиметра с общим контактом К7 панели «Блок питания».

4. Подключить с помощью красного щупа гнездо 10 мультиметра к контакту К8 «0...+15В» панели «Блок питания».

5. На экране мультиметра отразится измеренное значение напряжения.

6. Отключить щуп красного цвета мультиметра от контакта К8 «0...+15В». Спустя 10 секунд повторно подключить щуп красного цвета мультиметра к контакту К8 «0...+15В». Провести не менее 10 повторных измерений, результаты которых занести в таблицу (табл. 4.4.1.).

7. Нарисовать электрическую схему измерения.

3. Измерение постоянного тока

1. Установить регулятор «Установка U+» регулятора Р2 панели «Блок питания» в среднее положение.

2. Установить переключатель режима работы мультиметра в положение измерения постоянного тока, предел измерения 20 мА.

3. Соединить проводником гнездо 9 мультиметра с общим контактом К7 панели «Блока питания».

4. Соединить проводником контакты К5.1 резистора R1 наборного поля с контактом К8 «0...+15» панели «Блок питания».

5. Подключить с помощью щупа красного цвета гнездо 8 мультиметра к контакту К6.1 резистора R1 панели «Наборное поле».

6. На экране мультиметра отразится измеренное значение тока.

7. Отключить щуп красного цвета мультиметра от контакта К6.1 резистора R1 панели «Наборное поле». Спустя 10 секунд повторно подключить щуп красного цвета мультиметра к контакту К6.1 резистора R1 наборного поля. Провести не менее 10 повторных измерений, результаты которых занести в таблицу (табл.4.4.1.).

8. Нарисовать электрическую схему измерения.

Порядок обработки экспериментальных данных

Провести статистическую обработку полученных экспериментальных данных:

Рассчитать математическое ожидание по формуле:

$$M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Рассчитать дисперсию экспериментальных данных по формуле:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2$$

Рассчитать среднеквадратичное отклонение экспериментальных данных по формуле:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{D_x}$$

Рассчитать коэффициент асимметрии по формуле:

$$A = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^3}{\sigma_x^3}$$

Рассчитать коэффициент эксцесса по формуле:

$$A = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^4}{\sigma_x^4} - 3$$

Рассчитать коэффициент вариации по формуле:

$$V = \frac{\sigma_x}{M_x} \times 100\%$$

здесь x_i – значение результата в i -ом опыте; N – число экспериментов.

Сделать вывод по полученным оценкам экспериментальных данных.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы:

описание основных функций и технических характеристик цифрового мультиметра;

порядок проведения и результаты экспериментов;

порядок обработки полученных экспериментальных данных;

ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

К каким гнездам необходимо подключить щупы мультиметра для измерения напряжения, силы тока?

Какова погрешность измерения мультиметром температуры $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

На какую отметку необходимо установить переключатель режима работы для измерения величины силы тока 18 мА, 2 А?

Какими слагаемыми определяется допускаемая основная погрешность измерения мультиметра?

Что характеризуют определяемые в работе статистические оценки экспериментальных данных?

Лабораторная работа №5 «Измерение мощности в цепи с включенной нагрузкой (выполняется на ЭВМ с применением программы Multisim)».

1. Цель работы

Ознакомление со способом измерения мощности постоянного тока при помощи амперметра и вольтметра. Получение сведений о способах учета погрешностей измерений в этом случае.

2. Подготовка к работе

Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе, по литературе [1], [2], [3], [4].

Для самопроверки готовности к выполнению работы сформулировать ответы на следующие вопросы, которые могут быть заданы:

Устройство, принцип действия и основные характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.

Устройство, принцип действия и основные характеристики цифровых ваттметров.

Метод косвенных измерений мощности при помощи амперметра и вольтметра, включая схемы подключения приборов, расчетные формулы для определения мощности и способы расчета погрешности.

Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.

Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3. Краткие теоретические сведения.

Экономичность радиоустройств характеризуется мощностью, потребляемой ими от источников питания сети переменного или постоянного тока, сухих или аккумуляторных батарей и т. д.

Приборами, позволяющими производить непосредственную оценку мощности в цепях постоянного и переменного (промышленных частот) тока являются электродинамические, ваттметры, однако самые чувствительные из них (например, типа Д539) имеют верхние пределы измерений не менее 0,3 Вт.

Широко применяется косвенный метод измерения мощности, основанный на использовании вольтметров и амперметров (миллиамперметров) постоянного или переменного тока с верхними пределами измерения, согласованными с ожидаемыми значениями напряжения и тока в проверяемой цепи.

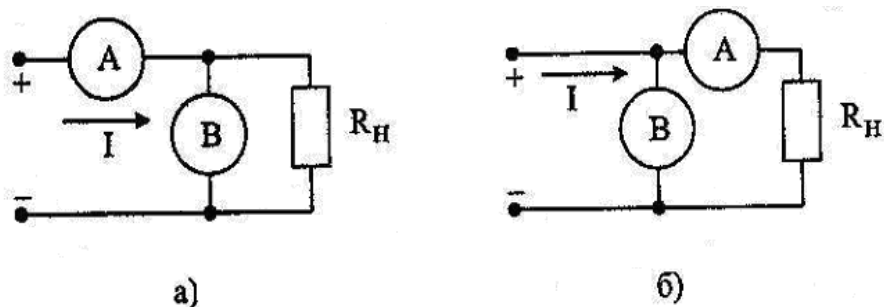


Рис. 5.3.1. Схемы измерения мощности методом вольтметра–амперметра

Для определения мощности, потребляемой электрической цепью или отдельным участком ее, имеющим активное сопротивление R , измерительные приборы включают по схеме на рис. 5.3.1. а при $R \gg R_a$, где R_a – сопротивление амперметра, или по схеме на рис. 5.3.1. б при $R \gg R_v$ (где R_v – входное сопротивление вольтметра). На основе показаний приборов потребляемую мощность вычисляют по формуле:

$$P = U I$$

Если сопротивление R достаточно точно известно, то можно ограничиться измерением только напряжения U или тока I , причем при большом значении R может отсутствовать вольтметр, а при малом – амперметр. Потребляемую мощность рассчитывают по одной из формул:

$$P = I^2 R;$$

$$P = U^2 / R.$$

При выполнении косвенных измерений мощности в соответствии с описанной выше процедурой абсолютная методическая погрешность измерений в случае, изображенном на рис. 5.3.1.а, вычисляется по формуле:

$$\Delta P = P_d \times \frac{R}{R_a}$$

А во втором случае – по формуле:

$$\Delta P = P_d \times \frac{R_v}{R}$$

где P_d – действительная мощность.

Мощность действительную можно рассчитать по формуле:

$$P_d = U_1^2 / R,$$

где U_1 – напряжение, установленное на УИП; P_d – действительная мощность; R – сопротивление, установленное на магазине сопротивлений; R_a – сопротивление амперметра; R_v – сопротивление вольтметра.

Косвенные измерения мощности постоянного тока методом амперметра и вольтметра проводят, используя магнитоэлектрические приборы. Инструментальная погрешность этих приборов определяется классом точности, который обычно находится в пределах от 0,5 до 2,5.

Оценка предельной результирующей относительной погрешности косвенных измерений мощности электрического тока проводится по формуле:

$$\delta(P) = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U},$$

где ΔI и ΔU – абсолютные погрешности измерений силы тока и напряжения соответственно; I и U – измеренные ток и напряжение в цепи соответственно;

Абсолютная погрешность измерения силы тока рассчитывается по формуле:

$$\Delta I = I_d - I = \frac{U_1}{R} - I,$$

Абсолютная погрешность измерения напряжения рассчитывается по формуле:

$$\Delta U = U_1 - U,$$

Относительная погрешность тока и напряжений рассчитывается по формулам:

$$\delta(I) = \frac{\Delta I}{I} = \frac{U_1}{RI} - 1,$$

$$\delta(U) = \frac{\Delta U}{U} = \frac{U_1}{U} - 1.$$

4. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рис. 5.4.1) находятся две модели магнитоэлектрического вольтамперметра, модель магазина сопротивлений, модель универсального источника питания (УИП) и модель коммутационного устройства (КУ).

Модели магнитоэлектрических вольтамперметров используются при моделировании процесса прямых измерений постоянного электрического напряжения и силы постоянного электрического тока методом непосредственной оценки. Модель магнитоэлектрического вольтамперметра, используемого в качестве амперметра, на рис. 5.4.1 находится слева.

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

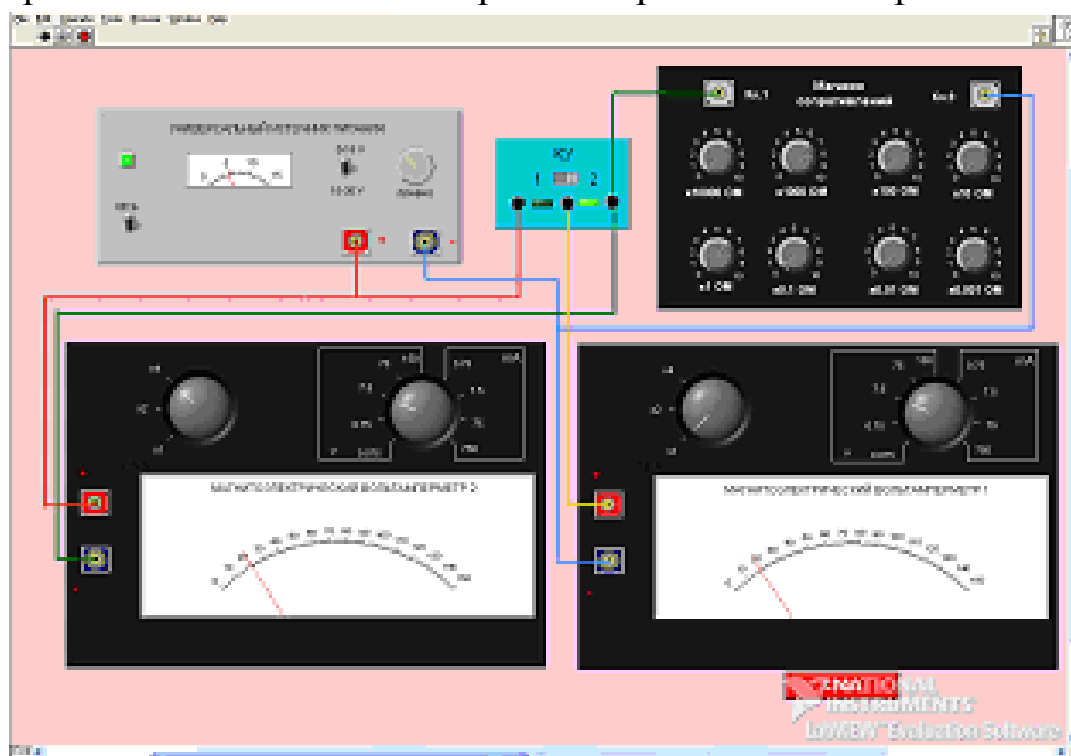


Рис. 5.4.1. Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера

Модель УИП используется при моделировании работы источника регулируемого стабилизированного напряжения постоянного тока. Внутреннее сопротивление УИП составляет 0,3 Ом.

Модель устройства коммутации (КУ) используется для моделирования подключения, измерительных приборов к электрической схеме. На лицевой панели КУ расположены тумблер «Вкл.» включения КУ и световые индикаторы выбранной схемы включения.

Схема соединения приборов при выполнении работы показана на рис. 5.5.1.

5. Рабочее задание

Изучите описание работы и рекомендованную литературу [1], [2], [3]. Откройте библиотеку с лабораторными работами «**VIRTUAL WORK**» и запустите файл **Lab 4.lvi**. Библиотека «**VIRTUAL WORK**» находится по адресу «D:\Виртуальные приборы\» вашего компьютера. На рабочем столе компьютера автоматически появятся модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 5.4.1.) и окно созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

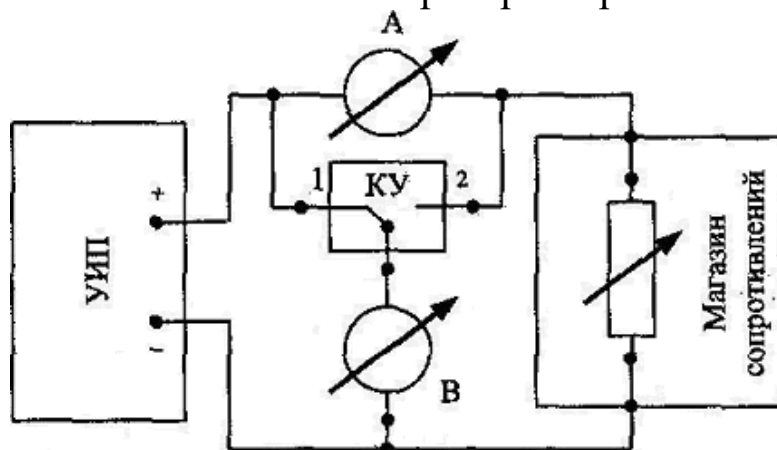


Рис. 5.5.1. Схема соединения приборов

Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Рассчитайте значение сопротивления R , при котором ток в цепи (рис. 5.3.1а) составит не более 3 А, при напряжении на выходе УИП не более 15 В (при расчете учтите внутреннее сопротивление вольтамперметра и УИП, падение напряжения при протекании тока полного отклонения через вольтамперметр составляет 0,4 В, внутреннее сопротивление вольтамперметра в режиме измерения напряжения составляет 200 КОм).

Подготовьте к работе модель УИП:

Включите УИП, переключив тумблер «СЕТЬ» в верхнее положение;

Тумблер переключения поддиапазонов напряжения УИП установите в положение «0 – 15 В»;

Установите, поворачивая ручку плавной регулировки выходного напряжения «Плавно», нулевое напряжение на выходе УИП, ориентируясь на стрелочный индикатор.

Подготовьте к работе магазин сопротивлений, установив с помощью восьмидекадного переключателя сопротивление магазина равным значению, рассчитанному ранее. Сопротивление устанавливается с помощью поворотных переключателей, установленное сопротивление соответствует значению поворотного переключателя помноженное на множитель соответствующего переключателя. Сопротивления всех переключателей складываются.

Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение косвенных измерений мощности постоянного электрического тока в низкоомных цепях

а) Подготовьте к работе модели магнитоэлектрических вольт-амперметров:

с помощью КУ включите приборы по схеме, изображенной на рис. 5.3.1.б (установите переключатель на коммутационном устройстве в положение 1);

установите переключатель пределов измерения и переключатель множителей пределов вольтамперметра (слева) в положение, при котором обеспечивается наилучшее качество измерений при токе в нагрузке в пределах 400–500 мА. Для этого установите переключатель пределов положение «750 мА», а переключатель множителей в положение «×1».

Установите предел измерения вольтамперметра 15 В . Для этого установите переключатель пределов измерения в положение «7,5 В», а переключатель множителей в положение «×2». плавно повышая напряжение на выходе УИП, добейтесь того, чтобы показания амперметра установились в диапазоне 400–500 мА. Для этого поворачивайте ручку «Плавно» на лицевой панели УИП.

б) Выполните измерение мощности постоянного электрического тока для случая, когда измерительные приборы включены по схеме, изображенной на рис. 5.3.1.б:

не изменяя регулировки средств измерений и УИП, установленной в пункте «а», снимите показания средств измерений;

запишите в отчет показания вольтамперметров и магазина сопротивлений, тип приборов, выбранные диапазоны измерений;

увеличьте сопротивление магазина до ближайшего значения, кратного 10 Ом. Сопротивление устанавливается с помощью поворотных переключателей, установленное сопротивление соответствует значению поворотного переключателя помноженное на множитель

соответствующего переключателя. Сопротивления всех переключателей складываются.

запишите показания вольтметра и амперметра в отчет;

не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, увеличивая сопротивление магазина в последовательности 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, снимая и записывая в отчет показания средств измерений. При увеличении сопротивления магазина уменьшайте предел измерения амперметра.

Задание 2. Выполнение косвенных измерений мощности постоянного электрического тока в высокоомных цепях

а) Выполните измерение мощности постоянного электрического тока в цепи при различных значениях сопротивления R для случая, когда измерительные приборы включены по схеме, изображенной на рис. 5.3.1.а:

не меняя напряжения на выходе УИП (напряжение установлено при выполнении задания 1а), переключите КУ в положение «2» и в положение «10», все остальные переключатели магазина сопротивлений находятся в положении «0».

Установите предел установите сопротивление магазина равным 100 кОм. Для установления сопротивления 100 кОм установите переключатель « $\times 10000$ Ом» магазина сопротивлений измерения амперметра «0,75 А». Для этого установите переключатель пределов измерения в положение «0,75 мА», а переключатель множителей пределов в положение « $\times 1$ ».

снимите показания вольтметра и амперметра. Запишите полученные результаты в отчет;

не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, уменьшая сопротивление магазина в последовательности 10 кОм, 1 кОм, 100 Ом, 10 Ом, значение рассчитанное в п. 5.4, снимая и записывая в отчет показания средств измерений. При уменьшении сопротивления магазина увеличивайте предел измерения амперметра.

Сохраните результаты.

После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

Наименование работы;

Цель работы;

Сведения о порядке выполнения работы;
 Сведения об использованных методах измерений;
 Сведения о характеристиках использованных средств измерения;

Данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания;

Экспериментальные данные;

Полностью заполненные таблицы отчета (см. табл.5.5.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;

Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений мощности от сопротивления при различных схемах включения;

Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Оформите отчет по лабораторной работе на листах формата А4.

Табл.5.5.1. Измерение мощности постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра и магнитоэлектрического вольтметра

Измерение мощности постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра (предел шкалы _____) и магнитоэлектрического вольтметра (предел шкалы _____)									
Схема включения приборов (I или II)	Показания амперметра, А (мА)	Показания вольтметра В (мВ)	Абсолютная погрешность измерений			Относительная погрешность измерений, %			Результат измерений мощности, Вт (мВт)
			тока (мА)	напряжения (мВ).	мощности, (мВт)	тока	напряжения	мощности	

6. Контрольные вопросы

Требуется измерить мощность постоянного тока, равную ориентировочно 1 Вт (10 Вт, 100 Вт, 1 кВт). Как это лучше сделать, если

требуется, чтобы относительная погрешность измерений не превысила 0,5% (10 мВт)?

Какие электромеханические механизмы используются в ваттметрах постоянного тока?

Какая область значений мощности постоянного тока доступна для измерения электромеханическими и электронными ваттметрами? В каком случае предпочтительно применять электромеханические, а в каком – электронные ваттметры постоянного тока? Какова примерная погрешность измерений в этих случаях?

Назовите основные источники погрешности при косвенном измерении мощности постоянного тока?

7. Рекомендуемая литература

Доброхотов Б. А. Измерения в электронике: Справочник. Том 1. М.: Энергия, 1986. стр. 41 – 91.

Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1985. – стр. 143 – 176.

Основы метрологии и электрические измерения: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.: Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – стр. 124 – 186.

Попов В.С. Электрические измерения. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. Энергия, 1974. – стр. 230 – 255.

Лабораторная работа №6 на тему: «Изучение техники осциллографических измерений. Измерение напряжения (амплитуды электрического сигнала) с помощью осциллографа».

1. Цель работы

- 1) Ознакомиться с устройством и работой электронного осциллографа.
- 2) Измерение с помощью осциллографа амплитуды и частоты синусоидального напряжения
- 3) Определение важности прямоугольного импульса и наблюдение фигур Лиссажу

2. Приборы и оборудование

- 1) Электронный осциллограф,
- 2) звуковой генератор,
- 3) преобразователь импульсов (кассета ФПЭ–ПИ)
- 4) источник питания.

3. Теоретические данные

Электронный осциллограф – прибор, используемый для исследования быстропротекающих процессов изменения электрических и неэлектрических величин (после преобразования последних в электрические).

Основными элементами осциллографа являются электронно–лучевая трубка, генератор развертки, блок синхронизации, усилители отклоняющих пластин, блок питания.

Электронно–лучевая трубка

По принципу отклонения и фокусировки электронного луча различают два вида трубок: электростатические и магнитные. В первых для отклонения и фокусировки луча используется электрическое поле, во вторых – магнитное.

Электронно–лучевая трубка ЭЛТ представляет собой стеклянную колбу, откачанную до высокого вакуума (рис. 6.3.1.). Внутри нее расположены электронная пушка 1, две пары отклоняющих пластин 2 и флуоресцирующий экран 3.

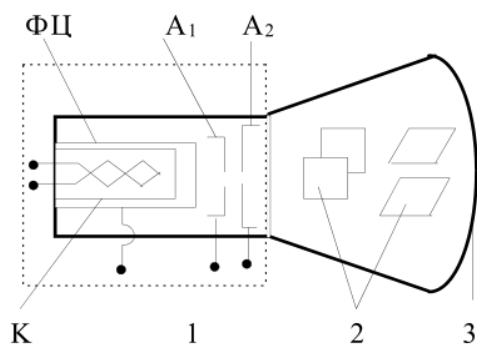
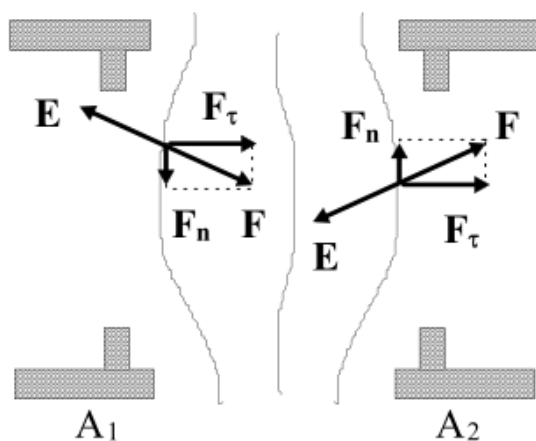


Рис. 6.3.1.

Рассмотрим фокусирующее действие электрического поля на поток электронов на примере действия на электроны электрического поля между первым и вторым анодами. Распределение потенциала в пространстве характеризуется эквипотенциальными поверхностями (рис. 6.3.2.). Электрическое поле сосредоточено в основном у щели между цилиндрами. Предположим, что электрон влетел в зазор между цилиндрами слева направо под углом к их оси. За время, в течение которого он пролетает зазор между цилиндрами, электрическое поле сообщает ему ускорение вдоль оси (тангенциальные составляющие силы τ имеют все время одно направление). В то же время он отклоняется сначала вниз, а потом вверх за счет действия F_n . Следовательно, в электрических полях, эквипотенциальные поверхности которых обращены выпуклостями к катоду, электроны при своем движении будут собираться к горизонтальной оси (действие таких полей похоже на действие собирающих линз). Если эквипотенциальные поверхности полей имеют противоположное направление, то электроны будут расходиться от горизонтальной оси (действие таких полей похоже на действие рассеивающих линз).



Отклоняющиеся пластины

На пути к экрану электронный пучок проходит между двумя парами отклоняющих пластин. Напряжения, приложенные к пластинам, создают между ними электрические поля, которые отклоняют электронный луч, что приводит к смещению светящегося пятна на экране. Горизонтально расположенные пластины отклоняют луч по вертикали (вдоль оси Y), а вертикально расположенные – по горизонтали (вдоль оси X).

Установим связь между напряжением на пластинах A и B и смещением пятна на экране.

Электрон влетает в однородное электрическое поле E_y со скоростью $V_0 = V_z$. Вдоль оси Z на электрон не действуют никакие силы, поэтому в этом направлении он движется равномерно:

$$z = V_0 t$$

Вдоль оси Y на электрон действует постоянная сила

$$F = eE_y$$

где E_y – напряженность поля между пластинами:

$$E_y = \frac{U}{d}$$

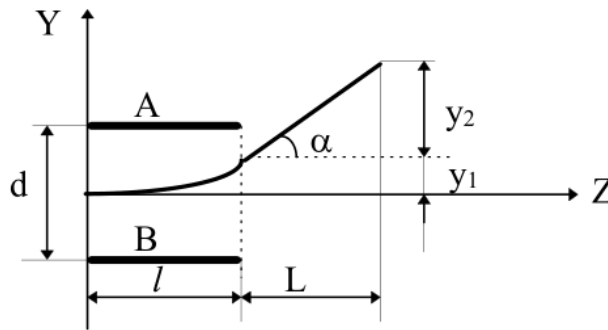


Рис. 6.3.3.

Следовательно, движение электрона вдоль оси Y будет равноускоренным:

$$y = at^2/2$$

$$V_y = at$$

Ускорение a найдем из второго закона Ньютона:

$$a = \frac{F_y}{m} = \frac{eF_y}{m}$$

$$a = \frac{eU}{2md}$$

Тогда

$$y = \frac{eU}{2md} t^2$$

Учитывая, что $t = z / V_0$, получаем

$$y = \frac{eUz^2}{2mdV_0^2}$$

Из предыдущей формулы следует, что траектория движения электрона между пластинами представляет собой параболу. При выходе из пространства между пластинами электрон отклонится от своего первоначального направления на угол α и сместится по оси Y на y_1 :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{V_y}{V_0} = \frac{at}{V_0} = \frac{eU}{mdV_0^2} \\ y &= \frac{eUl^2}{2mdV_0^2} \end{aligned}$$

Смещение светящегося пятна на экране равно

$$y = y_1 + L \operatorname{tg} \alpha = \frac{eUl}{mdV_0^2} \left(\frac{1}{2} + L \right) \approx \frac{eUlL}{mdV_0^2}$$

так как $l/2 \ll L$, то

$$y = \frac{eL}{mdV_0^2} U$$

и пропорционально напряжению на отклоняющих пластинах.

Отклонение пятна на экране ЭЛТ (в миллиметрах), вызванное напряжением 1 В на отклоняющих пластинах, называется чувствительностью трубки:

$$j = \frac{y}{U} = \frac{eL}{mdV_0^2}$$

Если U_0 – потенциал второго анода относительно катода, то

$$\frac{mV_0^2}{2} = eU_0$$

Откуда

$$V_0^2 = \frac{2eU_0}{m}$$

Тогда чувствительность ЭЛТ окажется равной

$$j = \frac{IL}{2dU_0}$$

и зависящей как от расстояния между пластинами и экраном, так и от потенциала на втором аноде.

Усилители отклоняющих пластин

Чувствительность электронно–лучевой трубки, как правило, невелика, поэтому отклоняющие пластины напряжения подают обычно через усилители. Характеристики усилителей отклоняющих пластин (линейность и диапазон пропускаемых частот) во многом определяют возможности осциллографа.

Измерения

Лабораторная установка состоит из осциллографа, звукового генератора, преобразователя импульсов и источника питания. Перед началом выполнения работы необходимо ознакомиться с ручками управления осциллографа и звукового генератора, а также с порядком подготовки этих приборов к работе.

В лабораторной работе производятся измерения амплитуды и частоты синусоидального сигнала, “скважности” прямоугольного импульса, а также наблюдаются фигуры Лиссажу.

Скважностью прямоугольного импульса называют величину

$$Q = T/\tau$$

где T – период импульса, а τ – его длительность (рис. 6.4.1.).

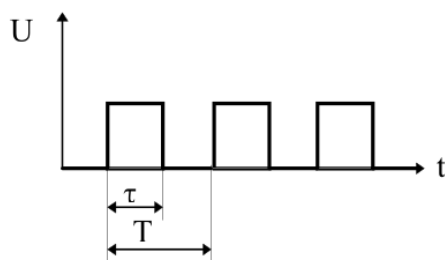


Рис. 6.4.1.

Фигурами Лиссажу называются траектории результирующего движения при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний. Эти фигуры можно получить на экране осциллографа, подавая синусоидальные напряжения различной частоты одновременно на горизонтально и вертикально отклоняющие пластины трубки. При этом луч будет находиться под действием двух взаимно перпендикулярных отклоняющих сил. В зависимости от амплитуды, частоты и фазы

подаваемых напряжений фигуры Лиссажу будут иметь различный вид.

5. Ход работы

Исследование синусоидального сигнала

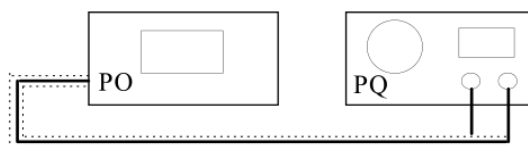


Рис. 6.5.1.

Соберите схему, изображенную на рис. 6.5.1.

Включив осциллограф и звуковой генератор, получите устойчивую картину сигнала звукового генератора на экране осциллографа и зарисуйте ее.

Измерьте в делениях сетки экрана электронно–лучевой трубки величину нескольких периодов сигнала на экране осциллографа. Определите коэффициент отклонения луча осциллографа по горизонтали и подсчитайте период сигнала в секундах.

Зная период сигнала, вычислите его частоту и сравните полученный результат с показаниями на шкале частот звукового генератора.

Изменяя частоту сигнала звукового генератора, повторите измерения на 4–5 различных частотах. Результаты измерений запишите в табл. 6.5.1.

Установите наибольший вертикальный размер синусоиды в пределах рабочей части экрана.

Измерьте амплитуду сигнала в делениях. Определите коэффициент отклонения луча по вертикали и подсчитайте амплитуду сигнала в вольтах (для удобства измерения амплитуды сигнала можно включить развертку).

Определите эффективное напряжение выходного сигнала звукового генератора по показаниям вольтметра, расположенного на лицевой панели звукового генератора, и вычислите амплитуду этого сигнала по формуле $U_a = U_{эф} \sqrt{2}$. Сравните полученный результат с результатом измерения амплитуды сигнала на экране осциллографа.

Изменяя частоту сигнала звукового генератора, повторите измерение амплитуды 4 – 5 раз. Результаты измерений запишите в табл. 6.5.2.

Табл.6.5.1.

Период сигнала, дел	Период сигнала, с	Частота сигнала, Гц	Показания по шкале звукового генератора, Гц

Табл.6.5.2.

Частота сигнала звукового генератора, Гц	Амплитуда сигнала, дел	Амплитуда сигнала, В	Эффективное напряжение на выходе звукового генератора, В	Амплитудное напряжение на выходе звукового генератора, В

Исследование импульсного сигнала

Соберите схему, изображенную на рис. 6.5.2.

Получите на экране осциллографа устойчивую картину прямоугольных импульсов и зарисуйте ее.

Измерьте период и длительность прямоугольного импульса и определите скважность.

Определите скважность прямоугольного импульса при 4 – 5 различных частотах звукового генератора. Результаты измерения запишите в табл. 6.5.3.

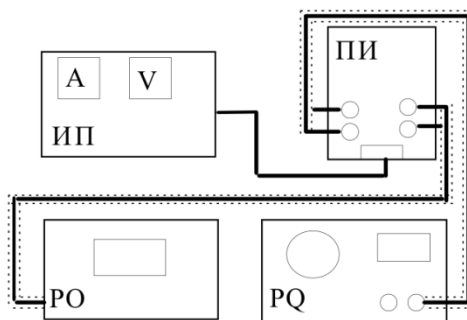


Рис. 6.5.2.

Табл. 6.5.3.

τ	T	Q

Наблюдение фигур Лиссажу

Соберите схему, изображенную на рис. 6.5.3.

Изменяя частоту сигнала звукового генератора, получите и зарисуйте фигуры Лиссажу при соотношении частот $2 : 1$, $1 : 1$, $1 : 2$, $1 : 3$. Частота сигнала, подаваемого на осциллограф с источника питания, равна 50 Гц.

Определите соотношение частот сигналов по отношению числа касаний фигуры Лиссажу с прямыми, параллельными осям X и Y.

Результаты измерений и рисунки поместите в табл. 6.5.4.

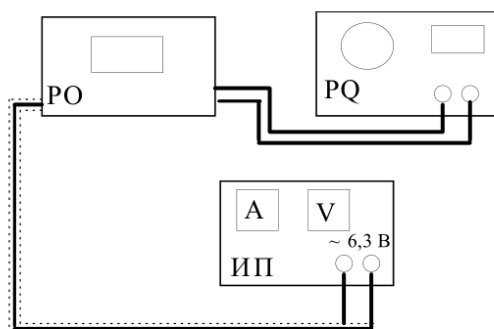


Рис. 6.5.3.

Табл.6.5.3

Частота сигнала звукового генератора, Гц	Вид фигуры Лиссажу	Соотношение частот, определенное по виду фигуры

6. Контрольные вопросы

1. Каково назначение осциллографа?
2. Опишите принцип действия электронно-лучевой трубки.
3. От чего зависит чувствительность трубки осциллографа ?
4. Каковы назначение и принцип действия генератора развертки ?
5. Как с помощью осциллографа определяется истинное значение амплитуды измеряемого сигнала ?

Лабораторная работа №7 на тему: «Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа».

1. Цель работы

- 1) Приобретение навыков измерения параметров гармонического напряжения с помощью осциллографа.
- 2) Получение сведений о характеристиках и устройстве электронного осциллографа.

2. Теоретические сведения

Гармоническое напряжение характеризуется тем, что его текущее значение изменяется с течением времени по синусоидальному закону:

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

где U_0 – амплитуда гармонического напряжения, t – время, ω – угловая частота гармонического напряжения, $(\omega t + \varphi)$ – фаза, а φ – начальная фаза гармонического напряжения.

Существует множество измерительных приборов, позволяющих измерять отдельные параметры гармонического напряжения. Это аналоговые и цифровые вольтметры переменного тока, частотомеры и фазометры различных видов и систем. С помощью этих приборов можно добиться высоких показателей точности измерений, обеспечить выполнение измерений в широком диапазоне амплитуд и частот, провести измерения, как в лабораторных, так и в цеховых условиях. Однако ни одно из перечисленных средств измерений не позволяет измерить одновременно все параметры гармонического напряжения, и не обладает таким дружественным пользовательским интерфейсом, как электронный осциллограф.

Электронные осциллографы обеспечивают возможность наблюдения функциональной связи между переменными величинами, одной из которых, как правило, является время. При измерении гармонического напряжения изображение, наблюдаемое на экране осциллографа (осциллограмма), несет информацию о значениях амплитуды и частоты (периода) напряжения, и, если осциллограф двухлучевой, о разности фаз между двумя гармоническими напряжениями. Осциллографические измерения можно выполнять в широком диапазоне частот, в электрических цепях различного назначения (промышленных, радиотехнических, компьютерных и т. д.), в лабораторных и

цеховых условиях. Все эти преимущества в значительной степени искупают основной недостаток осциллографических измерений – низкую точность.

Существует несколько разновидностей электронных осциллографов, а именно: универсальные, запоминающие, стробоскопические, скоростные и специальные. Универсальные осциллографы наиболее распространены. Рассмотрим упрощенную структурную схему такого прибора (рис. 7.2.1).



Рис. 7.2.1. Упрощенная структурная схема универсального осциллографа: ЭЛТ – электронно-лучевая трубка, УВО – усилитель вертикального отклонения, УГО – усилитель горизонтального отклонения.

Осциллограмма на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) возникает в результате перемещения электронного луча по поверхности экрана, покрытого люминофором. Перемещение в вертикальном направлении происходит под действием электрического поля вертикально отклоняющих пластин, а в горизонтальном направлении – горизонтально отклоняющих.

На вертикально отклоняющие пластины подается управляющее напряжение с выхода усилителя вертикального отклонения

(УВО). Значение этого напряжения пропорционально амплитуде исследуемого напряжения на одном из входов канала вертикального отклонения «Y».

На горизонтально отклоняющие пластины подается управляющее напряжение с выхода усилителя горизонтального отклонения (УГО). Если вход УГО подключен к выходу генератора развертки, это напряжение имеет пилообразную форму. Если вход УГО с помощью переключателя входов подключен к одному из выходов промежуточного усилителя вертикального отклонения (УВО), напряжение развертки изменяется во времени по такому же закону, как и исследуемое напряжение.

Если напряжение развертки имеет линейную пилообразную форму, луч на экране ЭЛТ будет перемещаться в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. В результате осциллограмма представит собой график зависимости амплитуды исследуемого сигнала от времени, изображенный в прямоугольных координатах.

Входное устройство служит для согласования входа осциллографа с выходом источника исследуемого сигнала. Линия задержки и устройство синхронизации служат в первую очередь для того, чтобы синхронизировать между собой моменты прихода управляющих напряжений на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины. Калибраторы длительности и амплитуды представляют собой встроенные в осциллограф генераторы сигналов, амплитуда и частота выходного напряжения которых известны и воспроизводятся с высокой точностью.

Из сказанного ясно, что погрешность в воспроизведении формы исследуемого сигнала на экране ЭЛТ будет определяться в первую очередь двумя факторами:

1) точностью, с которой соблюдается отношение пропорциональности между текущим значением исследуемого напряжения и значением управляющего напряжения, приложенного к вертикально отклоняющим пластинам;

2) точностью, с которой соблюдается постоянство скорости луча при его перемещении вдоль горизонтальной оси ЭЛТ.

Для нормирования этих факторов служат такие метрологические характеристики осциллографа, как коэффициент отклонения канала «Y» – K_v , называемый также коэффициентом вертикального отклонения и коэффициент развертки – K_p .

Под коэффициентом отклонения понимают отношение значения напряжения U на входе канала вертикального отклонения к величине вертикального перемещения h луча на экране ЭЛТ, произошедшего под воздействием этого напряжения:

$$K_v = \frac{U}{h}$$

Эта величина имеет размерность В/см, мВ/см или В/дел, мВ/дел. Выбор размерности зависит от того, в каких единицах измеряется перемещение луча – в сантиметрах или в делениях шкалы координатной сетки, нанесенной на экран ЭЛТ осциллографа. Коэффициент отклонения характеризуется основной погрешностью, которая нормируется в соответствии с классом осциллографа (см. табл.7.2.1).

Под коэффициентом развертки понимают отношение длительности прямого хода луча на экране ЭЛТ к величине произошедшего за время горизонтального перемещения L луча на экране ЭЛТ:

$$K_p = \frac{T_{\Pi}}{L}$$

Эта величина имеет размерность время/см, или время/дел. Коэффициент развертки характеризуется основной погрешностью, которая нормируется в соответствии с классом осциллографа.

Табл.7.2.1. Нормы на метрологические характеристики осциллографа

Параметр	Норма для осциллографа класса			
	I	II	III	IV
Основная погрешность коэффициента отклонения, % не более	2,5	4	8	10
Основная погрешность коэффициента развертки, % не более	2,5	4	8	10

Измерения с помощью осциллографа можно проводить как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения с мерой.

Измерение значения напряжения методом непосредственной оценки сводится к определению K_v , фактически являющегося ценой деления шкалы, и к определению вертикальных размеров изображе-

ния h на экране ЭЛТ. Оценка значения измеряемого напряжения U_x получается из соотношения:

$$U_x = K_B \times h$$

Определение коэффициента проводится путем калибровки канала вертикального отклонения. Эта процедура выполняется с помощью калибратора амплитуды (рис. 7.2.1). Из соотношения видно, что оценка значения измеряемой величины выполняется на основании известной зависимости между искомой величиной и другими величинами, значения которых получают в результате прямых измерений. Таким образом, осциллографические измерения методом непосредственной оценки являются косвенными измерениями. Следовательно, предел относительной погрешности результатов измерения напряжения можно оценить по формуле:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \left(\frac{\Delta K_B}{K_B} \right) + \frac{\Delta h}{h}$$

Как указывалось, погрешность коэффициента отклонения определяется классом осциллографа. Ясно, что это инструментальная составляющая погрешности. Погрешность определения размеров изображения Δh определяется в первую очередь тем, что линия луча на экране ЭЛТ имеет конечную ширину. Ширина линии, в свою очередь, зависит от размытости и расфокусировки изображения на экране и составляет от 0,2 мм до 1,0 мм, в зависимости от типа осциллографа. Таким образом, погрешность определения размеров изображения на экране также по своей сути является, инструментальной, но в нее входит и погрешность параллакса при снятии отсчетов, поэтому, погрешность определения размеров изображения на экране осциллографа обычно называют погрешностью отчета. Погрешность отсчета тем меньше, чем больше размер изображения, наблюдаемого на экране, и чем тоньше луч. Современные осциллографы имеют поперечные размеры экрана до 10 – 15 сантиметров, типовая погрешность отсчета для них составляет от 0,5% до 2%.

При измерении напряжения с помощью осциллографа методом сравнения с мерой, используется разновидность метода, известная как метод замещения. Метод замещения состоит в том, что измеряемая величина замещается известной величиной воспроизводимой мерой (например, встроенным калибратором амплитуды). Напряжение

на выходе калибратора, при котором показания осциллографа такие же, как при измерении искомого напряжения, равно измеряемому значению.

Измерение периода T гармонического напряжения методом непосредственной оценки выполняется практически также, как измерение и сводится к определению K_p , являющегося ценой деления шкалы, и к определению горизонтальных размеров изображения L на экране ЭЛТ. Отличие заключается в том, что для калибровки коэффициента используется калибратор длительности. Оценка длительности измеряемого периода производится по формуле:

$$T = K_p \times L$$

Измерения косвенные и предел относительной погрешности результатов измерения периода вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta T}{T} = \left(\frac{\Delta K_p}{K_p} \right) + \frac{\Delta L}{L}$$

Частота колебаний величина обратная их периоду. Сначала с помощью осциллографа измеряется значение периода T исследуемого напряжения, а значение частоты f в герцах определяется по формуле: $f = 1/T$. Для определения значения круговой (циклической) частоты ω служит соотношение $\omega = 2\pi f$.

При измерении периода и частоты с помощью осциллографа методом сравнения с мерой, используется разновидность метода, называемая методом совпадения. Метод совпадения состоит в том, что разность значений измеряемой величины и величины воспроизводимой мерой (например, встроенным калибратором длительности или образцовым генератором сигналов) определяют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов. Именно таким образом выполняются измерения методом интерференционных фигур (фигур Лиссажу) и методом круговой развертки.

Угол сдвига фаз представляет собой модуль разности фаз двух гармонических сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ одинаковой частоты. Таким образом, если $U_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$, а $U_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$, то согласно определению угол сдвига фаз φ равен:

$$\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|$$

если φ_1 и φ_2 постоянны во времени, то φ от времени не зависит. При $\varphi = 0$ гармонические напряжения называются синфазными, при $\varphi = \pm \pi$ – ротивофазными.

Измерение угла сдвига фаз методом непосредственной оценки может выполняться способом линейной развертки или способом эллипса (фигур Лиссажу). В первом случае на экране двухлучевого осциллографа получают изображение кривых $U_1(t)$ и $U_2(t)$, взаимное расположение которых несет искомую информацию (рис. 7.2.2.).

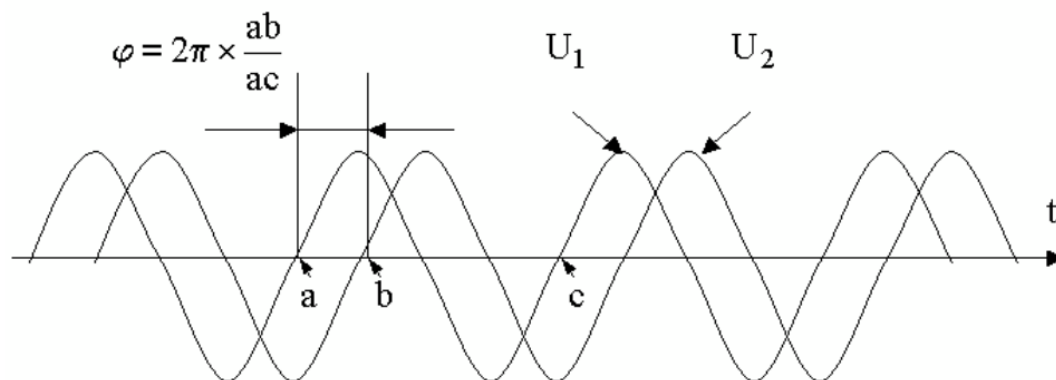


Рис. 7.2.2. Измерение угла сдвига фаз способом линейной развертки

Значение угла сдвига фаз в градусах вычисляют по формуле:

$$\varphi = \frac{2\pi \times ab}{ac}$$

где ab и ac – длина соответствующих отрезков осциллограммы. Измерения косвенные, следовательно, предел относительной погрешности результатов измерения угла сдвига фаз можно вычислить по формуле:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta ab}{ab} + \frac{\Delta ac}{ac}$$

Соотношением можно пользоваться, если погрешности, обусловленные смещением горизонтальных осей изображения относительно друг друга и нелинейностью развертки достаточно малы. В целом абсолютная погрешность измерения этим методом составляет, как правило, $\pm (5^\circ \div 10^\circ)$.

Несколько лучшие результаты могут быть достигнуты при использовании способа эллипса (фигур Лиссажу). При выполнении измерений этим способом одно из напряжений подается на вход канала вертикального, а другое – горизонтального отклонения осциллографа.

Генератор линейной развертки при этом выключен. На рис. 7.2.3 показано изображение, которое получается на экране при разных углах фазового сдвига.

При использовании способа эллипса угол сдвига фаз можно определить по формуле:

$$\varphi = \arcsin \frac{h}{H}$$

где h и H длина отрезков на осциллограмме (рис. 7.2.3).

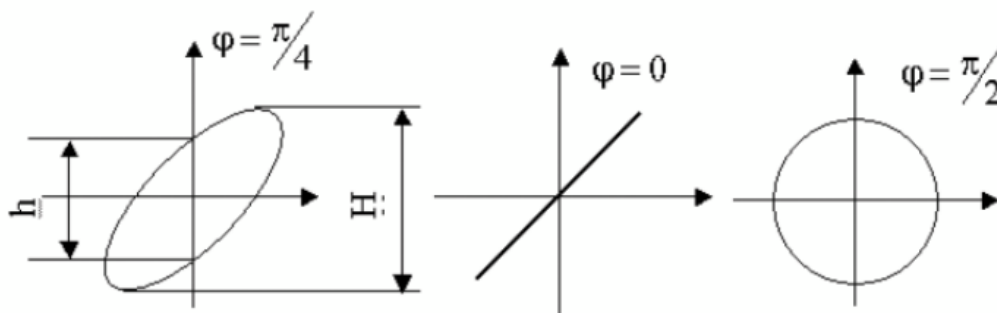


Рис. 7.2.3. Измерение угла сдвига фаз способом эллипса/

Перед измерением h и H необходимо совместить центр эллипса с началом координат шкалы. Для этого поочередно отключают напряжения U_x и U_y , и совмещают середины полученных вертикального и горизонтального отрезков с центром шкалы. При использовании метода результаты измерения, как видно из формулы, однозначно интерпретируются только в диапазоне от 0 до 180 градусов. Абсолютную погрешность измерений можно определить по формуле:

$$\Delta\varphi = \frac{h}{\sqrt{H^2 - h^2}} \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta H}{H} \right)$$

Она не превышает ± 2 градусов при φ , близких к 0 или 180 градусам, и возрастает до ± 10 градусов при приближении φ к 90 градусам.

При измерении угла сдвига фаз методом сравнения с мерой, используется разновидность метода, называемая нулевым методом. В этом случае в цепь одного из исследуемых напряжений включают фазовращатель, например, RC – цепочку, мостовую или трансформаторную схему. При равенстве фаз между исследуемыми напряжениями на экране осциллографа вместо эллипса будет наблюдаться отрезок прямой. Этот метод измерений заметно точнее, чем предыдущий – относительная погрешность измерений составляет 1% – 2%, а ча-

стотные свойства фазовращателя определяют диапазон рабочих частот.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели электронного осциллографа и калибратора фазового сдвига (рис. 7.3.1.).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель электронного осциллографа используется при моделировании процесса измерения параметров переменного напряжения. При выполнении работы следует считать, что используемая модель осциллографа соответствует классу точности II (см. табл.7.2.1). Модель калибратора фазовых сдвигов используется при моделировании работы образцового источника двух переменных напряжений синусоидальной формы, параметры которых (амплитуда и частота сигналов и фазовый сдвиг между ними) могут регулироваться.

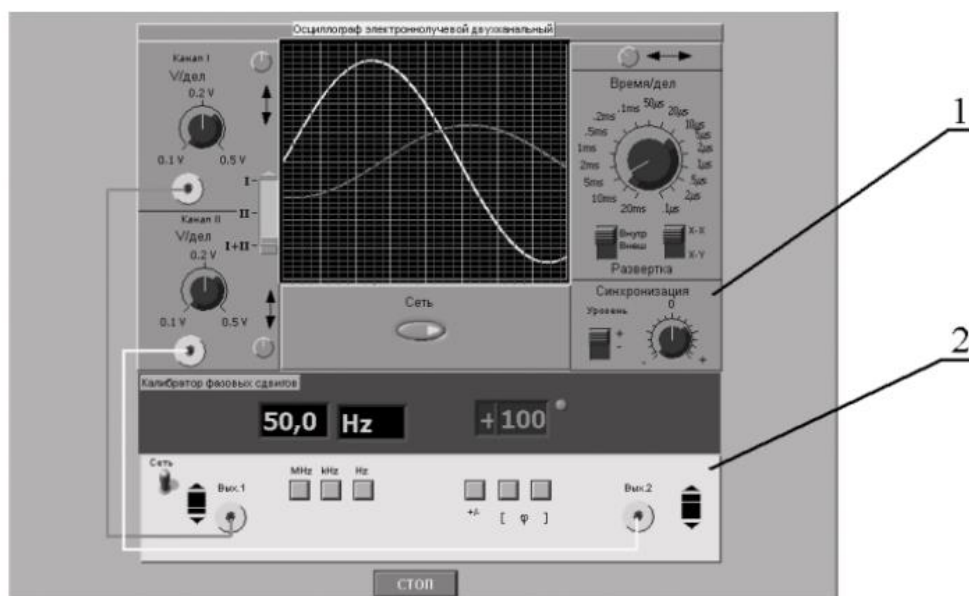


Рис. 7.3.1. Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы (1—электронный осциллограф, 2—калибратор фазовых сдвигов)

Схема соединения приборов при выполнении измерений приведена на рис. 7.3.2..

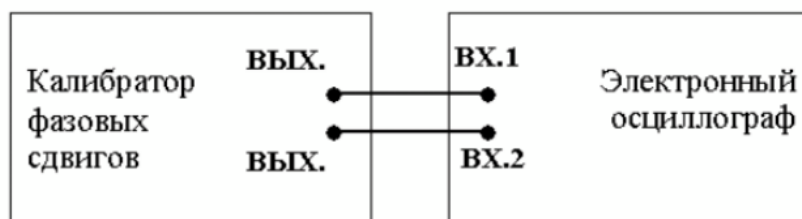


Рис. 7.3.2.Схема соединения приборов при выполнении работы

4. Ход работы

1. Запустите программу–оболочку лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 3.5 «Измерение параметров гармонического напряжения с помощью осциллографа». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений (рис. 7.3.1.).

2. Ознакомьтесь с расположением моделей средств измерений на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования установите регулятор выходного напряжения калибратора в среднее положение и наблюдайте форму сигнала на экране осциллографа. Изменяя напряжение, частоту и фазовый сдвиг на выходе калибратора, а также коэффициент развертки и чувствительность канала вертикального отклонения осциллографа проследите за изменениями изображения на экране осциллографа.

3. Подготовьте модели приборов к работе.

– Включите с помощью тумблера «Сеть» калибратор фазовых сдвигов и осциллограф.

– Установите регуляторы уровня выходных сигналов калибратора в среднее положение.

– Установите значение угла фазового сдвига между сигналами на выходах калибратора, равным 0 градусов.

– Установите переключатель управления режимом входных каналов осциллографа в положение II (одноканальный режим, подключен II–ой канал).

– Установите режим внутренней синхронизации развертки осциллографа (переключатель «Внутр–Внеш» находится в положении «Внутр»).

– Установите переключатель чувствительности входных каналов осциллографа в такое положение, чтобы входной сигнал целиком умещался на экране и был наибольшего размера.

– Установите переключатель коэффициента развертки осциллографа в такое положение, чтобы на экране умещалось примерно два периода исследуемого сигнала

4. Приступите к выполнению лабораторной работы.

Измерение с помощью осциллографа периода и частоты гармонического напряжения.

а.) Установите амплитуду выходного сигнала калибратора, равной примерно 1В.

б.) Установите частоту сигнала на выходе калибратора, равной 50Гц.

в.) Выберите для измерения канал II осциллографа и включите режим линейной развертки с внутренней синхронизацией (переключатель «Внутр–Внеш» находится в положении «Внутр»).

г.) Подберите подходящий коэффициент вертикального отклонения, при котором размах изображения будет максимальным.

д.) Подберите такой коэффициент развертки, чтобы на экране умещалось 2 – 3 периода исследуемого напряжения.

е.) Измерьте линейный размер изображения, соответствующий одному периоду исследуемого сигнала.

ж.) Запишите в отчет показания осциллографа и калибратора.

з.) Оставляя неизменной амплитуду исследуемого сигнала, выполните измерения в соответствии с п.п. (а – ж), последовательно устанавливая частоту выходного сигнала калибратора, равной 500 Гц, 5 кГц, 50 кГц, 0,5 МГц, 5 МГц.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

– Осциллограммы.

– Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений фазового сдвига от показаний осциллографа при использовании методов линейной развертки и эллипса.

Рекомендованная форма таблицы для записи результатов приведена ниже.

Таблица 7.5.1. Результаты измерения периода и частоты гармонического сигнала с помощью электронного осциллографа

Частота сигнала на выходе калибратора	Размер изображения, делений	Цена деления, мс(мкс)/дел.	Абсолют. погрешн. измер.		Относит. погрешн. измер.		Результат измерения	
			период, мс(мкс)	частота Гц(кГц)	период	частота	период, мс(мкс)	частота Гц(кГц)

5. Контрольные вопросы

Какие параметры полностью характеризуют гармоническое напряжение? Поясните на графике.

Почему при наблюдении гармонических сигналов и измерении их параметров удобно использовать осциллограф?

От чего зависит погрешность измерения частоты при помощи осциллографа?

Почему при осциллографических измерениях размер изображения на экране стремятся по возможности увеличить?

Лабораторная работа №8 на тему: «Изучение органов управления двухлучевого осциллографа и режимов работы каналов».

1. Цель работы

- 1) Изучить особенности измерения в двухлучевом осциллографе.
- 2) Получить и закрепить навыки работы с двухлучевым осциллографом.
- 3) Проанализировать результаты измерения и сделать заключение.

2. Приборы и оборудование

- 1) Осциллограф С1–55.
- 2) Генератор Г5–54.

3. Правила техники безопасности

- 1) Соединить клемму “↓” измерительных приборов с шиной защитного заземления.
- 2) Убедиться в наличии и исправности сетевых предохранителей измерительных приборов.
- 3) Соблюдать указания мер безопасности, приведённые в руководстве по эксплуатации приборов и оборудования, применяемых в данной работе.
- 4) Соблюдать все требования техники безопасности при работе в лаборатории электротехнических измерений.

4. Теоретическая часть

Осциллограф – это прибор, который позволяет наблюдать на экране форму электрических сигналов (то есть зависимость напряжения от времени) и измерять их параметры.

Преимуществами осциллографа по сравнению с другими измерительными приборами являются:

- наглядность восприятия информации;
- универсальность (можно измерять сразу несколько параметров сигнала).

К недостаткам можно отнести:

- небольшую точность измерений (до 2–5%):

– относительно большую трудоемкость измерений.

С помощью осциллографа можно измерять все параметры любых сигналов, в то время как более точные специализированные приборы измеряют обычно какой-то один параметр (например, напряжение, частоту и др.), и, главное, рассчитаны только на сигнал определенной формы (наиболее распространены приборы для измерения параметров гармонических сигналов).

Поэтому они могут давать большие и неконтролируемые погрешности при отклонении сигнала от "стандартного" вида.

Таким образом, наличие осциллографа как контролирующего прибора необходимо и при использовании других, более точных измерительных приборов, особенно, если вид сигнала не известен и может изменяться в процессе измерений.

В последнее время все шире используются цифровые осциллографы, а также измерительные приборы, выполненные в формате стандартных плат расширения персональных ЭВМ или сопряженные с ЭВМ по шине USB, которые могут работать как осциллограф с выдачей осциллограммы на монитор ЭВМ. Большим удобством таких устройств является их полная интеграция с ЭВМ, что облетает регистрацию результатов и их дальнейшую обработку в реальном времени.

Главным узлом любого аналогового осциллографа является электроннолучевая трубка, поэтому осциллограф и называется электроннолучевым.

Схематичное устройство трубки приведено на рис. 8.4.1.

Электронная пушка создает и фокусирует электронный луч. Электроны испускаются из катода, подогреваемого до температуры, достаточной для начала термоэлектронной эмиссии, и затем ускоряются в электрическом поле между катодом и вторым анодом. Далее, до экрана, они пролетают в области почти постоянного потенциала (равного потенциалу второго анода). Потенциал создается токопроводящим слоем, нанесенным на стенки трубки. Соударяясь с флуоресцирующим слоем на внутренней поверхности экрана люминофором, электроны вызывают его свечение.

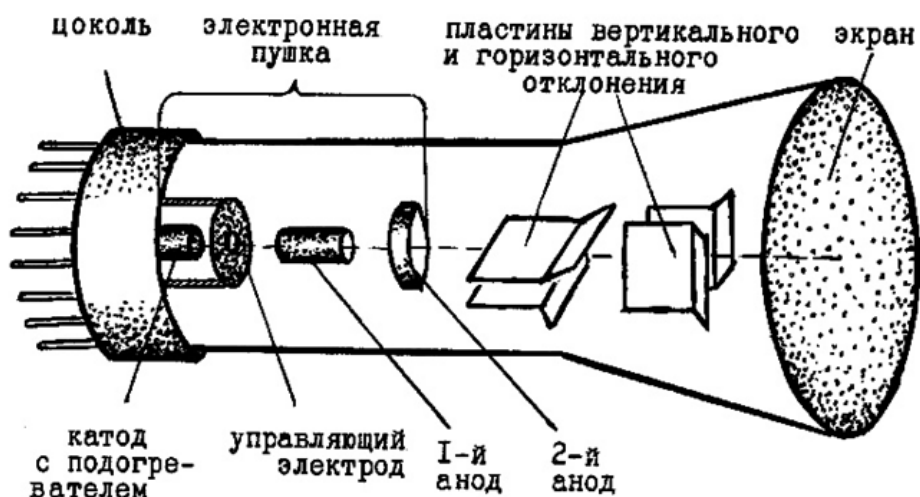


Рис. 8.4.1. Устройство электроннолучевой трубки

Принцип образования осциллограммы.

Положение светового пятна на экране зависит от пары напряжений, приложенных к горизонтально (X) и вертикально (Y) отклоняющим пластинам.

Принципиально важно, что отклонение электронного луча на экране прямо пропорционально напряжению, приложенному к соответствующей паре отклоняющих пластин. Если на Y-пластины подать переменное, например, синусоидальное напряжение, то электронный луч начнет колебаться в вертикальном направлении. При достаточно большой частоте колебаний (20 – 50 Гц) движение луча на экране трубки будет восприниматься глазом как светящаяся непрерывная вертикальная линия (см. рис. 8.4.2.а). Аналогично, напряжение, поданное на горизонтально отклоняющие пластины X, даст горизонтальную линию.

При одновременном воздействии переменных напряжений на обе пары пластин можно получить различные осциллограммы. Например, подавая на пластины X и Y два синусоидальных сигнала с определенными соотношениями частот и фаз, можно наблюдать разные неподвижные замкнутые кривые, фигуры Лиссажу, а также осциллограмму синусоидального сигнала (см. рис. 8.4.2.б–в).

Блок – схема осциллографа представлена на рис. 8.4.3.

Канал вертикального отклонения Y или канал сигналов, служит для преобразования напряжения исследуемого сигнала в соответствующее ему вертикальное отклонение луча.

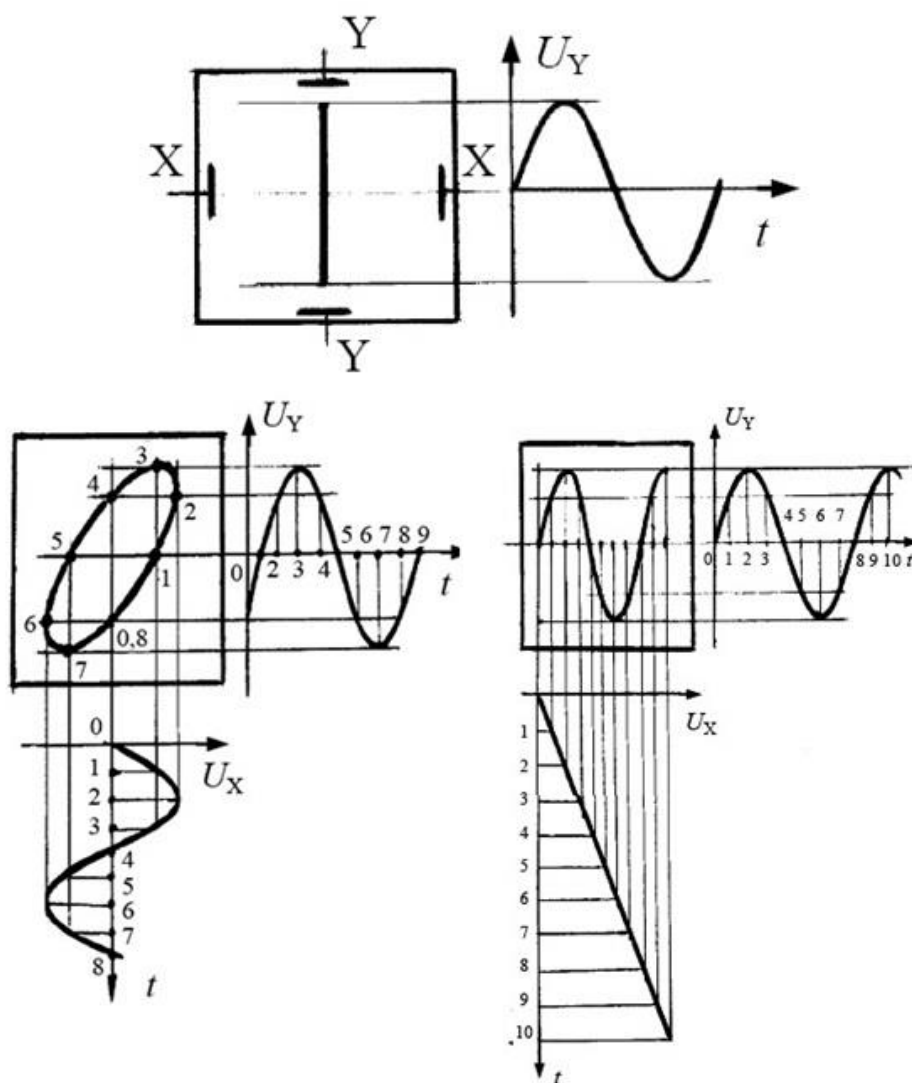


Рис. 8.4.2. Принцип образования осциллограммы

- а) получение осциллограммы, б) получение фигуры Лиссажу, в) получение синусоидального сигнала

Он состоит из входного устройства, усилителя вертикального отклонения и вертикально – отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входное устройство состоит из аттенюатора, позволяющего ослабить исследуемый сигнал в целое число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; катодного повторителя, устраняющего влияние ка–нала вертикального отклонения на источник измеряемого сигнала и позво–ляющего получить высокое входное сопротивление: линии задержки (в импульсных осциллографах), обеспечивающей подачу исследуемого им–пульса на вертикально – отклоняющие пластины с задержкой относи–тельно начала

горизонтально – отклоняющего напряжения, что дает возможность хорошо наблюдать фронт импульса.

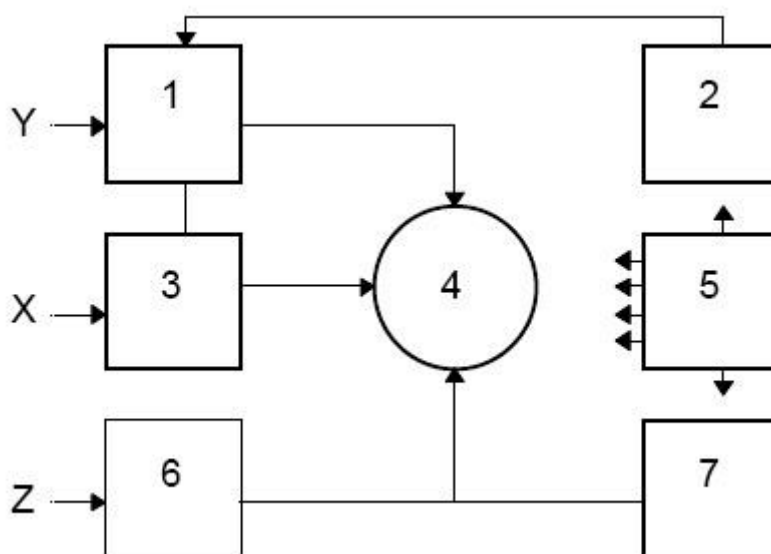


Рис. 8.4.3. Блок-схема осциллографа

1 – канал вертикального отклонения;

2 – калибратор амплитуды;

3 – канал горизонтального отклонения;

4 – электроннолучевая трубка (ЭЛТ);

5 – блок питания;

6 – канал управления яркостью;

7 – калибратор длительности.

Усилитель вертикального отклонения усиливает исследуемый сигнал, подаваемый со входного устройства, до уровня, позволяющего получить достаточное вертикальное отклонение луча (высоту изображения сигнала) на экране ЭЛТ.

Канал горизонтального отклонения X или канал развертки, служит для создания и передачи напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени.

Вторая функция этого канала – усиление сигнала, синхронизирующего напряжение горизонтального отклонения.

В его состав входят:

- генератор напряжения горизонтального отклонения;
- усилитель, усиливающий вырабатываемое генератором напряжение до уровня, необходимого для отклонения луча в горизонтальном направлении; горизонтально – отклоняющие пластины;

– схема синхронизации, предназначенная для преобразования, усиления и регулирования амплитуды, а также изменения полярности синхронизирующих напряжений.

Иногда на входе канала горизонтального отклонения имеется аттенюатор. Канал управления яркостью Z предназначен для передачи со входа Z на управляющий электрод ЭЛТ сигналов, модулирующих яркость свечения. Обычно он состоит из усилителя, который, помимо усиления, позволяет изменять полярность модулирующего напряжения.

В этот же канал чаще всего подается напряжение от калибровочного генератора меток времени. Калибраторы применяются для измерения параметров исследуемого сигнала. Как правило, ими являются устройства для измерения напряжения и длительности.

Блок питания состоит из двух выпрямителей – высоковольтного, питающего высоким напряжением ЭЛТ, и низковольтного, питающего все узлы осциллографа и низковольтные электроды трубки, а также схемы регулировок напряжений, управляющих яркостью, фокусировкой и положением светящегося пятна на экране ЭЛТ.

Виды разверток.

Различают несколько видов разверток, используемых в осциллографических приборах.

В их названии нет единообразия, но имеется определенная система.

Если развертку получают в результате подачи развертывающего напряжения на одну пару отклоняющих пластин (как правило, горизонтально – отклоняющих), то ее называют по форме развертывающего напряжения:

- пилообразная;
- экспоненциальная;
- синусоидальная.

Когда же развертка создается подачей напряжения на обе пары пластин одновременно (и на радиально – отклоняющий электрод – в специальных трубках), ее название соответствует форме траектории, прочерчиваемой лучом:

- круговая;
- эллиптическая;
- спиральная;
- радиальная.

Линейная непрерывная развертка.

Для развертки этого вида характерно непрерывно повторяющееся перемещение луча по горизонтали, пропорциональное времени. Она создается пилообразным, т.е. линейно изменяющимся напряжением (см. рис. 8.4.4).

При минимальном значении развертывающего напряжения (точка 0) луч находится в крайнем левом положении на горизонтальной прямой экрана. По мере роста пилообразного напряжения луч перемещается слева направо с постоянной скоростью.

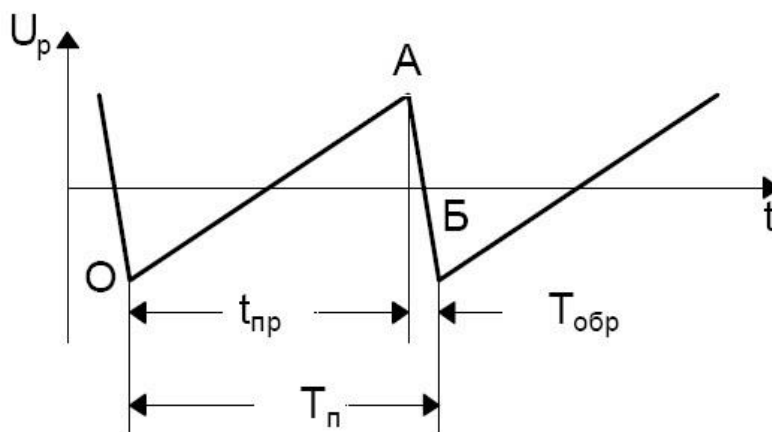


Рис. 8.4.4. Линейная развертка

Это перемещение, называемое прямым ходом луча, происходит в течение времени $t_{пр}$, пока развертывающее напряжение не достигнет максимальной величины (точка А). При надлежащем выборе амплитуды пилообразного напряжения УМ луч за время прямого хода $t_{пр}$ переместится в крайнее правое положение экрана. Когда напряжение спадает от А до Б, луч совершает обратный ход – за время $t_{обр}$ быстро возвращается в исходное положение, чтобы в следующий период повторить цикл, состоящий из прямого и обратного хода.

Так как каждый последующий цикл пилообразного напряжения непрерывно следует за предыдущим, то рассматриваемая развертка является линейной непрерывной. Очевидно, генератор такой развертки должен работать в автоколебательном режиме.

Основные характеристики линейной непрерывной развертки:

- период $T_{п} = t_{пр} + t_{обр}$;
- частота развертки $F = \frac{1}{T_{п}}$;

– максимальное отклонение луча за период, определяемое амплитудой развертывающего напряжения.

Для получения высококачественного изображения исследуемого процесса необходимо выполнение условия $t_{\text{обр}} \ll t_{\text{пр}}$.

В современных осциллографах это требование всегда выполняется. Кроме того, луч гасит при обратном ходе или подсвечивают при прямом.

Практически можно считать, что $T_{\text{п}} \gg t_{\text{пр}}$.

Чтобы линия развертки или изображение сигнала не мерцали при наблюдении, луч должен прочерчивать одну и ту же траекторию не менее 15–20 раз в секунду. При этом используется инерционная способность человеческого глаза сохранять зрительное впечатление равна, примерно, 1/15 сек.

Изображение представляется наблюдателю неподвижным, если луч при каждом прямом ходе прочерчивает одну и ту же кривую. Это достигается тогда, когда период развертывающего напряжения $T_{\text{п}}$ равен или кратен периоду исследуемого сигнала $T_{\text{и}}$, т.е.

$$T_{\text{п}} = T_{\text{и}} \text{ или } T_{\text{п}} = n \cdot T_{\text{и}}$$

Два колебания, у которых частоты (периоды) равны или кратны и изменению одной из частот соответствует пропорциональное изменение второй частоты, называются синхронными (одновременными).

Таким образом, для получения неподвижного изображения напряжение развертки и исследуемое напряжение должны быть синхронными.

Это достигается синхронизацией напряжения развертки исследуемым сигналом или внешним напряжением с периодом, соответствующим условию:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{и}} \text{ или } T_{\text{п}} = n \cdot T_{\text{и}}$$

Важно отметить, что пилообразное напряжение не бывает строго линейным.

Часто оно изменяется по экспоненте, близкой к прямой, причем степень линеаризации зависит от схемы генератора развертки. При недостаточно большой постоянной времени экспоненты форма наблюдаемого напряжения искажается.

В осциллографах, служащих для наблюдения формы колебания, нелинейность развертки характеризуется $y = 10\%$.

Линейная ждущая развертка.

Часто осциллограф используют для исследования различных импульсных процессов, в том числе непериодических. Непрерывная развертка не позволяет наблюдать однократные импульсы, а при исследовании процессов с большой скважностью она оказывается малоэффективной.

В последнем случае слишком малая часть периода следования импульсов приходится на долю импульса, а его вершина наблюдается в виде светящейся точки. Иначе говоря, большая часть периода напряжения горизонтальной развертки не используется.

Задача исследования непериодических импульсов и периодических импульсных процессов с большой скважностью успешно решается с помощью ждущей развертки.

Её сущность заключается в том, что развертывающее напряжение подается на горизонтально–отклоняющие пластины лишь тогда, когда исследуемый импульс поступает на вход осциллографа. После того как под действием развертывающего напряжения луч совершит один цикл прямого и обратного хода, развертка прекращается и «ждет» прихода нового импульса, запускающего её.

Длительность пилообразного напряжения T при ждущей развертке можно выбрать немного большей длительности наблюдаемого импульса t .

Это позволяет при надлежащей скорости развертки получить изображение импульса, занимающее почти весь экран.

Ждущая линейная развертка характеризуется длительностью пилообразного импульса $T_{\text{жд}}$ в микросекундах (при этом предполагается, что амплитуда «пилы» U_m отклоняет луч почти на весь экран) или скоростью развертки

$$C = \frac{U_m}{T_{\text{жд}}} h_T$$

выраженной в мм/мксек или см/мксек (h_T – чувствительность трубки к горизонтальному отклонению, мм/в).

Для того, чтобы при ждущей развертке фронт исследуемого импульса был хорошо виден, необходимо сдвинуть его относительно начала развертки, т.е. сделать так, чтобы момент начала горизонтальной развертки опережал момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально – отклоняющие пластины ЭЛТ.

Синхронизация непрерывной развертки.

При исследовании периодических напряжений для получения неподвижного изображения на экране трубки необходимо, чтобы периоды развертывающего и исследуемого напряжения были равны или кратны. Осуществление этого условия требует принятия специальных мер, так как частота колебаний релаксационных генераторов вообще и генераторов пилообразного напряжения в частности нестабильна по различным причинам: из-за колебаний питающих напряжений, нестабильности параметров схемы, флуктуационных явлений и т.п. Да и частота исследуемого сигнала не всегда достаточно стабильна.

Получить неподвижное изображение можно только в том случае, если удастся «навязать» генератору развертки частоту колебаний, при которой его напряжение и напряжение исследуемого сигнала будут синхронными.

Процесс, в результате которого вынуждают генерировать колебания точно с частотой внешнего напряжения или кратной ей, называется синхронизацией (захватыванием частоты).

Если частоты внешнего и развертывающего напряжений близки, то частота развертки «подтягивается» к частоте синхронизирующего напряжения.

В осциллографах применяют три вида синхронизации:

- внутреннюю, т.е. исследуемым напряжением;
- внешнюю, осуществляемую с помощью внешнего источника, напряжение которого подается на генератор развертки;
- от сети.

Переключатель рода синхронизации в положении «Внутренняя» соединяет вход усилителя синхронизации с каналом вертикального отклонения, чем достигается подача исследуемого напряжения в схему синхронизации.

В положении «Внешняя» вход усилителя синхронизации подключается к зажимам, на которые поступает синхронизирующее напряжение от внешнего источника.

При положении переключателя «От сети» ко входу усилителя подводится небольшое напряжение от сети питания, снимаемое обычно с дополнительной обмотки силового трансформатора осциллографа.

Для того, чтобы генератор развертки хорошо синхронизировался, необходимо должным образом выбирать амплитуду синусои-

дального напряжения. В случае очень малой амплитуды синхронизация легко нарушается при небольшом изменении одного из периодов.

Чересчур большая амплитуда синхронизирующего напряжения приводит к значительному уменьшению амплитуды пилообразного напряжения и даже может вызвать его искажения: развертка получается с неодинаковыми периодами.

Кроме того, при синхронизации на субгармониках из-за слишком большой амплитуды может получаться неправильный коэффициент кратности периодов.

Чтобы иметь возможность правильно выбрать амплитуду синхронизирующего напряжения, в усилителе синхронизации осциллографа применен орган регулировки амплитуды (ручка «Синхронизация»).

Синхронизация ждущей развертки.

В самой сущности ждущей развертки заложена необходимость жесткой синхронизации. Так как в качестве генератора развертки применяется одновибратор, то синхронизация достигается возбуждением его либо исследуемым сигналом, либо синхронным с ним импульсом.

При синхронизации ждущей развертки необходимо создать условие хорошего наблюдения фронта исследуемого импульса – сделать так, чтобы начало напряжения развертки отклоняющего луча по горизонтали несколько опережало момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально-отклоняющие пластины.

Такая задача решается двумя способами:

Способ 1. Применением линии задержки в канале вертикального отклонения. В этом случае (см. рис. 8.4.5.а) генератор ждущей развертки запускается коротким импульсом 2, получающимся в результате дифференцирования фронта исследуемого импульса 1, подаваемого из цепи, предшествующей линии задержки.

На вертикально – отклоняющие пластины фронт задержанного импульса 4 поступает с запаздыванием относительно начала действия напряжения развертки 3 на промежуток времени, определяемый линией задержки.

Следует иметь в виду, что применение линии задержки в канале вертикального отклонения приводит к некоторым искажениям наблюдаемого импульса.

В современных осциллографах высокого класса используют линии задержки, вносящие малозаметные искажения.

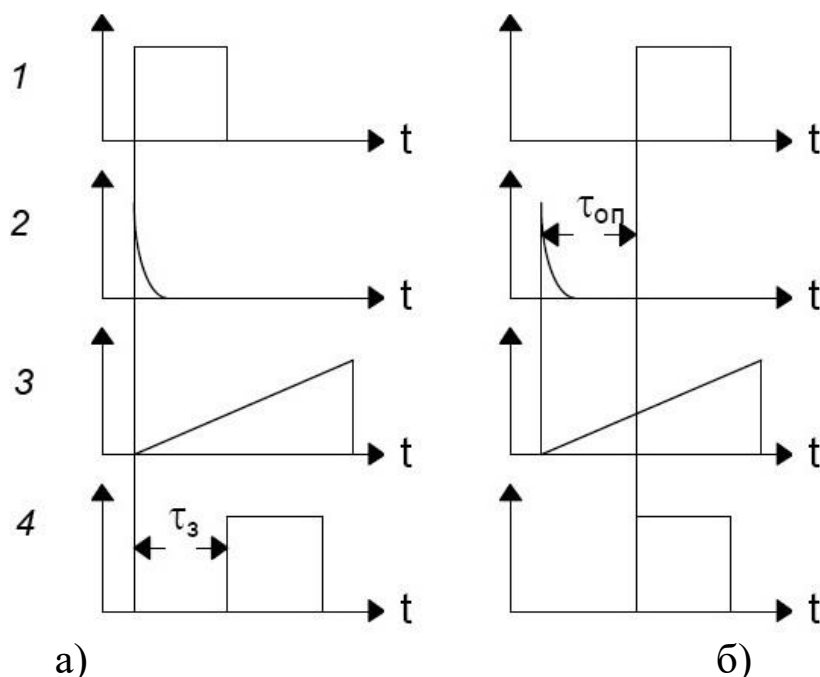


Рис. 8.4.5. Синхронизация ждущей развертки

Способ 2. Запуском генератора ждущей развертки и устройства, импульс которого подлежит наблюдению, одним и тем же синхронизирующим импульсом.

При этом исследуемый импульс 1 не задерживают в канале вертикального отклонения, а строят так систему запуска, чтобы либо генератор развертки запускался коротким импульсом 2 немного раньше, чем исследуемое устройство, либо при одновременном запуске использовалась задержка исследуемого импульса 1 относительно момента запуска в самом устройстве.

В обоих случаях начало действия развертывающего напряжения 3 будет опережать на время $t_{оп}$ момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально-отклоняющие пластины.

При использовании второго способа имеется возможность подавать исследуемый импульс непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины (если, разумеется: амплитуда импульса достаточна для значительного отклонения луча). Тем самым исключаются искажения, которые могут вноситься линией задержки и остальными узлами канала вертикального отклонения.

Многолучевые осциллографы.

Многолучевые осциллографы применяются для одновременного наблюдения нескольких процессов. Основным узлом, отличающим подобный осциллограф от обычного, является специфическая электроннолучевая трубка.

Наиболее распространены двухлучевые приборы. Конструкция двухлучевой ЭЛТ состоит из стеклянной колбы, внутри которой помещены две отдельные электроннооптические системы и соответственно две системы отклоняющих пластин.

Эти системы образуют два луча, действующих на один общий экран. Таким образом, двухлучевая трубка представляет собой как бы две отдельные ЭЛТ, помещенные в одну колбу с общим экраном, на котором можно наблюдать одновременно две осциллограммы.

В осциллографе имеется один общий генератор развертки, напряжение которого подается через общий усилитель горизонтального отклонения на обе пары горизонтально–отклоняющих пластин. Каналов вертикального отклонения в осциллографе два.

Каждый из них содержит все узлы канала вертикального отклонения от дна лучевого осциллографа. Калибратор длительности, измеритель амплитуды и предусматриваемый иногда генератор импульсов, синхронизирующий запуск ждущей развёртки – единые.

Принципиально работа двухлучевого прибора не отличается от работы обычного электронного осциллографа. Двухлучевые осциллографы удобно применять при исследовании нестационарных процессов, а также искажений импульсов, получающихся в результате прохождения через некоторую цепь (один луч вычерчивает входной импульс, а второй – выходной) и т.д.

Два процесса (несколько процессов) одной и той же частоты можно наблюдать и на экране обычного осциллографа, если воспользоваться специальным электронным коммутатором.

С помощью последнего исследуемые напряжения попеременно подключают ко входу Y осциллографа и на экране одновременно наблюдают две (несколько) осциллограммы.

Проведение измерений с помощью осциллографа.

Основным требованием, предъявляемым к каждому измерительному прибору, является минимальная погрешность измерений.

При исследовании формы напряжения с помощью осциллографа оно сводится к требованию минимального искажения, т.е.

наиболее полного соответствия осциллограммы истинной форме напряжения.

Реализация этого требования, прежде всего, зависит от выбора осциллографа. Необходимо также выполнить ряд условий неискаженного наблюдения, заключающихся в правильном подключении осциллографа к измеряемому объекту, выборе режимов работы прибора, осуществлении синхронизации развертки с исследуемым сигналом, получении оптимальных размеров изображения – высоты и ширины и др.

Наблюдение периодических сигналов.

Для получения хорошего изображения на экране ЭЛТ необходимо правильно выбирать режим работы осциллографа в зависимости от характера и параметров исследуемого сигнала.

Прежде всего выбирают вид развертки. Исследуя периодические процессы линейную непрерывную развертку. При наблюдении одного периода частота развертки должна быть равна частоте исследуемого напряжения, при наблюдении p периодов – в p раз ниже.

Минимальная частота развертки должна быть такой, чтобы изображение не мерцало на экране трубки с коротким или средним послесвечением.

При наблюдении периодических процессов наиболее целесообразно применять внутреннюю синхронизацию, т.е. синхронизацию исследуемым сигналом.

Синхронизация от сети удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте сети, например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети, пульсацией выпрямителей и т.п.

Внешнюю синхронизацию используют сравнительно редко, в том случае, если исследуемый сигнал непригоден по форме для синхронизации или имеет слишком малую амплитуду.

Методика синхронизации такова: сначала устанавливают частоту развертки немного ниже частоты исследуемого сигнала, затем, установив малую амплитуду синхронизирующего напряжения, постепенно увеличивают её до получения хорошей синхронизации – неподвижного изображения на экране ЭЛТ.

Если используется развертывающее напряжение от внешнего источника, то его подают на вход X осциллографа, выключая внутренний генератор развертки.

Амплитуда внешнего напряжения должна позволять растянуть изображение на значительную часть экрана.

Высота изображения должна быть удобной для наблюдения. Но её не следует устанавливать слишком большой, так как могут появиться искажения изображения, обусловленные нелинейностью отклонения луча на краях экрана.

Высоту регулируют с помощью аттенуатора, должным образом:— выбирая коэффициент деления, и изменением усиления в канале вертикального отклонения. В некоторых случаях при достаточно большой амплитуде исследуемого напряжения имеет смысл подавать его непосредственно на вертикально—отклоняющие пластины.

Это особенно целесообразно, когда частота исследуемого напряжения превосходит верхний предел полосы пропускания усилителя канала вертикального отклонения.

Наблюдение импульсных процессов.

Для исследования однократных импульсных сигналов и периодически повторяющихся одиночных импульсов с большой скважностью или кодовых групп импульсов применяется ждущая развертка.

Скорость развертки выбирают так, чтобы изображение сигнала или его части растягивалось почти на весь экран. Изображение растягивается тем больше, чем выше скорость развертки. Синхронизировать ждущую развертку можно исследуемым и внешним импульсами в зависимости от условий наблюдения. Если используется линия задержки канала вертикального отклонения осциллографа, то генератор развертки синхронизируют исследуемым сигналом.

При достаточно большой амплитуде осциллографируемый импульс целесообразно подавать непосредственно на вертикально — отклоняющие пластины ЭЛТ, так как при этом исключаются искажения, вносимые узлами канала вертикального отклонения.

Особенно важно пользоваться этой возможностью, когда необходимо исследовать короткие импульсы, спектры которых шире полосы пропускания усилителя вертикального отклонения.

В подобных случаях ввиду отсутствия задержки сигнала по отношению начала развертки синхронизация исследуемым сигналом неэффективна, так как при этом не будет виден фронт импульса.

Для неискаженного наблюдения требуется внешний синхронизирующий импульс. Если в осциллографе имеется внутренний импульсный генератор, то синхронизация обеспечивается тем, что он

непосредственно возбуждает генератор ждущей развертки, в то время как для запуска исследуемого устройства используется задержанный синхронизирующий импульс.

Осциллографируя импульсы, яркость уменьшают настолько, чтобы пятно, наблюдаемое левее фронта импульса, исчезло или было плохо видно. Если яркость изображения импульса недостаточна, пользуются выдвижным тубусом.

В случае наблюдения однократных сигналов, импульсных напряжений с большой скважностью, всевозможных быстропротекающих процессов яркость свечения отдельных участков осциллограммы получается недостаточной.

Особенно плохо различимы фронты импульсов. Это обусловлено тем, что яркость свечения обратно пропорциональна скорости движения луча. Кроме того, яркость уменьшается по мере отклонения луча от горизонтальной оси экрана к периферии трубки, что объясняется уменьшением плотности тока в электронном луче.

Таким образом, участки осциллограммы, прочерчиваемые лучом с большой скоростью, получаются весьма бледными. При большой крутизне фронты и спады импульсов могут совсем не наблюдаться.

В импульсных осциллографах на время основного хода луча на управляющий электрод трубки подается положительный прямоугольный импульс подсвета, получаемый от генератора ждущей развертки.

Тем не менее изображения крутых фронтов импульсов остаются сравнительно бледными. Поэтому в тех случаях, когда нужно детально исследовать форму импульсов и имеется возможность изменения частоты их следования, наблюдение следует вести при повышенной частоте, что способствует увеличению яркости.

Для исследования быстропротекающих процессов применяют ЭЛТ с длительным послесвечением и фоторегистрацию осциллограмм.

Измерение амплитуды напряжения

При измерении амплитуды исследуемое напряжение подают на вход У осциллографа и регулировкой коэффициента деления аттенюатора и усиления в канале вертикального отклонения устанавливают удобную для измерения высоту изображения сигнала.

Обычно для этого используют горизонтальные линии или клетки масштабной сетки, нанесенной на прозрачном диске, который расположен перед экраном ЭЛТ (см. рис. 8.4.6).

Затем сравнивают высоту изображения измеряемого сигнала с отклонением луча, вызываемым калиброванным напряжением. Методика сравнения в различных осциллографах неодинакова. Иногда она сводится к следующему.



Рис. 8.4.6. Экран осциллографа

Запомнив коэффициент деления переключателя аттенюатора, соответствующий установленной высоте изображения сигнала (например, $1/10$), и не меняя усиления, подают на вход усилителя вместо сигнала вспомогательное напряжение от источника, находящегося внутри осциллографа.

Регулировкой амплитуды вспомогательного напряжения добиваются, чтобы высота его изображения составляла такое же количество клеток масштабной сетки, какое ранее занимало изображение измеряемого сигнала.

В тех приборах, где вспомогательное напряжение заранее не калибровано, его измеряют электронным вольтметром, имеющимся в осциллографе.

Измерение длительности импульса.

Длительность импульса измеряют различными способами. Чаще всего применяют калиброванные по длительности развертки или калибровочные метки.

Рассмотрим методику измерения длительности с помощью калиброванных меток. Их получают в результате подачи напряжения, вырабатываемого калибратором, на управляющий электрод, (катод) ЭЛТ.

Это напряжение модулирует яркость: положительные полупериоды напряжения, повышающие потенциал управляющего электрода относительно катода, вызывают повышение яркости, отрицательные полупериоды гасят луч.

Если на вертикально – отклоняющие пластины подан исследуемый импульс, то при включении генератора меток на экране будет наблюдаться пунктирная кривая. Расстояние между серединами двух ярких (темных) меток равно периоду напряжения генератора меток. Таким образом, период определяет цену метки.

Длительность исследуемого импульса определяется произведением числа меток, укладываемых на измеряемом участке, на цену метки. Абсолютная погрешность измерения ± 0.5 метки.

Для уменьшения относительной погрешности измерения длительности желательно иметь большое число меток. Однако при очень большом количестве соседние метки сливаются и отсчет становится невозможным.

Искажения осциллограмм.

Искажения осциллограмм, то есть несоответствие изображения истинной форме исследуемого сигнала, возникают вследствие радиотехнических и электрооптических причин.

К радиотехническим причинам относятся:

- расстройка блоков каналов управления лучом и появление в них нелинейности;
- несогласованность сопротивлений источника импульсных сигналов и входа осциллографа;
- нестабильность напряжения питания, превышение допустимой величины сигнала на входе осциллографа;
- превышение величины синхронизирующего напряжения, влияние на электронный луч:
- внешних электрических и магнитных полей, взаимное влияние управляющих напряжений вследствие наличия паразитных параметров в отклоняющих системах многолучевых трубок.

Электроннооптические искажения присущи электроннолучевым трубкам:

- астигматизм;
- трапецеидальные искажения;
- дефокусировка луча;
- нелинейные искажения вблизи границ экрана трубки.

Астигматизм, т.е. неравномерность фокусировки по вертикальной и горизонтальной осям, приводит к искривлению формы пятна. Причиной астигматизма является неправильная юстировка элементов электронной пушки относительно отклоняющих пластин. Астигматизм можно уменьшить путем отдельного регулирования среднего потенциала каждой пары пластин относительно второго анода.

Трапецеидальные искажения осциллограммы вызываются зависимостью чувствительности пластин вертикального отклонения от напряжения, приложенного к пластинам горизонтального отклонения. Симметричное питание пластин, при котором средний потенциал их всегда равен потенциалу второго анода, уменьшает этот вид искажений.

Дефокусировка луча, т.е. размытость пятна на экране, возникает вследствие нестабильности напряжения питания. Возможной причиной может быть также несимметричность напряжений, поступающих на пластины вертикального отклонения.

Нелинейные искажения вблизи границ экрана возникают из-за краевого эффекта в отклоняющих пластинах, эффект обусловлен неоднородностью электростатического поля между пластинами у их краев. При большом отклонении луча траектория его искривляется. Второй причиной является выпуклость дна колбы, искажения не будут проявляться при ограничении размеров осциллограммы по обеим осям примерно до 70% диаметра экрана. В осциллографических трубках с плоским экраном эти причины отсутствуют.

Осциллографический метод измерения параметров сигналов.

Измерение амплитудных и временных параметров электрических сигналов производится на осциллографе с учетом положения переключателей чувствительности на входе канала Y и переключателя скорости развертки.

При этом ручки усиление плавно канала Y и частота развертки плавно должны находиться в крайнем правом положении (до щелчка).

По осциллограмме сигнала (см. рис. 8.4.7.) определяют период колебаний (или период следования импульсов в случае импульсного сигнала) T , после чего рассчитывают частоту колебаний $f = 1/T$

При измерении периода необходимо получить на экране последовательность не более 2-х импульсов и измерив расстояние 1_X между одноименными точками, определяют период повторения.

Величину T находят путем измерения расстояния 1_X между точками пересечения горизонтальной прямой с однотипными участками осциллограммы периодического сигнала.

Так как это расстояние пропорционально искомой величине T , значение периода определяется из выражения:

$$T = \Delta t \cdot 1_X$$

где Δt – параметр осциллограммы (с/дел).

Например: при $\Delta t = 5$ мкс/дел и $1_X = 1.85$ дел, период $T = 9.3$ мкс.

Главное достоинство рассматриваемого метода – визуальный контроль реализации, исключающий ошибки измерения частоты, связанные с неправильной оценкой формы сигнала.

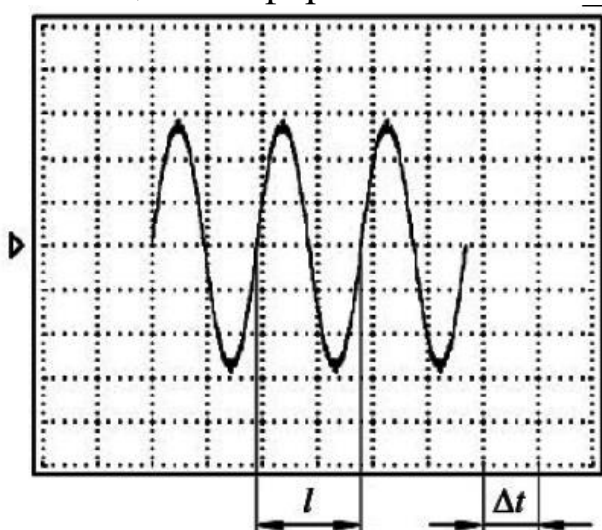


Рис. 8.4.7. Измерение временных сигналов

При измерении длительности импульса необходимо "растянуть" его по горизонтали до величины не менее 0.4 размера экрана и, измерив на экране размер импульса 1_X по уровню 0.5 амплитуды, определить длительность импульса:

$$\tau_{\text{имп}} = K_{\text{разв}} \cdot 1_X$$

Экспериментально при измерении амплитуды импульса следует получить на экране осциллографа изображение, равное не ме-

нее 0.4 размера экрана и, измерив отклонение луча 1_Y , определить амплитуду импульса по формуле:

$$U_m = 1_Y \cdot K_{\text{откл}}$$

Пример измерения амплитуды напряжения приведен на рис. 8.4.8.

$K_{\text{откл}} = 0.5$ вольт/деление; Множитель масштаба $\times 10$

$$U = 0.5 \cdot 10 \cdot 3.4 = 17 \text{ В}$$

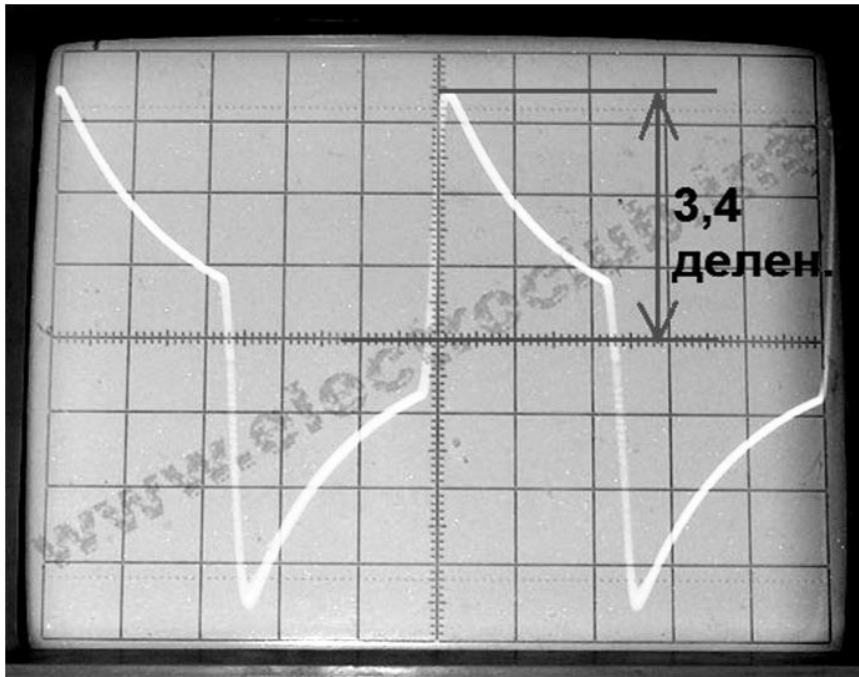


Рис. 8.4.8. Измерение амплитуды напряжения

Погрешности измерений

Погрешность отсчета включает в себя две составляющие:

– погрешность совмещения линий осциллограммы с линиями шкалы;

– погрешность отсчета из-за конечной ширины линии.

Погрешность совмещения принимается равной $b/5$, погрешность отсчета $b/3$, где b – ширина луча.

Поскольку они независимы, то относительная погрешность отсчета составляет

$$\delta = \frac{1}{H} \sqrt{\left(\frac{b}{5}\right)^2 + \left(\frac{b}{3}\right)^2} \approx 0.4 \frac{b}{H}$$

где H – размер измеряемого участка изображения на экране.

Относительная погрешность уменьшается с увеличением размеров изображения Н.

Чтобы погрешность измерения была минимальна, изображение измеряемой части исследуемого сигнала должно занимать 80–90% рабочей площади экрана.

Нелинейность амплитудной (и частотной) характеристики приводит к тому, что сигналы различной амплитуды (частоты) усиливаются по-разному.

На экране многих осциллографов есть две пунктирные горизонтальные линии, которые ограничивают область, в которой амплитудная характеристика линейна и гарантируется указанная в описании точность измерения напряжений.

Необходимо подбирать для работы осциллографы, для которых измеряемые напряжения лежат в диапазонах, рекомендованных для работы осциллографа более того, ближе к середине диапазона – далеко от крайних значений.

Наблюдать сигнал можно и при минимальной (для данного осциллографа) амплитуде, но при измерении напряжения погрешность будет значительно больше 5% (аналогично и для частоты).

Порядок выполнения работы

По техническому описанию осциллографа изучить его технические характеристики, расположение и назначение органов управления, проверить калибровку канала вертикального отклонения и длительности развертки. При необходимости произвести регулировку.

Провести измерения задержки выходных импульсов генератора в следующем порядке.

Длительность выходного импульса положительной полярности установить в пределах 1–5 мкс, амплитуду выходного импульса – 1...2 В, частоту – 10...50 кГц.

Собрать схему измерений двухлучевым осциллографом согласно рис. 8.5.1.

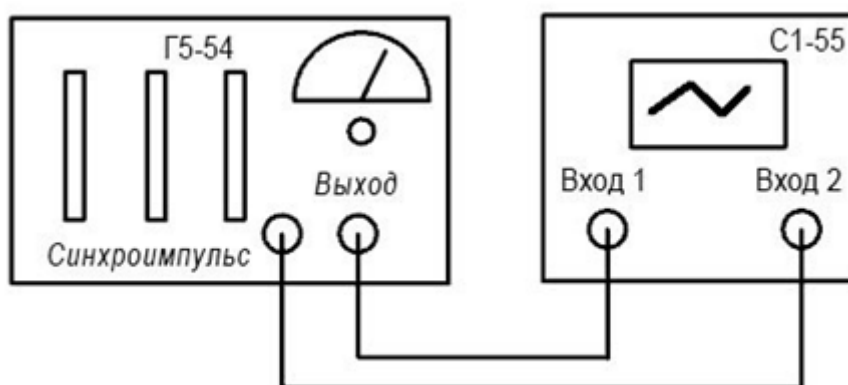


Рис. 8.5.1. Схема измерений задержки двухлучевым осциллографом

Получить на экране осциллографа устойчивое изображение импульсной последовательности с генератора импульсов, применив внутренний запуск развертки от импульса, поступающего на вход первого канала осциллографа (см. рис. 8.5.2).

Устанавливая значения задержки импульсов на генераторе Г5–54 указанные в таблице 1, замерить значения задержки основного импульса относительно синхроимпульса осциллографом.

Расчётные формулы.

а) вычисление абсолютной погрешности Δt измерения задержки определяется по формуле:

$$\Delta t = t_{\text{зад}} - t_{\text{зад.изм}},$$

где $t_{\text{зад}}$ — задержка выходных импульсов генератора; $t_{\text{зад.изм}}$ — измеренная задержка.

б) вычисление относительной погрешности δt измерения частоты определяется по формуле:

$$\delta t = \frac{\Delta t}{t_{\text{зад}}} \cdot 100\%$$

Результаты измерений и расчётов свести в таблицу 7.5.1.

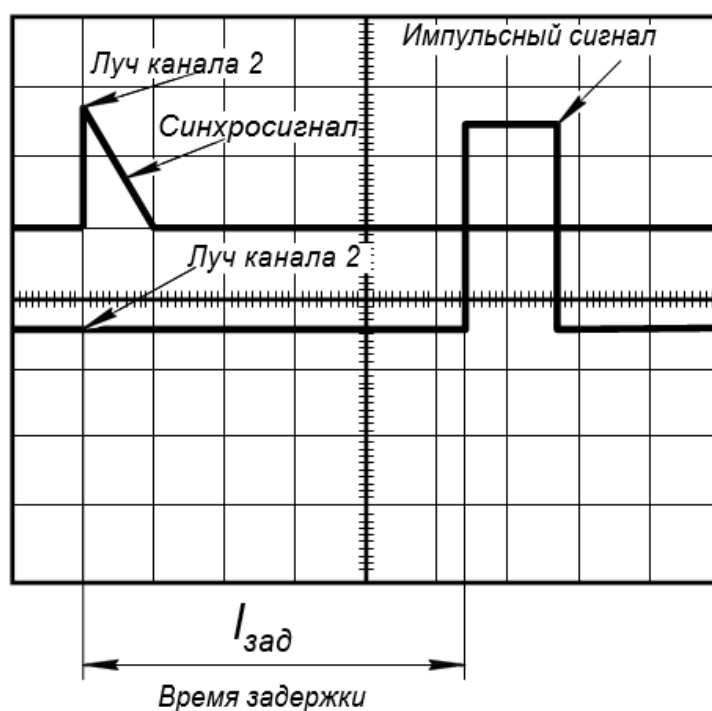


Рис. 8.5.2. Осциллограмма измерений задержки двухлучевым осциллографом

Табл.8.5.2. Результаты измерений задержки осциллографом

Параметр	Задержка выходных импульсов генератора $t_{\text{зад}}$, мкс								
	0,3	0,65	2,0	6,5	10,0	20,0	50,0	70,0	100,0
$K_{\text{разв}}$, мкс/дел									
$l_{\text{х}}$, дел									
$t_{\text{зад.изм}}$, мкс									
Δt , мкс									
δ_t , %									

5. Содержание отчета

- 1) Цель работы.
 - 2) Приборы и оборудование с краткими техническими характеристиками.
 - 3) Выполнение рабочего задания по пунктам.
- В каждом пункте необходимо отразить:
- а) наименование раздела;

- б) упрощённую схема измерений;
 - в) таблицы измерений;
 - г) осциллограммы измерений.
- 4) Выводы о проделанной работе

6. Контрольные вопросы

- 1) Назовите основные осциллографические методы измерения напряжения и временных интервалов.
- 2) Объясните измерение напряжений методом калиброванной шкалы.
- 3) Объясните измерение временных диаграмм интервалов методом калибратора длительности.
- 4) Назовите основные параметры одиночного импульса.
- 5) Объясните методику измерения основных параметров одиночного импульса осциллографом.
- 6) Назовите основные параметры периодического импульса.
- 7) Объясните измерение периода импульсного сигнала осциллографом.
- 8) От каких факторов зависит точность измерения напряжения осциллографом и как ее увеличить?
- 9) Как увеличить точность измерения временных интервалов методом калибратора длительности.
- 10) Назовите основные функциональные узлы универсального электронного осциллографа и объясните их предназначение в его работе.
- 11) Что такое синхронизация, и как она осуществляется в электронном осциллографе?
- 12) Что такое внутренняя, внешняя синхронизация и в каких случаях она применяется?
- 13) Что такое ждущий режим развертки, как он осуществляется и для наблюдения каких сигналов он используется?
- 14) Как осуществляется калибровка коэффициента вертикального отклонения и калибровка коэффициента развертки?
- 15) Как с помощью осциллографа измерить амплитуду импульса?
- 16) Как с помощью осциллографа измерить период следования и длительность импульсов?

17) Как оценить точность измерения временных и амплитудных параметров сигналов, наблюдаемых на экране осциллографа?

18) Как определить истинную длительность фронта импульса при измерении его с помощью осциллографа, имеющего ограниченную полосу пропускания канала вертикального отклонения?

8. Используемая литература

1) Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М. Высшая школа, 1982.

2) Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. – М. Энергоатомиздат, 1987.

3) И.Ю. Зайчик, Г.И. Зайчик «Практикум по электрорадиоизмерениям», М., Высшая школа, 1985г.Б.П.

4) Хромой, Ю.Г. Моисеев «Электрорадиоизмерения», М., Радио и связь, 1985г.

5) Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. –М: «КноРус», 2011 г.

Приложения к лабораторной работе

Приложение А.

Генератор Г5–54

Генератор Г5–54 источник простых видов выходных последовательностей импульсов.

Генератор Г5–54 применяется для исследования различных радиотехнических устройств.

Измерение амплитуды выходных импульсов в пределах плавной регулировки осуществляется амплитудным вольтметром.

Основные технические характеристики генератора Г5–54:

- а) частота (период) повторения: 0,01 Гц – 100 кГц;
- б) погрешность установки частоты: 0,1F;
- в) максимальная амплитуда импульса: 50 В (500 Ом);
- г) погрешность установки амплитуды: $0.1U + K \times 1B$;
- д) длительность импульсов: 0,1–1000 мкс;
- е) неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами: менее 5 %;
- ж) временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса:
0–1000 мкс;

- и) потребляемая мощность: 50 ВА;
- к) масса: 6 кг;
- л) габариты: 370х227х185 мм.

Приложение Б.

Осциллограф двухлучевой С1–55

Основные характеристики осциллографа С1–55

Вертикальное отклонение

а) полоса пропускания – 0–10 МГц

б) время нарастания – 35 нс

в) коэффициент отклонения – 10 мВ/дел–20 В/дел

г) входное сопротивление и емкость – 1 МОм, 40 пФ

Горизонтальное отклонение

а) коэффициент развертки – 0,02 мкс/дел–20 мс/дел (с 5–кратной растяжкой)

б) режим работы развертки – автоколебательный, ждущий

Синхронизация

а) внутренняя – при изображении 6 мм и более (до 10 МГц)

б) внешняя – сигналами амплитудой 0,5–15 В и частотой до 10 МГц

Погрешность измерений амплитуды и временных интервалов – 10%

Рабочая часть экрана для каждого луча – 42Х60 мм

Питание

а) от сети – 220 В, 50 Гц; 115 и 220 В, 400 Гц

б) от источника постоянного тока – 24 В; 1,5 А

Потребляемая мощность – 70 В · А

Габаритные размеры – 355Х205Х490 мм

Масса – 15 кг

Лабораторная работа №9 на тему: «Измерение временных интервалов осциллографом, определение погрешностей измерения».

1. Цель работы

- 1) Изучить принцип действия и структурную схему электронного осциллографа в различных режимах работы.
- 2) Изучить назначение и расположение ручек управления на передней панели и правила подготовки осциллографа к работе.
- 3) Научиться получать на экране осциллографа осциллограммы синусоидального и импульсного сигналов и измерять их параметры.

2. Приборы и оборудование

- 1) Осциллограф С1–72.
- 2) Генератор Г5–54
- 3) Генератор ГЗ–106.

3. Правила техники безопасности

- 1) Соединить клемму "•" измерительных приборов с шиной защитного заземления.
- 2) Убедиться в наличии и исправности сетевых предохранителей измерительных приборов.
- 3) Соблюдать указания мер безопасности, приведённые в руководстве по эксплуатации приборов и оборудования, применяемых в данной работе.

Соблюдать все требования техники безопасности при работе в лаборатории электротехнических измерений

4. Теоретическая часть

Осциллограф – это прибор, который позволяет наблюдать на экране форму электрических сигналов (т.е. зависимость напряжения от времени) и измерять их параметры.

Преимуществами осциллографа по сравнению с другими измерительными приборами являются:

- наглядность восприятия информации;
- универсальность (можно измерять сразу несколько параметров сигнала). К недостаткам можно отнести:

- небольшую точность измерений (до 2–5%);
- относительно большую трудоемкость измерений.

С помощью осциллографа можно измерять все параметры любых сигналов, в то время как более точные специализированные приборы измеряют обычно какой-то один параметр (например, напряжение, частоту и др.), и, главное, рассчитаны только на сигнал определенной формы (наиболее распространены приборы для измерения параметров гармонических сигналов).

Поэтому они могут давать большие и неконтролируемые погрешности при отклонении сигнала от "стандартного" вида.

Таким образом, наличие осциллографа как контролирующего прибора необходимо и при использовании других, более точных измерительных приборов, особенно, если вид сигнала не известен и может изменяться в процессе измерений.

В последнее время все шире используются цифровые осциллографы, а также измерительные приборы, выполненные в формате стандартных плат расширения персональных ЭВМ или сопряженные с ЭВМ по шине USB, которые могут работать как осциллограф с выдачей осциллограммы на монитор ЭВМ. Большим удобством таких устройств является их полная интеграция с ЭВМ, что облетает регистрацию результатов и их дальнейшую обработку в реальном времени.

Главным узлом любого аналогового осциллографа является электроннолучевая трубка (ЭЛТ), поэтому осциллограф и называется электроннолучевым.

Схематичное устройство трубки приведено на рис. 9.4.1.

Электронная пушка создает и фокусирует электронный луч. Электроны испускаются из катода, подогреваемого до температуры, достаточной для начала термоэлектронной эмиссии, и затем ускоряются в электрическом поле между катодом и вторым анодом. Далее, до экрана, они пролетают в области почти постоянного потенциала (равного потенциалу второго анода). Потенциал создается токопроводящим слоем, нанесенным на стенки трубки. Соударяясь с флюоресцирующим слоем на внутренней поверхности экрана люминофором, электроны вызывают его свечение.

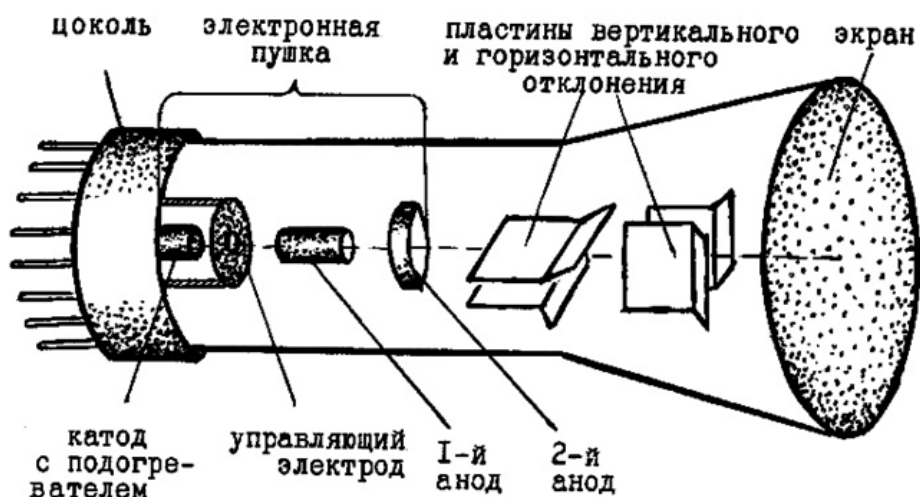


Рис. 9.4.1. Устройство электроннолучевой трубки.

Принцип образования осциллограммы.

Положение светового пятна на экране зависит от пары напряжений, приложенных к горизонтально (X) и вертикально (Y) отклоняющим пластинам.

Принципиально важно, что отклонение электронного луча на экране прямо пропорционально напряжению, приложенному к соответствующей паре отклоняющих пластин. Если на Y-пластины подать переменное, например, синусоидальное напряжение, то электронный луч начнет колебаться в вертикальном направлении. При достаточно большой частоте колебаний (20 – 50 Гц) движение луча на экране трубки будет восприниматься глазом как светящаяся непрерывная вертикальная линия (см. рис. 9.4.2а). Аналогично, напряжение, поданное на горизонтально отклоняющие пластины X, даст горизонтальную линию.

При одновременном воздействии переменных напряжений на обе пары пластин можно получить различные осциллограммы. Например, подавая на пластины X и Y два синусоидальных сигнала с определенными соотношениями частот и фаз, можно наблюдать разные неподвижные замкнутые кривые, фигуры Лиссажу, а также осциллограмму синусоидального сигнала (см. рис. 9.4.2.б–в).

Блок – схема осциллографа представлена на рис. 9.4.3.

Канал вертикального отклонения Y или канал сигналов, служит для преобразования напряжения исследуемого сигнала в соответствующее ему вертикальное отклонение луча.

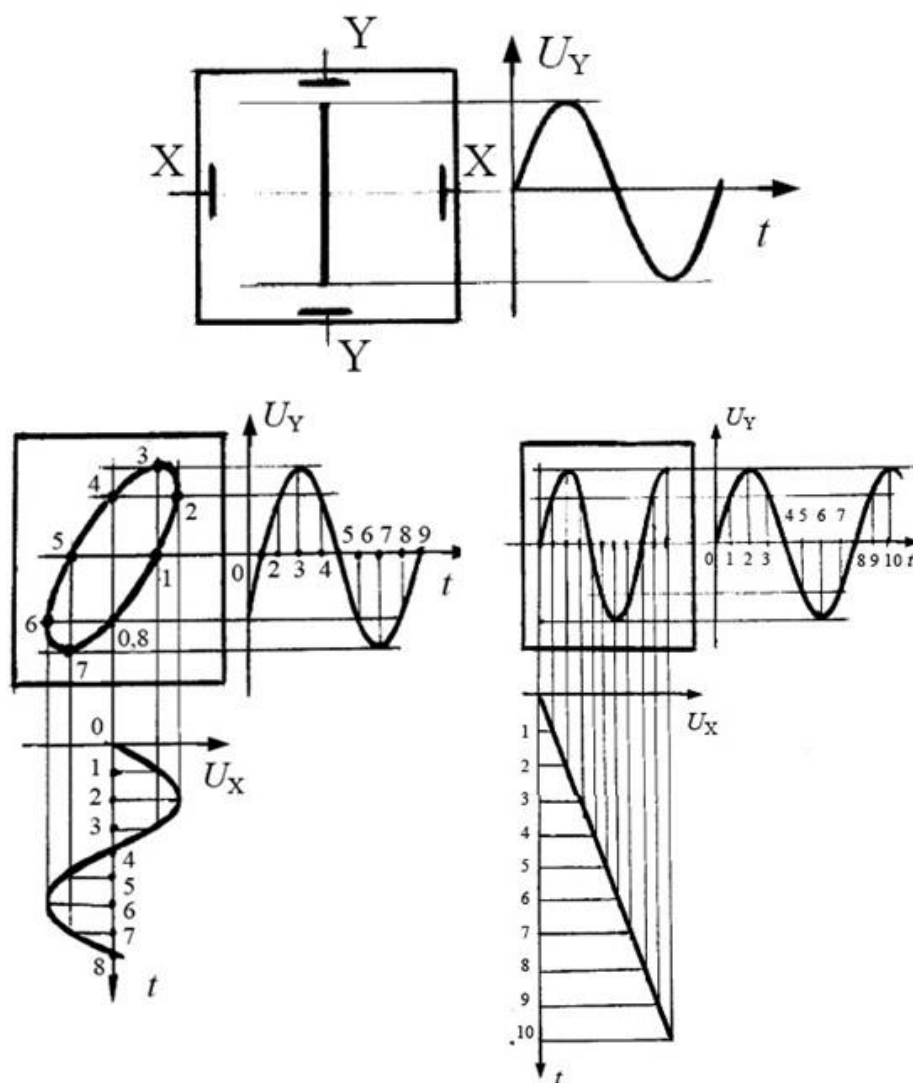


Рис. 9.4.2. Принцип образования осциллограммы а) получение осциллограммы, б) получение фигуры Лиссажу в) получение синусоидального сигнала

Он состоит из входного устройства, усилителя вертикального отклонения и вертикально – отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входное устройство состоит из аттенюатора, позволяющего ослабить исследуемый сигнал в целое число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; катодного повторителя, устраняющего влияние канала вертикального отклонения на источник измеряемого сигнала и позволяющего получить высокое входное сопротивление: линии задержки (в импульсных осциллографах), обеспечивающей подачу исследуемого импульса на вертикально – отклоняющие пластины с задержкой относительно начала гори-

зонтально – отклоняющего напряжения, что дает возможность хорошо наблюдать фронт импульса.

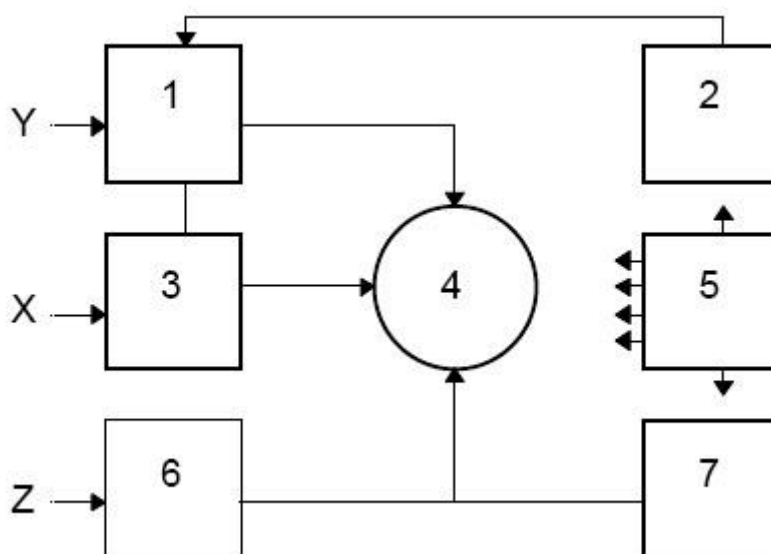


Рис. 9.4.3. – Блок-схема осциллографа

- 1 – канал вертикального отклонения;
- 2 – калибратор амплитуды;
- 3 – канал горизонтального отклонения;
- 4 – электроннолучевая трубка (ЭЛТ);
- 5 – блок питания;
- 6 – канал управления яркостью;
- 7 – калибратор длительности.

Усилитель вертикального отклонения усиливает исследуемый сигнал, подаваемый со входного устройства, до уровня, позволяющего получить достаточное вертикальное отклонение луча (высоту изображения сигнала) на экране ЭЛТ.

Канал горизонтального отклонения X или канал развертки, служит для создания и передачи напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени.

Вторая функция этого канала – усиление сигнала, синхронизирующего напряжение горизонтального отклонения.

В его состав входят:

- генератор напряжения горизонтального отклонения;
- усилитель, усиливающий вырабатываемое генератором напряжение до уровня, необходимого для отклонения луча в горизонтальном направлении; горизонтально – отклоняющие пластины;

– схема синхронизации, предназначенная для преобразования, усиления и регулирования амплитуды, а также изменения полярности синхронизирующих напряжений.

Иногда на входе канала горизонтального отклонения имеется аттенюатор.

Канал управления яркостью Z предназначен для передачи со входа Z на управляющий электрод ЭЛТ сигналов, модулирующих яркость свечения.

Обычно он состоит из усилителя, который, помимо усиления, позволяет изменять полярность модулирующего напряжения.

В этот же канал чаще всего подается напряжение от калибровочного генератора меток времени.

Калибраторы применяются для измерения параметров исследуемого сигнала.

Как правило, ими являются устройства для измерения напряжения и длительности.

Блок питания состоит из двух выпрямителей – высоковольтного, питающего высоким напряжением ЭЛТ, и низковольтного, питающего все узлы осциллографа и низковольтные электроды трубки, а также схемы регулировок напряжений, управляющих яркостью, фокусировкой и положением светящегося пятна на экране ЭЛТ.

Виды разверток.

Различают несколько видов разверток, используемых в осциллографических приборах.

В их названии нет единообразия, но имеется определенная система.

Если развертку получают в результате подачи развертывающего напряжения на одну пару отклоняющих пластин (как правило, горизонтально – отклоняющих), то ее называют по форме развертывающего напряжения:

- пилообразная;
- экспоненциальная;
- синусоидальная.

Когда же развертка создается подачей напряжения на обе пары пластин одновременно (и на радиально – отклоняющий электрод – в специальных трубках), ее название соответствует форме траектории, прочерчиваемой лучом:

- круговая:

- эллиптическая;
- спиральная;
- радиальная.

Линейная непрерывная развертка.

Для развертки этого вида характерно непрерывно повторяющееся перемещение луча по горизонтали, пропорциональное времени. Она создается пилообразным, т.е. линейно изменяющимся напряжением (см. рис. 9.4.4).

При минимальном значении развертывающего напряжения (точка О) луч находится в крайнем левом положении на горизонтальной прямой экрана. По мере роста пилообразного напряжения луч перемещается слева направо с постоянной скоростью.

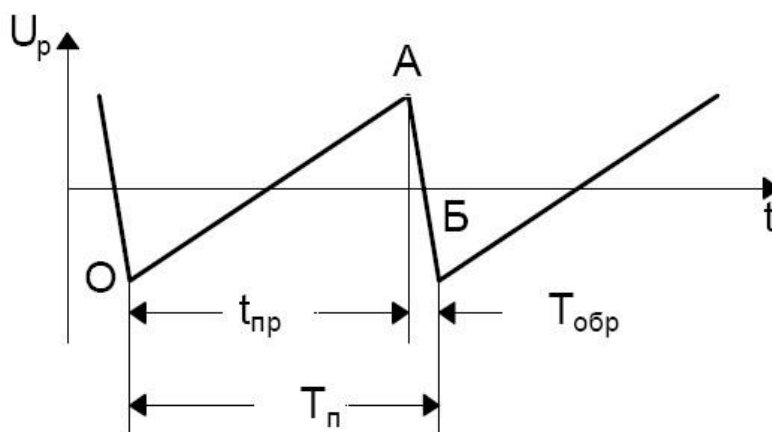


Рис. 9.4.4. Линейная развертка

Это перемещение, называемое прямым ходом луча, происходит в течение времени $t_{пр}$, пока развертывающее напряжение не достигнет максимальной величины (точка А). При надлежащем выборе амплитуды пилообразного напряжения U_M луч за время прямого хода $t_{пр}$ переместится в крайнее правое положение экрана. Когда напряжение спадает от А до Б, луч совершает обратный ход — за время $t_{обр}$ быстро возвращается в исходное положение, чтобы в следующий период повторить цикл, состоящий из прямого и обратного хода.

Так как каждый последующий цикл пилообразного напряжения непрерывно следует за предыдущим, то рассматриваемая развертка является линейной непрерывной. Очевидно, генератор такой развертки должен работать в автоколебательном режиме.

Основные характеристики линейной непрерывной развертки:

- период $T_n = t_{пр} + t_{обр}$;

– частота развертки $F = \frac{1}{T_{\Pi}}$;

– максимальное отклонение луча за период, определяемое амплитудой развертывающего напряжения.

Для получения высококачественного изображения исследуемого процесса необходимо выполнение условия $t_{\text{обр}} \ll t_{\text{пр}}$.

В современных осциллографах это требование всегда выполняется. Кроме того, луч гасят при обратном ходе или подсвечивают при прямом.

Практически можно считать, что $T_{\Pi} \gg t_{\text{пр}}$.

Чтобы линия развертки или изображение сигнала не мерцали при наблюдении, луч должен прочерчивать одну и ту же траекторию не менее 15–20 раз в секунду.

При этом используется инерционная способность человеческого глаза сохранять зрительное впечатление равна, примерно, 1/15 сек.

Изображение представляется наблюдателю неподвижным, если луч при каждом прямом ходе прочерчивает одну и ту же кривую. Это достигается тогда, когда период развертывающего напряжения T_{Π} равен или кратен периоду исследуемого сигнала $T_{\text{и}}$, т.е.

$$T_{\Pi} = T_{\text{и}} \text{ или } T_{\Pi} = n \cdot T_{\text{и}}$$

Два колебания, у которых частоты (периоды) равны или кратны и изменению одной из частот соответствует пропорциональное изменение второй частоты, называются синхронными (одновременными).

Таким образом, для получения неподвижного изображения напряжение развертки и исследуемое напряжение должны быть синхронными.

Это достигается синхронизацией напряжения развертки исследуемым сигналом или внешним напряжением с периодом, соответствующим условию

$$T_{\Pi} = T_{\text{и}} \text{ или } T_{\Pi} = n \cdot T_{\text{и}}$$

Важно отметить, что пилообразное напряжение не бывает строго линейным.

Часто оно изменяется по экспоненте, близкой к прямой, причем степень линеаризации зависит от схемы генератора развертки. При недостаточно большой постоянной времени экспоненты форма наблюдаемого напряжения искажается.

В осциллографах, служащих для наблюдения формы колебания, нелинейность развертки характеризуется $y=10\%$.

Линейная ждущая развертка.

Часто осциллограф используют для исследования различных импульсных процессов, в том числе непериодических. Непрерывная развертка не позволяет наблюдать однократные импульсы, а при исследовании процессов с большой скважностью она оказывается малоэффективной.

В последнем случае слишком малая часть периода следования импульсов приходится на долю импульса, а его вершина наблюдается в виде светящейся точки. Иначе говоря, большая часть периода напряжения горизонтальной развертки не используется.

Задача исследования непериодических импульсов и периодических импульсных процессов с большой скважностью успешно решается с помощью ждущей развертки.

Её сущность заключается в том, что развертывающее напряжение подается на горизонтально–отклоняющие пластины лишь тогда, когда исследуемый импульс поступает на вход осциллографа. После того как под действием развертывающего напряжения луч совершит один цикл прямого и обратного хода, развертка прекращается и «ждет» прихода нового импульса, запускающего её.

Длительность пилообразного напряжения T при ждущей развертке можно выбрать немного большей длительности наблюдаемого импульса t .

Это позволяет при надлежащей скорости развертки получить изображение импульса, занимающее почти весь экран.

Ждущая линейная развертка характеризуется длительностью пилообразного импульса $T_{\text{жд}}$ в микросекундах (при этом предполагается, что амплитуда «пилы» U_m отклоняет луч почти на весь экран) или скоростью развертки

$$C = \frac{U_m}{T_{\text{жд}}} h_T$$

выраженной в мм/мксек или см/мксек (h_T – чувствительность трубки к горизонтальному отклонению, мм/в).

Для того, чтобы при ждущей развертке фронт исследуемого импульса был хорошо виден, необходимо сдвинуть его относительно начала развертки, т.е. сделать так, чтобы момент начала горизонталь-

ной развертки опережал момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально – отклоняющие пластины ЭЛТ.

Синхронизация непрерывной развертки.

При исследовании периодических напряжений для получения неподвижного изображения на экране трубки необходимо, чтобы периоды развертывающего и исследуемого напряжения были равны или кратны. Осуществление этого условия требует принятия специальных мер. так как частота колебаний релаксационных генераторов вообще и генераторов пилообразного напряжения в частности нестабильна по различным причинам: из-за колебаний питающих напряжений, нестабильности параметров схемы, флуктуационных явлений и т.п. Да и частота исследуемого сигнала не всегда достаточно стабильна.

Получить неподвижное изображение можно только в том случае, если удастся «навязать» генератору развертки частоту колебаний, при которой его напряжение и напряжение исследуемого сигнала будут синхронными.

Процесс, в результате которого вынуждают генерировать колебания точно с частотой внешнего напряжения или кратной ей. называется синхронизацией (захватыванием частоты).

Если частоты внешнего и развертывающего напряжений близки, то частота развертки «подтягивается» к частоте синхронизирующего напряжения.

В осциллографах применяют три вида синхронизации:

- внутреннюю, т.е. исследуемым напряжением;
- внешнюю, осуществляемую с помощью внешнего источника, напряжение которого подается на генератор развертки;
- от сети.

Переключатель рода синхронизации в положении «Внутренняя» соединяет вход усилителя синхронизации с каналом вертикального отклонения, чем достигается подача исследуемого напряжения в схему синхронизации.

В положении «Внешняя» вход усилителя синхронизации подключается к зажимам, на которые поступает синхронизирующее напряжение от внешнего источника.

При положении переключателя «От сети» ко входу усилителя подводится небольшое напряжение от сети питания, снимаемое обычно с дополнительной обмотки силового трансформатора осциллографа.

Для того, чтобы генератор развертки хорошо синхронизировался, необходимо должным образом выбирать амплитуду синусоидального напряжения.

В случае очень малой амплитуды синхронизация легко нарушается при небольшом изменении одного из периодов.

Чересчур большая амплитуда синхронизирующего напряжения приводит к значительному уменьшению амплитуды пилообразного напряжения и даже может вызвать его искажения: развертка получается с неодинаковыми периодами.

Кроме того, при синхронизации на субгармониках из-за слишком большой амплитуды может получаться неправильный коэффициент кратности периодов.

Чтобы иметь возможность правильно выбрать амплитуду синхронизирующего напряжения, в усилителе синхронизации осциллографа применен орган регулировки амплитуды (ручка «Синхронизация»).

Синхронизация ждущей развертки.

В самой сущности ждущей развертки заложена необходимость жесткой синхронизации. Так как в качестве генератора развертки применяется одновибратор, то синхронизация достигается возбуждением его либо исследуемым сигналом, либо синхронным с ним импульсом.

При синхронизации ждущей развертки необходимо создать условие хорошего наблюдения фронта исследуемого импульса – сделать так, чтобы начало напряжения развертки отклоняющего луча по горизонтали несколько опережало момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально-отклоняющие пластины.

Такая задача решается двумя способами:

Способ 1. Применением линии задержки в канале вертикального отклонения. В этом случае (см. рис. 9.4.5.а) генератор ждущей развертки запускается коротким импульсом 2, получающимся в результате дифференцирования фронта исследуемого импульса 1, подаваемого из цепи, предшествующей линии задержки.

На вертикально – отклоняющие пластины фронт задержанного импульса 4 поступает с запаздыванием относительно начала действия напряжения развертки 3 на промежуток времени, определяемый линией задержки.

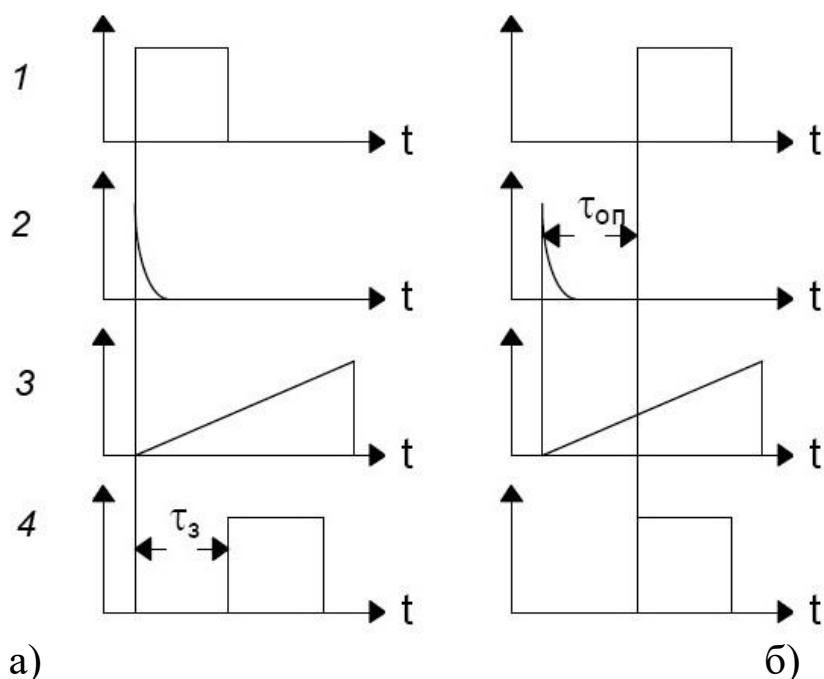


Рис. 9.4.5. Синхронизация ждущей развертки

Следует иметь в виду, что применение линии задержки в канале вертикального отклонения приводит к некоторым искажениям наблюдаемого импульса.

В современных осциллографах высокого класса используют линии задержки, вносящие малозаметные искажения.

Способ 2. Запуском генератора ждущей развертки и устройства, импульс которого подлежит наблюдению, одним и тем же синхронизирующим импульсом.

При этом исследуемый импульс 1 не задерживают в канале вертикального отклонения (см. рис. 9.4.5.б), а строят так систему запуска, чтобы либо генератор развертки запускался коротким импульсом 2 немного раньше, чем исследуемое устройство, либо при одновременном запуске использовалась задержка исследуемого импульса 1 относительно момента запуска в самом устройстве.

В обоих случаях начало действия развертывающего напряжения 3 будет опережать на время $t_{оп}$ момент прихода фронта исследуемого импульса на вертикально-отклоняющие пластины.

При использовании второго способа имеется возможность подавать исследуемый импульс непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины (если, разумеется: амплитуда импульса достаточна для значительного отклонения луча). Тем самым исключая

ются искажения, которые могут вноситься линией задержки и остальными узлами канала вертикального отклонения.

Многолучевые осциллографы.

Многолучевые осциллографы применяются для одновременного наблюдения нескольких процессов.

Основным узлом, отличающим подобный осциллограф от обычного, является специфическая электроннолучевая трубка.

Наиболее распространены двухлучевые приборы.

Конструкция двухлучевой ЭЛТ состоит из стеклянной колбы, внутри которой помещены две отдельные электроннооптические системы и соответственно две системы отклоняющих пластин.

Эти системы образуют два луча, действующих на один общий экран. Таким образом, двухлучевая трубка представляет собой как бы две отдельные ЭЛТ, помещенные в одну колбу с общим экраном, на котором можно наблюдать одновременно две осциллограммы.

В осциллографе имеется один общий генератор развертки, напряжение которого подается через общий усилитель горизонтального отклонения на обе пары горизонтально–отклоняющих пластин.

Каналов вертикального отклонения в осциллографе два.

Каждый из них содержит все узлы канала вертикального отклонения о дно лучевого осциллографа.

Калибратор длительности, измеритель амплитуды и предусматриваемый иногда генератор импульсов, синхронизирующих запуск ждущей развёртки – единые.

Принципиально работа двухлучевого прибора не отличается от работы обычного электронного осциллографа.

Двухлучевые осциллографы удобно применять при исследовании нестационарных процессов, а также искажений импульсов, получающихся в результате прохождения через некоторую цепь (один луч вычерчивает входной импульс, а второй – выходной) и т.д.

Два процесса (несколько процессов) одной и той же частоты можно наблюдать и на экране обычного осциллографа, если воспользоваться специальным электронным коммутатором.

С помощью последнего исследуемые напряжения попеременно подключают ко входу Y осциллографа и на экране одновременно наблюдают две (несколько) осциллограммы.

Проведение измерений с помощью осциллографа.

Основным требованием, предъявляемым к каждому измерительному прибору, является минимальная погрешность измерений.

При исследовании формы напряжения с помощью осциллографа оно сводится к требованию минимального искажения, т.е. наиболее полного соответствия осциллограммы истинной форме напряжения.

Реализация этого требования, прежде всего, зависит от выбора осциллографа. Необходимо также выполнить ряд условий неискаженного наблюдения, заключающихся в правильном подключении осциллографа к измеряемому объекту, выборе режимов работы прибора, осуществлении синхронизации развертки с исследуемым сигналом, получении оптимальных размеров изображения – высоты и ширины и др.

Наблюдение периодических сигналов.

Для получения хорошего изображения на экране ЭЛТ необходимо правильно выбирать режим работы осциллографа в зависимости от характера и параметров исследуемого сигнала.

Прежде всего выбирают вид развертки.

Исследуя периодические процессы линейную непрерывную развертку.

При наблюдении одного периода частота развертки должна быть равна частоте исследуемого напряжения, при наблюдении n периодов – в n раз ниже.

Минимальная частота развертки должна быть такой, чтобы изображение не мерцало на экране трубки с коротким или средним послесвечением.

При наблюдении периодических процессов наиболее целесообразно применять внутреннюю синхронизацию, т.е. синхронизацию исследуемым сигналом.

Синхронизация от сети удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте сети, например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети, пульсацией выпрямителей и т.п.

Внешнюю синхронизацию используют сравнительно редко, в том случае, если исследуемый сигнал непригоден по форме для синхронизации или имеет слишком малую амплитуду.

Методика синхронизации такова: сначала устанавливают частоту развертки немного ниже частоты исследуемого сигнала, затем,

установив малую амплитуду синхронизирующего напряжения, постепенно увеличивают её до получения хорошей синхронизации – неподвижного изображения на экране ЭЛТ.

Если используется развертывающее напряжение от внешнего источника, то его подают на вход Х осциллографа, выключая внутренний генератор развертки.

Амплитуда внешнего напряжения должна позволять растянуть изображение на значительную часть экрана.

Высота изображения должна быть удобной для наблюдения. Но её не следует устанавливать слишком большой, так как могут появиться искажения изображения, обусловленные нелинейностью отклонения луча на краях экрана.

Высоту регулируют с помощью аттенюатора, должным образом:

- выбирая коэффициент деления, и изменением усиления в канале вертикального отклонения. В некоторых случаях при достаточно большой амплитуде исследуемого напряжения имеет смысл подавать его непосредственно на вертикально–отклоняющие пластины.

Это особенно целесообразно, когда частота исследуемого напряжения превосходит верхний предел полосы пропускания усилителя канала вертикального отклонения.

Наблюдение импульсных процессов.

Для исследования однократных импульсных сигналов и периодически повторяющихся одиночных импульсов с большой скважностью или кодовых групп импульсов применяется ждущая развертка.

Скорость развертки выбирают так, чтобы изображение сигнала или его части растягивалось почти на весь экран.

Изображение растягивается тем больше, чем выше скорость развертки.

Синхронизировать ждущую развертку можно исследуемым и внешним импульсами в зависимости от условий наблюдения.

Если используется линия задержки канала вертикального отклонения осциллографа, то генератор развертки синхронизируют исследуемым сигналом.

При достаточно большой амплитуде осциллографируемый импульс целесообразно подавать непосредственно на вертикально – отклоняющие пластины ЭЛТ, так как при этом исключаются искажения, вносимые узлами канала вертикального отклонения.

Особенно важно пользоваться этой возможностью, когда необходимо исследовать короткие импульсы, спектры которых шире полосы пропускания усилителя вертикального отклонения.

В подобных случаях ввиду отсутствия задержки сигнала по отношению начала развертки синхронизация исследуемым сигналом неэффективна, так как при этом не будет виден фронт импульса.

Для неискаженного наблюдения требуется внешний синхронизирующий импульс.

Если в осциллографе имеется внутренний импульсный генератор, то синхронизация обеспечивается тем, что он непосредственно возбуждает генератор ждущей развертки, в то время как для запуска исследуемого устройства используется задержанный синхронизирующий импульс.

Осциллографируя импульсы, яркость уменьшают настолько, чтобы пятно, наблюдаемое левее фронта импульса, исчезло или было плохо видно. Если яркость изображения импульса недостаточна, пользуется выдвижным тубусом.

В случае наблюдения однократных сигналов, импульсных напряжений с большой скважностью, всевозможных быстропротекающих процессов яркость свечения отдельных участков осциллограммы получается недостаточной.

Особенно плохо различимы фронты импульсов. Это обусловлено тем, что яркость свечения обратно пропорциональна скорости движения луча.

Кроме того, яркость уменьшается по мере отклонения луча от горизонтальной оси экрана к периферии трубки, что объясняется уменьшением плотности тока в электронном луче.

Таким образом, участки осциллограммы, прочерчиваемые лучом с большой скоростью, получаются весьма бледными.

При большой крутизне фронты и спады импульсов могут совсем не наблюдаться.

В импульсных осциллографах на время основного хода луча на управляющий электрод трубки подается положительный прямоугольный импульс подсвета, получаемый от генератора ждущей развертки.

Тем не менее изображения крутых фронтов импульсов остаются сравнительно бледными.

Поэтому в тех случаях, когда нужно детально исследовать форму импульсов и имеется возможность изменения частоты их следования, наблюдение следует вести при повышенной частоте, что способствует увеличению яркости.

Для исследования быстропротекающих процессов применяют ЭЛТ с длительным послесвечением и фоторегистрацию осциллограмм.

Измерение амплитуды напряжения

При измерении амплитуды исследуемое напряжение подают на вход У осциллографа и регулировкой коэффициента деления аттенюатора и усиления в канале вертикального отклонения устанавливают удобную для измерения высоту изображения сигнала.

Обычно для этого используют горизонтальные линии или клетки масштабной сетки, нанесенной на прозрачном диске, который расположен перед экраном ЭЛТ (см. рис. 9.4.6).



Рис. 9.4.6 – Экран осциллографа

Затем сравнивают высоту изображения измеряемого сигнала с отклонением луча, вызываемым калиброванным напряжением.

Методика сравнения в различных осциллографах неодинакова. Иногда она сводится к следующему.

Запомнив коэффициент деления переключателя аттенюатора, соответствующий установленной высоте изображения сигнала (например, $1/10$), и не меняя усиления, подают на вход усилителя вместо сигнала вспомогательное напряжение от источника, находящегося внутри осциллографа.

Регулировкой амплитуды вспомогательного напряжения добиваются, чтобы высота его изображения составляла такое же количество клеток масштабной сетки, какое ранее занимало изображение измеряемого сигнала.

В тех приборах, где вспомогательное напряжение заранее не калибровано, его измеряют электронным вольтметром, имеющимся в осциллографе.

Измерение длительности импульса.

Длительность импульса измеряют различными способами. Чаще всего применяют калиброванные по длительности развертки или калибровочные метки.

Рассмотрим методику измерения длительности с помощью калиброванных меток. Их получают в результате подачи напряжения, вырабатываемого калибратором, на управляющий электрод, (катод) ЭЛТ.

Это напряжение модулирует яркость: положительные полупериоды напряжения, повышающие потенциал управляющего электрода относительно катода, вызывают повышение яркости, отрицательные полупериоды гасят луч.

Если на вертикально – отклоняющие пластины подан исследуемый импульс, то при включении генератора меток на экране будет наблюдаться пунктирная кривая.

Расстояние между серединами двух ярких (темных) меток равно периоду напряжения генератора меток.

Таким образом, период определяет цену метки.

Длительность исследуемого импульса определяется произведением числа меток, укладываемых на измеряемом участке, на цену метки. Абсолютная погрешность измерения ± 0.5 метки.

Для уменьшения относительной погрешности измерения длительности желательно иметь большое число меток. Однако при очень большом количестве соседние метки сливаются и отсчет становится невозможным.

Искажения осциллограмм.

Искажения осциллограмм, то есть несоответствие изображения истинной форме исследуемого сигнала, возникают вследствие радиотехнических и электрооптических причин.

К радиотехническим причинам относятся:

– расстройка блоков каналов управления лучом и появление в них нелинейности;

– несогласованность сопротивлений источника импульсных сигналов и входа осциллографа;

– нестабильность напряжения питания, превышение допустимой величины сигнала на входе осциллографа;

– превышение величины синхронизирующего напряжения, влияние на электронный луч:

– внешних электрических и магнитных полей, взаимное влияние управляющих напряжений вследствие наличия паразитных параметров в отклоняющих системах многолучевых трубок.

Электроннооптические искажения присущи электроннолучевым трубкам:

– астигматизм;

– трапецеидальные искажения;

– дефокусировка луча;

– нелинейные искажения вблизи границ экрана трубки.

Астигматизм, т.е. неравномерность фокусировки по вертикальной и горизонтальной осям, приводит к искривлению формы пятна. Причиной астигматизма является неправильная юстировка элементов электронной пушки относительно отклоняющих пластин. Астигматизм можно уменьшить путем отдельного регулирования среднего потенциала каждой пары пластин относительно второго анода.

Трапецеидальные искажения осциллограммы вызываются зависимостью чувствительности пластин вертикального отклонения от напряжения, приложенного к пластинам горизонтального отклонения. Симметричное питание пластин, при котором средний потенциал их всегда равен потенциалу второго анода, уменьшает этот вид искажений.

Дефокусировка луча, т.е. размытость пятна на экране, возникает вследствие нестабильности напряжения питания. Возможной причиной может быть также несимметричность напряжений, поступающих на пластины вертикального отклонения.

Нелинейные искажения вблизи границ экрана возникают из-за краевого эффекта в отклоняющих пластинах, эффект обусловлен неоднородностью электростатического поля между пластинами у их краев. При большом отклонении луча траектория его искривляется.

Второй причиной является выпуклость дна колбы, искажения не будут проявляться при ограничении размеров осциллограммы по обеим осям примерно до 70% диаметра экрана. В осциллографических трубках с плоским экраном эти причины отсутствуют.

Осциллографический метод измерения параметров сигналов.

Измерение амплитудных и временных параметров электрических сигналов производится на осциллографе с учетом положения переключателей чувствительности на входе канала Y и переключателя скорости развертки.

При этом ручки усиление плавно канала Y и частота развертки плавно должны находиться в крайнем правом положении (до щелчка).

По осциллограмме сигнала (см. рис. 9.4.7) определяют период колебаний (или период следования импульсов в случае импульсного сигнала) T, после чего рассчитывают частоту колебаний $f = 1/T$

При измерении периода необходимо получить на экране последовательность не более 2-х импульсов и измерив расстояние l_X между одноименными точками, определяют период повторения.

Величину T находят путем измерения расстояния l_X между точками пересечения горизонтальной прямой с однотипными участками осциллограммы периодического сигнала.

Так как это расстояние пропорционально искомой величине T, значение периода определяется из выражения:

$$T = \Delta t \cdot l_X$$

Где Δt – параметр осциллограммы (с/дел).

Например: при $\Delta t = 5$ мкс/дел, период $T = 9.3$ мкс

Главное достоинство рассматриваемого метода – визуальный контроль реализации, исключающий ошибки измерения частоты, связанные с неправильной оценкой формы сигнала.

При измерении длительности импульса необходимо "растянуть" его по горизонтали до величины не менее 0.4 размера экрана и, измерив на экране размер импульса l_X по уровню 0.5 амплитуды, определить длительность импульса:

$$\tau_{\text{имп}} = K_{\text{разв}} \cdot l_X$$

Экспериментально при измерении амплитуды импульса следует получить на экране осциллографа изображение, равное не менее 0.4 размера экрана и, измерив отклонение луча l_Y , определить амплитуду импульса по формуле:

$$U_m = 1_Y \cdot K_{\text{откл}}$$

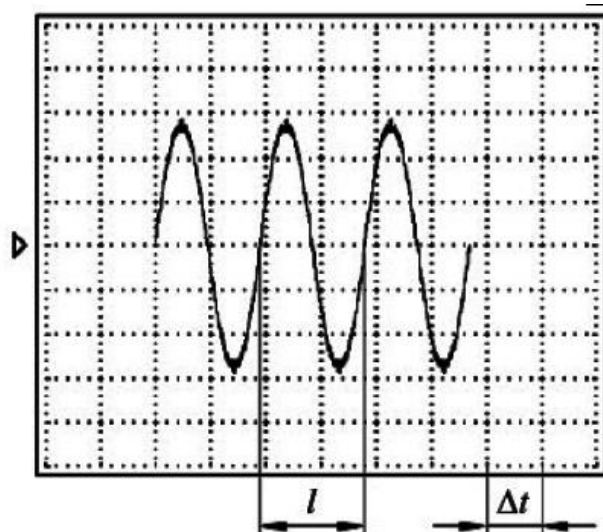
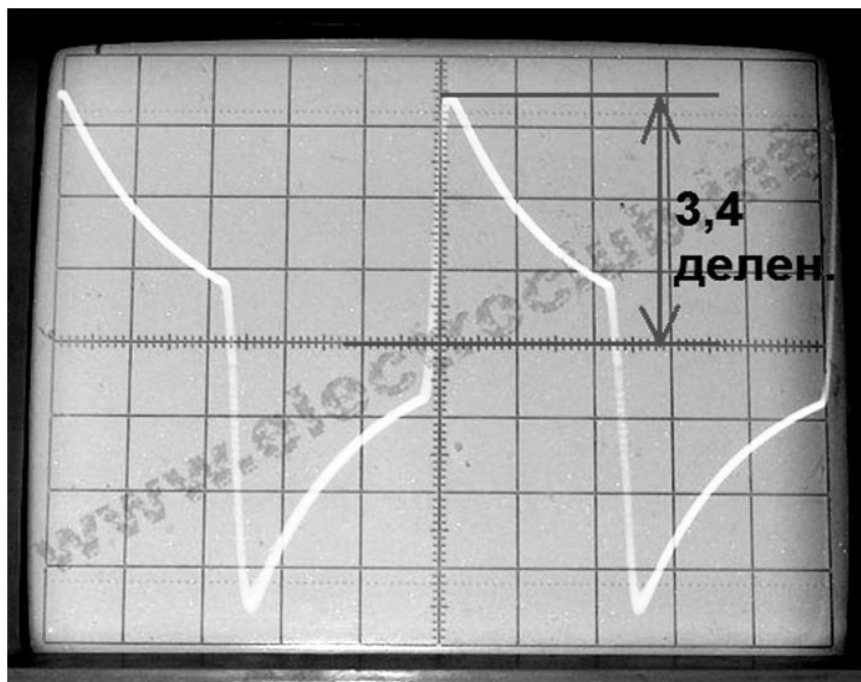


Рис. 9.4.7. Измерение временных сигналов

Пример измерения амплитуды напряжения приведен на рис. 9.4.8.



$K_{\text{откл}} = 0.5$ вольт/деление; Множитель масштаба $\times 10$

$$U = 0.5 \cdot 10 \cdot 3.4 = 17 \text{ В}$$

Рис. 9.4.8. Измерение амплитуды напряжения

Погрешности измерений

Погрешность отсчета включает в себя две составляющие:

– погрешность совмещения линий осциллограммы с линиями шкалы;

– погрешность отсчета из-за конечной ширины линии.

Погрешность совмещения принимается равной $b/5$, погрешность отсчета $b/3$, где b – ширина луча.

Поскольку они независимы, то относительная погрешность отсчета составляет:

$$\delta = \frac{1}{N} \sqrt{\left(\frac{b}{5}\right)^2 + \left(\frac{b}{3}\right)^2} \approx 0.4 \frac{b}{N}$$

где N – размер измеряемого участка изображения на экране.

Относительная погрешность уменьшается с увеличением размеров изображения N .

Чтобы погрешность измерения была минимальна, изображение измеряемой части исследуемого сигнала должно занимать 80–90% рабочей площади экрана.

Нелинейность амплитудной (и частотной) характеристики приводит к тому, что сигналы различной амплитуды (частоты) усиливаются по-разному.

На экране многих осциллографов есть две пунктирные горизонтальные линии, которые ограничивают область, в которой амплитудная характеристика линейна и гарантируется указанная в описании точность измерения напряжений.

Необходимо подбирать для работы осциллографы, для которых измеряемые напряжения лежат в диапазонах, рекомендованных для работы осциллографа более того, ближе к середине диапазона – далеко от крайних значений.

Наблюдать сигнал можно и при минимальной (для данного осциллографа) амплитуде, но при измерении напряжения погрешность будет значительно больше 5% (аналогично и для частоты)

Калибратор

Встроенный в осциллограф калибратор позволяет с достаточной точностью калибровать масштабную сетку по оси Y (напряжение сигнала) и по оси X (напряжение развертки, определяющее масштаб времени).

Калибратор представляет собой высокостабильный (эталонный) генератор сигналов, обычно с набором нескольких фиксированных частот и амплитуд.

Порядок выполнения работы

По техническому описанию осциллографа изучить его технические характеристики, расположение и назначение органов управления, проверить калибровку канала вертикального отклонения и длительности развертки. При необходимости произвести регулировку.

Собрать схему измерений согласно рисунку 9.5.1.

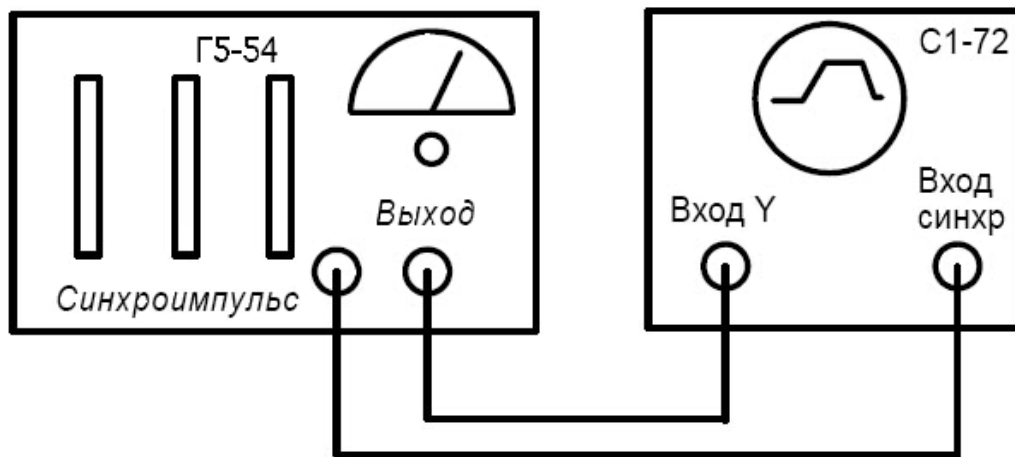


Рис. 9.5.1. Схема измерения параметров импульсного сигнала

Получить на экране осциллографа изображение импульсной последовательности с генератора импульсов, применив внешний запуск развертки импульсом с гнезда “синхроимпульсы” генератора Г5–54.

Провести измерения частоты следования выходных импульсов генератора в следующем порядке.

Устанавливая значения частот выходных импульсов на генераторе Г5–54 указанные в таблице.9.5.1, замерить значения частоты осциллографом.

Длительность выходного импульса положительной полярности установить в пределах 1 мкс.

Расчётные формулы.

а) период выходных импульсов генератора определяется по формуле:

$$T_{\text{изм}} = K_{\text{разв}} \cdot 1_x$$

б) частота выходных импульсов генератора определяется по формуле:

$$F_{\text{изм}} = \frac{1}{T_{\text{изм}}}$$

в) вычисление абсолютной погрешности ΔF измерения частоты определяется по формуле:

$$\Delta F = F_r - F_{\text{изм}}$$

где F_r – частота выходных импульсов генератора;

$F_{\text{изм}}$ – измеренная частота.

Табл.9.5.1.

Результаты измерений частоты выходных импульсов генератора.

Параметр	Частота выходных импульсов генератора F_r , кГц								
	0,1	0,5	1,0	12,0	30,0	40,0	50,0	70,0	90,0
$K_{\text{разв}}$, мкс/дел									
1_x , дел									
$T_{\text{изм}}$, мкс									
$F_{\text{изм}}$, кГц									
ΔF , кГц									
δ_F , %									

г) вычисление относительной погрешности δ_F измерения частоты определяется по формуле:

$$\delta_F = \frac{\Delta F}{F_r} \cdot 100\%$$

Получить на экране осциллографа изображение импульсной последовательности с генератора импульсов, установив на нем параметры, применив внешний запуск развертки осциллографа импульсом с гнезда “синхроимпульсы” генератора Г5–54:

а) при измерении амплитуды импульса – частота $F_r = 10$ кГц, длительность импульса $\tau = 5$ мкс;

Провести измерение амплитуды импульса, используя калиброванные значения коэффициентов отклонения.

Результат измерения представить в виде $U_{\text{имп}} = U_{\text{из}} \pm \Delta U$ с учетом правила округления. Результаты измерений свести в таблицу 9.5.2.

Расчётные формулы.

а) амплитуда выходных импульсов генератора определяется по формуле: $U_{\text{имп}} = 1_Y \cdot K_{\text{откл}}$

Табл.9.5. 2.

Результаты измерений амплитуды выходных импульсов генератора

Параметр	Амплитуда выходного импульсного сигнала по шкале генератора $U_{Г}$, В			
	0,6	2,0	6,0	20,0
$K_{откл}$, В/дел				
$l_{У}$, дел				
$U_{изм}$, В				
ΔA , В				
δ_A , %				

б) поскольку определение амплитуды импульса относится к косвенным измерениям и определение погрешности производится на основании узаконенных правил.

Вычисляя частные погрешности путем нахождения частных производных, и переходя к относительным погрешностям, получим

$$\delta_A = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_K^2},$$

где δ_A – относительная погрешность измерения амплитуды импульса,

δ_1 – относительная погрешность измерения отклонения (размер импульса по вертикали),

δ_K – предел допустимой основной погрешности коэффициента канала вертикального отклонения (см. технические данные на осциллограф).

В свою очередь визуальная погрешность измерения отрезка по ГОСТ на электроннолучевые осциллографы составляет

$$\delta_1 = \frac{0.4q}{l},$$

где q – толщина луча на экране осциллографа, мм;

l – измеренное отклонение, мм.

Следовательно, для уменьшения погрешности (увеличения точности) измерений следует размер изображения получить максимально возможным, а регулировками «ЯРКОСТЬ» и «ФОКУС» получить наиболее тонкий луч на экране.

Абсолютное значение погрешности определить по формуле

$$\Delta A = \delta_A \cdot U_{\text{изм}}$$

Провести измерение длительности импульсов с помощью калиброванной развертки.

Данные измерений и расчётов свести в таблицу 9.5.3, соблюдая правила округления.

Табл.9.5.3.

Результаты измерений длительности выходных импульсов генератор

Параметр	Длительность выходных импульсов по шкале генератора τ , мкс				
	1,0	10,0	30,0	100,0	300,0
$K_{\text{разв}}$, мкс/дел					
l_x , дел					
$\tau_{\text{изм}}$, мкс					
$\Delta \tau$, мкс					
δ_τ , %					

Расчётные формулы.

а) длительность выходных импульсов генератора определяется по формуле:

$$\tau_{\text{имп}} = K_{\text{разв}} \cdot l_x$$

б) относительная погрешность измерения длительности определяется

$$\delta_\tau = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_K^2},$$

где δ_1 – относительная погрешность измерения отклонения луча (длительности импульса, периода повторения);

δ_K – предел допускаемой основной погрешности коэффициента развертки.

$$\delta_1 = \frac{0.4q}{l},$$

где q – толщина луча на экране осциллографа, мм;

l – измеренное отклонение, мм.

в) абсолютное значение погрешности измерения длительности импульса, периода повторения определится

$$\Delta \tau = \delta_\tau \cdot \tau_{\text{изм}}$$

Собрать схему измерений согласно рисунку 9.5.2.

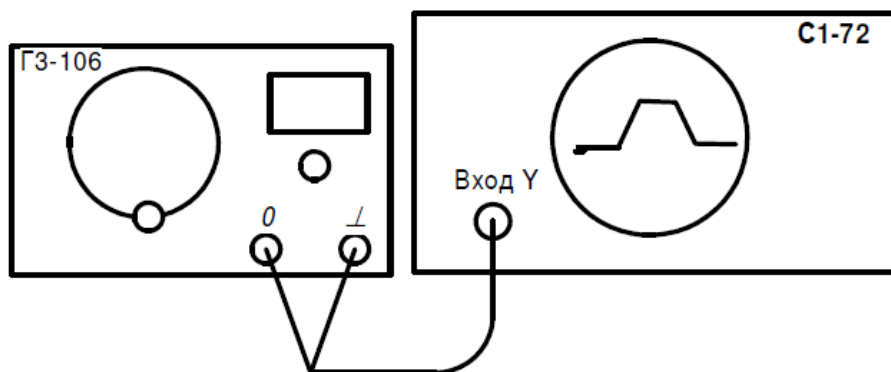


Рис. 9.5.2. Схема измерения параметров синусоидального сигнала

Получить на экране осциллографа устойчивое изображение синусоидального выходного сигнала генератора.

Провести измерения частоты синусоидального сигнала генератора в следующем порядке.

Устанавливая значения частот выходного сигнала и на генераторе ГЗ–106 указанные в таблице 5.4, замерить значения частоты осциллографом.

Амплитуду выходного сигнала установить в пределах 2–3 В.

Расчётные формулы.

а) период выходного сигнала генератора определяется по формуле:

$$T_{\text{изм}} = K_{\text{разв}} \cdot 1x$$

б) частота выходного сигнала генератора определяется по формуле:

$$F_{\text{изм}} = \frac{1}{T_{\text{изм}}}$$

в) вычисление абсолютной погрешности F измерения частоты определяется по формуле:

где F_r – частота выходного сигнала генератора; $F_{\text{изм}}$ – измеренная частота.

Провести измерение амплитуды синусоидального сигнала, используя калиброванные значения коэффициентов отклонения.

Результат измерения представить в виде $U_{\text{вых}} = U_{\text{изм}} \pm \Delta U$ с учетом правила округления. Частота выходного сигнала – 50 кГц. Результаты измерений свести в таблицу 9.5.5.

Табл.9.5.4.

Результаты измерений частоты синусоидального сигнала

Параметр	Частота выходных импульсов генератора F_r , кГц								
	0,1	0,5	1,0	5,0	20,0	30,0	50,0	75,0	90,0
$K_{разв}$, мкс/дел									
1_X , дел									
$T_{изм}$, мкс									
$F_{изм}$, кГц									
ΔF , кГц									
δ_F , %									

Расчётные формулы.

а) амплитуда выходных импульсов генератора определяется по формуле:

$$U_{изм} = 1_Y \cdot K_{откл}$$

Табл.9.5.5.

Результаты измерений амплитуды синусоидального сигнала

Параметр	Напряжение выходного сигнала по шкале генератора U_r , В			
	2,0	3,0	4,0	5,0
$K_{откл}$, мкс/дел				
1_Y , дел				
$U_{изм}$, В				
$U_{мг}$, В				
ΔA , В				
δ_A , %				

б) поскольку определение амплитуды выходного напряжения относится к косвенным измерениям и определение погрешности производится на основании узаконенных правил.

Вычисляя частные погрешности путем нахождения частных производных, и переходя к относительным погрешностям, получим

$$\delta_A = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_K^2},$$

где δ_A – относительная погрешность измерения амплитуды сигнала, δ_1 – относительная погрешность измерения отклонения (размер импульса по вертикали); δ_K – предел допустимой основной погрешности коэффициента канала вертикального отклонения (см. технические данные на осциллограф).

В свою очередь визуальная погрешность измерения отрезка по ГОСТ на электроннолучевые осциллографы составляет

$$\delta_1 = \frac{0.4q}{l},$$

где q – толщина луча на экране осциллографа, мм; l – измеренное отклонение, мм.

Следовательно, для уменьшения погрешности (увеличения точности) измерений следует размер изображения получить максимально возможным, а регулировками «ЯРКОСТЬ» и «ФОКУС» получить наиболее тонкий луч на экране.

Абсолютное значение погрешности определить по формуле:

$$\Delta A = \delta_A \cdot U_{\text{изм}}$$

в) амплитуда выходного напряжения генератора определить по формуле:

$$U_{\text{мг}} = 1.14U_{\text{г}}$$

Требования к отчету

- 1) Цель работы.
- 2) Приборы и оборудование с краткими техническими характеристиками.
- 3) Выполнение рабочего задания по пунктам.
- 4) В каждом пункте необходимо отразить:
 - а) наименование раздела;
 - б) упрощённую схему измерений;
 - в) таблицы измерений;
 - г) осциллограммы измерений.
- 5) Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1) Назовите основные осциллографические методы измерения напряжения и временных интервалов.
- 2) Объясните измерение напряжений методом калиброванной шкалы.
- 3) Объясните измерение временных диаграмм интервалов методом калибратора длительности.
- 4) Назовите основные параметры одиночного импульса.
- 5) Объясните методику измерения основных параметров одиночного импульса осциллографом.
- 6) Назовите основные параметры периодического импульса.
- 7) Объясните измерение периода импульсного сигнала осциллографом.
- 8) От каких факторов зависит точность измерения напряжения осциллографом и как ее увеличить?
- 9) Как увеличить точность измерения временных интервалов методом калибратора длительности.
- 10) Назовите основные функциональные узлы универсального электронного осциллографа и объясните их предназначение в его работе.
- 11) Что такое синхронизация, и как она осуществляется в электронном осциллографе?
- 12) Что такое внутренняя, внешняя синхронизация и в каких случаях она применяется?
- 13) Что такое ждущий режим развертки, как он осуществляется и для наблюдения каких сигналов он используется?
- 14) Как осуществляется калибровка коэффициента вертикального отклонения и калибровка коэффициента развертки?
- 15) Как с помощью осциллографа измерить амплитуду импульса?
- 16) Как с помощью осциллографа измерить период следования и длительность импульсов?
- 17) Как оценить точность измерения временных и амплитудных параметров сигналов, наблюдаемых на экране осциллографа?
- 18) Как определить истинную длительность фронта импульса при измерении его с помощью осциллографа, имеющего ограниченную полосу пропускания канала вертикального отклонения?

Используемая литература

Атамальян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М. Высшая школа, 1982.

Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. – М. Энергоатомиздат, 1987.

И.Ю. Зайчик, Г.И. Зайчик «Практикум по электрорадиоизмерениям», М., Высшая школа, 1985г.

Б.П. Хромой, Ю.Г. Моисеев «Электрорадиоизмерения», М., Радио и связь, 1985г.

Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. –М: «КноРус», 2011 г.

Приложения к лабораторной работе

Приложение А.

Генератор Г5–54

Генератор Г5–54 источник простых видов выходных последовательностей импульсов.

Генератор Г5–54 применяется для исследования различных радиотехнических устройств.

Измерение амплитуды выходных импульсов в пределах плавной регулировки осуществляется амплитудным вольтметром.

Основные технические характеристики генератора Г5–54:

- а) частота (период) повторения: 0,01 Гц – 100 кГц;
- б) погрешность установки частоты: 0,1F;
- в) максимальная амплитуда импульса: 50 В (500 Ом);
- г) погрешность установки амплитуды: $0.1U + K \times 1$ В;
- д) длительность импульсов: 0,1–1000 мкс;
- е) неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами: менее 5 %;
- ж) временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса:
 - 0–1000 мкс;
- и) потребляемая мощность: 50 ВА;
- к) масса: 6 кг;
- л) габариты: 370x227x185 мм.

Приложение Б.

Осциллограф С1–72

Осциллограф С1–72 предназначен для исследования сигналов с амплитудой 40 мВ – 60 В и длительностью 0,2 мкс – 0,5 с.

Портативность прибора позволяет широко использовать его для ремонта и обслуживания различных радиотехнических и электронных устройств.

Технические данные осциллографа С1–72

1 Канал вертикального отклонения:

- а) полоса пропускания – 0–10 МГц;
- б) время нарастания переходной характеристики – 35 нс;
- в) коэффициент отклонения – 20 мВ/дел – 10 В/дел;
- г) погрешность – $\pm 5\%$;
- д) входное сопротивление – 1 МОм, 40 нФ; 10 МОм, 15 пФ (с выносным делителем).

Канал горизонтального отклонения:

- а) коэффициент развёртки – 0,05 мкс/дел – 50 мс/дел;
- б) погрешность – $\pm 5\%$.

Канал синхронизации:

- а) внутренняя – при изображении 6 мм и более (до 10 МГц);
- б) внешняя – сигналами амплитудой 0,3 – 3 В и частотой до 10 МГц;
- в) погрешность – $\pm 5\%$.

Тип индикатора – электроннолучевая трубка 8ЛО4И, рабочая часть экрана – 30х60 мм.

Питание – от сети 220 В, 50 Гц; 115 или 220 В, 400 Гц; от источника постоянного тока 24 В; 0,75 А.

Потребляемая мощность – 35 ВА.

Габаритные размеры – 225х140х60 мм.

Масса – 8,5 кг.

Приложение В.

Генератор ГЗ–106

В.1 Генератор ГЗ–106 – источник синусоидальных и прямоугольных электрических колебаний в диапазоне звуковой и ультразвуковой частоты.

В.2 Генератор ГЗ–106 – малогабаритный портативный генератор РС–типа с плавной установкой частоты в пределах каждого из 4 поддиапазонов.

В.3 Генератор ГЗ–106 может использоваться как источник сигнала в системах контроля радиотехнических средств, в комплектах аппаратуры связи и дальней связи, в селективных и широкополосных системах.

В.4 В режиме синхронизации генератор ГЗ–106 представляет собой активный фильтр и может применяться для уменьшения гармонических искажений синхронизирующего сигнала, повышения его выходного уровня, получения синусоидального сигнала из несинусоидального.

В.5 Выходное напряжение отсчитывается по шкале встроенного вольтметра (шкала вольтметра отградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального сигнала – вольтах) и выходному аттенюатору.

В.6 Технические характеристики генератора ГЗ–106:

- а) диапазон частот: 20 Гц–200 кГц (4 поддиапазона);
- б) основная погрешность установки частоты: $\pm(3 + 30/f)\%$;
- в) нестабильность частоты: $\pm 20 \cdot 10^{-4}f$ (за 15 минут) и $\pm 200 \cdot 10^{-4}f$ (за 3 часа);
- г) выходное напряжение: 5 В (600 Ом);
- д) ослабление выходного напряжения: 0–60 дБ с дискретностью через 20 дБ (с делителем) и –22 дБ (плавно регулируемое);
- е) погрешность установки выходного напряжения: $\pm 6\%$ (установка опорного уровня) и ± 0.8 дБ (делитель);
- ж) нестабильность выходного напряжения: $\pm 1\%$ (за 15 минут) и $\pm 10\%$ (за 3 часа);
- и) коэффициент гармоник, %: 0.5 (20–200 Гц); 0.3 (200 Гц–20 кГц); 1 (20–200 кГц);
- к) параметры сигнала прямоугольной формы:
 - амплитуда: 5 В (600 Ом);
 - скважность: 2;
 - длительность фронта и среза: 150 нс.
- л) потребляемая мощность: 20 ВА;
- м) питание: 220 \pm 22 В, 50 Гц или 115 В, 400 Гц; н) масса: 4,6 кг.
- п) габариты: 225x258x162 мм.

Лабораторная работа №10 на тему: «Измерение частоты сигнала частотомером, определение погрешностей измерения».

1. Цель работы

Изучение правила эксплуатации и методы измерения частоты и интервалов времени электрических сигналов электронно–счётным частотомером.

Практическое применение частотомера при поверке импульсного генератора

2. Приборы и оборудование

- 1) Электронно–счётный частотомер ЧЗ–34А .
- 2) Генератор ГЗ – 106.
- 3) Генератор импульсов Г5–54

3. Правила техники безопасности

Соединить клемму " ↓ " измерительных приборов с шиной защитного заземления.

Убедиться в наличии и исправности сетевых предохранителей измерительных приборов.

Соблюдать указания мер безопасности, приведённые в руководстве по эксплуатации приборов и оборудования, применяемых в данной работе.

Соблюдать все требования техники безопасности при работе в лаборатории электротехнических измерений.

4. Теоретические данные

Частотомеры предназначены для измерения частоты, периода синусоидальных и импульсных сигналов, счета числа импульсов, измерения длительностей временных интервалов.

Блок–схема электронно–счетного частотомера представлена на рис. 10.4.1.

Входной сигнал в частотомере поступает на усилитель–формирователь 1, который служит для преобразования входного напряжения в последовательности прямоугольных импульсов определенной амплитуды и длительности.

Ключ 2 предназначен для пропуска сформированных импульсов в цифровой счетчик 3 и индикатор 7 в течение определенного из-

мерительного времени. Длительность измерительного времени определяется цепочкой, состоящей из задающего кварцевого генератора 4, делителя частоты 5, цепи управления 6 и выбирается в зависимости от измеряемой частоты и требуемой точности измерения.

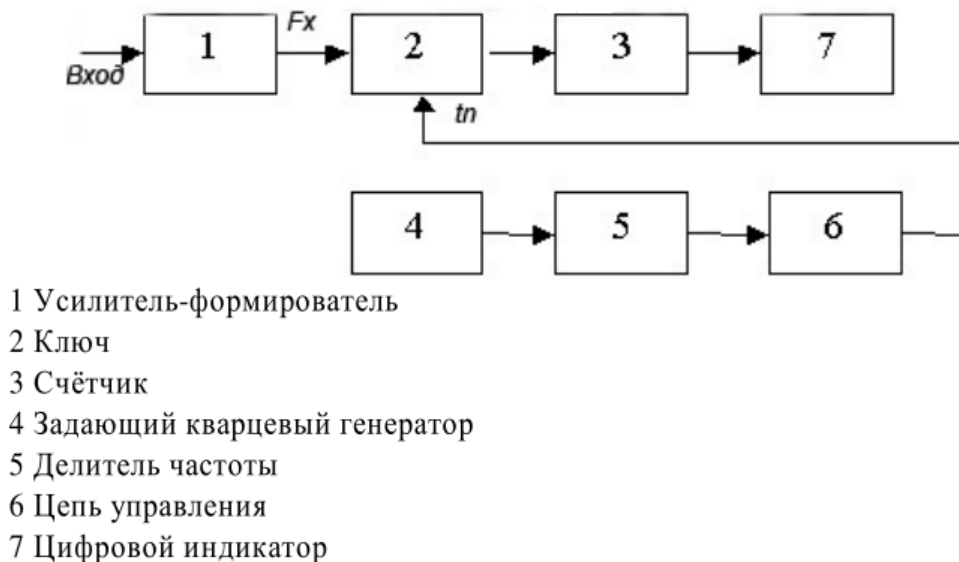


Рис. 10.4.1. Блок–схема электронно–счетного частотомера.

При известном измерительном времени t_n число сосчитанных импульсов N в масштабе определяет значение частоты F_x :

$$F_x = \frac{N}{t_n}$$

Измерительное время выбирается равным:

$$t_n = 10^n$$

где n – целое число.

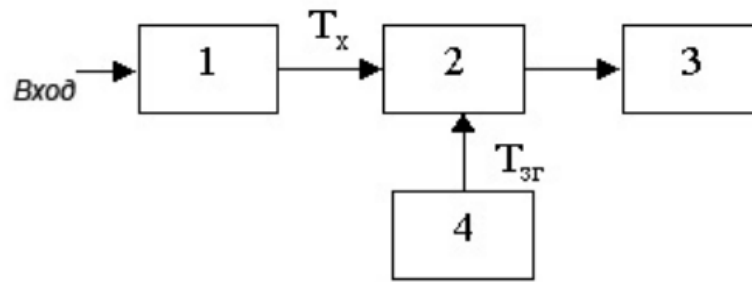
Так, если $n = 0$, то $t_n = 1$ с и значение измеряемой частоты F_x индицируется в Гц.

При измерении низких частот измерительное время для получения достаточной точности должно быть выбрано очень большим, в этом случае целесообразно переходить к измерению периода.

Блок–схема электронно–счетного частотомера в режиме измерения периода представлена на рис. 10.4.2.

Импульсы задающего генератора 4 поступают в цифровой счетчик 3 в течение периода исследуемого сигнала

$$N = \frac{T_x}{T_{3Г}} = F_{3Г} \times T_x$$



- 1 Усилитель-формирователь
- 2 Ключ
- 3 Счётчик
- 4 Задающий кварцевый генератор

Рис. 10.4.2. Блок–схема электронно–счетного частотомера в режиме измерения периода

Поскольку $F_{зг}$ – величина постоянная, число импульсов в масштабе отображает исследуемый период. Обычно для удобства выбирают $F_{зг} = 10$

$$N = 10^n \times T_x$$

Для уменьшения погрешностей измерения подсчитывают 10, 100, и 1000 периодов.

Многие измерительные задачи автоматики, вычислительной техники решаются измерением временных интервалов различной длительности.

Измерение временных интервалов также осуществляется с помощью электронно–счетных частотомеров или измерителей временных интервалов, по блок–схеме, приведенной на рис. 10.4.3.

Управляющий триггер 1 разрешает прохождение через ключ 2 в счетчик 3 импульсов задающего генератора 4 в течение измеряемого интервала времени T_x

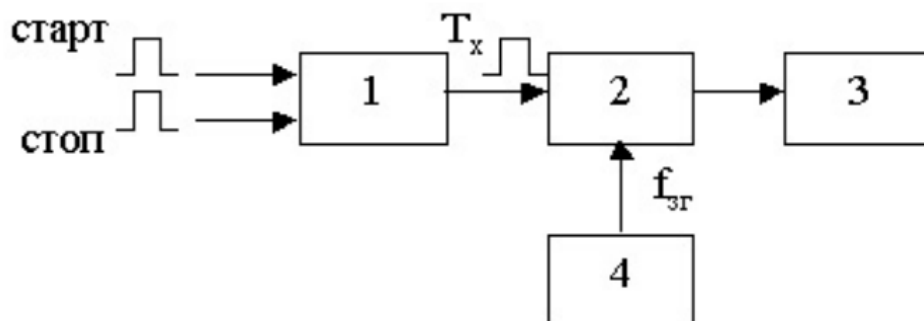
Число импульсов, подсчитанное счетчиком, аналогичное режиму измерения периода, может быть записано как

$$N = 10^n \times T_x$$

Погрешность измерения электронно–счетным частотомером в основном определяется погрешностью квантования и нестабильностью измерительного времени и в относительных единицах может быть представлена как:

$$\delta = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta t_{и}}{t_{и}}$$

где ΔN – абсолютная погрешность счета числа импульсов N (погрешность квантования), $\Delta t_{\text{и}}$ – нестабильность измерительного времени t_n .



- 1 Триггер
- 2 Ключ
- 3 Счётчик
- 4 Задающий генератор

Рис. 10.4.3. Блок-схема электронно-счетного частотомера в режиме измерения временных интервалов

Погрешность современных электронно-счетных частотомеров составляет величину порядка $10^{-5} - 10^{-8}\%$.

Ход работы

Подготовку электронно-счетного частотомера к проведению измерений производить в следующей последовательности.

Включить тумблер "Сеть".

Переключатель режима работы поставить в положение "Контроль" и прогреть прибор.

Переключатель уровня входного сигнала поставить в соответствующее положение при неизвестном уровне входного сигнала, переключатель поставить в положение, допускающее прохождение входного сигнала с наибольшим уровнем.

Подключить на вход цифрового частотомера исследуемый сигнал, переключатель режима работы поставить в положение соответствующего режима работы:

- FA – измерение частоты;
- ТВ – измерение периода;
- непр.счет. – измерение числа импульсов;
- Δt – измерение временного интервала.

Длительность индикации и время измерений установить в зависимости от условий проведения измерений и необходимой точности результатов измерений.

Переключатель уровня входного сигнала поставить в положение, обеспечивающее стабильный режим измерения. Генератор импульсов Г5–54 установить в режим внутреннего запуска. Перечень операций, которые проводятся при поверки генератора импульсов Г5–54 с помощью электронно–счетного частотомера в данной работе:

- определение частоты повторения основных импульсов и погрешности ее установки
- определение длительности основных импульсов и погрешности их установки.

Определение частоты повторения основных импульсов и погрешности ее установки производится в следующей последовательности.

Собирать схему измерения, изображённую на рис. 10.5.1.

Выбрать режим работы электронно–счетного частотомера – FА – измерение частоты

Проверка частоты повторения производится в 3 точках белой шкалы и 3 точках черной шкалы генератора на всех поддиапазонах при длительности основного импульса 1 мкс.

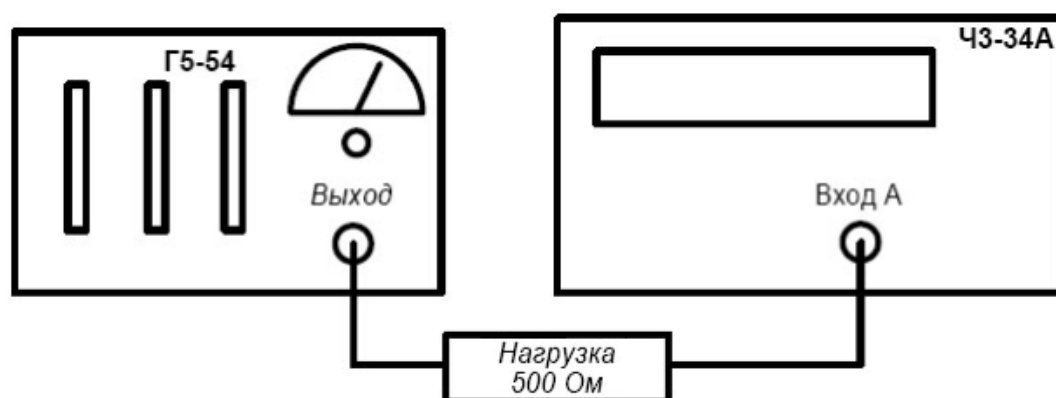


Рис. 10.5.1. Схема измерения частоты повторения основных импульсов

Погрешность установки частоты в процентах определяется по формулам:

$$\Delta F = (F_0 + F_{\text{ИЗМ}})$$

$$\delta F = \frac{\Delta F}{F_0} 100$$

где ΔF – разность между установленной и измеренной частотами, Гц;

$F_{\text{изм}}$ – измеренная частота, Гц.

F_0 – установленная частота, Гц.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 10.5.1.

Результаты проверки считаются удовлетворительными, если выполняются требования технического описания генератора импульсов Г5–54.

Определение длительности основных импульсов и погрешности ее установки производится в следующей последовательности.

Собирать схему измерения, изображённую на рис. 10.5.2.

Выбрать режим работы электронно–счетного частотомера – измерение длительности импульса.

Длительность импульса измеряется в 3 точках белой шкалы и в 3 точках черной шкалы во всех соответствующих этим шкалам поддиапазонах на частотах повторения генератора импульсов Г5–54 согласно таблице 10.5.2.

Измерения производятся при среднем положении плавной регулировки амплитуды основного импульса генератора импульсов Г5–54 и нажатой кнопкой «х0,3».

При измерениях должна быть нажата одна из кнопок поддиапазона "х0,1" переключателя ВРЕМЕННЫЙ СДВИГ генератора импульсов Г5–54.

Погрешность установки длительности импульсов в процентах определяется по формулам:

$$\Delta \tau = (\tau_0 - \tau_{\text{и}})$$

$$\delta_{\tau} = \frac{(\tau_0 - \tau_{\text{и}})}{\tau_0}$$

где $\tau_{\text{и}}$ – измеренное значение длительности импульса, мкс; τ_0 – установленное значение длительности импульса, мкс.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 10.5.3.

Табл.10.5.1. Результаты измерения частоты генератора.

Установленная частота генератора F_0 , Гц	Погрешность установки частоты генератора ТУ, $\pm 0,1F_0$	Измеренная частота генератора Физм, Гц	ΔF , Гц	δF , %	Заключение о состоянии

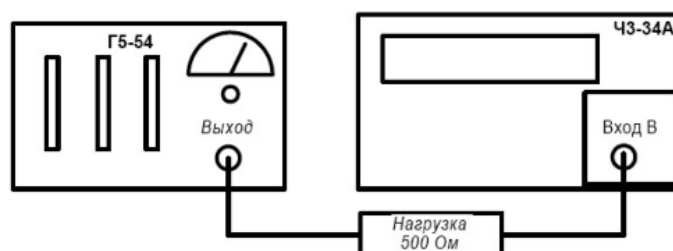


Рис. 10.5.2. Схема измерения длительности импульса

Табл.10.5.2. Соответствия шкалам поддиапазона частот повторения генератора импульсов Г5–54

Поддиапазон		Частота повторения, кГц
Множитель	Цвет кнопки	
x0,1	Белая Черная	1,0
x1	Белая Черная	1,0
x10	Белая Черная	0,1
x10 ²	Белая Черная	0,01

Табл.10.5.3. Результаты измерения импульса генератора.

Установленная длительность основного им- пульса генера- тора τ_o , мкс	Погрешность установки длительности импульса ге- нератора по ТУ, $\pm (0,1 \tau$ $+0,03\text{мкс})$	Измеренная длительность основного импульса ге- нератора τ_i , мкс	$\Delta \tau_i$, мкс	$\delta \tau, \%$	Заключение о соответ- ствии

5. Требования к отчету

Цель работы.

Приборы и оборудование с краткими техническими характеристиками.

Выполнение рабочего задания по пунктам.

В каждом пункте необходимо отразить:

- а) наименование раздела;
- б) упрощённая схема проверки;
- в) таблицы измерений;

Выводы о проделанной работе.

6. Контрольные вопросы

Что такое погрешность квантования ?

Почему важна высокая стабильность частоты задающего генератора в цифровом частотомере ?

В чем заключаются основные преимущества цифровых приборов по сравнению с аналоговыми ?

Какие разновидности аналого–цифрового преобразования используются в цифровых частотомерах ?

Как определяется погрешность ?

7. Литература

Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М. Высшая школа, 1982.

Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. – М. Энергоатомиздат, 1987.

Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. –М: «Кно-Рус», 2011 г.

Приложения к лабораторной работе

Приложение А

Генератор Г5–54

Генератор Г5–54 источник простых видов выходных последовательностей импульсов.

Генератор Г5–54 применяется для исследования различных радиотехнических устройств.

Основные технические характеристики генератора Г5–54:

- а) частота (период) повторения: 0,01 Гц–100 кГц;
- б) погрешность установки частоты: 0,1F;
- в) максимальная амплитуда импульса: 50 В (500 Ом);
- г) погрешность установки амплитуды: $0.1U + K \times 1$ В;
- д) длительность импульсов: 0,1–1000 мкс;
- е) неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами: менее 5 %;
- ж) временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса: 0–1000 мкс;
- и) потребляемая мощность: 50 ВА;
- к) масса: 6 кг;
- л) габариты: 370x227x185 мм.

Приложение Б

Частотомер ЧЗ–34А

Назначение частотомера ЧЗ–34А.

Частотомер электронно–счетный ЧЗ–34А предназначен для измерения частоты, периода электрических колебаний, интервалов времени, отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов.

Особенности частотомера ЧЗ–34А:

- а) измерение частоты синусоидальных сигналов (от 10 Гц до 120 МГц);
- б) измерение частоты импульсных сигналов (от 10 Гц до 20 МГц);
- в) измерение периода электрических колебаний (от 10 мкс до 100 с);
- г) измерение интервалов времени (от 0,1 мкс до 100 с);

д) измерение отношения частот синусоидальных и импульсных сигналов;

е) измерение выдачи сигнала импульсной (от 0,1Гц до 10МГц) и синусоидальной формы (10МГц);

ж) автоматический и ручной запуск.

Технические характеристики:

а) диапазон измеряемых частот – 10Гц–120МГц (0,12ГГц–4ГГц с блоком ЯЗЧ–51);

б) диапазон частот при измерении периода – 0,01Гц–100кГц;

в) погрешность измерения:

– частоты – $\pm \delta 0 \pm 1$ ед. сч.,

– периода – $\pm \delta 0 \pm ((3 \cdot 10^{-3})/n \pm f_{вх}/(f_{такт} \cdot n))$;

где $\delta 0 = \pm 10^{-7}$ – погрешность основного внутреннего генератора;

г) диапазон измеряемых интервалов времени – 10^{-7} с– 10^2 с;

д) пределы измерения отношения частот – (10Гц–20МГц)/(0,01Гц–100кГц);

е) напряжение входного сигнала :

– синусоидального – 0,1В–100В;

– импульсного – 0,5В–100В;

ж) нестабильность частоты кварцевого генератора за 1 сутки – $\pm 5 \cdot 10^{-9}$;

и) входной импеданс:

– при измерении частоты – 15 кОм/80пФ;

– при измерении периода – 1 кОм/100пФ;

к) потребляемая мощность – 100В·А;

л) габаритные размеры – 480х120х420мм;

м) масса – 22кг.

Лабораторная работа №11 на тему: «Измерение сдвига фаз двух электрических гармонических сигналов двухлучевым осциллографом».

1. Цель работы

- 1) Снять ФЧХ устройства в диапазоне частот 1 – 200 кГц сначала на двухлучевом осциллографе, затем на однолучевом методом эллипса.
- 2) Построить графики ФЧХ для обоих измерений.
- 3) Рассчитать погрешность определения разности фаз на частоте 100 кГц.
- 4) Сравнить результаты измерений разными способами и объяснить их различие (если оно будет обнаружено).

2. Приборы, используемые при выполнении работы и инструкции по их эксплуатации

Двухлучевой запоминающий осциллограф С8–2.

Двухлучевой запоминающий осциллограф типа С8–2 предназначен для одновременной регистрации двух однократных электрических сигналов в режиме запоминания или для изучения двух синхронных периодических процессов в режиме регулируемого времени послесвечения.

Технические данные

Рабочая часть экрана не менее 6 делений (1 деление равно 6,5 мм) по вертикали 10 делений (1 деление равно 8 мм) по горизонтали для каждого луча с перекрытием по вертикали в 3 деления.

Смещение луча по вертикали осуществляется плавно на величину не менее чем ± 3 деления от средней линии рабочего поля каждого луча. Смещение луча по горизонтали обеспечивается не менее чем на ± 5 делений от начала шкалы.

Усилители вертикального отклонения имеют открытые и закрытые входы. Максимально допустимая сумма постоянного и амплитуды переменного напряжения при закрытом входе не более 400 В.

Полоса пропускания трактов вертикального отклонения при открытом входе от постоянного тока до 7 МГц. Неравномерность амплитудно–частотной характеристики в диапазоне частот от 50 Гц до 2

МГц не более 1 дБ. Допускается подъем частотной характеристики в диапазоне от 2 до 7 МГц не более 1 дБ.

Нелинейность амплитудной характеристики трактов вертикального отклонения не более 10%.

Генератор развертки имеет 27 фиксированных калиброванных коэффициентов развертки. Нелинейность развертки на рабочем участке не более 10%. Нелинейность развертки при множителе « $\times 0,2$ » (растяжка в 5 раз) не более 20%.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм после времени самопрогрева в течение 30 мин.

Подготовка прибора к измерениям

После выполнения требований, указанных в п.2.1, можно подготовить прибор к измерениям. Измерения производятся в режиме регулируемого послесвечения:

- ручки «Фокус», «Астигматизм» установить в среднее положение;
- ручки «Яркость лучей» установить:
«Грубо» – в крайнее левое положение,
«Плавно» – в среднее положение;
- ручку «Яркость воспроиз.» Установить в среднее положение;
- ручку «После свеч.» Установить в крайнее левое положение (но не доведя до щелчка).

Органы управления других функциональных блоков установить в положении:

- смещение лучей « \updownarrow .» и « \leftrightarrow .» – в среднее положение;
- длительность развертки – в положение «50 мкс/дел.»

Режим запуска развертки – «А/колеб.», ручка «Подстройка» – в крайнем положении по часовой стрелке;

- переключатель чувствительности «В/дел» установить в положение 1;
- тумблер калибратора установить в положение «Выкл.»

Клавишей «Сеть» включить прибор, тумблер «Накал ЭЛТ» при этом должен быть выключен; накал включать после подачи анодных напряжений, анодные напряжения включаются примерно через 1 мин. Включение накала ЭЛТ после анодных напряжений предотвращает появление неуправляемого луча вследствие переходных процессов, происходящих при включении высоких напряжений.

* В данной работе осциллограф С8–2 используется только в режиме послесвечения.

Включение прибора допустимо также без выключенного накала ЭЛТ, при обязательной установке в крайнее левое положение ручек «↑.», «↔.», «Яркость лучей», «Грубо», «Подстройка» и включением «Стоп».

Дать прибору прогреться в течение 20–15 минут; после прогрева (установления типовых режимов) проверить действие основных регулировок управления лучами на наблюдаемых на экране линиях развертки.

Для проявления лучей на экране трубки ручками «Яркость лучей» поочередно сначала «Грубо», потом «Плавно» добиваются высвечивания линий развертки на экране трубки. Раздельной регулировкой яркости «1,2» добиваются одинакового свечения обеих линий.

1) Яркость лучей нужно установить такой, чтобы линии развертки были хорошо наблюдаемы на небольшом фоне экрана через тубус. Сфокусировать лучи.

ВНИМАНИЕ! Следует строго следить за выставленной яркостью лучей, так как чрезмерная яркость опасна для трубки. При переключении развертки в сторону быстрых диапазонов в автоколебательном режиме яркость резко возрастает. Переход на быстрые развертки нужно производить после уменьшения яркости.

После установки яркости лучей следует проверить действие ручек смещения лучей по обеим осям.

Проверить действие ручки «Послесвеч.»; в левом крайнем положении этой ручки действует эффективное подстирание и яркость луча в этом случае – минимальная. В правом крайнем положении подстирание минимальное, яркость лучей заметно возрастает и начинает резче проявляться фон, особенно вдоль линий развертки. При осциллографировании процессов в режиме послесвечения при разных положениях ручки, регулирующей длительность послесвечения, следует следить за яркостью высвечивания лучей и поддерживать её оптимальной, управляя ручками «Яркость лучей».

При смещении луча в этом случае на экране остается след от линии развертки, как бы след развертки при длительном послесвечении. Стирание следа производится переводом ручки «Послесвеч.» В положение минимального послесвечения (крайнее левое положение).

Следует также проверить все другие органы управления, действие которых является обычным и не требует пояснения. Переход в режим запоминания следует производить при включении переключателя «Стоп» или при установлении развертки в однократный режим запуска; ручка «Послесвеч.» Становится в крайнее левое положение «Выкл.» (после щелчка). Работать при автоколебательном запуске развертки в режиме запоминания воспрещается!

* При отсутствии лучей добиваются их появления на экране путем изменения положения (введения вправо) ручки «подстройка». Этой же ручкой устанавливается уровень синхронизации (устанавливается стабильное изображение сигнала). При отсутствии стабильного изображения несколько изменить частоту сигналов (на генераторе ГЗ-33).

Опробовать действие кнопки «Стирание»: при нажатии последней экран трубки должен ярко засветиться, при отпускании погаснуть.

Путем ряда проб произвести запись линии развертки; развертка устанавливается в режим «Однокр.», запуск производится от кнопки «Пуск».

При проведении пробных записей следует подобрать необходимую яркость записывающего луча.

При запоминании необходимо следить за тем, чтобы яркость (плотность) записывающего луча была не выше, чем это необходимо для осуществления нормальной записи при выбранной скорости развертки.

Запись производится при небольшом фоне экрана, наблюдаемом через тубус, для медленных разверток яркость фона можно убрать, Фон устанавливается ручкой «Яркость воспроизв.» Ближе к крайнему правому положению.

Пробные записи произвести в разных частях экрана трубки путем смещения луча по вертикали ручкой « ». Нажать кнопку « Стирание » : записанное изображение должно исчезнуть (стереться); прибор готов к следующей записи.

3. Порядок работы

Осциллограф С8-2 является сложным устройством и при его эксплуатации необходимо соблюдать ряд предосторожностей, чтобы обеспечить работоспособность и оптимальные характеристики индикаторного блока и всего прибора в целом.

Трубка очень чувствительна к току записывающего прожектора. Установка тока выше номинального приводит к образованию глубокого рельефа (изменение структуры диэлектрика) на мишени ЭЛТ, который в дальнейшем не стирается, эти остаточные следы всякий раз быстро проявляются на экране при каждой новой записи.

Внимание! При управлении яркостью лучей не поворачивать органы регулировки (ручки) за положение, при котором яркость луча достаточна для записи и наблюдения изображения через тубус.

Большая яркость луча при записи вызывает повреждение трубки. Работать всегда с тубусом.

Для предотвращения перегрузки по току записывающего прожектора в приборе предусмотрен ряд мер, частично обеспечивающих предохранение трубки от перегрузки:

а) запираание луча в отсутствие запуска развертки в любом положении ручек «Яркость лучей», «Грубо», «Плавно» и среднем положении ручек 1, 2, т.к. открытие прожектора при неподвижном луче даже при малом токе приводит к интегрированию (накоплению) заряда на диэлектрике и к порче мишени;

б) ступенчатое понижение уровня подсветного импульса при переключении разверток от быстрых скоростей к медленным в однократном режиме; это дает возможность автоматически поддерживать приблизительно постоянную яркость на разных длительностях развертки. Эта мера не освобождает оператора от частичной подрегулировки яркости пишущего луча в однократном режиме.

При работе в ждущем режиме с запуском от повторяющихся сигналов и в автоколебательном режиме ввиду многократного прочерчивания развертки от мишени воздействие понижения уровня подсветного импульса на яркость луча незначительное (до диапазона медленных разверток), поэтому требуются широкие пределы регулировки яркости при переходе развертки с диапазона на диапазон; при переключении диапазонов развертки в сторону повышения скоростей в этих режимах следует снижать яркость;

а) цветные секторы предупреждающего характера под ручками «Яркость лучей» и «Яркость воспроизв.»

При подобранном токе записывающих прожекторов в области зеленого сектора можно производить запись в других секторах ручки «Яркость воспроизв.», но для воспроизведения записи ручку следует перевести в зеленый сектор.

Подбирать ток записывающих прожекторов при установке «Яркость воспроизв.» В секторы желтый и красный без наличия фона экрана запрещается.

Осуществление записи в этих секторах без наличия фона путем увеличения тока (яркости) записывающих прожекторов приводит к недопустимому форсированию тока, что опасно для трубки.

Подбирать ток записывающих прожекторов следует только при наличии фона.

Кроме того, предотвращение порчи трубки обеспечивается правильным пользованием прибора, выполнением всех рекомендаций, изложенных в описании, и зависит непосредственно от оператора.

Порядок измерений следующий:

а) Режим запоминания.(при выполнении работы не используется).

Предварительно в режимах послесвечения и ждущего запуска развертка подготавливается к запуску сигналом, параметры которого соответствуют параметрам сигнала, исследуемого в однократном режиме (пробный запуск). Затем устанавливается режим запуска развертки «Однокр.», в котором возможен однократный запуск от первого из поступающих на вход синхронизации сигналов, а также запуск от нажатия оператором кнопки «Пуск». Для повторного запуска развертки сигналом синхронизации следует нажать кнопку «Готов», для запуска кнопкой «Пуск» предварительного нажатия кнопки «Готов» не требуется. Тумблер «Вход Z» должен быть выключен.

Работать в режиме запоминания в положении ручек запуска развертки «Ждущ.» И «А/колеб.» запрещается.

Подбор тока (яркости) записывающих прожекторов должен производиться при видимом фоне экрана, т.е. в правом положении ручки «Яркость воспроизв.» Запись при подобранном токе может производиться при любом положении ручки «Яркость воспроизв.» Проявление записи производится этой же ручкой вращением её по часовой стрелке (в зеленом секторе).

Отсутствие записи после запуска развертки говорит о недостаточном токе (яркости) записывающего луча при условии, что скорость осциллографируемого процесса не лежит выше предела максимально реализуемой скорости самой трубки (не более 500 км/с).

При записи сигнала с перепадом скоростей ток (яркость) следует подбирать для области сигнала, имеющей максимальную скорость, но следить за тем, чтобы этот ток не был велик для минимальных скоростей этого сигнала.

Стирание записанного изображения осуществляется нажатием кнопки «Стирание».

Рабочим участком трубки является поле девять дел. по вертикали и десять дел. по горизонтали.

Рабочим участком каждого луча является поле шесть делений по вертикали, десять по горизонтали с перекрытием полей три дел. Верхний участок является рабочим полем левого усилителя, нижний – правого.

б) Режим послесвечения.

Переход в режим послесвечения осуществляется выводом ручки «Послесвеч.» В правое положение с включением спаренного с ручкой выключателя.

В левом положении ручки – минимальное послесвечение, в правом – максимальное (почти запоминание). Эта продолжительность послесвечения определена при осциллографировании однократного сигнала или сигнала, следующего с минимальными посылками (доли Гц).

В режиме послесвечения следует также работать на слегка выявленном фоне экрана.

При осциллографировании периодических процессов с большой частотой следования послесвечение следует устанавливать ближе к минимальному значению (левое положение) и увеличивать при уменьшении частоты посылок сигнала (вращение по часовой стрелке).

В режиме послесвечения, оперируя ручками «Яркость воспроизв.» и «Послесвеч.», а также током записывающих лучей («Яркость лучей»), можно с достаточно хорошей яркостью наблюдать на экране скоростные процессы (до 500 км/с и более) очень редких посылок (до долей Гц) без заметного мерцания изображения.

При этом необходимо обеспечивать жесткую синхронность процесса. Оперировать током (яркостью) записывающего луча в режиме послесвечения следует также внимательно и не допускать превышения тока выше номинального.

Стирание остаточных следов, полученных при работе с длительным послесвечением, может быть произведено вращением ручки «Послесвеч.» В крайнее левое положение (малое послесвечение).

При работе с послесвечением развертку можно установить в любой режим запуска (однократный, ждущий, автоколебательный) в зависимости от конкретных требований к осциллографированию процесса.

в) Выключение прибора с сохранением записи.

Для сохранения записанного изображения при выключении прибора из сети необходимо проделать ряд операций, последовательность которых изложена ниже:

- погасить воспроизведение записанного сигнала вращением ручки «Яркость воспроизв.» В крайнее левое положение,
- вывести ручку «Яркость лучей», «Грубо—Плавно» в крайнее левое положение,
- запереть записывающие лучи и снять все сигналы, подаваемые на прибор, путем отключения кабелей и поставить развертку в заторможенный режим переключателем «Стоп»,
- Выключить накал записывающих лучей переключателем «Накал ЭЛТ» и по истечении 2–3 минут выключить прибор клавишей «Сеть—Выкл».

Трубка лучше сохраняет записанное изображение, если на ее экран не попадает прямой свет.

Поэтому еще до выключения прибора или сразу после этого необходимо экран трубки закрыть от света.

При включении прибора для воспроизведения записанного изображения необходимо:

- включить сетевое напряжение;
- включить «Накал ЭЛТ» (после включения анодных напряжений;
- воспроизвести сигнал ручкой «Яркость воспроизв.» Путем вращения ее по часовой стрелке.

г) Работа с усилителем вертикального отклонения. Балансировка усилителей.

Прежде, чем подать на входы исследуемый сигнал, необходимо произвести балансировку усилителя, если последний разбалансирован.

рован (в процессе эксплуатации балансировка периодически проверяется и подстраивается).

Сущность балансировки заключается в том, чтобы луч на экране не перемещался при повороте ручки плавной регулировки чувствительности (ручка «усиление»).

Балансировка производится в следующей последовательности;

- ручкой « ↑.» луч устанавливается в среднее положение;
- одновременным действием ручек «Усиление» и «Баланс» добиваются такого положения ручки

«Баланс», при котором плавная регулировка усиления не смещает луч по вертикали.

Усилитель считается сбалансированным, если и при переключении чувствительности, и при плавном её изменении луч на экране смещается по вертикали не более чем на 3 мм. Если при указанных манипуляциях ручками «Баланс» и «Усиление» балансировка усилителя не обеспечивается, следует подобрать идентичные по току и крутизне лампы 6Ж38П (Л1, Л2).

Корректировка чувствительности усилителей производится следующим образом:

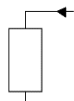
- переключатель входного делителя «В/дел.» Поставить в положение «0,1»;
- ручку «Усиление» – в положение «Калибр.»;
- калибрационный сигнал « □□□ .» от калибратора БК1–1 амплитудой 0,5 В подать на вход усилителя;
- потенциометром «Корр.усилен.» изображение на экране устанавливается равным 5 делениям шкалы.


д) Подача исследуемых сигналов на входы усилителя.

Подача сигналов может производиться:

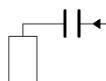
- открытым кабелем; при подключении которого входное сопротивление усилителя равно 500 кОм с параллельной емкостью порядка 100 пф (с учетом емкости кабеля);
- через выносной делитель 1:10 с выходным сопротивлением 1 мОм и параллельной емкостью 15 пФ при амплитуде исследуемого сигнала больше 0,5 В. Открытый кабель можно применять для подключения к цепям, не дающим искажений при емкостной нагрузке 100 пФ.

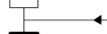
Усилитель по обоим входам («А», «В») имеет открытые и закрытые входы.



Открытый вход (положение ) предназначен для исследования процессов, содержащих постоянную составляющую или низкие частоты.

При подаче на вход усилителя исследуемых процессов с постоянной составляющей изображение на экране трубки смещается на величину этой составляющей и может выйти за пределы экрана.



Закрытый вход (положение ) предназначен для исследования электрических процессов, не содержащих в своем спектре низких частот, а также для отделения высокочастотного сигнала от постоянной составляющей. Постоянная времени закрытого входа равна примерно 25 мс.

При подаче сигнала на вход « В » его изображение на экране имеет обратную фактической полярность и при внутренней синхронизации развертки с канала «В» полярность синхронизации следует устанавливать обратной полярности поданного сигнала.

При подаче сигналов одновременно на оба входа (положение А–В) усилитель работает как дифференциальный, т.е. усиливает только разность между поданными на вход сигналами.

Оба усилителя имеют независимые входные делители. Это дает возможность раздельного ослабления сигналов, поданных на оба входа при использовании дифференциальных свойств усилителя.

Для обеспечения просмотра переднего фронта исследуемых импульсных процессов при внутренней синхронизации используются линии задержки, встроенные в тракты усилителей, которые обеспечивают задержку исследуемого сигнала примерно на 0,03 мкс от начала развертки.

е) Измерение амплитуды.

Измерение амплитуды исследуемых сигналов производится с помощью калиброванной чувствительности тракта усилителя. Усилитель калибруется при крайнем правом положении ручки «Усиление» (положение «Калибр.») Калибровку чувствительности можно производить при любом положении переключателя чувствительности

«В/дел.», при котором величина сигнала калибратора разворачивается на 4–5 делений шкалы по вертикали.

Амплитуда измеряемого сигнала будет равна величине установленной чувствительности «В/дел.», помноженной на размер изображения в делениях шкалы.

ж) Работа с генератором развертки.

Генератор может работать в автоколебательном, ждущем и однократном режимах; переключение производится с помощью переключателя режима запуска.

Автоколебательный режим запуска используется при работе прибора в режиме послесвечения при проверке и подготовке прибора к записи, а также при осциллографировании высокочастотных периодических процессов.

В этом режиме можно фактически установить и ждущий режим запуска развертки путем вращения ручки «Подстройка» против часовой стрелки до момента срыва автоколебательного запуска без подачи сигнала.

Ждущий запуск используется при работе прибора в режиме послесвечения, в этом режиме ручка «Подстройка» не действует. Уровень напряжения сигнала, от которого производится запуск, устанавливается ручкой «Уровень запуска».

Однократный режим используется при работе прибора в режиме запоминания. Запуск развертки может быть осуществлен путем нажатия кнопки «Пуск» или синхронизирующими сигналами. После формирования одного пилообразного напряжения генератор блокируется от последующего запуска.

Подготовка развертки (разблокировка) к новому запуску осуществляется нажатием кнопки «Готов», при этом должна загореться индикаторная лампочка, индуцирующая готовность развертки к следующему запуску. Прямой ход развертки на больших длительностях сопровождается увеличением яркости свечения лампочки «Готов», по окончании прямого хода лампочка гаснет.

Синхронизация развертки по желанию оператора может быть осуществлена исследуемым или внешним сигналом. В зависимости от этого переключатель вида синхронизации устанавливается в положение «Внутр.» или «Внешн.». В зависимости от величины сигнала при внешней синхронизации может быть произведено ослабление сигнала (в положении «1:10»).

Переключатель полярности при всех видах синхронизации ставится в соответствие с полярностью синхронизирующего сигнала. При этом в зависимости от параметров синхронизирующего сигнала ставится открытый или закрытый вход. При синхронизации любой полярностью (положение « $\square\square\square\square$ ») запуск развертки производится первым из серии идущих сигналов независимо от его полярности.

Выбор скорости развертки в каждом случае производится в зависимости от скорости осциллографируемого процесса.

В положении «Стоп» развертка заперта и не запускается ни от каких воздействий. Это положение используется при включении прибора, чтобы предотвратить случайный запуск развертки, и необходимо для сохранения сделанной ранее записи.

Смещение развертки по экрану (по горизонтали) производится ручкой « \leftrightarrow ».

з) Измерение временных интервалов.

Измерение временных параметров исследуемых процессов осуществляется методом калиброванных длительностей развертки.

Для определения длительности импульса или другого временного интервала необходимо:

- определить линейный размер измеряемого временного интервала по горизонтали и делениях шкалы экрана;
- определить по положению переключателя время/деление длительность одного деления установленной развертки;
- длительность временного интервала определяется как произведение линейного размера изображения в делениях на длительность одного деления развертки.

Точность калибровки длительностей развертки проверяется с помощью калибрационного напряжения в виде гармонического колебания, имеющего период $10 \text{ мкс} \pm 0,5\%$. Калибрационное напряжение снимается с блока калибратора. Проверка производится на развертке длительностью 10 мкс/дел. На рабочей части развертки (10 делений) должно уложиться 10 периодов калибрационного напряжения.

Корректировка длительности производится потенциометром «Корр.длит.», расположенным на лицевой панели блока развертки.

Точность измерения временных интервалов возрастает при увеличении длины измеряемого интервала на экране электроннолучевой трубки. Скорость развертки следует выбрать так, чтобы измеряе-

мый процесс занимал больше половины рабочей части экрана по горизонтали.

Осциллограф С1–19Б

назначение осциллографа С1–19Б/С1–19

Электронно–лучевой осциллограф С1–19Б (С1–19) предназначен для визуального наблюдения и исследования электрических напряжений в диапазоне частот от постоянного тока до 1 МГц, а также для измерения амплитуд и длительностей исследуемых сигналов.

технические данные осциллографа

По точности воспроизведения формы сигнала и измерения временных интервалов и амплитуд прибор, укомплектованный блоками БПУ–1 и БР–1, удовлетворяет требованиям, предъявленным ГОСТ 9810–69 к осциллографам III класса.

Рабочая часть экрана – 80 мм по горизонтали и 50 мм по вертикали.

Толщина линии луча не превышает 1 мм.

Минимальная частота следования развертки, при которой обеспечивается наблюдение исследуемого сигнала, равна 1 кГц.

Усилитель вертикального отклонения 1) осциллографа имеет полосу пропускания от постоянного тока до 1 МГц.

Неравномерность частотной характеристики не превышает 3 дБ, причем, до 250 кГц неравномерность не превышает 0,5 дБ.

Фазовые характеристики двух однотипных усилителей (БПУ–1) не отличается более, чем на 20° на частотах до 100 кГц.

1) В осциллографе, используемом в данной работе, усилители вертикального и горизонтального отклонения идентичны.

Нелинейность амплитудной характеристики усилителя вертикального отклонения не превышает 5% для частот до 250 кГц.

Вход усилителя вертикального отклонения осциллографа – закрытый или открытый – устанавливается переключателем входа. Максимально допустимое постоянное напряжение при закрытом входе – 400 В, при открытом – 200 В, с выносным делителем – 350 В. Максимально допустимый размах исследуемого сигнала – 200 В, с выносным делителем – 250 В.

Уменьшение чувствительности в усилителе вертикального отклонения производится в 10, 100 и 1000 раз с погрешностью – 10% и плавно с перекрытием не менее 10 раз.

Канал вертикального отклонения луча имеет два режима по чувствительности: 5 мм/мВ и 0,5 мм/мВ. В режиме 5 мм/мВ чувствительность по вертикальному отклонению не менее 5 мм/мВ, а в режиме 0,5 мм/мВ – не менее 0,5 мм/мВ.

Погрешность измерения амплитуд синусоидальных колебаний не превышает 10% в полосе частот от постоянного тока до 250 кГц.

Минимальный размер исследуемого сигнала, при котором обеспечивается класс точности осциллографа, составляет 20 мм по вертикали.

Измерение временных интервалов производится с помощью калибрационных меток.

Основная погрешность измерения временных интервалов не превышает – 10%. Минимальная длительность исследуемого временного интервала, при котором обеспечивается класс точности осциллографа, – 25 мксек.

Минимальная величина изображения исследуемого сигнала – 10 мм.

Дрейф усилителя постоянного тока осциллографа после часового прогрева не превышает 5 мВ за полчаса в любую сторону от средней линии экрана.

Внутренний источник калибровочного напряжения вырабатывает П-образные импульсы размахом 10 мВ, 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В с возможностью умножения на 0,2; 0,5; 1.

Основная погрешность выходного напряжения при температуре 20 ± 5 °C и относительной влажности $65 \pm 15\%$ не превышает – 3%. Дополнительная погрешность не превышает 1,5% в остальном интервале рабочих температур и влажности.

Источник калибровочных отметок времени позволяет получить на экране ЭЛТ яркостные отметки с периодом следования 5 мксек, 20 мксек, 100 мксек, 500 мксек, 2 мсек, 10 мсек, 50 мсек, 200 мсек с основной погрешностью не более 5% при температуре 20 ± 5 °C и относительной влажности $65 \pm 15\%$. Дополнительная погрешность не более 7% в остальном интервале рабочих температур и влажности.

В осциллографе предусмотрен выход отклоняющих напряжений каналов «X» и «Y».

Перемещение луча осциллографа обеспечивается не менее 50 мм вверх и вниз от центрального положения и не менее 50 мм влево и вправо от центра экрана в горизонтальном направлении.

Осциллограф нормально работает при напряжении сети 220 В $\pm 10\%$ частоты 50 Гц $\pm 1\%$ и 115 В $\pm 5\%$ частоты 400 **400** Гц $\frac{+7\%}{-3\%} 7\%$

Осциллограф выдерживает непрерывную работу в течение 8 часов.

Средняя наработка на отказ не менее 500 часов. Органы управления электронным лучом

Регулировка яркости луча дает возможность установить такую яркость на экране ЭЛТ, при которой четкость изображения исследуемого сигнала будет наилучшей.

Фокусировка луча («Фокус») дает возможность установить наилучшую четкость изображения исследуемого сигнала.

Смещение осциллограммы по вертикали производится потенциометрами «Плавно», «Грубо», « \uparrow » и « \downarrow ».

Смещение осциллограммы по горизонтали производится потенциометрами « \Leftarrow » и « \Rightarrow ».

органы регулировки исследуемого сигнала (по каналам «X» И «Y» идентичны)

Ослабление входного сигнала в отношениях 1:10; 1:100; 1:100 производится с помощью аттенюатора в соответствующих положениях переключателя «Делитель Y» сигнала.

Плавная регулировка усиления осуществляется потенциометром «Усиление Y».

Изменение максимального коэффициента усиления вертикального усилителя в 10 раз производится тумблером «Чувствительность 5 мм/мВ – 0,5 мм/мВ».

вспомогательные органы управления

Регулировка яркости освещения шкалы масштабной сетки производится потенциометром «Подсветка».

Выбор режима работы осциллографа по каналу «Y» определяется положением переключателя «верт.пластины». При положении «закор.» пластины закорочены. При положении «усил.Y» пластины подключены к выходу усилителя вертикального отклонения.

При положении «внешн.~» вход пластин закрыт. Исследуемый сигнал следует подавать на гнезда «пластины вертик.», находящиеся на плате заднего кронштейна осциллографа. При положении «внешн.=» вход пластин открытый, исследуемый сигнал следует подавать, как при положении «внешн.~». При положении «вых.Y» на гнезда «вертик.пластины» включается выход канала «Y».

Выбор режима работы осциллографа по каналу «Х» определяется положением переключателя «горизонт. пластины».

При положении «закор.» пластины закорочены. При положении «усил.Х» пластины подключены к выходу усилителя горизонтального отклонения. При положении «внешн.~» вход пластины закрытый.

Сигнал следует подавать на гнезда «пластины гориз.», находящиеся на плате заднего кронштейна осциллографа.

При положении «внешн. =» вход пластин открытый, сигнал следует подавать, как при положении «внешн.~».


При положении «вых.Х» на гнезда «гориз. пластины» подключается выход канала «Х».

Примечание. Следует помнить, что в положениях «внешн.=» и «вых.» переключателей «вертик. пластины» и «гориз. пластины» гнезда «пластины вертик.» и «пластины гориз.» находятся под потенциалом около 300 В по отношению к корпусу осциллографа.

Выключатель сети «СЕТЬ» находится с левой стороны вверху на передней панели прибора.

Предотвращение смещения линий развертки при регулировке усиления по вертикали осуществляется потенциометрами (плавно), (грубо) «балансир.».

Выбор выхода усилителя вертикального отклонения «вход У1» или «вход У2» закрытым или открытым производится переключателем входа.

Кроме перечисленных органов управления, на лицевой панели осциллографа расположены: экран электронно-лучевой трубки; разъемы выхода напряжения, калиброванного по амплитуде, « 1000Н»; входные коаксиальные разъемы «вход У 1 » и «вход У II».

включение прибора и предварительная регулировка

Перед включением сетевого кабеля в сеть переменного тока необходимо убедиться в правильности установки переключателя сетевого напряжения с встроенным в него предохранителем.

Проверив правильность включения переключателя сетевого напряжения и наличие соответствующего предохранителя в нем, выключатель сети ставится в положение «сеть» (вверху).

При этом ручки управления должны быть:

«Верт.пластины» – в положении «закор.»

«Гориз.пластины» – в положении «усил.Х».

«Яркость» – в положении крайнем левом.

«Фокус» – в положении среднем.

«Балансир.» – в положении среднем.

« $\downarrow\uparrow$ » – в положении среднем.

Остальные ручки могут находиться в произвольном положении. Через 1–2 мин. после загорания индикаторной лампочки, при повороте ручки «Яркость» вправо, на экране должна наблюдаться линия развертки. С помощью ручки «Яркость» и «Фокус» устанавливается нормальная яркость и фокусировка линии развертки. Ручками « \gg » и «Усиление X» линия развертки устанавливается в центре экрана длиной 90 – 100 мм.

Переключатель «верт.пластины» устанавливается в положение «Усил.У». Ручкой « \gg » линия развертки устанавливается в центре экрана.

Через каждые 5 минут в течение 30 минут прогрева производится балансировка усилителя вертикального отклонения.

Путем последовательной установки линии развертки в центр экрана: 1) при положении ручки «усиление У» в крайнем левом положении – ручкой « \gg » и 2) при положении ручки «усиление У» в крайнем правом положении – ручкой «балансир.» – добиваются отсутствия перемещения линии развертки по вертикали при регулировке усиления. Следует помнить, что в течение первых 30 минут работы осциллографа сползание нулевой линии усилителя значительно превышает величину, указанную в ТУ. Поэтому необходимо после 30 минут прогрева провести окончательную балансировку усилителя.

После проведения предварительных регулировок прибор готов к работе и можно приступить к проведению необходимых испытаний и измерений.

выбор режима усилителя вертикального отклонения

Для подсоединения осциллографа к исследуемой схеме служит щуп, коаксиальные кабели, насадка и штеккер, применение которых определяется удобством работы.

Пользуясь скачкообразным и плавным регулятором усиления, следует установить удобный размер изображения. Чтобы не сказывалась нелинейность амплитудной характеристики усилителя, высоту осциллограммы не следует устанавливать более, чем 50 мм.

При исследовании сигналов размахом больше 100 В тумблер «чувствительность» следует ставить в положение «0,5 мм/мВ в данном случае значительно уменьшается дрейф нулевой линии.

Для исключения влияния калибратора амплитуды на исследуемый сигнал при максимальном усилении следует ручку «калибр. напряж.» ставить в крайнее левое положение.

Генератор сигналов ГЗ–33

Генератор типа ГЗ–33 представляет собой источник синусоидальных электрических колебаний звуковых и ультразвуковых частот.

Технические данные

Диапазон частот для генератора ГЗ–33 от 20 до 200 000 Гц.

Погрешность генератора по частоте составляет $\pm(0,02 F + 1)$ Гц.

Уход частоты после 30 минут предварительного прогрева не превышает:

- за первый час работы – $0,0025 \cdot F$ Гц;
- за последующие семь часов дополнительно $0,0015 \cdot F$ Гц.

Пределы плавной расстройки по частоте $\pm 0,015 \cdot F$ Гц.

Погрешность вводимой расстройки составляет $\pm(0,003 \cdot F + 0,3)$ Гц.

Нелинейные искажения при нагрузке 600 Ом, подключенной к выходу аттенюатора, не превышают:

- при выходной мощности 0,5 Вт на частотах 400 – 5000 Гц 0,3%;
- на частотах 60 – 390 Гц, 5,1 – 20 кГц – 0,7%;
- при выходной мощности 5 Вт на частотах от 60 до 200 000 Гц – 3%.

Неравномерность частотной характеристики относительно частоты 1000 Гц при нагрузке 600 Ом, подключенной к выходу аттенюатора, и номинальной мощности генератора 0,5 Вт не превышает $\pm 0,5$ дБ в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц и ± 1 дБ в диапазоне частот от 20 до 200 кГц.

Выходное сопротивление генератора рассчитано на согласованные нагрузки 5; 50 и 600 Ом. Изменение выходного напряжения осуществляется плавно, а также с помощью аттенюатора ступенями через 10 дБ до 100 дБ относительно выходного уровня.

Погрешность деления аттенюатора при активной нагрузке 600 Ом не превышает:

- $\pm 0,5$ дБ в диапазоне частот 20–20 000 Гц для затуханий от +30 до –70 дБ

- $\pm 0,5$ дБ в диапазоне частот 20 000 – 200 000 Гц для затуханий от +30 до –30 дБ;

- ± 1 дБ в диапазоне частот 20 000 – 200 000 Гц для затуханий от –40 до –70 дБ.

Напряжение на входе аттенюатора контролируется стрелочным прибором, основная погрешность градуировки которого не превышает $\pm 2,5\%$ от верхнего предела измерения на частоте 50 Гц. Температурная погрешность вольтметра $\pm 0,1\%$ на 1 0 С.

Генератор питается от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

включение прибора

Вилку шнура питания включить в сеть переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В.

Поставить тумблер включения сети в положение «ВКЛ.», при этом должна загореться подсветка шкалы аттенюатора.

В случае необходимости получения большей точности и стабильности частоты, к работе следует приступить после 30 минут предварительного прогрева. После 8-часовой непрерывной работы прибор должен на время, не менее 1 часа, выключаться.

установка частоты

Частоты первого поддиапазона 20–200 Гц устанавливаются поворотом шкалы, при этом переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» находится в положении « $\times 1$ ».

Частота в герцах соответствует отсчету шкалы.

Частоты второго поддиапазона 200–2000 Гц устанавливаются поворотом шкалы, при этом переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» находится в положении « $\times 10$ » и отсчет шкалы умножается на 10.

Частоты третьего поддиапазона 2000 – 20 000 устанавливаются поворотом шкалы, при этом переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» находится в положении « $\times 100$ » и отсчет шкалы умножается на 100.

Частоты четвертого поддиапазона 20 000 – 200 000 Гц устанавливаются поворотом шкалы, при этом переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» находится в положении « $\times 1000$ » и отсчет шкалы умножается на 1000 (генератор типа ГЗ–34 четвертого диапазона не имеет).

регулировка и отсчет выходного напряжения

Величину выходного напряжения генератора можно изменить плавно ручкой «РЕГ.ВЫХОДА» и ступенями через каждые 10 дБ при помощи переключателя аттенюатора, имеющего гравировку «ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ» – «ОСЛАБЛЕНИЕ ДБ».

Переключение пределов шкалы в зависимости от выходного сопротивления производится переключателем «ВЫХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ Ω ».

При работе на сопротивления нагрузки значительно больше, чем 600 ом, для правильного отсчета выходного напряжения следует включить внутреннюю нагрузку тумблером «ВНУТР.НАГР.»

При увеличении гармонических искажений на низких частотах рекомендуется произвести баланс токов через отверстие в боковой стенке прибора «Баланс токов».

4. Теоретические данные

Фазо–частотная характеристика (ФЧХ) наряду с амплитудно–частотной характеристикой (АЧХ) является одной из важнейших характеристик любого измерительного преобразователя. Фазочастотная характеристика определяет сдвиг фаз между входным сигналом и выходным. При ее определении измеряют разность фаз между входным синусоидальным сигналом и выходным сигналом для ряда частот.

Выбор той или иной фазо–частотной характеристики измерительного преобразователя особенно важен при передаче сигналов сложной формы. В этом случае искажение сигнала может произойти не за счет различных амплитудных погрешностей для каждой из гармоник (влияние АЧХ), а за счет взаимного фазового сдвига гармоник. Для исключения такого искажения все гармоники должны сдвигаться на одну и ту же величину по оси времени, следовательно, их фазовые сдвиги (т.е. отношение временного сдвига к периоду) должны быть больше у более высоких частот, чем у низких, т.е. фазовый сдвиг должен изменяться линейно с возрастанием частоты гармоники. Таким образом $\phi = k \cdot \omega$.

На рис. 11.3.1 приведен пример искажения сложного сигнала при прохождении через преобразователь, АЧХ которого показана на рис. 11.3.1. г, а ФЧХ – на рис. 11.3.1. д.

Как уже указывалось, снятие ФЧХ любого электронного преобразователя (усилителя, делителя и т.д.) сводится к измерению разности фаз входного и выходного сигналов. Рассмотрим некоторые

способы измерения разности фаз между двумя синусоидальными сигналами.

Электронно–счетный метод измерения фазового сдвига между двумя напряжениями синусоидальной формы одинаковой частоты заключается в преобразовании фазового сдвига в пропорциональный временной интервал с последующим его измерением методом дискретного счета.

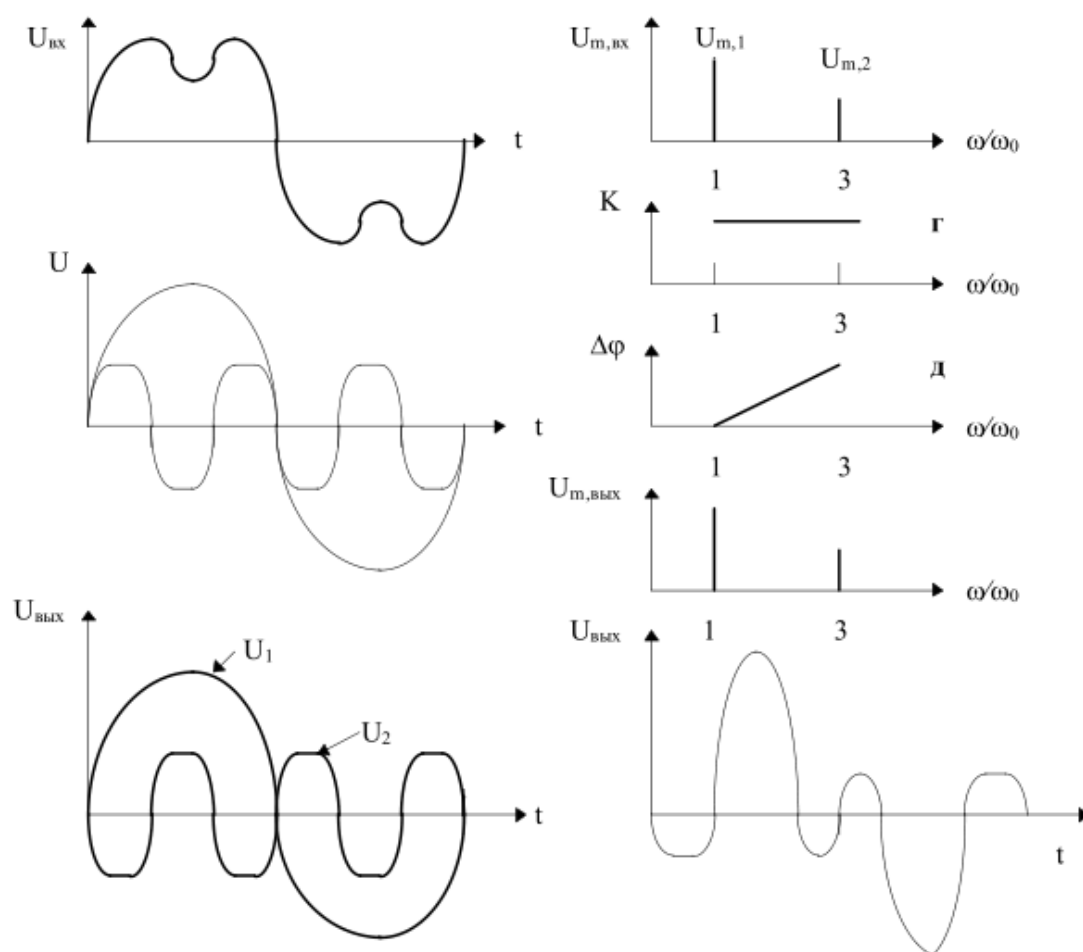


Рис. 11.3.1. Пример искажения сложного сигнала при прохождении через преобразователь

Фазометры, измеряющие фазовый сдвиг электронно–счетным методом и выдающие результаты измерения в цифровой форме, называются электронно–счетными фазометрами. В электронно–счетных фазометрах фазовый сдвиг между двумя сигналами определяют методом дискретного счета периода сигнала T и временного сдвига ΔT между сигналами с последующими вычислениями по формуле:

$$\Delta\varphi = 360^\circ \times \frac{\Delta T}{T}$$

На рис. 11.3.2. приведены временные диаграммы, поясняющие принцип измерения таких

фазометров. Сначала измеряют (рис. 11.3.2а,б) период сигнала T путем определения числа импульсов N кварцевого генератора периода T_0 , сосчитавших цифровым счетчиком за время, равное периоду сигнала, т.е.

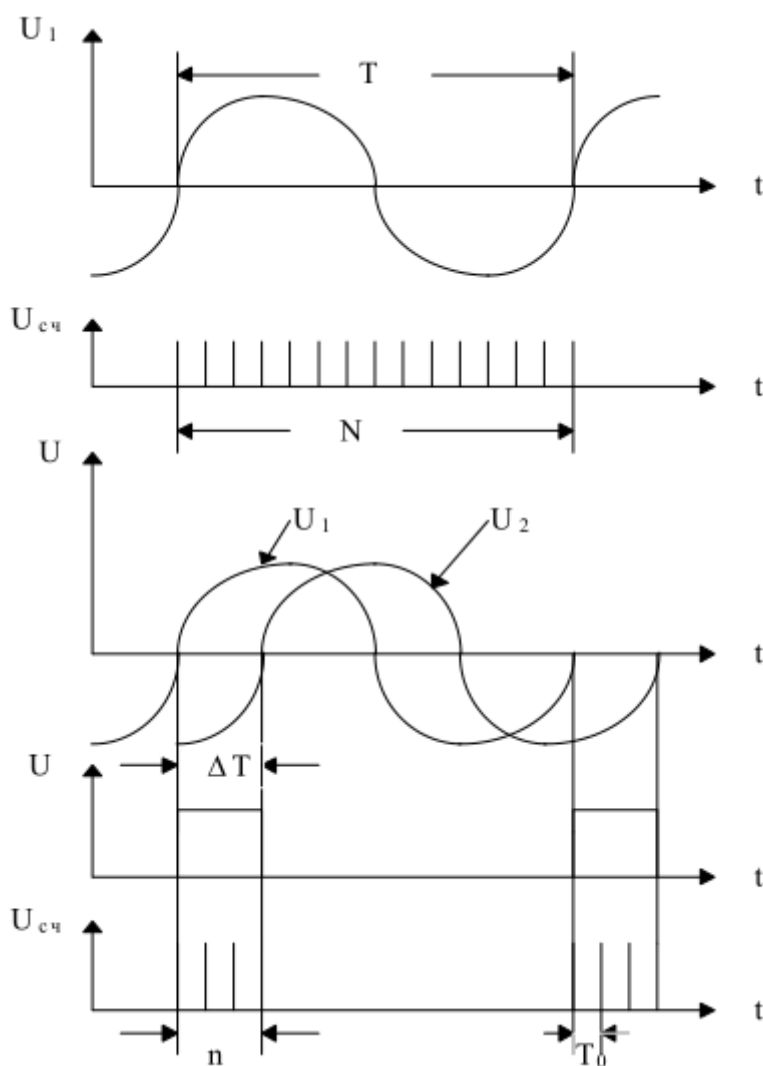


Рис. 11.3.2. Временные диаграммы напряжений электронно—счетного частотомера

Затем при подаче на фазометр обоих сигналов U_1 и U_2 фазовый сдвиг φ преобразует во временной интервал ΔT (рис. 2, в—д), который измеряют аналогично периоду:

$$T = N \times T_0$$

Фазовый сдвиг поэтому определяется следующим выражением

$$\varphi = 360^\circ \frac{n}{N}$$

Фазометры, измеряющие фазовый сдвиг по данной методике, позволяют получить высокую точность измерений только на низких частотах и значительных фазовых сдвигах из-за ошибки дискретности счета. Существенным недостатком таких фазометров является необходимость измерения периода сигнала с последующими вычислениями.

Компенсационный метод измерения фазового сдвига между двумя синусоидальными напряжениями одинаковой частоты заключается в сравнении измеряемого фазового сдвига с фазовым сдвигом, создаваемым образцовым фазовращателем. При этом равенство фазовых сдвигов отмечается фазометром непосредственной оценки или другим индикаторным устройством. При измерении фазовых сдвигов компенсационным методом (рис. 11.3.3) одно из напряжений подается на индикаторное устройство непосредственно, а другое – через образцовый фазовращатель.

Если в качестве индикаторного устройства используется вольтметр, то напряжения, между которыми измеряется фазовый сдвиг, включаются встречно. При этом равенство фаз устанавливается с помощью фазовращателя по минимальному показанию вольтметра. Отсчет фазового сдвига производится по шкале фазовращателя. В случае равенства амплитуд обоих напряжений, чего можно достигнуть путем регулировки коэффициента усиления обоих усилителей, равенство измеряемого фазового сдвига и сдвига, создаваемого фазовращателем, будет соответствовать нулевому показанию вольтметра.

При измерении фазового сдвига в диапазоне низких, средних и высоких частот в качестве индикаторного устройства широко используется электронный осциллограф. В этом случае измерение фазового сдвига производится по фигурам Лиссажу, которые обеспечивают индикацию равенства фаз с погрешностью не превышающей $\pm 1-2^\circ$.

Измерение фазового сдвига производится следующим образом. При установке шкалы фазовращателя на нуль одно из напряжений подается на вход вертикального, а другое – на вход горизонтального каналов осциллографа. На экране в общем случае будет наблюдаться эллипс. Затем, регулируя фазовый сдвиг образцовым фазовращателем, включенным последовательно в один из каналов, добиваются появления на экране прямой наклонной линии, появления на экране

прямой наклонной линии, соответствующей нулю угла фазового сдвига между напряжениями. Отсчет угла фазового сдвига производится по шкале фазовращателя. Максимальная точность измерения данным способом получается в случае, когда прямая наклонена под углом в 45° , что возможно при равенстве амплитуд обоих напряжений на пластинах электронно-лучевой трубки осциллографа.

Осциллографические методы измерения фазовых сдвигов.

Осциллографические методы измерения фазовых сдвигов, основанные на использовании электронных осциллографов, из-за их простоты очень широко применяются при измерениях фазовых сдвигов между двумя напряжениями одинаковой частоты, не требующих высокой точности.

Применяются в основном два способа измерения фазовых сдвигов с помощью осциллографа: первый – по осциллограммам напряжений (линейная развертка) и второй – по интерференционным фигурам (фигурам Лиссажу).

В первом случае на входы вертикальных каналов двухлучевого осциллографа подают два синусоидальных напряжения одинаковой частоты $U_1 = U_{m1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ и $U_2 = U_{m2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$ между которыми измеряется фазовый сдвиг. На рис. 11.3.3. приведены осциллограммы напряжений двухлучевого осциллографа при совмещении горизонтальной развертки лучей в одну линию. Измерив линейные размеры L и l осциллограмм, соответствующих периоду напряжений T и временному сдвигу Δt , фазовый сдвиг определяют из выражения

$$\varphi = 360^\circ \times \frac{\Delta t}{T} = 360^\circ \cdot \frac{l}{L}$$

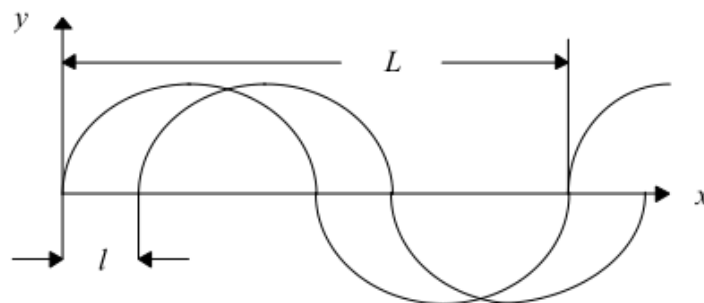


Рис. 11.3.3. Изображение двух сдвинутых по фазе сигналов на экране осциллографа

Погрешность измерения фазового сдвига данным способом зависит от погрешности измерения линейных размеров L и l и от идентичности фазовых характеристик вертикальных каналов и составляет

5–10%. Иногда для удобства измерений синусоидальные напряжения предварительно преобразуют в последовательность коротких импульсов, соответствующих моментам перехода синусоидального напряжения через нуль от отрицательного полупериода к положительному, период которых равен периоду синусоидального напряжения. В данном случае фазовый сдвиг измеряется между двумя импульсами аналогичным образом.

При измерении фазового сдвига между двумя напряжениями по фигурам Лиссажу одно из них подается на вход вертикального, а другое – на вход горизонтального каналов. При этом на экране осциллографа будет наблюдаться фигура Лиссажу в виде эллипса. Параметры эллипса (рис. 11.3.4.) зависят от фазового сдвига между напряжениями и поэтому могут служить мерой угла фазового сдвига между ними. Измерив параметры эллипса величину находят по одному из соотношений

$$\varphi = \left| \arcsin \frac{y}{Y} \right| = \left| \arcsin \frac{a \times b}{X \times Y} \right| = \left| \arcsin \frac{b}{2\sqrt{2}x} \right|$$

где а,в – длины малой и большой осей эллипса; х,у – проекции эллипса на оси координат.

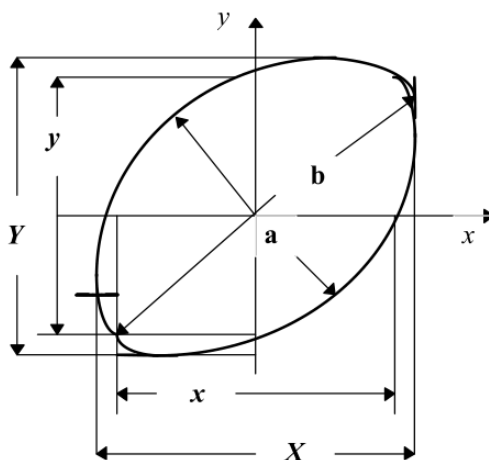


Рис. 11.3.4. Параметры эллипса.

При равенстве напряжений разверток обоих каналов осциллографа результат измерения подсчитывается по формулам

$$\varphi = \left| 2 \times \arcsin \frac{a}{bY} \right| = \left| 2 \times \arcsin \frac{a}{2\sqrt{2}y} \right| = \left| 2 \times \arcsin \frac{b}{2\sqrt{2}x} \right|$$

Недостатком этого способа является измерение фазового сдвига только в диапазоне 180° без определения знака, а также необходимость вычисления угла φ . Погрешность измерения способом максимальна ($\pm 10^\circ$), когда измеряемые углы фазового сдвига близки к

90 °. При измерении фазовых сдвигов 0 или 180 ° погрешность достигает 2–3 %. Если сигнал содержит высшие гармоники, величина которых составляет 2% общего напряжения, то указанные ошибки возрастают примерно в 2 раза.

5. Контрольные вопросы

Что такое фазо–частотная характеристика?

Как она влияет на передачу сигналов сложной формы?

Какие известны способы измерения разности фаз? На чем они основаны?

Почему при измерении методом эллипса погрешность максимальна, когда измеряемый сдвиг фаз близок к 90 ° ?

Лабораторная работа №12 «Измерение искажений электрических сигналов микропроцессорным измерителем».

1. Цель занятия

Изучить структурную схему, технические характеристики и назначение органов управления измерителя нелинейных искажений типа С6–11.

Измерение нелинейных искажений четырёхполюсника.

2. Литература

Шумилин И.П. Измерения в технике проводной связи. – М., Связь 1980.

Хромой Б.П., Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения – М., Радио и связь, 1985.

Методические указания к лабораторной работе.

3. Домашнее задание

Изучить принцип измерения коэффициента нелинейных искажений методом подавления основной гармоник по приведенной выше литературе.

Подготовить бланк отчета.

Подготовить ответы на вопросы самоконтроля.

4. Приборы и оборудование

Измеритель коэффициентов нелинейных искажений типа С6–11.

Измеряемый четырехполюсник.

Осциллограф С1–137.

Измерительный генератор Г6–46.

5. Указание мер безопасности

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо руководствоваться действующей в лаборатории инструкцией по ТБ.

6. Порядок выполнения работы

Проверка подготовки студентов к занятию по вопросам для самоконтроля.

Выполнить задание 1. Получить вариант выполняемого задания и согласно таблице 12.6.1 выбрать исходные данные.

Табл.12.6.1. Исходные данные для выполнения задания 1

№ варианта	$U_{ГЕН}, В$	$F_{ГЕН}, Гц$
1	2,5	17000
2	1,8	10000
3	3,5	12000
4	2,0	20000
5	3,0	25000

Изучить принцип действия измерителя НИ С6–11 по структурной схеме рисунка 12.6.1.



Рис. 12.6.1 – Схема измерений для выполнения задания 1

Изучить технические характеристики измерителя НИ.

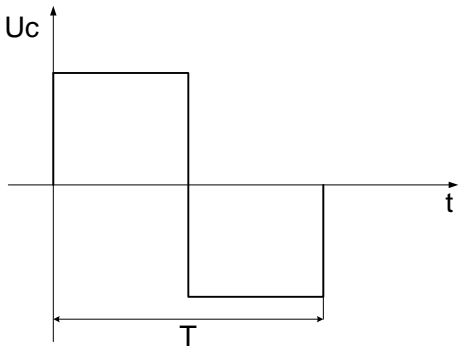
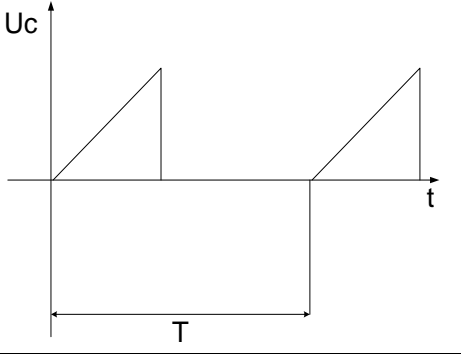
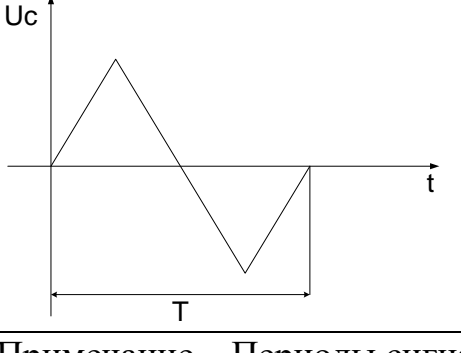
Изучить назначение органов управления прибора С6–11.

Подготовить прибор к работе согласно МУ.

Собрать схему измерений по рисунку 1 и измерить коэффициент нелинейных искажений, результаты измерений занести в таблицу 12.6.2.

Табл.12.6.2. Результаты выполнения задания 1

Форма сигнала	$F_{Г6-26}, Гц$	$F_{С6-11}, Гц$	$KГ, \%$
1	2	3	4

			
			
			
Примечание – Периоды сигналов между собой равны			

Выполнить **задание 2**. Собрать схему измерений по рисунку 12.6.2 и измерить коэффициент нелинейных искажений четырехполосника, результаты измерений занести в таблицу 12.6.4.

Табл.12.6.3.Таблица перерасчета K_{Γ}

Показания прибора С6–11 $K_{\Gamma 2}, \%$	Действительное значение коэффициента гармоник $K_{\Gamma 1}, \%$
10	10,05
11	11,07
12	12,09
13	13,11
14	14,14
15	15,17
16	16,20
17	17,25

18	18,30
19	19,35
20	20,41
21	21,48
22	22,55
23	23,663
24	24,72
25	25,82

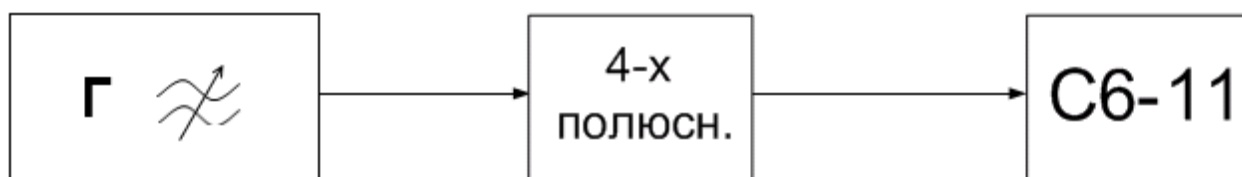


Рис. 12.6.2. Структурная схема измерений для выполнения задания 2

Табл.12.6.4.Результаты выполнения задания 2

Форма сигнала	$F_{Г6-26}$, Гц	$F_{С6-11}$, Гц	$K_{Г}$, %



7. Методические указания

1) Технические характеристики измерителя нелинейных искажений (НИ) типа С6–11.

Измеритель нелинейных искажений автоматический С6–11 предназначен для автоматического измерения коэффициента гармоник (K_G) в диапазоне частот 20 Гц ... 199,9 кГц.

Прибор измеряет также среднеквадратическое значение напряжения переменного тока в диапазоне частот 20 Гц ... 1 МГц.

В режиме измерения коэффициента гармоник прибор измеряет частоту входного сигнала в диапазоне 20 Гц ... 199,9 кГц.

Напряжение питания сети (220 ± 22) В частотой (50 ± 0.5) Гц с содержанием гармоник до 50%.

2) Принцип действия измерителя коэффициентов НИ типа С6–11.

Прибор измеряет коэффициент гармоник (K_G) в процентах, определяемый по формуле:

$$K_{G2} = \frac{U_{BG}}{U_{IS}} * 100\%$$

где: U_{BG} – среднеквадратичное значение напряжения высших гармоник; U_{IS} – среднеквадратичное значение напряжения исследуемого сигнала.

Т.к. действительное значение коэффициента гармоник в процентах определяется по формуле:

$$K_{G1} = \frac{U_{BG}}{U_1} * 100\%$$

где U_1 – среднеквадратическое значение напряжения первой гармоники.

то при показаниях прибора до 10% разница между действительным значением коэффициента гармоник $K_{Г1}$ и величиной $K_{Г2}$ не существенна, и отсчет коэффициента гармоник следует производить непосредственно по показанию прибора С6–11.

При показаниях прибора более 10% для определения действительного значения коэффициента гармоник $K_{Г1}$ следует пользоваться формулой:

$$K_{Г1} = \frac{K_{Г2}}{\sqrt{1 - (K_{Г2}/100)^2}} * 100\%$$

где $K_{Г2}$ – показания прибора, в процентах.

Все измерительные операции в приборе автоматизированы.

Автоматическая калибровка, обеспечивает стабилизацию входного напряжения режекторного фильтра во всем диапазоне входных напряжений.

В приборе осуществляется автоматическое переключение и индикация пределов измерения.

Структурная схема С6–11 показана на рис. 12.8.3.

Автоматическое входное устройство (АВУ) предназначено для стабилизации выходного напряжения при измерении входного напряжения в пределах от 0 до 100 В.

Электронно–счетный частотомер (ЭСЧ) позволяет измерять частоту исследуемого сигнала при измерении коэффициента гармоник, т.е. он выполняет следующие функции:

измерение и индикация частоты входного сигнала;

управление частотой квазирезонанса режекторного фильтра.

Для исключения первой гармоники использован двухсекционный активный режекторный фильтр на базе моста Вина, управляемый цифровым кодом от электронного частотомера.

Вольтметр прибора измеряет среднеквадратичное значение напряжения переменного тока.

Блок питания работает от сети переменного тока частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц, напряжением (220 ± 22) В.

Назначение органов управления.

В центре панели расположен миллиамперметр для отсчета измеряемой величины $K_{Г}$, в процентах, отсчитывать по верхней или средней шкале в зависимости от выбранного предела.

В правой верхней части панели расположено табло измеряемой частоты входного сигнала. В левой нижней части расположен переключатель КОД РАБОТ, имеющий девять положений:

К_Г – режим измерения коэффициента гармоник;

V – режим измерения напряжения;


▼ – режим калибровки;


dB – режим, позволяющий производить отсчет измеряемой величины в децибелах при соответствующей калибровке;

Фильтр 1kHz – включение фильтра верхних частот с частотой среза 1kHz.


Фикс.Г – фиксация показаний частотомера;

«» – ручной режим выбора предела измерений;

«» – увеличение чувствительности;


«» – уменьшение чувствительности.

Гнездо «» – предназначено для подачи входного сигнала;

«» – для подключения осциллографа;




«▼ К_Г» и «▼ V» – переменные резисторы для калибровки прибора в режимах измерения коэффициента гармоник и измерения напряжения соответственно.

Тумблер КОНТРОЛЬ 50kHz для проверки работоспособности частотомера.

Клеммы «+» и «-» с надписью под ними « IV» – для подключения внешних регистрирующих устройств.

Подготовка прибора к работе (калибровка)

Включить тумблер «Сеть» на передней панели, прогреть прибор в течении 15 минут. В приборе предусмотрен встроенный контроль работоспособности прибора в режиме измерения коэффициента гармоник и в режиме вольтметра, который осуществляется в изложенной ниже последовательности.

Проверка работоспособности встроенного вольтметра осуществляется при нажатых кнопках «V», «», «▼», переключателя «Род работ». Кнопками «» или «» выведенными на переднюю панель, установить стрелку прибора на отметку 10 (в конце шкалы).

Проверка работоспособности прибора в режиме К_Г осуществляется при нажатых кнопках «К_Г», «▼» переключателя «Род работ» органом регулировки «▼ К_Г», выведенным на переднюю панель, установить стрелку прибора на отметку 8. При этом на табло индикации пределов индицируется 10%, частота калибровки 7,2 kHz.

Проверка работоспособности частотомера проводится при отжатых кнопках переключателя «Род работ». Тумблер «Контроль 50 kHz» на задней стенке прибора установить в верхнее положение. На табло частотомера при этом должно индизироваться частота 50.0 kHz. При провидении предыдущих двух проверок тумблер «Контроль 50 kHz» должен быть в нижнем положении.

Проведение измерений

Включить тумблер «Сеть» на передней панели и прогреть прибор.

Соединить прибор с исследуемым объектом с помощью кабеля.

Тумблер «Контроль 50 kHz» на задней стенке прибора установить в нижнее положение.

Нажать кнопку «Кг» переключателя «Род работ». Остальные кнопки не нажаты.

После установления показания отсчитать по измерительному прибору величину коэффициента гармоник, при этом необходимо учитывать, что на табло индикации шкалы измерения индуцируется предел шкалы, на котором проводятся измерения и единицы измеряемой величины. По табло частотомера определяют частоту исследуемого сигнала. При показаниях прибора более 10% для определения действительного значения коэффициента гармоник Кг следует пользоваться таблицей 2 или формулой

$$K_{г1} = \frac{K_{г2}}{\sqrt{1 - (K_{г2}/100)^2}}$$

где $K_{г2}$ – показания прибора С6–11 в процентах

8. Краткие теоретические сведения

В каналах и трактах связи прохождение сигнала может сопровождаться появлением новых частотных компонентов, отсутствующих во входном сигнале. В этом случае говорят о нелинейных искажениях сигнала. Нелинейные искажения представляют собой сложное явление, зависящее от многих параметров: состава электрической цепи, её амплитудно–частотной характеристики, формы сигнала, его амплитуды и т.п.

Одним из наиболее распространенных методов измерения нелинейных искажений является метод подавления основной гармоники, используемый при построении специальных приборов – измерителей нелинейных искажений. Упрощенная функциональная схема такого прибора показана на рис. 12.8.3.

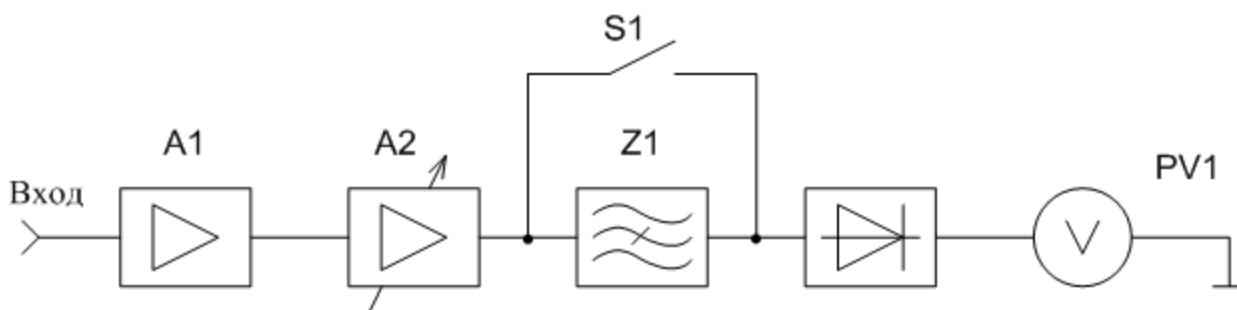


Рис. 12.8.3 – Структурная схема прибора С6–11

Измерения производятся в два этапа.

Первый этап – калибровка. В этом случае режекторный фильтр Z1 замыкается накоротко выключателем S1. Регулирую коэффициент широкополосного усиления A2, добиваются максимального отклонения стрелки вольтметра PV1.

$$D1 = 100\%$$

$$D1 = U * Ka1 * Ka2$$

где U – среднеквадратическое напряжение на входе; Ka1 – коэффициент усиления A1; Ka2 – коэффициент усиления A2.

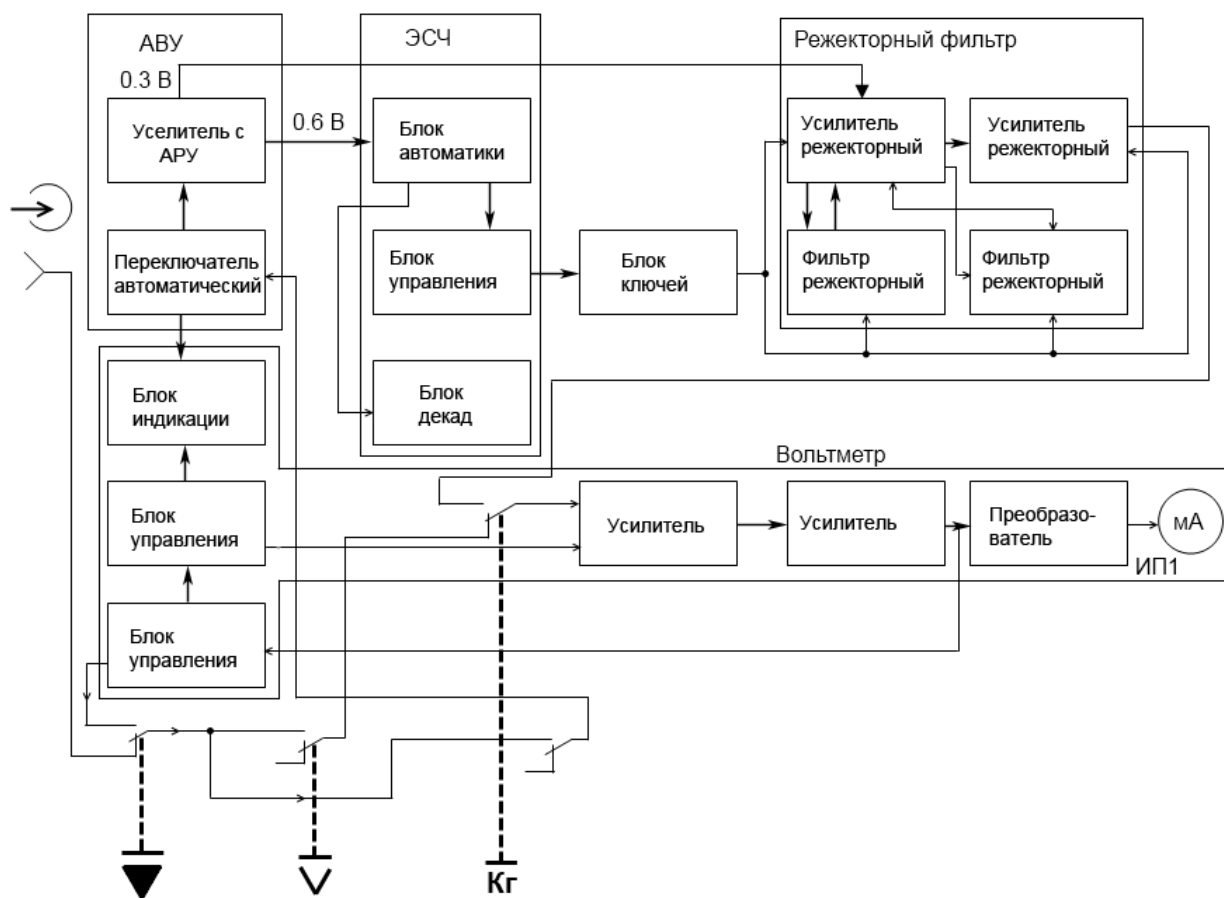


Рис. 12.8.4 – Функциональная схема прибора С6-11

Второй этап – измерение. При этом включается режекторный фильтр Z1. Он настраивается до получения минимального напряжения на приборе PV1 (на частоту первой гармоники) и в этом случае из сигнала исключается первая гармоника. Показания индикатора:

$$D2 = Ka1 * Ka2 * U_{вг}$$

где $U_{вг}$ – среднеквадратическое значение внешних гармонических составляющих;

$$d2 = d1 * U_{вг}/U$$

$$d2 = U_{вг}/U * 100\% \approx Kг.$$

Таким образом, прибор покажет значение $Kг$ в процентах. Недостатки данного метода:

при измерении необходимо выполнить две операции – калибровку и измерение;

необходима точная настройка режекторного фильтра;

измерительный генератор, который должен использоваться для подачи сигнала на вход измеряемого объекта, должен иметь стабильную частоту и амплитуду.

Однако данный метод является значительно менее трудоемким, чем метод анализа напряжений

9. Содержание отчета

Наименование и цель лабораторной работы.

Перечень приборов и оборудования.

Структурную схему измерителя нелинейных искажений С6–11.

Графики и таблицы с результатами измерений.

Анализ результата измерений.

10. Контрольные вопросы

Поясните назначение основных органов управления, расположенных на передних панелях приборов.

Поясните процесс измерения K_r при помощи С6–11.

Можно ли по форме выходного сигнала четырехполюсника определить наличие нелинейных искажений?

Перечислите основные технические характеристики прибора С6–11.

Напишите принцип измерения напряжения сигнала прибором С6–11.

Лабораторная работа №13 на тему: «Измерение коэффициента модуляции амплитудно–модулированного сигнала».

1. Цель работы

- 1) Исследовать амплитудного модулятора в различных режимах работы;
- 2) Измерить коэффициент модуляции.

2. Теоретические сведения

Для эффективной передачи сигналов с помощью радиоволн необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в диапазон достаточно высоких частот. Данная процедура в радиоэлектронике называется модуляцией.

Наиболее простым и распространённым видом модуляции является амплитудная модуляция (АМ), при которой по закону управляющего сигнала изменяется амплитуда высокочастотных колебаний, а частота и начальная фаза остаются постоянными

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Здесь $U(t)$ – амплитуда высокочастотного колебания; $\omega_0 = 2\pi f$ – частота несущего колебания; φ_0 – начальная фаза колебания.

Кривая, соответствующая изменению амплитуды высокочастотного колебания, называется огибающей.

Рассмотрим простейший случай АМ колебаний, когда огибающая является чисто гармоническим сигналом. Если для простоты принять, что начальные фазы высокочастотного колебания и огибающей равны нулю, то выражение для АМ колебания можно записать следующим образом:

$$u(t) = U(t)\cos\omega_0 t = (U_0 + \Delta U \cos\Omega t)\cos\omega_0 t = U_0(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_0 t$$

где $\Omega = 2\pi F$ – частота сигнала; $m = \Delta U/U_0$ – коэффициент (или глубина) модуляции.

Для неискажённой передачи сигнала коэффициент модуляции не должен быть больше единицы $0 \leq m \leq 1$.

Если обозначить U_{max} и U_{min} максимальное и минимальное значения напряжений высокой частоты, то можно записать:

$$U_{max} = U_0(1 + m);$$
$$U_{min} = U_0(1 - m)$$

Отсюда следует

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

Амплитуда высокочастотного колебания меняется по закону модулирующего сигнала.

Из уравнения (2) следует, что процесс модуляции сводится к перемножению двух временных функций, одна из которых является управляющим (низкочастотным) сигналом, а другая – управляемым (высокочастотным) сигналом. Спектр АМ колебания легко определяется из выражения (2). Для этого раскроем скобки и выполним преобразования:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = \\ &= [\cos \omega_0 t + 0,5 m \cos(\omega_0 + \Omega) t + 0,5 m \cos(\omega_0 - \Omega) t] = \\ &= U_0 \cos \omega_0 t + \frac{m U_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega) t + \frac{m U_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega) t. \end{aligned}$$

Первое слагаемое в правой части выражения (4) представляет собой исходное колебание несущей частоты, второе слагаемое называется верхней боковой частотой, третье слагаемое – нижней боковой частотой.

Таким образом, спектр АМ колебания при модуляции гармоническим сигналом состоит из трёх линий на частотах: ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$.

Полная ширина спектра сигнала = 2Ω .

Описание схем опытов

Объект исследования:

Амплитудный модулятор, собранный на основе биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. Его схема приведена на рис. 13.3.1.

Назначение схемных элементов:

Q1 – транзистор; служит в качестве нелинейного элемента; с его помощью происходит сложением колебаний от двух генераторов переменного напряжения;

C1 – разделительный конденсатор; развязывает по постоянному току вход каскада и выход источника сигнала (выход предыдущего каскада) и связывает их по переменному току; вызывает завал амплитудно–частотной характеристики (АЧХ) в области нижних частот;

C2 – конденсатор, входящий в состав колебательного контура L1C2 в цепи коллектора;

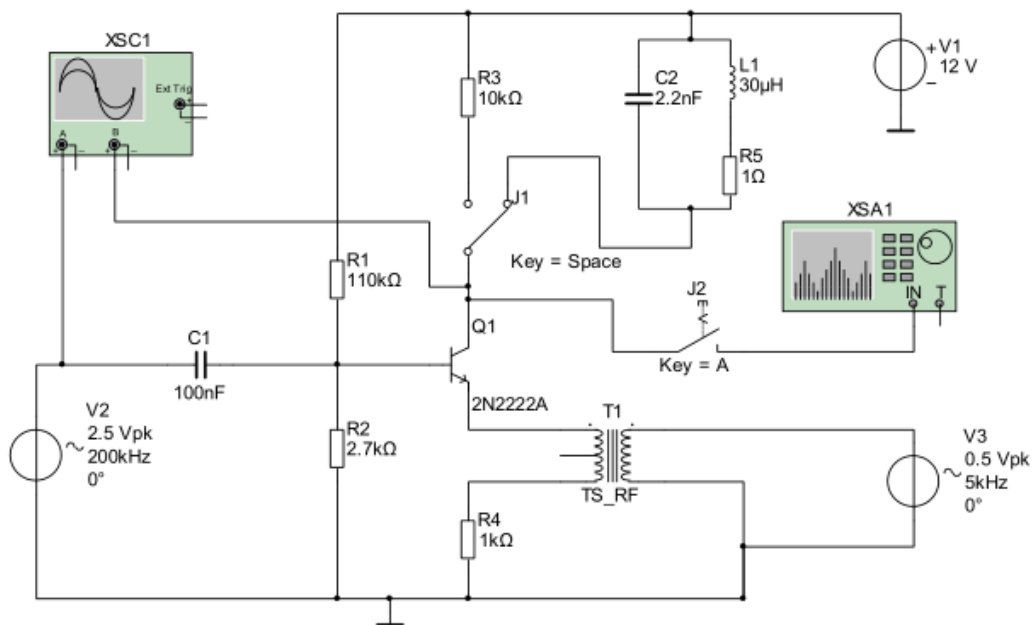


Рис. 13.3.1. Схема опыта для исследования амплитудного модулятора на биполярном транзисторе.

R1, R2 – резистивный делитель постоянного напряжения от источника V1; задаёт постоянное напряжение на базу транзистора, обеспечивая заданный рабочей точкой ток коллектора I_k^0 ; от величины сопротивлений R1 и R2 зависит входное сопротивление каскада, низкочастотная постоянная времени входной цепи, а также стабильность рабочей точки (режима по постоянному току) каскада на биполярном транзисторе;

R3 – резистор в цепи коллектора транзистора; преобразует изменение тока коллектора, вызванное действием входного сигнала, в выходное напряжение сигнала; является нагрузкой каскада, от величины сопротивления которой зависит коэффициент усиления каскада; определяет (при заданном токе I_k^0) постоянное напряжение между коллектором и эмиттером;

R4 – резистор в цепи эмиттера; служит для стабилизации рабочей точки (режима по постоянному току), во многом определяя её положение на семействе выходных (стоковых) вольт–амперных характеристик транзистора.

Источники питания:

V1 – источник постоянного напряжения для питания транзистора;

V2 – источник переменного высокочастотного напряжения, используемого в качестве модулированного колебания;

V3 – источник переменного низкочастотного напряжения, которое используется в качестве модулирующего колебания.

Измерительные приборы:

XSC1 – осциллограф; используется для контроля формы входного и выходного сигналов;

XSA1 – анализатор спектра; используется для определения спектра выходного сигнала.

Ход работы

Определение влияния амплитуды источника модулирующего напряжения V3 на коэффициент модуляции.

Создайте модель для исследования амплитудного модулятора в соответствии с принципиальной электрической схемой, приведённой на рис. 13.3.1.

Установите параметры источников сигналов V2, V3 и значения элементов L1, C2, R5 в соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем и табл.13.4.1

Табл.13.4.1.

Номер варианта	Амплитуда источника сигнала V2, В	Частота источника сигнала V2, кГц	Амплитуда источника сигнала V3, В	Частота источника сигнала V3, кГц	L1, мкГн	C2, нФ	R5, Ом
1	0,5	15	0,1	3	300	3,6	12
2	0,5	200	0,1	5	620	1,0	51
3	0,5	450	0,1	7	62	2,0	3
4	0,5	610	0,1	3	30	2,2	1
5	0,5	255	0,1	7	300	1,3	57
6	0,5	185	0,1	4	620	1,2	47
7	0,5	515	0,1	8	62	1,5	2
8	0,5	405	0,1	6	150	1,0	6,2
9	0,5	180	0,1	2,5	150	5,1	1,5
10	0,5	295	0,1	2	62	47	1

роцедура исследования:

1. Включить модель и наблюдать АМ–сигнал на входе В осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale).

2. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа.

3. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher).

4. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

5. Повторить измерения по пп. 1–4, увеличивая амплитуду источника V3. Измерения проделать для следующих значений: $V_3 = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ и 5 В.

6. Провести расчёт коэффициентов модуляции по полученным данным (см. расчётные формулы в разделе «Теоретические сведения»). Результаты занести в табл.13.4.2. Построить график зависимости $m = f(V_3)$.

Таблица 13.4.2.

	Опытные значения							
V3, В								
U _{max}								
U _{min}								
m								

Определение влияния амплитуды источника модулированного напряжения V2 на форму АМ–сигнала.

Процедура исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_3 = 0,5$ В.

2. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_2 = 1$ В.

3. Включить модель и наблюдать АМ–сигнал на входе В осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale).

4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа.

5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher).

6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

7. Повторить измерения по пп. 3–6, увеличивая амплитуду источника $V2$. Измерения проделать для следующих значений: $V2 = 1,5; 2; 2,5$ В.

Определение спектрального состава выходного сигнала при нелинейном режиме работы усилителя.

Процедура исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V2 = 0,5$ В.

2. Подключить резистор $R3$ в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа $J1$ (это можно сделать, нажав клавишу Space).

3. Включить модель и наблюдать АМ–сигнал на входе В осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale).

4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа.

5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher).

6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

7. Подключить к коллектору транзистора анализатор спектра при помощи ключа $J2$ (это можно сделать, нажав клавишу A).

8. Включить модель и определить спектр выходного сигнала.

9. Выключить модель.

10. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher).

11. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

Определение спектрального состава выходного сигнала модулятора.

Процедура исследования:

1. Подключить контур $L1C2$ в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа $J1$ (это можно сделать, нажав клавишу Space).

2. Включить модель и определить спектр выходного сигнала.

3. Выключить модель.

4. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher).

5. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

Экспериментальное исследование при помощи встроенного в Multisim источника амплитудно–модулированного напряжения.

Используемые приборы

Амплитудный модулятор (AM Modulator)

Осциллограф (Oscilloscope)

Анализатор спектра (Spectrum Analyzer)

Опыт 1.

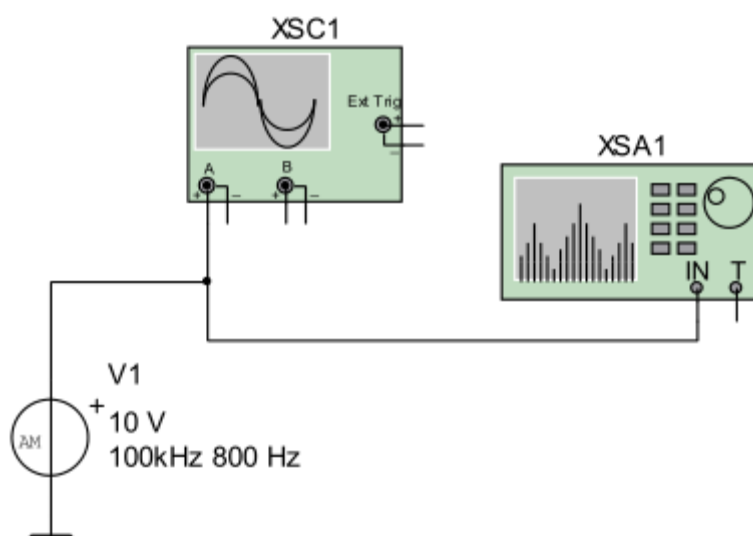


Рис. 13.4.1. Схема амплитудного модулятора

1. Соберите схему, изображённую на рис. 13.4.1.

2. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей амплитуды (Carrier Amplitude) 10 В, значение несущей частоты (Carrier Frequency) 100 кГц, частоту модуляции (Modulating Frequency) 800 Гц и коэффициент модуляции (Modulation Index) 0.6.

3. Кликните на пиктограмме осциллографа. Установите масштаб по оси времени 1 мс/дел., а канала А (Channel A) – 10 В/дел. Выберите автоматический пуск и связь по постоянному току.

4. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Установите параметры масштаба: диапазон частот (Span) 10 кГц, центральная частота 100 кГц и амплитуду (Amplitude) = LIN.

5. Запустите процесс моделирования.

6. Кликните на пиктограмме осциллографа. Включите отображение осциллограммы на плоттере (View–Grapher). Измерьте частоты несущей и модулированного сигнала, сравните полученные результаты с частотами амплитудного модулятора.

7. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Включите отображение спектра на плоттере (View–Grapher). Скопируйте, или нарисуйте спектр амплитудно–модулированного колебания. В открывшемся окне–экране, используя вертикальный маркер, исследуйте амплитудный спектр, измерьте частоты нижней и верхней боковой полосы, а также частоту несущей. Сравните с теоретическими значениями, запишите полученные результаты (табл.13.4.3).

Рабочие формулы

Нижняя боковая частота:

$$f_{\text{ниж}} = f_{\text{ц}} - f_{\text{мод}}$$

Верхняя боковая частота:

$$f_{\text{верх}} = f_{\text{ц}} + f_{\text{мод}}$$

Табл.13.4.3

	Опытные значения	Теоретические значения
Нижняя частота боковой полосы		
Верхняя частота боковой полосы		

Опыт 2.

1. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей частоты 200 кГц, частоту модуляции 500 Гц, коэффициент модуляции 1.

2. Запустите процесс моделирования и исследуйте полученные результаты во временной и частотной областях.

3. Получите осциллограмму и спектр амплитудно–модулированного колебания (для этого надо включить отображение осциллограммы и спектра на плоттере (ViewGrapher)). Скопируйте или нарисуйте осциллограмму и спектр АМ–колебания.

4. Установите коэффициент модуляции равным 1,2 и проанализируйте полученные результаты. Включите отображение осциллограммы и спектра на плоттере (ViewGrapher). Скопируйте или нарисуйте

суйте осциллограмму и спектр АМ–колебания. Как изменилось изображение на осциллографе?

5. Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Схема амплитудного модулятора, собранного на основе биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером;
- 3) Графики осциллограмм и спектров сигналов;
- 4) Таблица измеренных и рассчитанных значений коэффициента модуляции;
- 5) График зависимости коэффициента модуляции от величины модулирующего напряжения: $m = f(V_3)$;
- 6) Таблица опытных и теоретических значений нижней и верхней боковых частот;
- 7) Графики осциллограмм и спектров сигналов;
- 8) Выводы по результатам экспериментального исследования.

Лабораторная работа №14 «Измерение параметров полупроводниковых приборов».

1. Цель работы

- 1) Ознакомиться с работой, основными характеристиками и применением полевого и биполярного транзистора.
- 2) Ознакомиться с основными характеристиками и применением полупроводниковых диодов – выпрямительного диода, стабилитрона, диода Шоттки и светоизлучающего диода.

2. Программа работы

- Исследовать биполярный транзистор.
- Снять статические характеристики.
- Сформулировать выводы о свойствах биполярного транзистора.
- Исследовать полевой транзистор.
- Снять и построить характеристики полевого транзистора.
- Сформулировать выводы о свойствах полевого транзистора.
- Исследовать полупроводниковые диоды.
- Построить вольтамперные характеристики.
- Сформулировать выводы о свойствах полупроводниковых приборов.

3. Приборы и оборудование

- лабораторной работе используются следующие модули:
- модуль мультиметров;
- модуль функционального генератора;
- модуль питания;
- модуль измерительный;
- модуль миллиамперметров;
- модуль транзисторов;
- модуль диодов.

4. Порядок выполнения работы

Биполярный транзистор

Собрать схему для биполярного транзистора (рис. 14.4.1).

Между гнездами X2 и X6 включить миллиамперметр на пределе измерения 100 мкА и соединить перемычкой гнезда X9 и X11.

Между гнездами X1 и X4 включить второй миллиамперметр на пределе измерения 10 мА. Соединить перемычкой гнезда X3 и X7. Между гнездами X2 – X5 и X4 – X16 включить мультиметры в режиме измерения постоянного напряжения. Тумблер SA2 установить в нижнее положение.

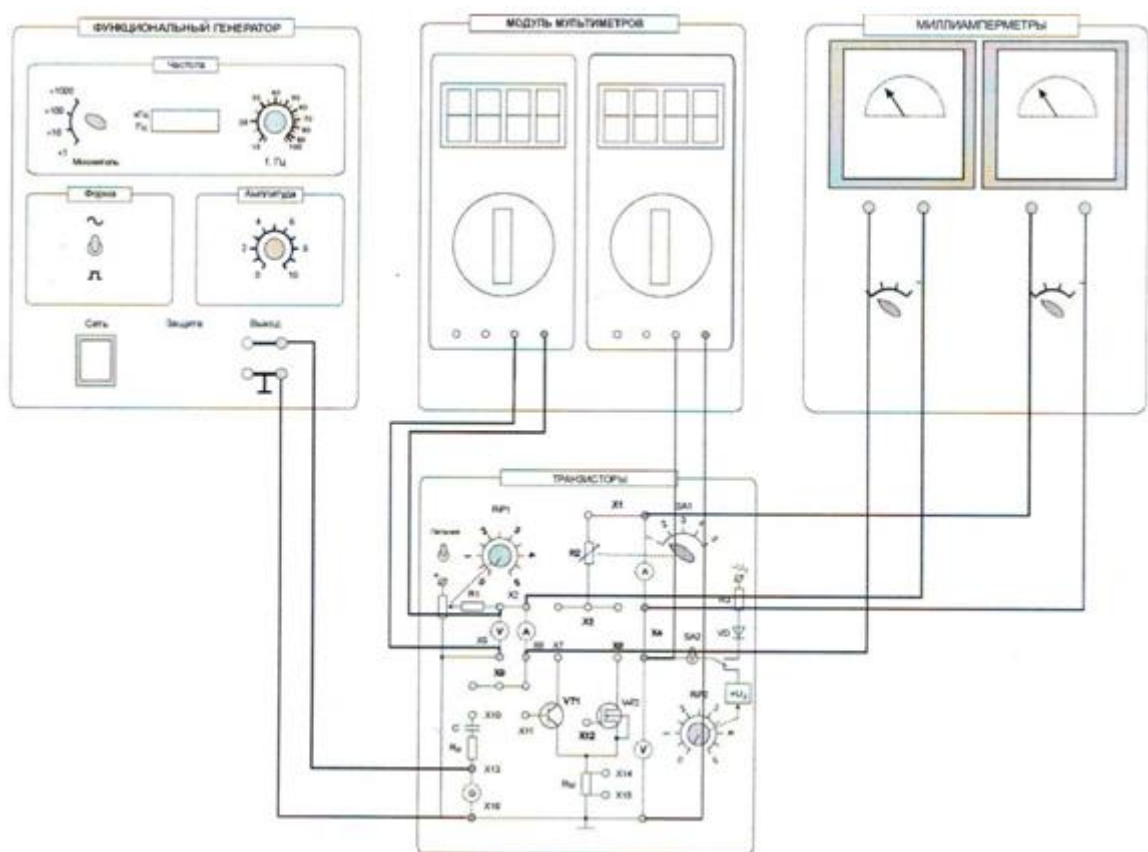
$$U_K =$$
[illegible]

Рис. 14.4.1.

тенциометра RP2 установите заданное значение E_k . В дальнейшем ручку регулировки RP2 **не трогать**. В области вблизи насыщения точки **снимать чаще**. Экспериментальные результаты записать в таблицу 14.4.2. Включить тумблер «Питание». Построить экспериментальные характеристики.

$U_k =$

Табл.14. 4.2

I_b , мА									
I_k , мА									

По построенной характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{b \max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление. Отрадите все это в выводе данной работы.

Снять выходные статические характеристики транзистора $I_k = f(U_{kэ})$ при $I_b = \text{const}$. Для этого дополнительно поставить перемычку между гнездами X1 – X3.

Включить питание модуля. Изменяя ток базы от 0 снять семейство выходных характеристик и зарисовать на одном рис. характеристики для трех значений тока базы $I_{b1} = 0$; $I_{b2} = 0,5 I_{b \max}$; $I_{b3} = I_{b \max}$. Для этого потенциометром RP1 устанавливать ток базы $I_{b1} = 0$; $I_{b2} = 0,5 I_{b \max}$; $I_{b3} = I_{b \max}$. Изменяя напряжение $U_{кэ}$ потенциометром RP2 в цепи коллектора напряжение от нулевого значения измерять ток коллектора I_k транзистора. Произвести измерения тока коллектора при нескольких значениях напряжения $U_{кэ}$. Результаты записать в табл.14.4.3.

$I_{b1} =$

Табл.14.4.3.

I_k , мА									
U_k , В									

$I_{b2} =$

I_k , мА									
U_k , В									

$I_{b3} =$

I_k , мА									
U_k , В									

Перед каждым измерением необходимо подрегулировать ток базы транзистора.

После проведения опыта разобрать схему.

Полевой транзистор

Снять сток – затворную характеристику транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$ при заданном постоянном значении $U_{СИ} = \text{const}$ и $R_C = 0$. Для этого дополнительно поставить перемычку между гнездами X1 – X3. Включить «Модуль питания», включить тумблер «Питание» на модуле «Транзисторы».

С помощью потенциометра RP2 установите заданное значение $U_{СИ}$. Изменяя напряжение $U_{ЗИ}$ от 0 снять характеристику.

Экспериментальные результаты записать в таблицу 14.4.4. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения $U_{СИ}$.

$U_{СИ} =$

Табл.14.4.4.

I_C , мА									
$U_{ЗИ}$, В									

Снять сток – затворную характеристику транзистора $I_C = f(U_{ЗИ})$ при заданном постоянном значении $U_{СИ} = \text{const}$ при наличии нагрузки R_C . Для этого убрать перемычку между гнездами X1 – X3. С помощью переключателя SA1 установить заданное значение резистора R2. С помощью потенциометра RP2 установите заданное значение $U_{СИ}$. **В дальнейшем ручку регулировки RP2 не трогать.** Изменяя напряжение $U_{ЗИ}$ от 0 снять характеристику. В области вблизи насыщения точки снимать чаще. Экспериментальные результаты записать в таблицу 14.4.5.

$U_{ЗИ} =$

Табл.14.4.5.

I_C , мА									
$U_{СИ}$, В									

После проведения опыта разобрать схему.

Полупроводниковый диод

Собрать схему для исследования выпрямительного диода VD1 на постоянном токе. Соединить перемычкой гнезда X2 и X6. Для измерения анодного тока между гнездами X1 и X10 включить миллиамперметр на пределе измерения 100 мА (x1000), для измерения анодного напряжения между гнездами X3 и X15 включить мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения (рис. 14.4.2.). Включить электропитание стенда и установить переключатель SA1 в позицию «+».

Снять ВАХ выпрямительного диода на постоянном токе сначала для прямой, а затем обратной ветви, установив переключатель SA1 в позицию «→». Увеличивая входное напряжение с помощью потенциометра RP1 от 0, измерять ток и напряжение на диоде. Результаты измерений занести в таблицу 14.4.6.

Табл.14.4.6.

Uпр, В									
Iпр, мА									
Uобр, В									
Iобр, мА									

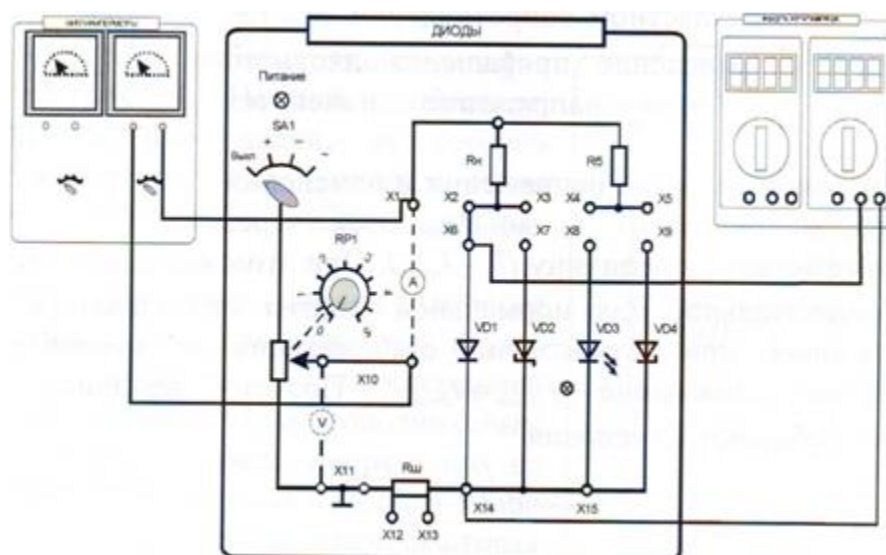


Рис. 14.4.2.

Экспериментальное исследование диода Шоттки.

Собрать схему для исследования диода Шоттки (VD2) на постоянном токе. Выполнить пункты 1 и 2 для диода Шоттки.

Сравните ВАХ обычного выпрямительного диода и диода Шоттки.

Собрать схему для исследования стабилитрона на постоянном токе. Выполнить пункты 1 и 2 стабилитрона. Построить график зависимости выходного напряжения $U_{ст}$ от тока $I_{ст}$. Результаты занести в таблицу 14.4.7.

Табл.14.4.7.

$U_{ст}$				
$I_{ст}$				

Собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис. 14.4.3.).

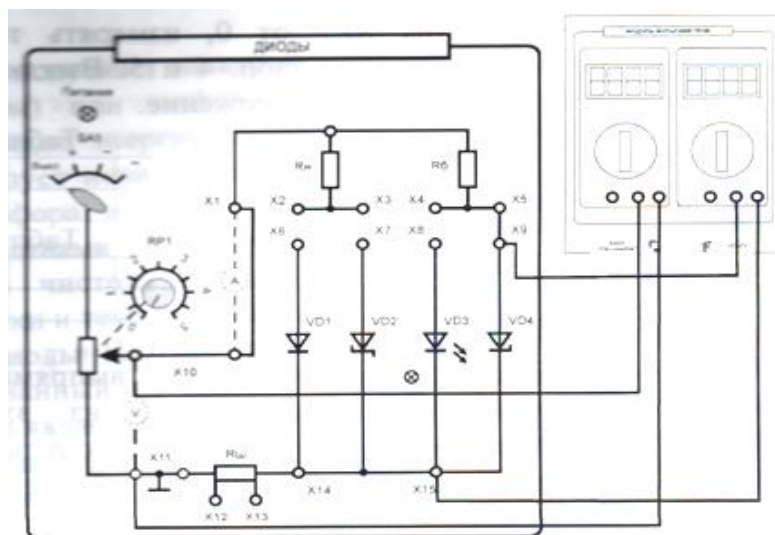


Рис. 14.4.3.

Включить электропитание стенда. Переключатель SA1 модуля диодов установить в позицию «—». Изменяя величину входного напряжения с помощью потенциометра RP1 снять зависимость величины выходного напряжения от величины входного напряжения $U_{ст} = f(U_{вх})$. Результаты занести в таблицу 14.4.8.

Табл.4.8.

$U_{ст}, В$								
$U_{вх}, В$								

Определить коэффициент стабилизации стабилизатора.

$$K_{ст} = U_{вх} / U_{ст} =$$

Исследование влияния величины напряжения на светоизлучающем диоде на световую эмиссию.

Собрать схему для исследования светодиода (VD3) на постоянном токе (аналогично схеме по рис. 14.4.2.). Включить питание модуля диодов (выключатель SA1 модуля диодов установить в позицию «+») и увеличивая **положительное** входное напряжение от 0 с помощью потенциометра RP1, измерять напряжение на светодиоде и ток

светодиода. Установить при этом степень светоизлучения (отсутствует, слабое, среднее, сильное). Результаты занести в таблицу 14.4.9.

Табл.14.4.9.

$U_{\text{сд}}, \text{В}$	$I_{\text{сд}}, \text{мА}$	светоизлучение

После проведения опыта разобрать схему.

СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Цель самостоятельной работы обучающихся – получить новые знания по дисциплине «Электрорадиоизмерения».

Задачи самостоятельной работы обучающихся:

- изучение правил электромонтажных работ в производстве радиоэлектронной аппаратуры и приборов;
- выработка навыков работы на технологическом оборудовании, использовании специализированного инструмента и технологической оснастки для технического обслуживания и ремонта сложных узлов радиоэлектронной аппаратуры;
- подготовка к самостоятельному и технически грамотному монтажу радиоэлектронных устройств.

Темы для самостоятельной работы:

- обеспечение качества измерительного оборудования;
- эталоны и их эволюция;
- возможности программы Multisim;
- современные цифровые измерительные приборы;
- основные направления развития цифровой осциллографии;
- компьютерные измерительные системы: структура, особенности, общая характеристика, возможности.

Обучающиеся должны изучить литературу по соответствующим темам, составить конспекты, которые предоставляются преподавателю. Написанные конспекты проверяются преподавателем и подлежат защите обучающимися.

Формами контроля самостоятельной работы обучающихся являются:

- текущий контроль – оценка уровня подготовки обучающегося в процессе проведения преподавателем лабораторных занятий путем выполнения и защиты лабораторных работ;
- промежуточный контроль – дифференцированный зачет с оценкой по дисциплине.

Оценочные средства при текущем контроле

Оценочными средством при текущем контроле являются выполнение и защита лабораторных работ. Защита проводится по вопросам, указанным в методических материалах к данной дисциплине.

Оценочные средства при промежуточной аттестации

Формой промежуточной аттестации является сдача дифференцированного зачета, в процессе которого определяется сформированность обозначенных в рабочей программе компетенций. Аттестацию проводит лектор. Аттестация проводится в устной форме. Преподаватель задает вопросы по изученному материалу. Преподавателю предоставляется право помимо теоретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с изучаемой дисциплиной. Время подготовки обучающегося для последующего ответа не более одного академического часа. При проведении промежуточной аттестации обучающимся будет задано два вопроса, на которые они должны дать ответы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков, В. А. Метрология. теория измерений: учебник для СПО / Мещеряков В. А., Бадеева Е. А., Шалобаев Е. В. ; Под общ. ред. Мурашкиной Т. И.. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 167 с. – ISBN 978-5-534-08652-2. – URL: <https://urait.ru/book/metrologiya-teoriya-izmereniy-471589> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

2. Волегов, А. С. Метрология и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин.: учебное пособие для СПО / Волегов А. С., Незнахин Д. С., Степанова Е. А.. – Москва : Юрайт, 2020. – 103 с. – ISBN 978-5-534-10717-3. – URL: <https://urait.ru/book/metrologiya-iizmeritelnaya-tehnika-elektronnye-sredstva-izmereniy-elektricheskikh-velichin-456821> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

3. Сергеев, А. Г. Метрология: учебник и практикум для СПО / Сергеев А. Г.. – 3-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 322 с. – ISBN 978-5-534-04313-6. – URL: <https://urait.ru/book/metrologiya-451049> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

4. Нефедов, В. И. Радиотехнические цепи и сигналы.: учебник для СПО / Нефедов В. И., Сигов А. С. ; Под ред. Нефедова В.И.. – Москва : Юрайт, 2020. – 266 с. – ISBN 978-5-534-03409-7. – URL: <https://urait.ru/book/radiotekhnicheskie-cep-i-sigaly-451175> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

5. Гальперин, М. В. Электронная техника : Учебник / М. В. Гальперин ; Московский техникум креативных индустрий им. Л.Б. Красина. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2021. – 352 с. – ISBN 978-5-16-015415-2. – URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=361003> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

6. Шишмарёв, В. Ю. Электрорадиоизмерения. практикум: практическое пособие для СПО / Шишмарёв В. Ю.. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 234 с. – ISBN 978-5-534-08588-4. – URL: <https://urait.ru/book/elektroradioizmereniya-praktikum-454371> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

7. Шишмарёв, В. Ю. Электрорадиоизмерения: учебник для СПО / Шишмарёв В. Ю., Шанин В. И.. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 345 с. – ISBN 978-5-534-08586-0. – URL: <https://urait.ru/book/elektroradioizmereniya-454361> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

8. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника. лабораторный практикум: учебное пособие для СПО / Латышенко К. П., Гарелина С. А.. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 186 с. – ISBN 978-5-534-07352-2. – URL: <https://urait.ru/book/metrologiya-i-izmeritelnaya-tehnika-laboratornyuyapraktikum-452421> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

9. Шишмарёв, В. Ю. Электрорадиоизмерения: учебник для СПО / Шишмарёв В. Ю., Шанин В. И.. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 345 с. – ISBN 978-5-534-08586-0. – URL: <https://urait.ru/book/elektroradioizmereniya-515336> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.