

Министерство образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

Д.Л. ГОРОШКО

# МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Практикум

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2003

ББК 32.84  
Г 70

Рецензенты: Ю.А. Левашов, зав. каф. электроники;  
В.Н. Гряник, канд. техн. наук, доцент

Горошко Д.Л.  
Г 70 МЕТРОЛОГИЯ: Учебно-практическое пособие. –  
Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2003. – 40 с.

Содержит указания по выполнению лабораторных работ, иллюстрирующие основные темы соответствующего лекционного курса. В каждой работе приведены краткие теоретические сведения по теме задания, подробные инструкции для выполнения задания, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы. Приведен список рекомендуемой литературы.

Для студентов специальности 201500 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и 201700 «Средства радиоэлектронной борьбы».

Может быть использовано студентами специальностей 220100 «Вычислительные машины, комплексы и сети» и специальности 071900 «Информационные системы и технологии».

ББК 32.84

© Издательство Владивостокского  
государственного университета  
экономики и сервиса, 2003

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ПОВЕРКА ОСЦИЛЛОГРАФА С1-93

**Цель работы:** Получение практических навыков проведения поверки средств измерений, оформления результатов метрологической поверки.

### 1. Общие положения

Основные метрологические требования к средствам измерений установлены правилами законодательной метрологии. Исходным документом законодательной метрологии является Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений».

Единство измерений обеспечивается двумя важнейшими условиями:

результаты измерений должны представляться в узаконенных единицах;

должна быть известна погрешность измерений.

Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ осуществляет Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

**Поверка средств измерений** – это совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службой с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Поверку средств измерения производят для установления их пригодности к применению. Пригодными к применению признают средства измерений, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному средству измерений, установленным в нормативно-технических документах.

Поверка является составляющей частью Государственного метрологического контроля и распространяется на:

- здравоохранение, охрану окружающей среды и обеспечения безопасности труда;
- государственные учетные организации;
- обеспечение обороны государства;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- обязательную сертификацию продукции и услуг и т.п.

В частности обязательной государственной поверке подлежат:

- средства измерений, принадлежащие органам государственной метрологической службы;

- средства измерений, предназначенные для применения в качестве рабочих средств для измерений, результаты которых используются для учета материальных ценностей, топлива и энергии, для защиты природной среды, обеспечения безопасности труда и т.п.

Поверочная деятельность осуществляется аккредитованными метрологическими службами юридических лиц и контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц. А сама поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы.

Положительные результаты поверки результатов измерений удостоверяются **поверительным клеймом или свидетельством о поверке**.

Средства измерений, применяемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах физических величин с нормированной точностью, поверке не подлежат, на них должно быть нанесено обозначение «И». Средства измерений, применяемые для учебных целей, поверке не подлежат на них должно быть нанесено обозначение «У».

Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверке.

**Первичной поверке** подлежит каждый экземпляр средств измерений при выпуске из производства или ремонта, или поступающих по импорту. В отдельных случаях, предусмотренных в нормативно-технических документах, допускается проводить выборочную поверку. Первичную поверку проводят:

- на месте изготовления средств измерений;

- на месте применения средств измерений;

- частично на месте изготовления и частично на месте применения средств измерений.

**Периодической поверке** подлежат средства измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, устанавливаемые органами государственной метрологической службы с расчетом обеспечения пригодности к применению средств измерений на период между поверками. Средства измерений, находящиеся на длительном хранении в условиях, обеспечивающих их пригодность к применению, периодической поверке могут не подвергаться.

**Внеочередную поверку** производят при эксплуатации (хранении) средств измерений при:

- необходимости удостовериться в пригодности к применению средств измерений;
- применение средств измерений в качестве комплектующих при истечении половины межповерочного интервала на них;
- повреждении поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего прохождение средствами измерений первичной или периодической поверки, в том числе при их хранении;
- вводе в эксплуатацию средств измерений после хранения, в течение которого не могла быть произведена периодическая поверка в связи с требованиями к консервации средств измерений или изделий, содержащих средства измерений;
- переконсервации средств измерений, а также изделий, в комплекте которых применяются средства измерений;
- передаче средств измерений на длительное хранение по истечении половины межповерочного интервала на них;
- отправке потребителю средств измерений, не реализованных предприятием-изготовителем по истечении половины межповерочного интервала на них.

Рекомендуется внеочередную поверку производить перед вводом в эксплуатацию средств измерений, взятых со склада после хранения и транспортирования.

**Инспекционную поверку** производят для выявления пригодности к применению средств измерений при осуществлении государственного надзора и контроля за состоянием и применением средств измерений.

Инспекционную поверку можно проводить не в полном объеме, предусмотренном нормативно-техническими документами по поверке.

Результаты инспекционной поверки отражают в акте поверки состояния и применения средств измерений.

Государственную инспекционную поверку производят в присутствии представителя проверяемого предприятия.

**Экспертную поверку** производят при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

## 2. Проведение поверки

Порядок поверки составлен в соответствии с требованиями ГОСТ 8.311-78 «Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки».

### *Подготовка к поверке*

Перед проведением поверки должны быть выполнены подготовительные работы, оговоренные в п. 9 «Подготовка осцилло-

графа к работе» инструкции по эксплуатации (за исключением п.п. 9.3.2–9.3.4, 9.3.33)

Поверяемый осциллограф и средства поверки должны быть заземлены и выдержаны во включенном состоянии в течение времени, указанного в эксплуатационной документации на них.

### 1. Определение ширины линии луча

Ширину линии луча проверяют методом сжатого растра. Проверка производится для двух направлений оси экрана ЭЛТ–вертикального и горизонтального.

Перед началом измерений настройте осциллограф в режим наблюдения импульсов калибратора по пп. 9. 3. 6–9. 3. 12. В дальнейшем проверку по настоящему пункту производить без дополнительной регулировки фокуса, яркости и астигматизма луча.

Для измерения ширины линии луча необходимо соединить приборы согласно рис. 1.

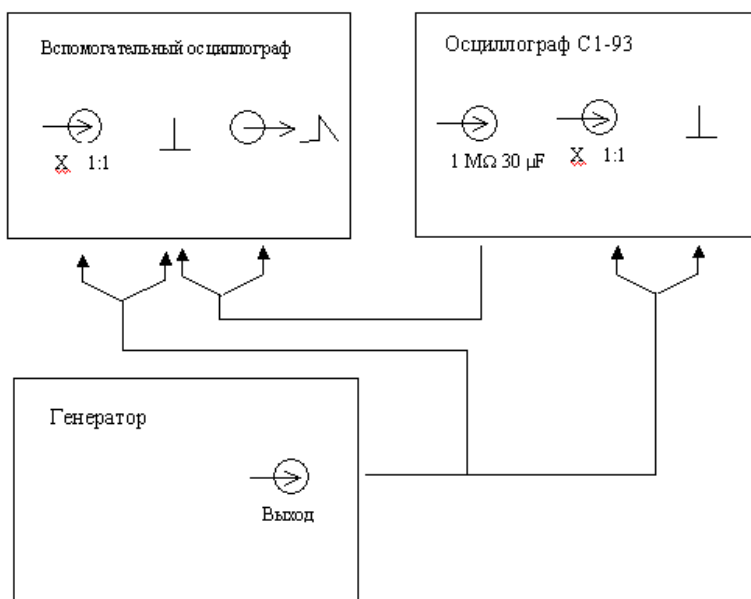


Рис.1. Структурная схема измерения ширины линии луча

В вертикальном направлении растр создают следующим образом. На вход одного из каналов подают пилообразное напряжение от вспомогательного осциллографа С1-77. На испытуемом осциллографе

установить коэффициент отклонения 2 В/дел, коэффициент развертки 20 мкс/дел. На вспомогательном осциллографе установить коэффициент развертки 1 мс/дел.

Засинхронизировать оба осциллографа внешним сигналом частотой 2 кГц и амплитудой 2В (от генератора). Полярность синхронизации установить в положение «+», режим работы генератора развертки «ЖДУЩ». Ручками «УРОВЕНЬ» добиться устойчивого изображения на экране испытуемого осциллографа. На экране должно наблюдаться несколько горизонтальных линий.

Произвести подсчет количества линий раstra. Изменением коэффициента отклонения испытуемого осциллографа (переключатели «В/ДЕЛ.» и ручкой «∇») сжать растр до начала исчезновения строчной структуры и измерить размер сжатого раstra по шкале экрана ЭЛТ.

Ширину линии в вертикальном направлении в миллиметрах рассчитывают по формуле:

$$B_{\text{верт.}} = \frac{\text{размер изображения сжатого раstra (мм)}}{\text{количество линий раstra}} \quad (1)$$

Для измерения ширины линии луча в горизонтальном направлении необходимо, сохранив предыдущие соединения, установить коэффициент отклонения испытуемого осциллографа 0.5–1 В/дел, (так, чтобы вертикальный размер раstra был не менее 8 дел), коэффициент развертки 2 мс/дел; на вспомогательном осциллографе установить коэффициент развертки 5 мкс/дел. Ручками «УРОВЕНЬ» добиться устойчивого изображения на экране ЭЛТ испытуемого осциллографа. На экране должны наблюдаться вертикальные линии. Произвести подсчет количества линий раstra на участке 40–50 мм при установленной частоте  $f_1$  внешнего синхронизирующего сигнала 2,0–2,5 кГц (от генератора). Изменяя частоту генератора, сжать растр до начала исчезновения строчной структуры и отметить при этом частоту внешней синхронизации  $f_2$ .

Ширину линии луча в горизонтальном направлении в миллиметрах рассчитывают по формуле

$$B_{\text{гор.}} = \frac{L \cdot f_1}{f_2 \cdot n}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина участка, на котором производится подсчет количества линий раstra, мм;  $f_1$  – частота строчной развертки (внешней синхронизации), при которой производится подсчет линий, кГц;  $f_2$  – частота строчной развертки при сжатом растре, кГц;  $n$  – число линий раstra, приходившихся на длину участка.

## 2. Определение времени нарастания переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения

Время нарастания переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ» путем поочередной подачи на входы испытательного импульса частотой следования 3 кГц от генератора (рис. 2).

Проверка проводится импульсами положительной или отрицательной полярности. Синхронизация внешняя. На экране ЭЛТ установить амплитуду изображения импульса, равную 8 делениям, и время нарастания переходной характеристики  $t_z$  (рис. 3) определяется как интервал времени, в течение которого происходит нарастание переходной характеристики от уровня 0,1 до 0,9 амплитуды изображения импульса.

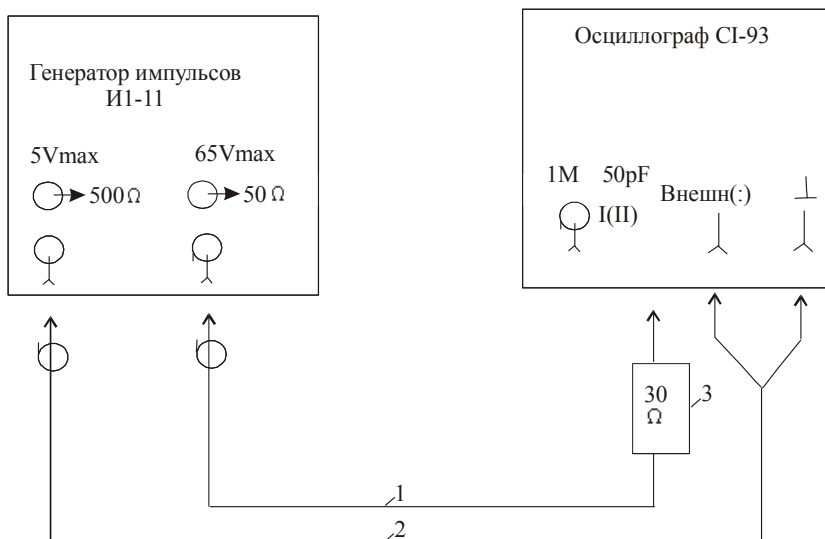


Рис. 2. Структурная схема измерения параметров переходной характеристики

Измерения проводятся в положении «0,1  $\mu\text{S}$ » переключателя коэффициентов развертки, при этом переключатель рода синхронизации установить в положение «ВНЕШН. 1: 10», множитель развертки «X0.2».

Время нарастания переходной характеристики должно не превышать 25нс для всех коэффициентов отклонения кроме 5 мВ/дел.



Проверку времени нарастания переходной характеристики допускается производить при величине изображения на экране ЭЛТ меньше 8 делений, но не менее 4,8 деления.

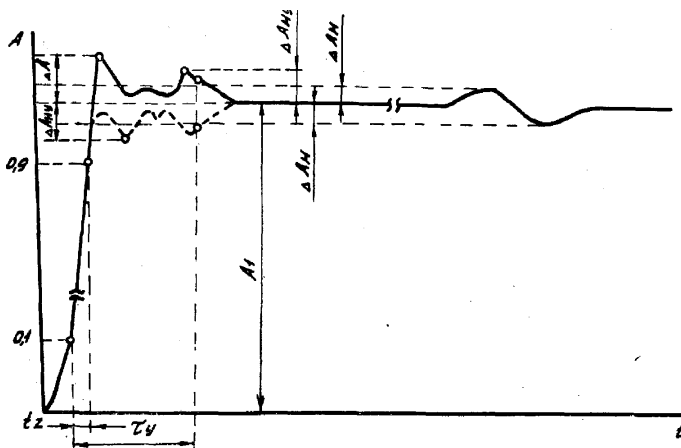


Рис. 3. Измерение выброса, времени установления, времени нарастания и неравномерности переходной характеристики

### 3. Определение выброса переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения

Средства измерений соединяют согласно рис. 2.

Величина выброса переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ» путем поочередной подачи на вход каналов I и II испытательного импульса частотой следования 3 кГц от генератора.

Проверка производится импульсами положительной или отрицательной полярности. Синхронизация внешняя. На экране ЭЛТ устанавливается величина изображения амплитуды импульса, равная 6 делениям.

Измеряется выброс  $\Delta A$  (рис. 3) на изображении импульса.

Величина выброса  $\delta_v$  в процентах вычисляется по формуле.

$$\delta_v = \frac{\Delta A}{A_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

где  $\Delta A$  — величина изображения выброса в мм;  $A_1$  — величина изображения импульса в мм.

Величина выброса переходной характеристики не должна превышать 3%. *Примечание.* Измерение величины выброса на переходной характеристике допускается проводить при величине изображения на экране меньше 6 делений, но не менее 2,4 деления.

#### **4. Определение времени установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения**

Средства измерений соединить согласно рис.2.

Время установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ» путем поочередной подачи на вход каналов I и II испытательного импульса от генератора.

Проверка производится импульсами положительной или отрицательной полярности.

На экране устанавливается амплитуда изображения импульса, равная 8 делениям. Синхронизация внешняя. Время установления (рис. 3) переходной характеристики измеряется как интервал времени от уровня 0,1 амплитуды до момента, когда величина неравномерности установившегося значения переходной характеристики будет равна 2 %.

Измерения проводятся в положении «0,1  $\mu$ S» переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» с множителем.

Время установления переходной характеристики не должно превышать 100 нс.

#### **5. Определение спада вершины переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс**

Средства измерений соединяют согласно рис. 2.

Спад вершины переходной характеристики каждого канала тракта вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ» путем поочередной подачи на вход каналов I и II испытательного импульса длительностью более 10мс с частотой следования 50 Гц от генератора при включенной внутренней нагрузке в режиме одиночных импульсов.

Входы каждого канала должны быть закрыты. Синхронизация внешняя. Амплитуда изображения импульса устанавливается равной 6 делениям, коэффициент развертки – 2 мс/дел.

Величина спада  $\delta_{cn}$  переходной характеристики в процентах вычисляется в соответствии с рис. 4 по формуле

$$\delta_{cn} = \frac{\Delta A_{cn}}{A_1} \quad (4)$$

где  $\Delta A_{cn}$  – величина монотонного уменьшения амплитуды изображения импульса в мм;  $A_1$  – амплитуда изображения импульса в мм.

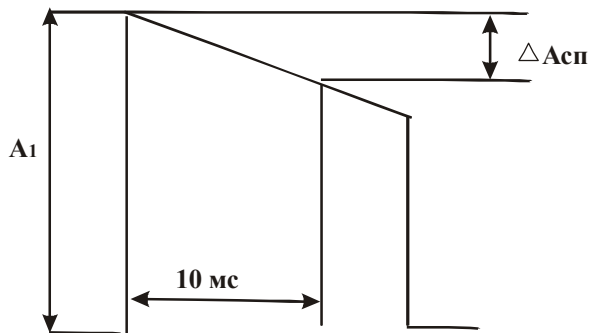


Рис. 4. Измерение спада вершины импульса

Спад вершины переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс, отсчитываемое от уровня 0,1 установившегося значения переходной характеристики должен не превышать 10 %. Проверку величины спада вершины переходной характеристики допускается производить при величине изображения на экране ЭЛТ меньше 6 делений но не меньше 4,8 деления.

## 6. Оформление результатов поверки

Результаты поверки заносятся в протокол, оформленный по форме в приложении 2.

### Оформление отчета.

Отчет должен содержать:

1. Краткую теорию.
2. Схемы подключения приборов.
3. Заполненный протокол поверки осциллографа.
4. Выводы.

Приложение 1

### Технические данные

Ширина линии луча не превышает:

в центральной зоне (зона А), ограниченной прямоугольником со сторонами, отстоящими от центра в направлении осей на 3/8 размера рабочей части экрана, горизонтальной линии – 0,7 мм, вертикальной линии 0,5 мм;

на краях рабочей части (зона Б) за пределами зоны А горизонтальной линии – 0,9 мм, вертикальной – 0,7 мм.

Минимальная частота следования развертки, при которой обеспечивается наблюдение и измерение исследуемого сигнала на наиболее быстрой развертке, не превышает 300 Гц.

Время нарастания переходной характеристики каждого канала тракта вертикального отклонения не более:

25 нс для всех коэффициентов отклонения кроме 5 мВ/дел и без выносного делителя 1:10;

35 нс для всех положений коэффициентов отклонения с выносным делителем 1 : 10 и положения 5 мВ/дел без делителя.

Выброс переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1–10 не более 3%.

Время установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1:10 не более 100 нс.

Неравномерность переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1 : 10 не более 2,5% на участке установления и 2% за пределами участка установления.

Спад вершины переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс, отсчитываемого от уровня 0,1 установившегося значения переходной характеристики при непосредственном входе и с выносным делителем 1:10, не более 10 %.

Полоса пропускания тракта вертикального отклонения при последовательном соединении каналов от 0 до 3 МГц при опорной частоте 1 кГц.

Входное активное сопротивление каждого канала вертикального отклонения ( $1\pm 0,02$ ) МОм с параллельной емкостью ( $30\pm 3$ ) пф при непосредственном входе; ( $1\pm 0.02$ ) МОм с параллельной емкостью не более 12 пФ с выносным делителем 1:10.

Время установления рабочего режима осциллографа 15 мин.

Приложение 2.

### Протокол поверки осциллографа С1-93

	Наименование и единица измерения поверяемой характеристики	Величина	
		номинальная	фактическая
1.	Ширина линии луча, мм, не более: 1) в центральной зоне экрана горизонтальной линии вертикальной линии	  0,7 0,5	

	2) на краях рабочей части экрана горизонтальной линии вертикальной линии	0,9 0,7	
2.	Время нарастания переходной характеристики, нс, не более:  1) при непосредственном входе (кроме 0,005 В/дел) канал I канал II  2) при непосредственном входе, положение 0,005 В/дел канал I канал II	25 25  35 35	
3.	Выброс переходной характеристики, %, не более:  при непосредственном входе канал I канал II	3 3	
4.	Время установления переходной характеристики, нс, не более:  при непосредственном входе канал I канал II	100 100	
5.	Спад вершины переходной характеристики при закрытом входе за время 10 мс, % не более:  при непосредственном входе канал I канал II	10 10	

## Контрольные вопросы

1. Чем обеспечивается единство измерений?
2. Что такое поверка средств измерений?
3. На какие области распространятся метрологический контроль и надзор?
4. Как удостоверяются положительные результаты поверки?
5. Как поверки классифицируются по периодичности?
6. Как в работе определяется ширина линии луча?
7. По какой методике проводится определение времени нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения?
8. Что такое время установления переходной характеристики?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

## МНОГОКРАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

**Цель работы:** ознакомление с методами метрологической обработки результатов многократных измерений, расчет основных погрешностей измерений.

### 1. Общие положения

#### Причины возникновения погрешностей измерений

Причинами возникновения погрешностей являются: несовершенство методов измерений, технических средств, применяемых при измерениях, органов чувств наблюдателя. В отдельную группу следует объединить причины, связанные с влиянием условий проведения измерений. Последние проявляются двояко. С одной стороны, все физические величины, играющие какую-либо роль при проведении измерений, в той или иной степени зависят друг от друга. Поэтому с изменением внешних условий изменяются истинные значения измеряемых величин. С другой стороны, условия проведения измерений влияют и на характеристики средств измерений и физиологические свойства органов чувств наблюдателя и через их посредство становятся источником погрешностей измерения.

Описанные причины возникновения погрешностей определяются совокупностью большого числа факторов, под влиянием которых складывается суммарная погрешность измерения. Их можно объединить в две основные группы:

1. Факторы, проявляющиеся весьма нерегулярно и столь же неожиданно исчезающие или проявляющиеся с интенсивностью, которую трудно предвидеть. К ним относятся, например, перекосы элементов приборов в их направляющих, нерегулярные изменения моментов трения в опорах, малые флуктуации влияющих величин, изменения внимания операторов и др.

Доля, или составляющая, суммарной погрешности измерения, определяемая действием факторов этой группы, называется *случайной погрешностью измерения*. Ее основная особенность в том, что она случайно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины.

При создании измерительной аппаратуры и организации процесса измерения в целом интенсивность проявления большинства факторов данной группы удастся свести к общему уровню, так что все они

вливают более или менее одинаково на формирование случайной погрешности. Однако некоторые из них, например внезапное падение напряжения в сети электропитания, могут проявиться неожиданно сильно, в результате чего погрешность примет размеры, явно выходящие за границы, обусловленные ходом эксперимента в целом. Такие погрешности в составе случайной погрешности называются *грубыми*. К ним тесно примыкают *промахи* – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений, неверным отсчетом показаний или ошибками при записи результатов.

2. Факторы, постоянные или закономерно изменяющиеся в процессе измерительного эксперимента, например плавные изменения влияющих величин или погрешности применяемых при измерениях образцовых мер. Составляющие суммарной погрешности, определяемые действием факторов этой группы, называются *систематическими погрешностями измерения*. Их отличительная особенность в том, что они остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины. До тех пор, пока систематические погрешности больше случайных, их зачастую можно вычислить или исключить из результатов измерений надлежащей постановкой опыта.

Таким образом, мы имеем два типа погрешностей измерения:

- случайные (в том числе грубые погрешности и промахи), изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины;
- систематические погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при повторных измерениях.

### **Законы распределения случайной величины**

а) Нормальный закон распределения: непрерывная случайная величина  $X$  имеет нормальный закон распределения с параметрами  $a$  и  $\sigma$ , если её плотность вероятности  $f(x)$  имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

- б) Т – распределение Стьюдента, а также  
в) F– распределение Фишера.

### **Номинальное значение влияющей величины**

Номинальное значение влияющей величины – это минимальное значение этой влияющей величины, например давление атмосферы, ниже которой средство измерения, зависящее от этой влияющей величины, не может эксплуатироваться.



## Основные способы задания предела допускаемой основной погрешности

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности могут задаваться либо в виде одночленной формулы

$$\Delta = \pm a, \quad (1)$$

либо в виде двухчленной формулы

$$\Delta = \pm (+bx) \quad (2)$$

где  $\Delta$  и  $x$  выражаются одновременно либо в единицах измеряемой величины, либо в делениях шкалы измерительного прибора.

Более предпочтительным является задание пределов допускаемых погрешностей в форме приведенной или относительной погрешности.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности нормируются в виде одночленной формулы

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \pm p \quad (3)$$

где число  $p = 1 \cdot 10^n, 1,5 \cdot 10^n, 2 \cdot 10^n, 2,5 \cdot 10^n, 4 \cdot 10^n, 5 \cdot 10^n, 6 \cdot 10^n$  ( $n = 1, 0, -1, -2, \dots$ ).

Пределы допускаемой относительной основной погрешности могут нормироваться либо одночленной формулой

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \pm q \quad (4)$$

либо двухчленной формулой

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \quad (5)$$

где  $X_k$  – конечное значение диапазона измерений или диапазона значений воспроизводимой многозначной мерой величины, а постоянные числа  $q$ ,  $c$  и  $d$  выбираются из того же ряда, что и число  $p$ .

## Косвенные измерения

Косвенные – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, т.е. измеряют не собственно определяемую величину, а другие, функционально с ней связанные. Значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле  $Q = F(x_1, x_2, \dots, x_N)$ , где  $Q$  –

искомое значение косвенно измеряемой величины;  $F$  – функциональная зависимость, которая заранее известна,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значения величин, измеренных прямым способом.

### Методика расчета погрешностей косвенных измерений.

В практике измерений широко используют два способа расчета погрешности косвенных измерений. Оба способа дают практически одинаковый результат.

#### Способ 1.

Сначала находится абсолютная  $\Delta_x$ , а затем относительная  $\delta_x$  погрешности. Этот способ рекомендуется для таких уравнений измерения, которые содержат суммы и разности аргументов.

Общая формула для расчета абсолютной погрешности при косвенных измерениях физической величины  $Y$  для произвольного вида  $f$  функции имеет вид:

$$\Delta x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 \times \Delta x_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right)^2 \times \Delta x_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 \times \Delta x_n^2},$$

где  $\frac{\partial f}{\partial X_j}$  – частные производные функции  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  по аргументу  $X_j$ ;

$\Delta X_j$  – общая погрешность прямых измерений величины  $X_j$ .

Для нахождения относительной погрешности нужно прежде всего найти среднее значение величины  $Y$ . Для этого в уравнение измерения надо подставить средние арифметические значения величин  $X_j$ .

То есть среднее значение величины  $Y$  равно:

$\bar{Y} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n)$ , теперь легко найти относительную погрешность  $\delta_x = \Delta / \bar{Y}$

#### Способ 2.

Порядок действий можно рассмотреть на конкретном примере – определение погрешности при измерении объёма цилиндра

$$\bar{V} = \frac{1}{4} \pi \times \bar{D}^2 \times \bar{h}$$

Пусть  $\bar{h} = 25,3$  мм,  $\Delta_h = 0,2$  мм, при  $P = 0,68$ :

$\bar{D} = 1,54$  мм,  $\Delta_D = 0,15$  мм, при  $P = 0,68$ :

$\pi = 3,14$   $\Delta\pi = 0,005$  – погрешность округления числа  $\pi$ .

(рис. 1)

При использовании способа 2 следует действовать так:  
 прологарифмировать уравнение измерения (логарифм берём  
 натуральный):

$$\ln \bar{V} = \ln\left(\frac{1}{4} \pi \times \bar{D} \times \bar{h}\right) = \ln \pi + 2 \times \ln \bar{D} + \ln \bar{h} - \ln 4 ;$$

найти дифференциалы от левой и правой частей, считая  $\pi$ ,  $\bar{D}$ ,  $\bar{h}$   
 независимыми переменными,  $\frac{dV}{V} = \frac{d\pi}{\pi} + 2\frac{dD}{D} + \frac{dh}{h}$ , заменить  
 дифференциал каждой величины на абсолютную погрешность этой же  
 величины, а знаки «минус», если же они есть перед погрешностями на  
 «плюс»:

$$\frac{\Delta_V}{V} = \frac{\Delta\pi}{\pi} + 2\frac{\Delta_D}{D} + \frac{\Delta_h}{h} .$$

Казалось бы, что с помощью этой формулы уже можно дать оценку  
 для относительной погрешности  $\Delta_V/\bar{V}$  однако это не так. Требуется так  
 оценить погрешность  $\Delta_V/\bar{V}$ , чтобы доверительная вероятность этой  
 оценки совпадала с доверительными вероятностями оценки  
 погрешностей тех членов, которые стоят в правой части формулы. Для  
 этого, чтобы это условие выполнялось, нужно все члены последней  
 формулы возвести в квадрат

$$\left(\frac{\Delta_V}{V}\right)^2 = \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_h}{h}\right)^2}$$

Теперь можно вычислить относительную погрешность, извлекая  
 корень квадратный из обеих частей уравнения:

$$\left(\frac{\Delta_V}{V}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_h}{h}\right)^2}$$

Или в других обозначениях относительная погрешность объёма  
 равна

$$\delta_V = \sqrt{\delta_\pi^2 + (2 \times \delta_D)^2 + \delta_h^2} .$$

Причём вероятность этой оценки погрешности объёма будет  
 совпадать с вероятностью оценки погрешностей входящих в  
 подкоренное выражение членов:

$$P_V = P_D = P_h$$

Сделав вычисления убедимся, что результат совпадает с оценкой по способу 1:

$$\frac{\Delta_V}{\Delta_{cp}} = \sqrt{2,5 \times 10^{-6} + 3,8 \times 10^{-2} + 6,2 \times 10^{-5}} = 0,19$$

Теперь, зная относительную погрешность, находим абсолютную:  
 $\Delta_V = 0,19 \times 47 = 9,4 \text{ мм}^3$ ,  $P = 0,68$ .

### Обработка многократных измерений

Если проведено  $N$  измерений величины  $R$  и получены независимые результаты  $r_1, r_2, \dots, r_n$ , каждый из которых содержит систематическую погрешность  $\theta$  и случайную погрешность  $\varepsilon$  и если в качестве оценки измеряемой величины принято среднеарифметическое полученных значений, то

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R + \theta + \varepsilon_i) = R + \theta + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $R = \frac{1}{N} \sum r_i$  (2)

Отсюда следует, что измерения с многократными наблюдениями не приводят к изменению систематической погрешности. Отдельные значения случайной погрешности могут иметь разные знаки, поэтому при суммировании некоторые значения могут взаимно компенсироваться. Можно показать, что дисперсия третьего слагаемого, являющегося случайной погрешностью результата измерений  $R$ , уменьшается с ростом  $N$ .

Пусть результаты измерений подчинены гауссовскому закону, статически независимы и не содержат систематической погрешности,

отсюда среднеквадратичное отклонение /СКО/  $\left[ \delta_x^2 = \sum (\varepsilon - R)^2 \right]$ .

$$\delta_r^2 = \frac{1}{N^2} \cdot N \cdot \delta_x^2 = \frac{\delta_x^2}{N} \quad (3)$$

При расчетах используют несмещенную оценку

$$S^2 = \frac{N}{N-1} \cdot \delta_r^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (\varepsilon - R)^2. \quad (4)$$

Подставим полученную оценку в (3), получим оценку СКО среднеарифметического

$$S_R = \frac{S}{\sqrt{N}} = \left[ \frac{1}{N \cdot \sqrt{N-1}} \cdot \sum_{i=1}^N |R_i - R| \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Среднеарифметическое абсолютное и относительное отклонения получаем:

$$\Delta_R = \pm \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |R_i - R|. \quad (6)$$

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используется прибор В7-27/1 – универсальный вольтметр и наборы резисторов разных номиналов.

В соответствии с техническим описанием прибора и его инструкцией по эксплуатации прибор подготовлен к измерениям. Результаты измерений необходимо занести в таблицы:

Поскольку число измерений мало, то для правильной обработки экспериментальных данных необходимо использовать t-распределение Стьюдента, корректирующие результаты:

$$C = t(p, k), \quad (7)$$

где С – значение случайной величины Т, имеющей распределение Стьюдента с

$$k=N-1 \quad (8)$$

степенями свободы. Значение С зависит от объема выборки N (степеней свободы k) и вероятности p, и определяется по таблице 1 значений  $C = t(p, k)$ :

Таблица 1

k	p				
	0,50	0,80	0,95	0,98	0,99
1	1,00	3,08	12,71	31,82	63,66
2	0,82	1,89	4,30	6,97	9,93
3	0,77	1,64	3,18	4,54	5,84
4	0,74	1,53	2,78	3,75	4,60
5	0,73	1,48	2,57	3,36	4,03
6	0,72	1,44	2,45	3,14	3,71
7	0,71	1,42	2,37	3,00	3,50

Окончание табл. 1

8	0,71	1,40	2,31	2,90	3,35
9	0,70	1,38	2,26	2,82	3,25
10	0,70	1,37	2,23	2,76	3,17
11	0,70	1,36	2,20	2,72	3,11
12	0,69	1,36	2,18	2,68	3,05
13	0,69	1,35	2,16	2,65	3,01
14	0,69	1,34	2,14	2,62	3,00
15	0,69	1,34	2,13	2,60	2,95
16	0,69	1,34	2,12	2,58	2,92
17	0,69	1,33	2,11	2,57	2,90
18	0,68	1,33	2,10	2,55	2,88
19	0,68	1,33	2,10	2,54	2,86
20	0,68	1,32	2,09	2,53	2,84
25	0,68	1,32	2,06	2,49	2,79
30	0,68	1,31	2,04	2,46	2,75
$\infty$	0,67	1,28	1,96	2,33	2,58

Результаты измерений и предварительные расчеты для определения отклонений (погрешностей) занести в таблицу 2.

Таблица 2.

№ измерения	Величина $r_i$ , кОм	Отклонение $ r_i - R $ , кОм	$(r_i - R)^2$
1			
2			
3			
4			
.....			
$\sum_{i=1}^N (\_)$			
R, кОм			
$\Delta R$			

Итоговые данные для среднеквадратичного отклонения, СКО среднеарифметического, среднеарифметическое абсолютное отклонение занести в табл. 3.

Расчет в таблице 3 делать с учетом t-распределения Стьюдента (таблица 1).

Таблица 3

R, кОм	$\pm \delta_R, \%$	$\pm \delta_{S_R}, \%$	$\pm S_R, \text{кОм}$

### Содержание отчета

1. Теория работы.
2. Технические данные измерительного прибора.
3. Данные измерений и расчетов (в виде таблиц 2 и 3).
4. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Как различаются погрешности по причинам их возникновения?
2. Какие законы распределения применяются при метрологической обработке результатов измерений?
3. Как связан класс точности средств измерений с основной погрешностью?
4. Что такое косвенные измерения?
5. Опишите методику расчета погрешностей косвенных измерений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УНИВЕРСАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

**Цель работы:** Ознакомление с методами проведения измерений основных параметров сигнала с помощью осциллографа. Изучение основных технических характеристик осциллографов и осмысление результатов влияния этих характеристик на результаты измерений.

#### 1. Краткая теория

Электронный осциллограф – универсальный измерительный прибор применяемый для визуального контроля (наблюдения) и фотографирования электрических сигналов и измерения их параметров.

Ни одно сколько-нибудь серьёзное измерение не может обойтись без осциллографа. Можно утверждать, что осциллограф является основным прибором радиоинженера. Другими словами, человек, не владеющий основными навыками осциллографических измерений, не представляющий себе технические характеристики осциллографа, не может быть назван инженером-радиомехаником.

Промышленностью выпускается широкий ассортимент осциллографов. В основу их классификации положен ряд признаков: а) число одновременно исследуемых сигналов; б) ширина полосы пропускания канала сигнала; в) характер исследуемого процесса – непрерывные сигналы, импульсные многократные или однократные.

В зависимости от назначения и электрических характеристик осциллографы в соответствии с ГОСТ 15094-69 разделяются на универсальные, скоростные, стробоскопические, специальные.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С1-) имеют наибольшее распространение, они позволяют исследовать разнообразные сигналы в широком диапазоне частот, амплитуд, длительностей. Полоса пропускания таких осциллографов достигает 350МГц.

СКОРОСТНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С7-) предназначены для исследования в реальном масштабе времени СВЧ-колебаний, однократных, редко повторяющихся и периодических импульсных сигналов длительностью в доли и единицы наносекунд (полоса пропускания 0...5ГГц).

СТРОБОСКОПИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С7-) обладают способностью исследовать сигналы пикосекундной длительности, благодаря применению стробоскопического метода трансформации масштаба времени сигнала. Эти осциллографы обладают большой



чувствительностью (мВ) сигнала и полосой пропускания до 10ГГц, однако применимы только для исследования повторяющихся сигналов.

**ЗАПОМИНАЮЩИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С8-)** обладают способностью сохранять и воспроизводить изображение сигнала на экране после его исчезновения на входе осциллографа. Эти приборы в основном предназначены для исследования медленно меняющихся сигналов. Диапазон измеряемых интервалов времени в них расширен до десятков секунд.

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ** – это, главным образом, телевизионные осциллографы.

Упрощенная структурная схема, по которой строится большинство осциллографов, работающих в реальном масштабе времени, изображена на рис. 1.

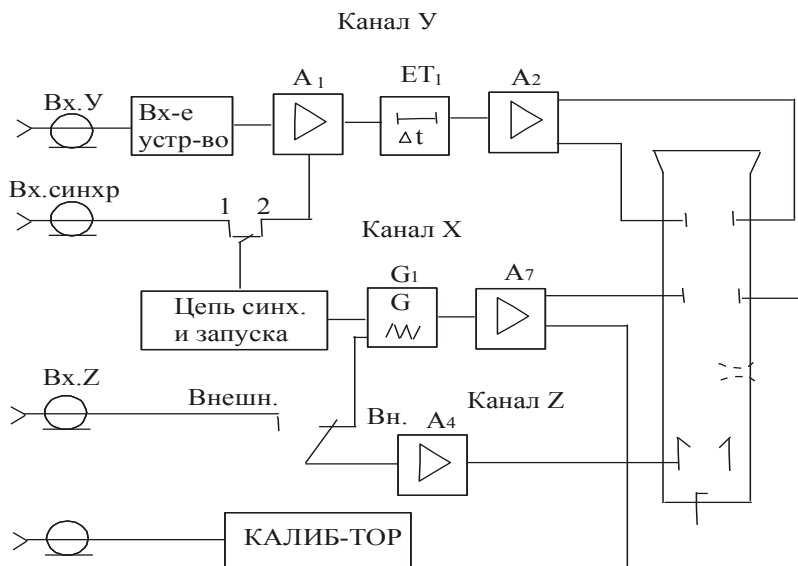


Рис. 1. Блок схема универсального осциллографа

Она содержит следующие основные части: канал вертикального отклонения луча (канал Y), канал горизонтального отклонения (канал X), канал управления лучом по яркости (канал Z), калибратор, ЭЛТ со схемами фокусировки, управления и питания.

Рассмотрим канал вертикального отклонения. На входное устройство поступает исследуемый сигнал, поэтому входная цепь должна обеспечивать согласование параметров входа усилителя вертикального отклонения  $A_1$  с параметрами цепи исследуемого сигнала. Чтобы можно было исследовать сигналы с малой амплитудой

при наличии большого постоянного напряжения, вводится коммутируемая разделительная емкость.

Входное устройство имеет делитель напряжения для разделения пределов измерения, со ступенчато изменяющимися коэффициентами деления.

Предварительный усилитель А1 позволяет решать следующие задачи: усиление исследуемого сигнала, сохраняя возможно большое значение отношения сигнал – шум в рабочем диапазоне частот, согласование параметров сигнала с параметрами линии задержки, преобразование сигнала из несимметричного в симметричный.

Линия задержки ЕТ1 обеспечивает поступление сигнала на Y-пластины ЭЛТ после поступления напряжения на X-пластины, благодаря чему можно наблюдать фронт исследуемого импульса при синхронизации развертки исследуемым импульсом.

Задержка составляет примерно 0.1 мкс.

Оконечный усилитель А2 канала Y обеспечивает усиление исследуемого сигнала до значения, достаточного для отклонения луча в пределах экрана по вертикали, при этом используется двухтактный усилитель.

Канал горизонтального отклонения луча включает в себя генератор развертки G1, окончательный усилитель А3, устройство синхронизации и запуска развертки.

Генератор развертки предназначен для формирования напряжения, вызывающего отклонение луча по горизонтали пропорционально времени. Параметры напряжения развертки должны соответствовать времени нарастания переходной характеристики канала и возможностям экрана данной ЭЛТ к высвечиванию медленных процессов. Генератор развертки имеет, как правило, три режима работы: автоколебательный, ждущий и однократной развертки. Автоколебательный режим применяется для наблюдения синусоидальных и импульсных сигналов с небольшой скважностью. Ждущий режим генератора развертки используется при исследовании импульсных сигналов с большой скважностью. Генератор в этом режиме находится в состоянии готовности к рабочему ходу развертки. При поступлении запускающего импульса начинается рабочий ход развертки. По окончании рабочего хода развертки генератор возвращается в состояние готовности к новому рабочему ходу. Яркость изображения импульса обычно пропорциональна частоте следования исследуемых импульсов. Минимальная частота следования также определяется световыми параметрами ЭЛТ.

Режим однократной развертки предусмотрен у большинства осциллографов. Он предназначен для фотографирования одиночных сигналов или их запоминания. Генератор развертки находится в

состоянии готовности к рабочему ходу. Нажатием кнопки ПУСК генератор запускается очередным импульсом. После рабочего хода развертка автоматически блокируется и не запускается следующим импульсом до очередного нажатия кнопки ПУСК.

Для получения изображения более крупного масштаба по оси времени, чем позволяет генератор развертки, у большинства осциллографов предусматривается режим «растягивания» во времени, что достигается увеличением коэффициента усиления оконечного усилителя канала X в заданное число раз – /2,5,10/.

Конечно, при работе в таком режиме уменьшается яркость изображения. У большинства осциллографов наряду с режимом развертки во времени используется режим отклонения /режим X-Y/ исследуемым сигналом по горизонтали, аналогично тому, как это делается в канале Y. Этот режим необходим при исследовании различных функциональных зависимостей, таких как ВАХ приборов, интерференционные фигуры и др. Для этого исследуемое напряжение подается на вход Y и вход X (синхронизация).

Устройство синхронизации и запуска развертки предназначено для получения устойчивого изображения сигнала на экране осциллографа. Для этого начало рабочего хода развертки должно совпадать с одной и той же характерной точкой исследуемого сигнала. При автоколебательном режиме работы генератора развертки этот процесс привязки начала развертки к началу наблюдаемого сигнала называют синхронизацией, а при ждущем режиме и одиночном запуске – запуском развертки. Для обеспечения синхронизации и запуска развертки устройство синхронизации вырабатывает импульс с крутым фронтом и постоянной амплитудой в момент времени, когда входной сигнал достигает заданного уровня. Этим импульсом корректируется длительность обратного хода развертки или ее запуска.

Канал управления такого луча (канал Z) служит для установки яркости изображения сигнала на экране ЭЛТ, удобной для его наблюдения как вручную (изменяя смещение на модуляторе или катоде ЭЛТ), так и с помощью усилителя, на вход которого подаются сигналы внешнего или внутреннего источника для быстрого подсвечивания важных участков изображения сигнала.

Основное назначение канала Z состоит в подсвечивании рабочего хода развертки. Во время рабочего хода на вход усилителя подается прямоугольный импульс подсвета, который вырабатывается генератором развертки и после усиления подается на модулятор или катод ЭЛТ.

Калибровочные цепи представляют собой генераторы сигнала с точно известной амплитудой и периодом. В качестве калибровочного сигнала чаще всего используется меандр. Калибровочное напряжение

подается на вход осциллографа. Органы управления осциллографа устанавливаются в указанные в инструкции положения и проверяются совмещением калибровочного сигнала с заданными рисками шкалы.

Основными нормируемыми характеристиками осциллографа, определяемыми каналом вертикального отклонения, являются чувствительность (коэффициент отклонения), время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения и полоса пропускания, входное сопротивление и входная емкость. Кроме того, нормируется степень допустимых искажений сигналов на экране и основная погрешность измерения напряжения.

Чувствительность канала вертикального отклонения  $S_y$  (мм/мВ):

$$S_y = S_{y(t)} * K * 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $S_{y(t)}$  – чувствительность ЭЛТ к вертикальному отклонению (мм/В),  
 $K$  – коэффициент усиления канала Y.

Коэффициент отклонения  $R_{oy}$  (мВ/мм) есть величина, обратная  $S_y$

$$R_{oy} = 1/S_y = 10^3 / R_y * S_{y(t)} = R_{oy(t)} * 10^3 * R_y, \quad (2)$$

где  $R_{oy(t)}$  – коэффициент отклонения трубки.

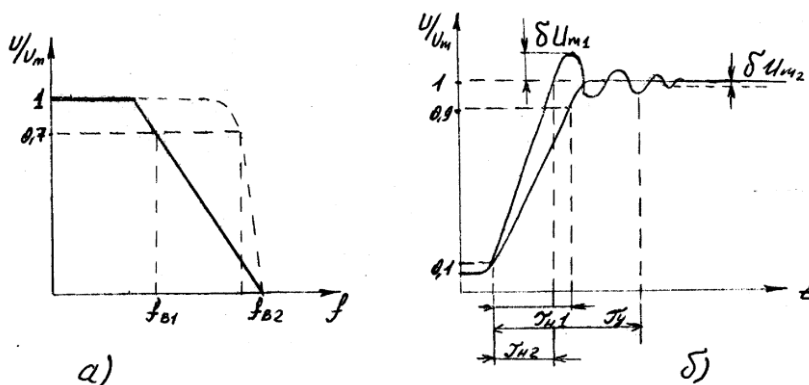


Рис. 2. Графики для определения полосы пропускания и времени нарастания

### Время нарастания переходной характеристики, полоса пропускания

Полоса пропускания у большинства осциллографов простирается от постоянного тока (открытый вход) или нескольких единиц Гц  $f_n$  (закрытый вход) до верхней частоты  $f_B$ , при которой коэффициент усиления в канале Y уменьшается на 3 дБ (рис. 2а).

Временем нарастания переходной характеристики называется время, в течение которого луч проходит от 0.1 до 0.9 установившегося значения (рис. 2б).

Полоса пропускания и время нарастания переходной характеристики величины связанные. Для получения неискаженной формы импульса и отсутствия выбросов падение усиления в области высших частот не должно быть очень резким (не более 6 дБ/окт).

При этих условиях  $\tau_n = 350/f_v$ . Здесь  $\tau_n$  выражено в нс,  $f_v$  - в МГц. На рис. 2б показан случай, когда это условие нарушено. Как следствие появление выброса на переходной характеристике.

Во многих осциллографах для обеспечения равномерности АЧХ в пределах полосы пропускания в оконечном каскаде осуществляется коррекция АЧХ на участке непосредственно перед спадом уровня 3 дБ. В технических характеристиках на осциллограф приводится максимальное возможное значение выброса (например  $\leq 5\%$ ). Очевидно, при длительности фронта исследуемого импульса, во много раз превышающем время нарастания переходной характеристики, на изображении импульса не наблюдается.

Быстродействие осциллографа характеризуют также временем установления переходной характеристики  $\tau_y$ . Это интервал времени от уровня 0.1 амплитуды изображения до момента уменьшения паразитных осцилляций после выброса до значения, не превышающего погрешность измерения уровня (0,5.....0,25/дел).

На рис. 2б показаны время нарастания для двух форм, время установления переходной характеристики  $\tau_y$ , амплитуда  $\delta U_m$  выброса переходной характеристики.

При измерении амплитуды синусоидального колебания в высокочастотной АЧХ возможна существенная погрешность при принятом нормировании неравномерности АЧХ (до 30%). Поэтому полоса частот, в которой гарантируется та или иная погрешность измерения амплитуды, указывается в техническом описании особо.

### **Входное сопротивление канала**

Входное сопротивление канала  $Y$  характеризует степень влияния осциллографа на режим работы исследуемой цепи и характеризуется входным активным сопротивлением и входной емкостью  $C_{вх}$ , включенной параллельно входному сопротивлению. Обычно  $C_{вх} \leq 30...40$  пФ, а  $R_{вх} \geq 1$  МОм. Как следует из структурной схемы, канал горизонтального отклонения состоит из генератора развертки, оконечного усилителя и устройства синхронизации.

Развертка характеризуется коэффициентом развертки, равным отношению времени прямого хода  $T_n$  к числу делений шкалы экрана, которые занимает линия развертки:  $K_p = T_n/n_s$ .

Параметры каналов Y и X должны быть взаимно увязаны соотношением между временем нарастания переходной характеристики в канале Y и минимальным коэффициентом развертки и устанавливается из следующих соображений. Пусть исследуется минимальная длительность измеряемого фронта импульса  $\tau_{\phi}$ . С одной стороны, можно считать для данного осциллографа, что  $\tau_{\phi_{\min}} \geq 3\tau_n$ .

С другой стороны, считается что изображение фронта займет на экране не более трети шкалы, т.е.  $\tau_{\phi}/K_{\text{pmin}} \leq n_3/3$ , где  $K_{\text{pmin}}$  – минимальный коэффициент развертки,  $n_3$  – число делений шкалы ЭЛТ.

Из приведенных соотношений можно заключить, что  $K_{\text{pmin}} \leq 9\tau_n/n_3$ . Поскольку  $n_3 \approx 8 \dots 10$ , то  $K_{\text{pmin}} \approx \tau_n$ .

Таким образом, минимальный коэффициент развертки равен времени нарастания переходной характеристики в канале Y, приходящемуся на одно деление шкалы ЭЛТ.

Общий принцип работы генератора линейной развертки состоит в использовании напряжения на обкладках конденсатора при его заряде и разряде и автоматического переключения с заряда на разряд (рис. 3).

Конденсатор C1 заряжается через резистор R1, когда электронный переключатель S1 находится в положении 1, и разряжается через r, когда S1 находится в положении 2.

Если  $R1 \cdot C1 \geq r \cdot C1$ , то напряжение  $U_c$  при заряде используется для создания прямого хода развертки, а при разряде – обратного хода.

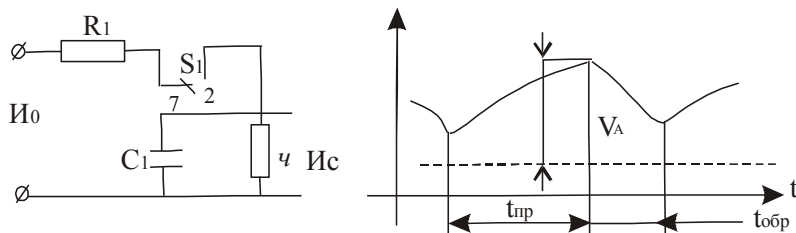


Рис. 3. Принципиальная схема и диаграмма работы генератора линейной развертки.

Вспомним попутно определение коэффициента нелинейной развертки.

Если коммутирующая схема работает в автоколебательном режиме, то получается модель периодической развертки. Длительность или частота развертки определяется длительностью замкнутого и разомкнутого состояния коммутирующей цепи, она в реальной схеме коммутатора зависит от параметров  $R_1$ ,  $C_1$ ,  $r$ . Коммутатор срабатывает автоматически, когда напряжение на конденсаторе достигает определенного уровня – максимального или минимального.

Напряжение на конденсаторе  $U_c$  при заряде, как известно, изменяется по экспоненциальному закону, а необходимо, чтобы менялась линейно. Один из способов линеаризации заряда емкости состоит в замене источника напряжения  $U_0$ , генератором тока. Тогда если в формулу интегрирующей цепи подставить  $i=I=const$ , получим  $U_p = \frac{I}{C} \times t$ , что и требовалось доказать.

Другой способ состоит в использовании вместо интегрирующей цепи активного интегратора.

Коэффициент нелинейности выходного напряжения интегратора теоретически в  $K-1$  ниже, чем в случае применения простой интегрирующей цепи. Например,  $\gamma=1\%$  может быть достигнут при использовании большего участка экспоненты ( $\tau_p/\tau=1$ ) и сравнительно небольшого коэффициента усиления УПТ ( $K=100$ ).

Подобного типа генераторы развертки применены, например в универсальных осциллографах С1-65, С1-68, С1-72.

### Приборы и оборудование

Генератор НЧ Г6-27, осциллограф двухканальный С1-93, специальный шнур (рис.4), стандартный набор шнуров.

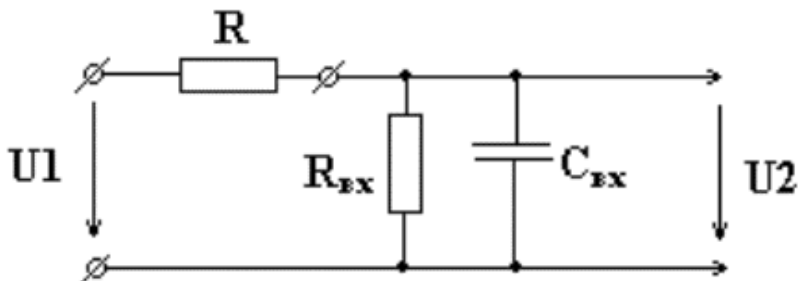


Рис.4. Принципиальная схема измерительного шнура.  $R=1,092$  МОм

### Порядок выполнения работы

Для определения емкости осциллографа

$$f = \frac{1}{2nR_{\%} \times \dots \times \dots};$$

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{вх}} + C_{\text{ш}}$$

где  $C_{\text{ш}}$  – емкость шнура (можно принять равной  $\approx 55$  пФ).

$$Z_{eX} = R \frac{A}{A-1}, \text{ где } A = U_2 / U_1$$

Отсюда

$$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R_{eX}}\right)^2 + \omega \cdot C_{eX}}, \text{ и}$$

$$Z_{eX} = \frac{R_{eX}}{\sqrt{1 + \omega \cdot R_{eX} \cdot C_{eX}}},$$

считая, что на частоте 20-50 Гц,  $R_{eX} \cong Z_{eX}$ ,

получим 
$$C_{eX} = \frac{\sqrt{\left(\frac{R_{eX}}{Z_{eX}}\right)^2 - 1}}{\omega \cdot R_{eX}}.$$

1. Изучить технические характеристики и принцип работы осциллографа.
2. Набросать на черновике план действия для выполнения пунктов лабораторной работы.
3. Согласовать план действия для выполнения с преподавателем. И только после этого можно приступать к непосредственному выполнению лабораторной работы.
4. Измерить входное сопротивление осциллографа.
5. Измерить входную емкость осциллографа, учитывая, что удельная емкость соединительного шнура  $\approx 50$  (пФ/м).
6. Подать на вход осциллографа синусоидальное напряжение переменного тока от генератора Г6-27 и измерить его значение на выходе обычного и специального шнура на экране осциллографа.
7. Повторить пункт 6 для частот от 20 Гц до 1000 кГц.
8. Заполнить табл. 1.

Таблица 1

f, Гц	$U_1$ , В	$U_2$ , В	R, МОм	Свх, пФ
20				
500				
1000				
2000				



5000				
10000				
20000				
50000				
100000				
200000				
500000				
				Среднее $C_{вх} =$

### Содержание отчета

1. Теория работы;
2. Технические данные приборов;
3. Данные измерений и расчетов (таблица 1);
4. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют электронно-лучевые осциллографы?
2. Какие основные части содержит блок-схема осциллографа?
3. Объясните работу канала вертикального отклонения.
4. Расскажите о генераторе развертки.
5. Для чего служит устройство синхронизации?
6. Перечислите основные нормируемые характеристики осциллографа.
7. Что такое полоса пропускания и время нарастания?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

**Цель работы:** Овладеть основными (наиболее часто встречающимися на практике) методами измерения частоты и временных интервалов.

#### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Неотъемлемой составной частью любого универсального осциллографа является генератор развертки, структурно принадлежащий каналу «Х». Существует несколько видов разверток. Рассмотрим некоторые из них.

Линейная развертка является наиболее распространенным видом развертки. Напряжение этой развертки имеет форму пилы, поэтому луч с постоянной скоростью перемещается по экрану слева направо. Скорость луча в современных осциллографах колеблется от единиц сантиметров до десятков сантиметров в секунду, а в скоростных – до десятков тысяч километров в секунду.

Линейная ждущая развертка используется для наблюдения импульсов большой скважности, а также непериодических, случайных или однократных сигналов. Развертывающее напряжение такой развертки вырабатывается только тогда, когда поступающий сигнал на входе "У" через блок синхронизации запускает генератор развертки, который вырабатывает одиночный импульс.

Синусоидальная развертка получается при подаче на пластины «Х» гармонического напряжения

$$U_x = U \sin \omega t .$$

Положительный полупериод напряжения развертывает перемещение луча от центра экрана до правой его границы и обратно; отрицательный полупериод напряжения развертывает перемещение луча от центра экрана до левой его границы и обратно к центру.

Если одновременно на вход «У» подать напряжение вида

$$U_y = U \sin(\omega t + \varphi) ,$$

где  $\varphi$  – некоторый сдвиг фазы, то на экране появляется фигура Лиссажу, которая представляет собой эллипс, форма которого зависит от амплитуды исходных сигналов и фазового сдвига.

Оциллограмма при синусоидальной развертке неподвижна только при равенстве или кратности частот приложенных напряжений. При равенстве частот получаются круг, наклоненные овалы (направо – 45, 315; налево – 135, 225) наклоненные линии (направо – 0; налево – 180) в зависимости от фазового сдвига. При кратных частотах наблюдается фигура в виде восьмерки (рис. 1).

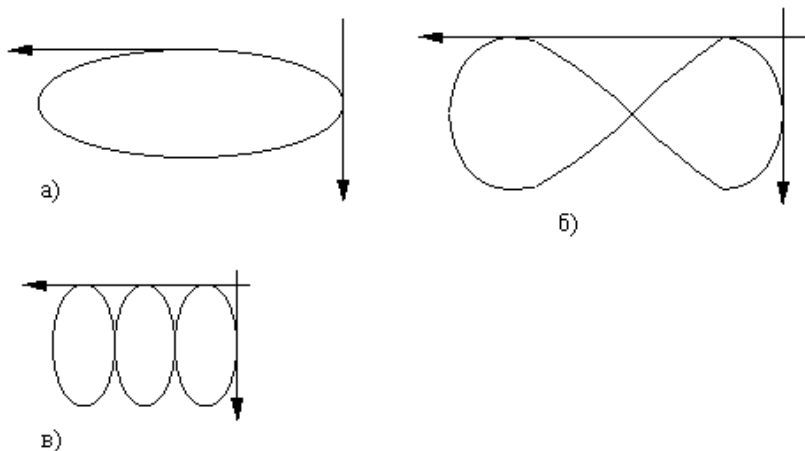


Рис. 1. Фигуры Лиссажу, получающиеся при разном соотношении частот:  
 а)  $F_x/F_y=1/1$ ; б)  $F_x/F_y=1/2$ ; в)  $F_x/F_y=1/3$

## Приборы и оборудование

Оциллограф С1-64А, звуковой генератор ГЗ-102 (2 шт.), частотомер ЧЗ-36 или ЧЗ-57.

## Технические данные

### 1. Электронный частотомер ЧЗ-36.

Экстремальные значения (в диапазоне 10 Гц – 50 МГц) при входном напряжении:

0.1-10 В – для синусоидального сигнала в диапазоне 10 Гц-30 МГц

0.2-10 В - для синусоидального сигнала в диапазоне 30-50 Гц

0.5-10 В - для импульсного сигнала

### 2. Осциллограф универсальный С1-64А.

Минимальная частота следования линии развертки, при которой обеспечивается наблюдение и измерение предельно быстрого исследования сигнала 20 Гц.

Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения  $\pm 5\%$  при измеряемом размере изображения от 2 до 8 делений.

3. Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-102.

I поддиапазон ( $\times 1$ ) от 20 до 200 Гц

II поддиапазон ( $\times 10$ ) свыше 200 Гц до 2 кГц

III поддиапазон ( $\times 10^2$ ) свыше 2 до 20 кГц

IV поддиапазон ( $\times 10^3$ ) свыше 20 до 200 кГц

Погрешность по техническим данным:

$$\pm \left( 1 + \frac{50}{f_n} \right) \% \quad (1^*)$$

в диапазоне частот свыше 200 Гц до 20 кГц (II и IV диапазоны)

$$\pm \left( 2 + \frac{50}{f_n} \right) \% \quad (1^{**})$$

в диапазоне частот свыше 20 до 200 Гц (I диапазон)

### Ход работы

1. Соединить приборы по схеме, приведенной на рис. 2.

2. Устанавливая частоту поверяемого генератора, указанную в таблице, подбирается частота генератора-эталона по фигурам Лиссажу для отношения частот 1:1. В таблицу заносятся частота поверяемого генератора по показаниям частотомера и генератора-эталона

f генератора поверки ( $f_{ген}$ ), Гц	f частотомера, Гц ( $f_{ум}$ )	f генератора эталона, Гц ( $f_{эцл}$ )	$\delta f_z$ , %	$\delta f_o$ , %	$\delta f_{оцл\ тех}$ , %
20					
50					
100					
200					
500					
1000					
2000					
5000					
10000					
20000					
50000					
100000					

3. Рассчитать погрешности измерений  $\delta f_{осц\text{ мех}}$  по формуле (1\*) и (1\*\*), а погрешности  $\delta f_z$  и  $\delta f_o$  – по формуле (2) и (3).

$$\delta f_z = \frac{f_{ген} - f_{ун}}{f_{ун}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$\delta f_o = \frac{f_{осц} - f_{ун}}{f_{ун}} \cdot 100\% \quad (3)$$

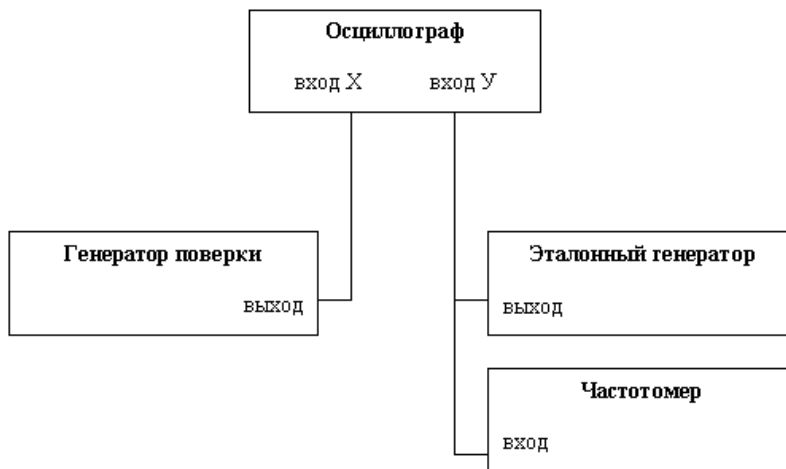


Рис. 2. Схема соединения приборов

## Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать технические данные приборов, схемы всей измерительной установки, рисунки фигур Лиссажу, результаты измерений, расчеты и выводы.

## Контрольные вопросы

1. Что такое фигуры Лиссажу?
2. Какие виды разверток вы знаете?
3. Известно, какой вид имеет фигура Лиссажу при соотношении частот генераторов  $\frac{1}{2}$ . Почему для поверки генераторов используют фигуру Лиссажу, которая получается при соотношении частот  $1/1$ ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Б.В. Дворяшин. Основы метрологии и радиоизмерения: Учебное пособие для ВУЗов. М. «Радио и связь», 1993.

Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин Н.Г. Электрорадиоизмерения. – М., 1986.

Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Основы метрологии. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.– 336 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Поверка осциллографа С1-93 .....	1
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Многократные измерения и их метрологическая обработка .....	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Определение технических характеристик универсального осциллографа .....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Измерение частоты и временных интервалов .....	34
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	38

Учебное издание

**Горошко Дмитрий Львович**

**МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ**

Практикум

Редактор Л.И. Александрова  
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать 16.11.2003. Формат 60×84/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32.  
Уч.-изд. л. 1,7. Тираж 100 экз. Заказ

---

Издательство Владивостокского государственного университета  
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41  
Отпечатано в типографии ВГУЭС  
690600, Владивосток, ул. Державина, 57