

**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Инженерно-физический факультет высоких технологий

Кафедра радиофизики и электроники

С.Б. Бакланов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам по дисциплине
«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРО - И РАДИОИЗМЕРЕНИЙ»**

Ульяновск, 2010 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА	4
2. МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ	5
3. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ	7
4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	8
5. ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	9
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА»	10
6.1. ЗАДАНИЕ	10
6.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	10
6.2.1. Измеряемые значения напряжений	10
6.2.2. Общая характеристика и классификация электронных вольтметров	12
6.2.3. Построение электронных вольтметров аналогового типа	13
6.2.4. Детекторы электронных вольтметров	14
6.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	14
6.3.1. Перечень используемых приборов	14
6.3.2. Устройство и технические характеристики исследуемого вольтметра В7-36	16
6.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:	17
6.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ	17
7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА»	21
7.1. ЗАДАНИЕ	21
7.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	22
7.2.1. Устройство и принцип работы универсального ЭЛО	22
7.2.2. Техника осциллографических измерений	23
7.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	25
7.3.1. Перечень используемых приборов	25
7.3.2. Основные технические характеристики ЭЛО С1-77	26
7.3.3. Назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-77	26
7.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:	28
7.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ	29
8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ»	34
8.1. ЗАДАНИЕ	34
8.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	34
8.2.1. Общие понятия	34
8.2.2. Осциллографические методы сравнения частот	35
8.2.3. Устройство и принцип работы цифрового частотомера	37
8.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	38
Перечень используемых приборов:	38
8.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:	39
8.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ	39
9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 «ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА»	43
9.1. ЗАДАНИЕ	43
9.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	43
9.2.1. Общие понятия	43
9.2.2. Осциллографические методы измерения фазового сдвига	44
9.2.3. Устройство и принцип работы цифрового фазометра	45
9.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	46
Перечень используемых приборов:	46
9.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:	48
9.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ	48
10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»	53
10.1. ЗАДАНИЕ	53

10.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	53
10.2.1. Основные измеряемые параметры компонентов электрических цепей.....	53
10.2.2. Методы измерения.....	54
10.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ.....	57
10.3.1. Перечень используемых приборов.....	57
10.3.2. Устройство, технические характеристики и принцип работы измерителя Е7-12.....	58
10.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:.....	59
10.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	59
11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 «ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ».....	64
11.1. ЗАДАНИЕ.....	64
11.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	64
11.2.1. Общие сведения.....	64
11.2.2. Методы экспериментального анализа спектров.....	68
11.2.3. Устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа.....	68
11.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ.....	71
11.3.1. Перечень используемых приборов.....	71
11.3.2. Основные технические характеристики анализатора спектра С4-77.....	72
11.3.3. Назначение основных органов управления, контроля и присоединения анализатора спектра С4-77.....	73
11.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:.....	76
11.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	76
12. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ».....	83
12.1. ЗАДАНИЕ.....	83
12.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	83
12.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ.....	85
12.3.1. Перечень используемых приборов.....	85
12.3.2. Назначение основных органов управления и присоединения ЭЛЮ С1-122.....	87
12.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:.....	94
12.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	95
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВАХ СТАБИЛИТРОНА.....	96
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА (БТ).....	97
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА (ПТ).....	99
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ ТИРИСТОРА.....	101
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	104

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

1.1. Целью лабораторного практикума является формирование у студентов комплекса теоретических и практических навыков современной техники измерений, эксплуатации электроизмерительных приборов, усвоение студентами методов измерения, принципов работы и метрологических характеристик средств измерений при измерении:

значений постоянного и переменного напряжений (*лабораторная работа №1*);

амплитудных и временных параметров гармонических и негармонических периодических сигналов (*лабораторная работа №2*);

частоты гармонических сигналов (*лабораторная работа №3*);

фазового сдвига переменных синусоидальных напряжений (*лабораторная работа №4*);

основных и паразитных параметров компонентов электрических цепей (*лабораторная работа №5*);

спектров сигналов (*лабораторная работа №6*);

параметров вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (*лабораторная работа №7*).

1.2. Лабораторный практикум условно состоит из 2-х частей:

- 1) Знакомство студентов с принципами построения относительно простых и наиболее распространенных измерительных приборов и схем, областями их применения, методами измерения основных электротехнических и радиотехнических величин, а также расчетом погрешностей (лабораторные работы №1-4). Особенностью 1-ой части лабораторного практикума является **фронтальная технология** выполнения работ (на занятии все бригады студентов выполняют одну и ту же работу, но с индивидуальным вариантом).
- 2) Знакомство студентов с принципами построения относительно сложных и уникальных измерительных приборов, областями их применения, методами измерения и исследования наиболее распространенных параметров и характеристик, а также расчетом погрешностей (лабораторные работы №5-7). Особенностью 2-ой части лабораторного практикума является **цикловая технология** выполнения работ (на занятии бригады студентов выполняют разные работы с индивидуальными вариантами, сдвигаясь на очередном занятии по циклу).

1.3. В описании каждой лабораторной работы приводятся краткие теоретические сведения по исследуемому объекту, производится знакомство с используемыми приборами, принципом их работы и техническими характеристиками, сформулированы контрольные вопросы, в экспериментальной части раскрывается методика проведения измерений и содержатся указания по выполнению расчетов и построению графических характеристик.

1.4. Рабочее задание к каждой лабораторной работе предусматривает:

1.4.1. Предварительную домашнюю подготовку студента к выполнению лабораторной работы, включающую:

проработку рекомендуемой литературы (список литературы приведен в конце методических указаний) и описания настоящих методических указаний по исследуемому объекту;

ответы на контрольные вопросы;

заготовку отчета (бланк протокола исследований) по выполняемой работе (в бумажном или электронном виде) в соответствии с правилами оформления (см. раздел 4) со свободными местами для внесения результатов экспериментов и расчетов и формулирования выводов по работе;

заготовку требуемого количества листов кальки или клетчатой бумаги для копирования осциллограмм с экрана осциллографа, ВАХ с экрана характериографа, спектрограмм с экрана анализатора спектра (в случае отсутствия фотографического устройства).

1.4.2. Получение индивидуального задания (номера варианта) для каждой бригады студентов.

1.4.3. Ознакомление с лабораторным оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента, принципом их работы и техническими характеристиками.

1.4.4. Проведение лабораторного эксперимента по измерению параметров и исследованию характеристик исследуемого объекта.

1.4.5. Выполнение необходимых расчетов, включая расчеты погрешности измерения, анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

1.4.6. Формулирование выводов и оформление отчета по лабораторной работе (см. раздел 4).

2. МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

2.1. К работе не допускаются студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, не ознакомившиеся с описанием работы и не имеющие предварительно заготовленного бланка протокола исследований.

2.2. Работа студентов разрешается только на исправном оборудовании.

2.3. Выполнение работы разрешается только бригадой, состоящей не менее чем из двух человек.

2.4. Подготовка приборов к работе осуществляется при отключенном питании, кроме случаев, оговоренных в указаниях к работе.

2.5. Сборка электрической цепи и изменение схемы измерения производится только при полностью отключенном напряжении и только с разрешения преподавателя, кроме случаев, оговоренных в указаниях и работе. Сборку электрической цепи осуществляет один из членов бригады, второй его контролирует.

2.6. Собрав и проверив схему измерения, необходимо установить ручку регулирования амплитуды напряжения источника сигнала в начальное положение, измерительные приборы - на наибольший предел и доложить преподавателю о готовности к работе.

2.7. Разрешение на подачу напряжения дает преподаватель после проверки схемы.

2.8. Включение производится только тех приборов, которые непосредственно задействованы для проведения эксперимента.

2.9. Выполнив тот или иной этап работы, необходимо снять напряжение и, показав результаты измерений преподавателю, получить разрешение на требуемые изменения в схеме. Сделав изменения в схеме, необходимо вновь показать ее преподавателю и получить его разрешение на подачу напряжения для дальнейших исследований.

2.10. При обнаружении неисправности, появлении признаков перегрузки или перегрева

оборудования, срабатывании защиты источника питания или при возникновении неясности в проведении работы немедленно снять напряжение и обратиться к преподавателю.

2.11. По окончании работы необходимо выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать соединительные провода и кабели, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать все демонтированные провода и кабели и предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

2.12. Запрещается:

- 2.12.1. Приступать к выполнению работ без ознакомления с правилами техники безопасности.
- 2.12.2. Работать на неисправном оборудовании.
- 2.12.3. Выполнять работу одному человеку.
- 2.12.4. Самостоятельно включать главный щит электрического питания.
- 2.12.5. Включать оборудование без предварительной проверки его преподавателем и без разрешения преподавателя.
- 2.12.6. Включать незадействованные в эксперименте приборы.
- 2.12.7. Производить переключения в схемах, находящихся под напряжением, если этого не допускает инструкция к работе.
- 2.12.8. Касаться оголенных проводников и незаизолированных частей аппаратуры.
- 2.12.9. Оставлять без наблюдения установки, находящиеся под напряжением.
- 2.12.10. Использовать оборудование не по назначению, превышать номинальные параметры его работы.
- 2.12.11. Включать посторонние электрорадиоприборы и аппаратуру.
- 2.12.12. Производить порчу лабораторного оборудования и измерительных приборов, выполнять демонтаж их отдельных частей и блоков, пытаться самостоятельно устранить неисправность.
- 2.12.13. Загромождать рабочее место в лаборатории портфелями, одеждой, книгами, зонтами.
- 2.12.14. Облокачиваться на оборудование и приборы, бесцельно ходить по лаборатории, отвлекать товарищей, громко разговаривать, допускать в лабораторию посторонних.
- 2.12.15. Вмешиваться в работу других бригад.
- 2.12.16. Открывать без разрешения преподавателя форточки и окна.

2.13. При несчастном случае необходимо:

- 2.13.1. Обесточить поражающее оборудование, высвободить пострадавшего от действия тока, но так, чтобы самому не оказаться под напряжением и сообщить о случившемся преподавателю.
- 2.13.2. Оказать первую помощь пострадавшему под руководством преподавателя, не допуская паники и неорганизованности.
- 2.13.3. При необходимости вызвать скорую помощь по телефону 03. Искусственное дыхание производить до приема пострадавшего врачом скорой помощи.

2.13.4. Доложить заведующему кафедрой.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. Лабораторное оборудование включает в себя:

блочный исследовательский стенд по радиотехнике БИС-Р, которому придаются *универсальный вольтметр В7-36* и *низкочастотный генератор сигналов ГЗ-120*; *универсальный электронно-лучевой осциллограф С1-77* в составе универсального лабораторного стенда УЛС;

блок генератора низкой частоты в составе стенда УЛС;

блок цифрового фазометра в составе стенда УЛС;

низкочастотный RC-фазовращатель, высокочастотный тройник, соединительные провода и кабели;

цифровой измеритель L, C, R E7-12 с принадлежностями;

анализатор спектра С4-77;

генератор сигналов специальной формы Г6-33;

универсальный осциллограф С1-122А, состоящий из базового блока и трех сменных блоков: *блока усилителя Я4С-90*, *блока развертки Я4С-91* и *блока характеристикографа Я4С-92*, и также набора сменных адаптеров.

3.2. Общий вид стенда БИС-Р изображен на рис. 3.1. Стенд БИС-Р состоит из:

лабораторного стола (поз. 1);

блока включения стенда (поз. 2), предназначенного для подключения и нему источников питания стенда и радиоизмерительных приборов (12 розеток ~220В), а также являющегося источником 4-х нерегулируемых переменных напряжений (~220В - 2А; ~36В - 1А; ~12В - 3А; ~6,3В - 5А) и регулируемого переменного напряжения ~0...250В - 2А, контролируемого встроенным вольтметром;

двухполярного блока питания БП-15 (поз. 3), являющегося источником регулируемого двухполярного стабилизированного постоянного напряжения 0...+15В и 0...-15В (1А), контролируемого встроенными вольтметрами, и имеющего электронную защиту от перегрузок и токов коротких замыканий;

блока питания БП-5, БП-30 (поз. 4), являющегося источником нерегулируемого (5В, 1А) и регулируемого (0...30В, 1А) стабилизированных постоянных напряжений, контролируемых встроенными амперметрами и вольтметром (для БП-30), и имеющего электронную защиту от перегрузок и токов коротких замыканий;

блока «Частотомер-генератор» (поз. 5), предназначенного для измерения частоты гармонических и импульсных напряжений, числа оборотов двигателей (диапазон измеряемых частот – 0,01...1000 кГц; амплитуда входного сигнала – 1...60В), а также выработки прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности с регулируемой амплитудой (0...15В), длительностью (10...25мкс) и частотой (1...10кГц).



Рис. 3.1. Общий вид стенда БИС-Р:

- 1 – лабораторный стол;**
- 2 – блок включения стенда;**
- 3 – двухполярный блок питания БП-15;**
- 4 - блок питания БП-5, БП-30;**
- 5 - блок «Частотомер-генератор».**

3.3. Для выполнения лабораторной работы используются только те блоки стенда БИС-Р, которые указаны в соответствующем описании к работе и непосредственно задействованы для проведения эксперимента.

3.4. Внешний вид конкретных измерительных приборов приводится в описаниях соответствующих лабораторных работ.

4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

4.1. Отчет оформляется на листах белой (клетчатой) бумаги (А4) формата (210мм×297мм) или близком к нему. Допускается использовать обе стороны листа.

4.2. Текст следует оформлять с соблюдением размеров полей: слева – 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу - 30 мм.

4.3. На первом листе вверху необходимо сделать заголовок

**Ульяновский государственный университет
Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра радиофизики и электроники
Дисциплина «Основы электро- и радиоизмерений»**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № ____

«Название работы»

**Выполнил(и) студент(ы) группы _____ :
Ф.И.О. студентов**

4.4. Отчет должен содержать:

цель работы;

задание с исходными данными;

описание по пунктам выполненной работы с приведением необходимых схем, рисунков, таблиц, графиков, а также расчетных формул с численными значениями;

выводы по каждому пункту экспериментальной части задания.

4.5. Текст отчета, рисунки, таблицы выполняются машинописным способом (распечаткой на принтере), либо чернилами, фломастером или пастой одного цвета (черной, синей, фиолетовой) и оформляются в соответствии с требованиями к отчетам по научно-исследовательским работам (ГОСТ 7.32-81). Рисунки должны обязательно иметь номер и подрисуночные подписи, таблицы – сверху номер и наименование.

4.6. Принципиальные схемы и схемы замещения должны соответствовать ГОСТ 2.721-74 и представляются в виде рисунков.

4.7. Графики представляются в виде рисунков и имеют поясняющие обозначения или надписи, указывающие на принадлежность экспериментальным или расчетным характеристикам.

4.8. Рисунки, оформленные на кальке или клетчатой (миллиметровой) бумаге, в отчете размещаются по ходу описания работы и должны быть приклеены.

4.9. Все листы отчета должны быть пронумерованы и скреплены.

5. ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

5.1. Зачет по каждой лабораторной работе производится преподавателем при наличии правильно оформленного отчета в результате индивидуального собеседования со студентами по выявлению у них знаний и практических навыков по исследуемому объекту.

5.2. Допускается оформление одного отчета на бригаду студентов.

5.3. Прием зачета по лабораторной работе проводится во время текущего занятия или в любой период времени последующих занятий. Студенты, имеющие к началу очередного занятия более двух задолжностей, к занятию не допускаются.

5.4. По окончании лабораторного практикума организуется зачетное занятие, на котором преподавателем подводятся итоги выполнения работ и после сдачи всех задолжностей проводится устный опрос студентов по вопросам лекционного курса и тематике лабораторного практикума, завершающийся выставлением зачета в зачетную ведомость.

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы основных узлов электронного вольтметра; приобретение навыков по измерению постоянного и переменного напряжений.

6.1. ЗАДАНИЕ

6.1.1. Получите у преподавателя заданные величины измеряемых постоянного напряжения $U^{\bar{}}$ и переменного синусоидального напряжения U^{\sim} (относительного значения в отн. ед.) в соответствии с табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные

Параметры \ №варианта	1	2	3	4
$U^{\bar{}}$, В	10,0	15,0	20,0	30,0
U^{\sim} , В (отн. ед.)	2,0	3,0	4,0	5,0

6.1.2. Ознакомьтесь с работой используемых в работе приборов и изучите устройство и технические характеристики исследуемого электронного вольтметра В7-36.

6.1.3. Измерьте с помощью электронного вольтметра В7-36 заданное постоянное напряжение $U^{\bar{}}$. Сравните измеренное и исходное заданное значения $U^{\bar{}}$. Рассчитайте и сравните с паспортными данными основную погрешность $\delta^{\bar{}}$ вольтметра В7-36 при измерении постоянного напряжения.

6.1.4. С помощью электронного вольтметра В7-36 измерьте среднеквадратическое значение U переменного синусоидального напряжения и снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) $U(f)$ вольтметра В7-36. Постройте график экспериментальной АЧХ исследуемого вольтметра.

6.1.5. Рассчитайте и сравните с паспортными данными основную погрешность δ^{\sim} и изменение показаний Δ вольтметра В7-36 в исследуемом частотном диапазоне переменного напряжения.

6.1.6. Рассчитайте пиковое U_m и средневыпрямленное $U_{ср.в}$ значения измеренного синусоидального напряжения на фиксированной частоте.

6.1.7. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

6.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.2.1. Измеряемые значения напряжений

Основными измеряемыми параметрами напряжений являются:

- пиковое (амплитудное для гармонических сигналам) значение;
- среднее (постоянная составляющая сигнала) значение;
- среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение;
- средневыпрямленное значение.

Пиковое значение U_m (рис. 6.1,а) - наибольшее абсолютное мгновенное значение напряжения за время измерения (или за период T при периодическом законе изменения напряжения).

Мгновенное значение $u(t)$ - значение напряжения в любой отдельно взятый момент времени t (не измеряется, наблюдается на экране осциллографа).

При разнополярных несимметричных кривых различают **положительное** (максимальное значение) и **отрицательное** (минимальное значение) пиковые значения (рис. 6.1,б).

Разность пиковых значений напряжения называют **размахом напряжения** $U_{раз}$.

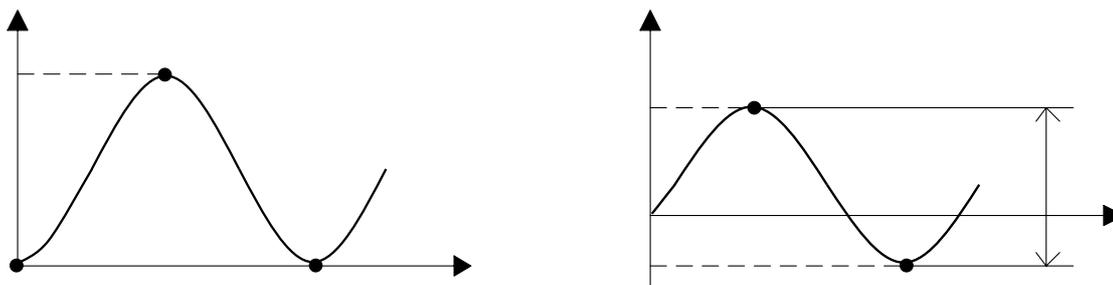


Рис. 6.1. К определению пикового значения однополярного (а) и разнополярного несимметричного (б) напряжений.

Среднее значение U_{cp} - среднеарифметическое из мгновенных значений за время измерения (или за период T):

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Среднеквадратическое значение U - среднеквадратическое из всех мгновенных значений напряжения за время измерения (или за период T):

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Средневыпрямленное значение $U_{cp,в}$ (рис. 6.2) - среднеарифметическое из абсолютных мгновенных значений напряжения за время измерения (или за период T):

$$U_{cp,в} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt.$$

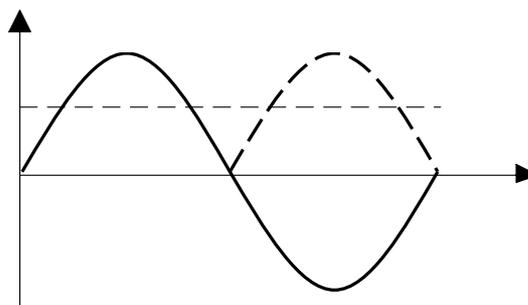


Рис. 6.2. К определению средневыпрямленного значения синусоидального напряжения при двухполупериодном выпрямлении.

Для однополярного напряжения: $U_{cp} = U_{cp.в}$.

Для разнополярного напряжения: $U_{cp} \neq U_{cp.в}$.

Для гармонического напряжения: $U_{cp} = 0$; $U_{cp.в} = 0,637 \cdot U_m$; $U = 0,707 \cdot U_m$.

Между пиковым, среднеквадратическим и средневыврявленным значениями напряжения определенной формы может быть установлена связь, характеризуемая следующими коэффициентами:

$K_a = U_m/U$ - коэффициент амплитуды (пик-фактор¹);

$K_\phi = U/U_{cp.в}$ - коэффициент формы (форм-фактор²);

Для синусоидального напряжения: $K_a = 1,41$; $K_\phi = 1,11$.

Для пилообразного напряжения: $K_a = 1,73$; $K_\phi = 1,16$.

Для меандра: $K_a = K_\phi = 1$.

Для однополярного импульсного напряжения прямоугольной формы:

$$K_a = K_\phi = \sqrt{Q},$$

где $Q = T/t_u$ - скважность, t_u - длительность импульсов.

6.2.2. Общая характеристика и классификация электронных вольтметров

Электронным вольтметром называется прибор, показания которого вызываются током электронных приборов, т.е. энергией источника питания вольтметра.

Электронные вольтметры делятся на:

аналоговые (стрелочные);

дискретные (цифровые).

В *аналоговых вольтметрах* измеряемое напряжение преобразуется в пропорциональное значение постоянного тока, измеряемое магнитоэлектрическим прибором.

В *дискретных вольтметрах* измеряемое напряжение подвергается ряду преобразований, в результате которых аналоговая измеряемая величина преобразуется в дискретный сигнал, значение которого отображается на индикаторном устройстве в виде светящихся цифр.

По роду тока электронные вольтметры делятся на:

вольтметры постоянного тока (В2);

вольтметры переменного тока (В3);

импульсные вольтметры (В4);

фазочувствительные вольтметры (В5);

селективные вольтметры (с частотно-избирательными свойствами) (В6);

универсальные вольтметры (В7).

¹ - термин принят в технике связи и выражается в децибелах (дБ).

² - термин принят в технике связи и выражается в децибелах (дБ).

6.2.3. Построение электронных вольтметров аналогового типа

Структурные схемы стрелочных электронных вольтметров представлены на рис. 6.3.

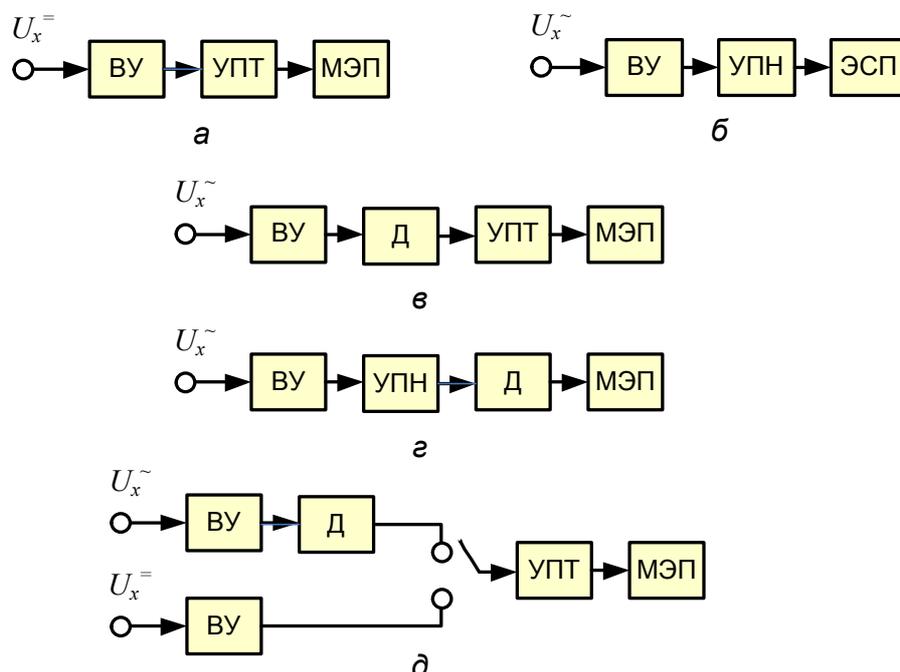


Рис. 6.3. Структурные схемы стрелочных электронных вольтметров:
а - для измерения постоянных напряжений;
б, в, г - для измерения переменных напряжений;
д - для измерения постоянных и переменных напряжений (универсальные вольтметры).

Входное устройство (ВУ) представляет собой делитель измеряемого напряжения U_x (аттенюатор), с помощью которого меняют пределы измерения. (В приборах с предварительным усилением измеряемого напряжения ВУ содержит также повторитель напряжения: эмиттерный, катодный и т.п.).

Усилитель постоянного тока (УПТ) предназначен для усиления мощности измеряемого постоянного напряжения или преобразованного сигнала до уровня, достаточного для заметного отклонения стрелочного указателя.

Усилитель переменного напряжения (УПН) предназначен для усиления измеряемого переменного напряжения и применяется в электронных микро- и милливольтметрах.

Электростатический прибор (ЭСП) показывает значение переменного напряжения.

Магнитоэлектрический прибор (МЭП) показывает среднее значение преобразованного сигнала и применяется только для измерения постоянных токов и напряжений.

Детектор (Д) предназначен для преобразования переменного напряжения в постоянное. Чаще используется понятие «преобразователь».

Принцип измерения переменного напряжения заключается в преобразовании напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока.

Вольтметры структуры на рис. 6.3, в характеризуются широким частотным диапазоном (вплоть до 1 ГГц).

Вольтметры по схеме на рис. 6.3,г имеют частотный диапазон, ограниченный полосой пропускания УПН (верхняя частота диапазона 10...50МГц), но они характеризуются значительно большей чувствительностью.

Электронные вольтметры аналогового типа имеют сравнительно невысокую точность измерения (по отношению с цифровыми вольтметрами): приведенная погрешность составляет 1...2,5%.

6.2.4. Детекторы электронных вольтметров

Детектор является измерительным преобразователем переменного напряжения в постоянное напряжение (или ток) и определяет основные метрологические характеристики вольтметра.

По преобразуемому параметру входного напряжения в выходной ток (или выходное напряжение) детекторы делятся на:

- пикового значения;
- среднеквадратического значения;
- средневыпрямленного значения.

Детектор пикового значения (пиковый детектор) преобразует измеряемое напряжение в постоянный ток, пропорциональный пиковому значению напряжения. Указанное преобразование заключается в запоминании пикового значения конденсатором (посредством его зарядки через диод), входящим в состав пикового детектора.

Необходимо подчеркнуть, что пиковые детекторы - самые широкополосные преобразователи.

Детектор среднеквадратического значения (квадратичный детектор) преобразует измеряемое напряжение в постоянный ток, пропорциональный среднеквадратическому значению напряжения. Указанное преобразование заключается в возведении в квадрат мгновенного значения напряжения и усреднении квадратического значения за период T .

Следует отметить, что только квадратичный детектор позволяет измерять среднеквадратическое значение напряжения сложной формы.

Детектор средневыпрямленного значения преобразует измеряемое напряжение в постоянный ток, пропорциональный средневыпрямленному значению напряжения. Обычно такой детектор является двухполупериодным выпрямителем, нагруженным на усредняющий МЭП. Характеристика такого выпрямителя линейна, поэтому электронные вольтметры на их основе называют линейными.

6.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

6.3.1. Перечень используемых приборов

Лабораторная работа выполняется на блочном исследовательском стенде (БИС-Р), в котором используются следующие приборы:

исследуемый *универсальный вольтметр В7-36* аналогового типа, предназначенный для измерения постоянного напряжения, среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы и электрического сопротивления (последнее в работе не исследуется); внешний вид прибора изображен на рис. 6.4;



Рис. 6.4. Внешний вид вольтметра В7-36.



Рис. 6.5. Внешний вид генератора Г3-120.

регулируемый *блок питания* **БП-30** - источник постоянного напряжения 0...30В (внешний вид прибора см. на рис. 3.1);

генератор сигналов низкочастотный ГЗ-120 - источник переменного синусоидального напряжения с регулируемой амплитудой (2...10В) и частотой (5Гц...500кГц) выходного сигнала; внешний вид прибора изображен на рис. 6.5;

блок включения стенда, предназначенный для подключения к сети ~220В вольтметра В7-36, блока питания БП-30 и генератора ГЗ-120 (внешний вид прибора см. на рис. 3.1).

6.3.2. Устройство и технические характеристики исследуемого вольтметра В7-36

Структурная электрическая схема прибора приведена на рис. 6.6.

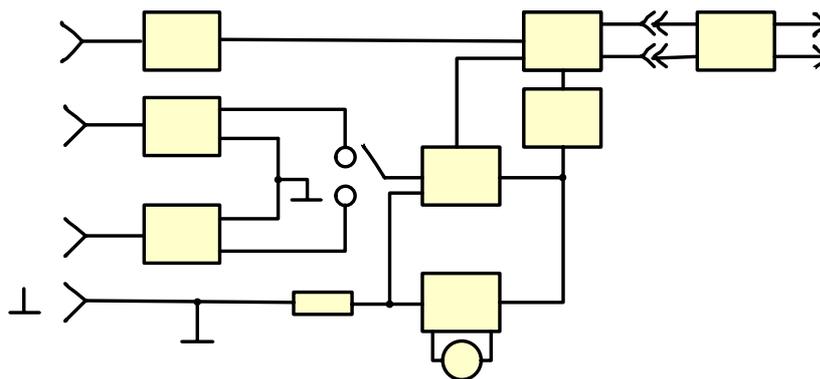


Рис. 6.6. Схема структурная электрическая вольтметра В7-36.

Входной делитель (Д1) служит для деления входного сигнала до 30В.

Входной делитель (Д2) служит для деления входного сигнала свыше 30В до 1000В.

Деленный в делителях Д1 и Д2 сигнал поступает на *преобразователь средневыпрямленного значения (ПСЗ)*, который состоит из *операционного усилителя (ОУ)* с *диодным двухполупериодным детектором (Д)* и *резистором R* в цепи отрицательной обратной связи. ПСЗ обеспечивает линейное преобразование напряжения в постоянный ток по уровню средневыпрямленного значения.

Индикатор полярности напряжения (И) служит для автоматического определения полярности измеряемого напряжения.

В диагональ диодного моста детектора Д включен *микроамперметр (РА1)* для измерения входного тока преобразователя средневыпрямленных значений.

Блок питания (БП-1) обеспечивает напряжение питания операционного усилителя ОУ, *источника питания омметра (ИПО)* и индикатора полярности напряжения И.

Блок питания (БП-2) обеспечивает питание прибора от сети переменного тока напряжением ~220В с частотой 50Гц.

Источник питания омметра ИПО образует напряжение +1В, с помощью которого производится измерение сопротивлений (в настоящей работе не используется),

Основная погрешность вольтметра В7-36 рассчитывается как приведенная погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{U_n - U_{обр}}{U_k} \cdot 100,$$

где δ - приведенная погрешность в %;

U_n - показание вольтметра В7-36 в В;

$U_{обр}$ - показание образцового прибора в В;

U_k - значение верхнего предела поддиапазона измерения В7-36 в В.

Основная погрешность вольтметра В7-36 δ^{\sim} при измерении постоянного напряжения, выраженная в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона: $\pm 2,5\%$.

Основная погрешность вольтметра В7-36 δ^{\sim} при измерении переменного напряжения через входные гнезда, выраженная в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона: $\pm 2,5\%$ - для частотной рабочей области 20Гц...10кГц (включительно); $\pm 4\%$ - для частотной рабочей области 10кГц...20кГц (включительно); до 20Гц и свыше 20кГц погрешность не регламентируется.

Изменение показаний вольтметра В7-36 при измерении переменных напряжений в пределах рабочих областей частот относительно показания на частоте градуировки определяется по формуле:

$$\Delta = \delta_z - \delta_p,$$

где Δ - изменение показаний прибора в %;

δ_z - погрешность прибора на частоте градуировки ($f=1кГц$);

δ_p - погрешность прибора на пределах рабочих областей частот.

Изменение показаний Δ вольтметра В7-36: $\pm 1,2\%$ - для частотной рабочей области 20Гц...10кГц (включительно); $\pm 4\%$ - для частотной рабочей области 10кГц...20кГц (включительно); до 20Гц и свыше 20кГц изменение показаний не регламентируется.

6.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

6.4.1. Назовите основные измеряемые параметры напряжений. Дайте определение каждого из них.

6.4.2. Каким образом соотносятся между собой пиковое, среднеквадратическое и средневыпрямленное значения переменного напряжения?

6.4.3. Каким параметром определяются коэффициенты амплитуды и формы для однополярного импульсного напряжения прямоугольной формы?

6.4.4. Дайте определение электронного вольтметра.

6.4.5. Назовите разновидности электронных вольтметров по форме представления результатов измерения и по роду измеряемого тока.

6.4.6. Воспроизведите основные структурные схемы построения электронных вольтметров аналогового типа. Дайте характеристику каждой структурной составляющей этих схем.

6.4.7. В чем состоит принцип измерения различных значений переменного напряжения электронным вольтметром?

6.4.8. Назовите основные типы детекторов электронных вольтметров.

6.4.9. Дайте определение приведенной погрешности измерения.

6.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

6.5.1. Ознакомиться с используемыми в работе приборами и изучить устройство исследуемого вольтметра В7-36 в соответствии с п. 6.3.

6.5.2. **Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.** При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии.

6.5.3. У вольтметра В7-36 проверить положение указателя прибора и, при необходимости, установить его на нулевую отметку шкалы механическим корректором. Установить переключатель рода работ в положение « $\overline{\text{---}}$ », а переключатель поддиапазонов - в положение «0,1V». После включения тумблером «СЕТЬ» блока включения стенда БИС-Р включить вольтметр В7-36 тумблером «ПИТАНИЕ». Предварительно замкнув накоротко соединительными проводами гнезда «0,1-30V» и « \perp », установить указатель прибора на нулевую отметку шкалы с помощью ручки «УСТ.0 $\overline{\text{---}}$ ». Прибор готов к измерениям.

6.5.4. У блока питания БП-30 ручку плавного регулирования амплитуды выходного постоянного напряжения установить в начальное (с минимальным значением) положение.

6.5.5. У генератора ГЗ-120 ручки плавного регулирования частоты «Hz», амплитуды выходного сигнала, а также дискретные переключатели частотных поддиапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» и аттенюатора «dB» установить в начальное положение.

6.5.6. Для измерения постоянного напряжения:

у вольтметра В7-36 установить переключатель рода работ в положение « $\overline{\text{---}}$ », а переключателем поддиапазонов выбрать соответствующий предел измерения;

включить блок питания БП-30 тумблером «СЕТЬ» (должна загореться сигнальная лампочка); ручкой плавного регулирования амплитуды выставить по внутреннему вольтметру БП-30 заданную величину постоянного напряжения $U^{\overline{\text{---}}}$;

измеряемое напряжение с помощью соединительных проводов подвести к гнездам «0,1-30V» и « \perp » вольтметра В7-36.

Полярность измеряемого напряжения на входных гнездах прибора можно определить по свечению индикатора «ПОЛЯРНОСТЬ» («+» или «-»).

6.5.7. По соответствующей пределу измерения шкале вольтметра В7-36 произвести считывание показания прибора. Результат измерения $U^{\overline{\text{---}}}$ занести в табл. 6.2. Значение верхнего предела поддиапазона U_k занести в протокол исследований. Отключить соединительные провода от блока питания БП-30 и вольтметра В7-36. Выключить блок питания БП-30.

6.5.8. Сравнить измеренное значение постоянного напряжения с помощью вольтметра В7-36 с выставленным по внутреннему вольтметру БП-30 показанием. Рассчитать основную погрешность $\delta^{\overline{\text{---}}}$ вольтметра В7-36, приняв условно за образцовое показание значение напряжения по внутреннему вольтметру БП-30. Результат расчета $\delta^{\overline{\text{---}}}$ занести в табл. 6.2. Сравнить расчетное значение $\delta^{\overline{\text{---}}}$ с паспортным значением вольтметра В7-36 (см. п. 6.3.2).

Таблица 6.2

Результаты измерения постоянного напряжения вольтметром В7-36 и расчета основной погрешности

Численное значение $U^{\overline{\text{---}}}$, В		Значение $\delta^{\overline{\text{---}}}$, %	
Показание внутреннего вольтметра БП-30	Показание вольтметра В7-36	Паспортное	Расчетное

6.5.9. Для измерения среднеквадратического значения U переменного синусоидального напряжения и снятия АЧХ $U(f)$ вольтметра В7-36:

у вольтметра В7-36 установить переключатель рода работ в положение «~», а переключателем поддиапазонов выбрать предполагаемый предел измерения;

включить генератор ГЗ-120 тумблером «СЕТЬ» (должна загореться сигнальная лампочка); ручкой плавного регулирования амплитуды выставить по внутреннему вольтметру ГЗ-120 заданную величину относительного значения (не отражает реальной величины) выходного напряжения U ;

измеряемое напряжение с помощью соединительного кабеля, подключенного с одной стороны к гнезду выходного напряжения синусоидальной формы генератора ГЗ-120, подвести к гнездам «0,1-30V» и « \perp » вольтметра В7-36, соблюдая полярность. Пальчиковый вывод кабеля, соответствующий « \perp », отличается черным цветом или другим признаком (завязанным узлом и пр.).

При необходимости у вольтметра В7-36 может быть установлен другой предел измерения, при котором стрелка прибора будет отклоняться на больший угол (в пределах шкалы). Значение верхнего предела поддиапазона U_k занести в протокол исследований.

6.5.10. Вращая ручку плавного регулирования частоты «Hz» и используя дискретный переключатель «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ», снять АЧХ $U(f)$ вольтметра В7-36. При этом необходимо внимательно следить за показаниями вольтметра (измеряет среднеквадратические значения U синусоидального напряжения) и фиксировать те значения частоты f (включая минимальную частоту $f=5\text{Гц}$ и частоту градуировки $f=1\text{кГц}$, а также граничные частоты рабочих областей $f=20\text{Гц}$, $f=10\text{кГц}$ и $f=20\text{кГц}$), при которых отмечаются существенные их изменения (в пределах одного деления и более) как в сторону возрастания, так и в сторону убывания вплоть до глубокого завала. Результаты измерений f и U занести в табл. 6.3. Построить график экспериментальной АЧХ $U(f)$ вольтметра В7-36.

6.5.11. Рассчитать основную погрешность $\delta\tilde{}$ вольтметра В7-36 в исследуемом частотном диапазоне, приняв условно за образцовое показание значение напряжения U на частоте градуировки ($f=1\text{кГц}$). Результаты расчета $\delta\tilde{}$ занести в табл. 6.3. Сравнить расчетные значения $\delta\tilde{}$ с паспортными данными вольтметра В7-36 (см. п. 6.3.2).

6.5.12. Используя значения $\delta\tilde{}$, рассчитать изменение показаний Δ вольтметра В7-36 в исследуемом частотном диапазоне. В этом случае погрешность прибора на частоте градуировки $\delta\tilde{}$, принять равной паспортным данным (см. п. 6.3.2). Результаты расчета Δ занести в табл. 6.3. Сравнить расчетные значения Δ с паспортными данными вольтметра В7-36 (см. п. 6.3.2).

Таблица 6.3

Результаты измерения АЧХ и расчета основной погрешности и изменения показаний вольтметра В7-36

Параметры		Численные значения параметров														
$f, \text{кГц}$		0,005			0,02			1			10			20		
$U, \text{В}$																
$\delta\tilde{}, \%$	расчет															
	паспорт															
$\Delta, \%$	расчет															
	паспорт															

6.5.13. Пользуясь значениями коэффициентов амплитуды K_a и формы K_f , рассчитать пиковое U_m и средневыпрямленное $U_{cp.v}$ значения измеренного синусоидального напряжения на

частоте $f=1\text{кГц}$. Среднеквадратическое значение U при $f=1\text{кГц}$ и результаты расчета U_m , $U_{cp.в}$ занести в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Результаты расчета пикового и среднев्यпрямленного значений измеренного напряжения при $f=1\text{кГц}$

<i>Среднеквадратическое значение U, В</i>	<i>Пиковое значение U_m, В</i>	<i>Среднев्यпрямленное значение $U_{cp.в}$, В</i>

6.5.14. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

6.5.15. По окончании работы выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать все соединительные провода и кабели, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и кабели, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО) и принципа работы основных его узлов; приобретение навыков по наблюдению импульсных процессов и периодических сигналов, овладение техникой осциллографических измерений амплитудных и временных параметров сигналов с помощью ЭЛО методом калиброванных шкал.

7.1. ЗАДАНИЕ

7.1.1. Получите у преподавателя заданную величину частоты следования f_u импульсов и полярность исследуемого импульсного прямоугольного сигнала, а также заданные величины частоты f и относительного значения переменного синусоидального сигнала U в соответствии с табл. 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные

Параметры \ № варианта	1	2	3	4
f_u , кГц	1,0	2,5	4,5	7,5
Полярность	+	-	+	-
f , кГц	0,15	2,5	15,0	250,0
U , В (отн. ед.)	1,0	2,0	3,0	4,0

7.1.2. Изучите устройство и принцип работы ЭЛО, основные технические характеристики и назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-77.

7.1.3. Проведите проверку калибровки коэффициентов отклонения и развертки ЭЛО С1-77.

7.1.4. Проведите осциллографические измерения с помощью С1-77 методом калиброванных шкал амплитуды U_{mu} , длительности t_u и периода следования T_{uo} импульсов прямоугольного сигнала. Сфотографируйте осциллограмму (скопируйте ее на кальку или клетчатую бумагу).

7.1.5. Рассчитайте скважность Q_u импульсов, а также коэффициенты амплитуды K_a и формы K_ϕ , среднеквадратическое U_u и среднев्यпрямленное $U_{cp.u}$ значения исследуемого импульсного прямоугольного сигнала.

7.1.6. Проведите осциллографические измерения с помощью С1-77 методом калиброванных шкал размаха U_{paz} и периода T_o переменного синусоидального сигнала. Сфотографируйте осциллограмму (скопируйте ее на кальку или клетчатую бумагу).

7.1.7. Рассчитайте пиковое U_m , среднеквадратическое U_o и средневыпрямленное $U_{cp.o}$ значения исследуемого синусоидального сигнала.

7.1.8. Рассчитайте исходные значения периодов T_u , T и сравните их с измеренными значениями периодов T_{uo} , T_o исследуемых сигналов. Рассчитайте относительные погрешности измерения периода γ_{Tu} , γ_T с помощью С1-77.

7.1.9. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

7.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.2.1. Устройство и принцип работы универсального ЭЛО

ЭЛО - прибор для визуального наблюдения электрических сигналов, а также измерения их параметров и характеристик с использованием средства отображения формы сигналов.

Доминирующее положение в науке и на производстве пока занимают ЭЛО на основе *электронно-лучевой трубки (ЭЛТ)*. Хотя они активно вытесняются современными ЭЛО на основе плоских матричных экранов.

Наблюдаемое на экране ЭЛО изображение называют *осциллограммой*.

Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ приведена на рис. 7.1.

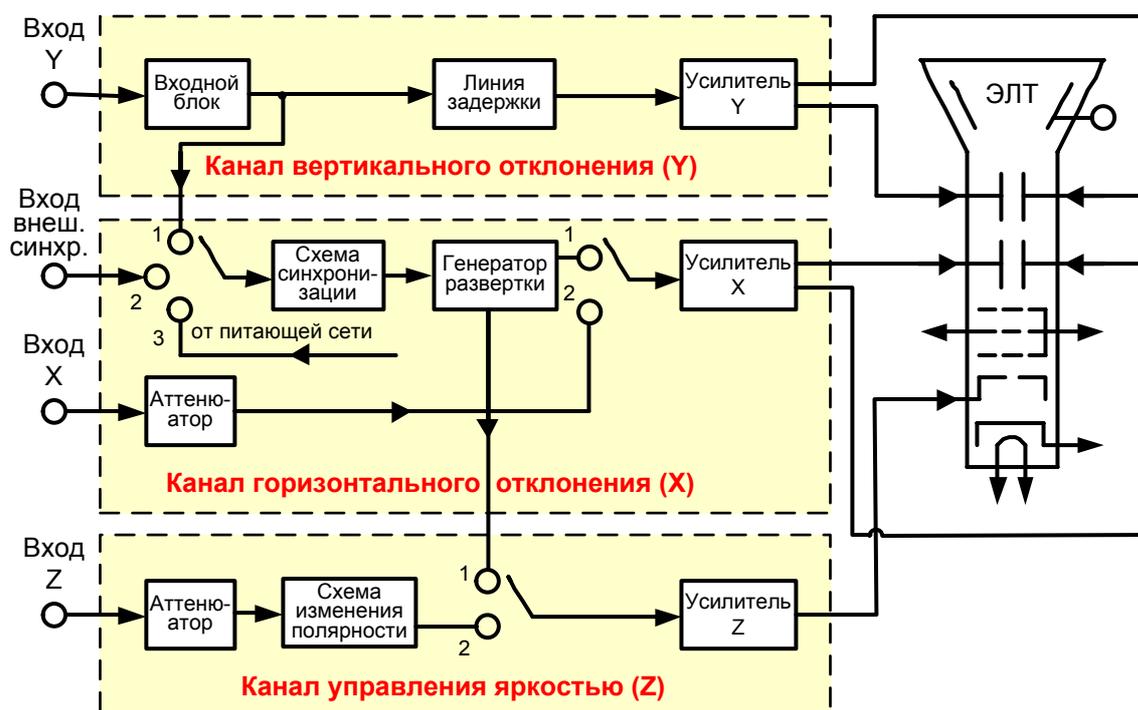


Рис. 7.1. Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ.

КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (Y) (канал Y, канал сигнала).

Предназначен для передачи напряжения источника исследуемого сигнала на вход вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входной блок содержит: дискретный аттенюатор, позволяющий ослабить исследуемый сигнал большой амплитуды в определенное число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; эмиттерный повторитель, уменьшающий влияние канала вертикального отклонения на источник исследуемого сигнала и позволяющий получить высокое входное сопротивление.

Линия задержки (в импульсных ЭЛО) обеспечивает небольшую временную задержку исследуемого импульса относительно начала горизонтально отклоняющего напряжения, что дает возможность наблюдать фронт исследуемого импульса.

Усилитель вертикального отклонения (Y) усиливает исследуемый сигнал малой амплитуды до значения, достаточного для вертикального отклонения луча в пределах экрана ЭЛТ.

КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (X) (канал X, канал развертки).

Служит для создания напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала - усиление (ослабление) сигнала, передаваемого от входа X на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Схема синхронизации и запуска развертки предназначена для управления генератором развертки и обеспечивает кратность периодов исследуемого сигнала и развертки для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ.

Процесс привязки начала развертки к характерным точкам сигнала (фронту, срезу, максимуму и пр.) называют **синхронизацией** (в автоколебательном режиме) и **запуском** (в ждущем режиме).

Различают три **режима синхронизации**:

внутреннюю;

внешнюю;

от питающей сети.

При **внутренней синхронизации** синхроимпульсы вырабатываются из усиленного входного (исследуемого) сигнала до его задержки. Такую синхронизацию целесообразно применять при наблюдении периодических процессов.

Синхронизация от питающей сети удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте напряжения питающей сети (например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети и т.п.).

При **внешней синхронизации** синхроимпульсы подают на специальный вход ЭЛТ от внешнего источника, обеспечивая запуск генератора развертки с опережением относительно момента появления фронта исследуемого сигнала на вертикально отклоняющих пластинах ЭЛТ. При регулировании времени опережения (задержки) возможно осуществлять перемещение изображения сигнала по горизонтальной координате в удобное для наблюдения место.

Генератор развертывающего напряжения (генератор развертки) вырабатывает линейно-изменяющееся (пилообразное) напряжение, обеспечивающее горизонтальное отклонение луча с постоянной скоростью.

Для получения какой-либо другой развертки (например, синусоидальной) соответствующее напряжение подается на вход X канала от внешнего источника. На входе X имеется **дискретный аттенюатор** для ослабления сигналов большой амплитуды.

Назначение **усилителя горизонтального отклонения (X)** то же, что и усилителя Y.

КАНАЛ УПРАВЛЕНИЯ ЯРКОСТЬЮ (Z) (канал Z, канал модуляции луча по яркости).

Предназначен, в основном, для подсветки прямого хода луча развертки.

Для формирования необходимой амплитуды импульса напряжения подсвета, поступающего с генератора развертки на модулятор ЭЛТ, служит **усилитель Z**.

Возможна также модуляция изображения по яркости внешним сигналом, поступающим со входа Z через **аттенюатор** и **схему изменения полярности** модулирующего напряжения.

7.2.2. Техника осциллографических измерений

Измерение амплитуды напряжения и временных интервалов - основные процессы, выполняемые с помощью ЭЛО.

Для отсчета значений этих величин применяют:

метод калиброванных шкал;

компенсационный метод;

метод сравнения.

Метод калиброванных шкал применяют для измерения параметров сигнала на прямоугольной шкале - масштабной сетке, имеющей равноотстоящие вертикальные и горизонтальные линии. Как правило, предусматривается регулируемая подсветка шкалы, улучшающая условия измерения. Размеры шкалы согласованы с рабочей площадью экрана ЭЛТ: коэффициенты отклонения и развертки (масштабные коэффициенты каналов Y и X) приводятся по отношению к большому делению шкалы (содержит 10 малых).

Процесс измерения заключается в подсчете числа делений H (по вертикали) или L (по горизонтали) шкалы, укладывающихся в интересующий интервал измеряемого параметра. При этом за целое деление принимается большое деление шкалы, соответствующее клетке масштабной сетки. Перевод в значения напряжения $U_{изм}$ или длительности $t_{изм}$ осуществляется домножением измеряемой величины (H или L) на масштабный коэффициент:

$$U_{изм} = H \cdot d; \quad t_{изм} = L \cdot q,$$

где d, q - масштабные коэффициенты отклонения, соответственно, по вертикали и горизонтали.

Числа d и q обозначают положения соответствующих переключателей амплитуды (В/ДЕЛ) и длительности развертки (ВРЕМЯ/ДЕЛ) на передней панели ЭЛО.

Для достижения минимальных погрешностей измерения необходимо стремиться к тому, чтобы изображение исследуемого сигнала занимало как можно большую часть (~80-90%) рабочей площади экрана ЭЛТ, не выходя при этом за пределы масштабной сетки. В этом случае, с помощью входного аттенюатора Y и переключателя длительности развертки необходимо как можно больше растянуть изображение исследуемого сигнала в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Компенсационный метод позволяет увеличить точность измерения и применяется в ЭЛО, содержащих усилитель Y с двумя дифференциальными входами (прямым и инвертирующим) и генератор двойной развертки. Сущность метода состоит в компенсации измеряемой величины образцовой. При этом изображение на экране используется как нуль-индикатор. Выигрыш в точности здесь достигается исключением большинства погрешностей, связанных с нелинейностью отклонения и развертки, геометрическими искажениями ЭЛТ, параллаксом, дискретностью шкалы и пр.

Метод сравнения измеряемой величины с образцовой заключается в предварительном формировании на экране ЭЛТ двух светящихся точек, расстояние между которыми может независимо регулироваться и является образцовым по вертикали для измерения напряжения, по горизонтали - для измерения длительности. Процесс измерения заключается в совмещении точек с интересующим размером изображения без использования шкалы. Считывание показаний измерения производится либо по положению органов регулирования расположения светящихся точек, либо результат измерения автоматически индицируется на предусмотренном для этих целей цифровом табло.

7.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

7.3.1. Перечень используемых приборов

Лабораторная работа выполняется с использованием:

исследуемого универсального ЭЛО С1-77, предназначенного для исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения в диапазоне частот от 0 до 10МГц, измерения размахов в диапазоне от 0,01 до 200В и временных интервалов от $0,08 \cdot 10^{-6}$ до 0,4с; внешний вид прибора изображен на рис. 7.2;



Рис. 7.2. Внешний вид осциллографа С1-77.

генератора сигналов низкочастотного ГЗ-120 (в составе стенда БИС-Р) - источника переменного синусоидального напряжения с регулируемой амплитудой (2...10В) и частотой (5Гц...500кГц) выходного сигнала (внешний вид прибора см. на рис. 6.5);

генератора прямоугольных импульсов (в составе блока «Частотомер-генератор» стенда БИС-Р) с регулируемой амплитудой (0...15В), длительностью (10...25мкс) и частотой (1...10кГц) положительной или отрицательной полярности импульсов (внешний вид прибора см. на рис. 3.1);

блока включения стенда, предназначенного для подключения к сети ~220В осциллографа С1-77, генератора ГЗ-120 и блока «Частотомер-генератор» (внешний вид прибора см. на рис. 3.1).

7.3.2. Основные технические характеристики ЭЛО С1-77

Наличие в ЭЛО С1-77 двух каналов вертикального отклонения (КАНАЛА I и КАНАЛА II) обеспечивает одновременное исследование двух сигналов на одной развертке в одном масштабе по горизонтали и в отдельных масштабах по вертикали.

Рабочая часть экрана осциллографа равна:

80мм или 8 больших делений (цена деления 10мм) по горизонтали;

60мм или 6 больших делений (цена деления 10мм) по вертикали.

Одно большое деление содержит 10 малых (цена малого деления 1мм).

Коэффициенты отклонения по вертикали для каждого канала равны (номинальные значения): 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 В/дел. Обеспечивается возможность плавной регулировки (ручкой, совмещенной на одной оси с галетным переключателем) коэффициентов отклонения на каждом диапазоне с перекрытием не менее 2,5.

Коэффициенты развертки по горизонтали составляют (номинальные значения): 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1×10^3 ; 2×10^3 ; 5×10^3 ; 1×10^4 ; 2×10^4 ; 5×10^4 ; $0,1 \times 10^6$; $0,2 \times 10^6$ мкс/дел. Обеспечивается пятикратная растяжка развертки ($\times 0,2$ – переключателем, совмещенным с ручкой перемещения луча по горизонтали) и возможность плавной регулировки длительностей развертки на каждом диапазоне с перекрытием не менее 2,5 (аналогично с коэффициентами отклонения по вертикали).

Тракт вертикального отклонения обеспечивает следующие **режимы работы**:

- а) **одноканальный режим** - с одного первого канала (I);
- б) **одноканальный режим** - с одного второго канала (II);
- в) **прерывистый режим** - прерывистое изображение сигналов обоих каналов за один ход развертки (...);
- г) **поочередный режим** - поочередное изображение сигналов обоих каналов с частотой следования разверток ($\rightarrow \rightarrow$);
- д) **суммирующий режим** - алгебраическое сложение сигналов от обоих каналов (I \pm II).

Тракт горизонтального отклонения обеспечивает следующие **виды работ**:

- а) развертку сигнала по горизонтали в автоколебательном режиме (АВТ);
- б) развертку сигнала по горизонтали в ждущем режиме (ЖДУЩ);
- в) вход внешнего сигнала на усилитель горизонтального отклонения ($\rightarrow \otimes X$).

7.3.3. Назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-77

Органы управления ЭЛТ:

ручка «» - регулирует яркость изображения;

ручка «» - регулирует четкость (фокус) изображения;

ручка «» - регулирует освещение шкалы на экране ЭЛТ.

Органы управления и присоединения тракта вертикального отклонения:

переключатели «V/ДЕЛ» - устанавливают калиброванные коэффициенты отклонения КАНАЛОВ I и II усилителя, когда ручки плавной регулировки «▼» установлены в крайнее правое положение (до защелкивания);

ручки «▼» - совмещены на одной оси с переключателями «V/ДЕЛ» и обеспечивают плавную регулировку коэффициента отклонения соответствующего канала с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей «V/ДЕЛ»;

ручки «↑ I, ↓ II» - регулируют положение луча соответствующего канала по вертикали;

тумблер выбора *вида входа* усилителя в положениях:

«~» - на входы усилителя исследуемый сигнал поступает через разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую сигнала (*закрытый вход*);

«☐» - на входы усилителя исследуемый сигнал поступает с постоянной составляющей сигнала (*открытый вход*);

переключатель *режима работы* усилителя в положениях:

«I» - *одноканальный режим* - на экране ЭЛТ наблюдается сигнал КАНАЛА I;

«II» - *одноканальный режим* - на экране ЭЛТ наблюдается сигнал КАНАЛА II;

«I±II» - *суммирующий режим* - на экране ЭЛТ наблюдается алгебраическая сумма сигналов КАНАЛА I и II;

«...» - *прерывистый режим* - на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, поочередное переключение каналов осуществляется в течение каждого периода развертки с частотой 100кГц; обычно применяется при исследовании *низкочастотных* сигналов;

«→ →» - *поочередный режим* - на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, поочередное переключение каналов осуществляется в конце каждого прямого хода развертки; обычно применяется при исследовании *высокочастотных* сигналов;

переключатель *полярности синхронизации* в положениях (только для КАНАЛА II):

«+» - фаза сигнала не меняется;

«-» - фаза сигнала меняется на 180°;

гнезда « 1MΩ 30pF» - высокочастотные гнезда для подачи исследуемых сигналов.

Органы управления синхронизации:

ручка «УРОВЕНЬ» - выбирается уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки;

переключатель *вида связи синхронизирующего сигнала* в положениях:

«+, $\bar{\square}$ », «-, $\bar{\square}$ » - развертка синхронизируется, соответственно, положительным и отрицательным перепадом запускающего сигнала с частотой следования от 10 до 10×10^6 Гц (проходит постоянная составляющая сигнала);

«+,~», «-,~» - развертка синхронизируется, соответственно, положительным и отрицательным перепадом запускающего сигнала с частотой следования от 100 до 10×10^6 Гц (не проходит постоянная составляющая сигнала);

переключатель *вида синхронизации* в положениях:

«ВНУТР I» - *внутренняя синхронизация* - развертки синхронизируется сигналом с КАНАЛА I;

«ВНУТР I, II» - *внутренняя синхронизация* - развертка синхронизируется сигналами с обоих каналов (или одного из них);

«ВНЕШН» - *внешняя синхронизация* - развертка синхронизируется внешним сигналом;

« X» - развертка выключается, на усилитель горизонтального отклонения подается сигнал от внешнего источника.

Органы управления разверткой:

переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» - устанавливает калиброванный коэффициент развертки, когда ручка плавной регулировки «ПЛАВНО» установлена в крайнее правое положение (до защелкивания);

ручка «ПЛАВНО» - совмещена на одной оси с переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ» и обеспечивает плавную регулировку коэффициента развертки с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза в каждом положении переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ»;

ручка «» - перемещает луч по горизонтали;

переключатель « ×1,  ×0,2» - совмещен на одной оси с ручкой «» и увеличивает скорость развертки в положении «×0,2» в 5 раз (растяжка по горизонтали);

тумблер *режима работы генератора развертки* в положениях:

«АВТ» - в этом режиме вырабатывается пилообразное напряжение независимо от запускающего сигнала, синхронизация осуществляется с частотой не ниже 30Гц;

«ЖДУЩ» - запуск развертки осуществляется только при наличии синхронизирующего сигнала;

тумблер «СЕТЬ» - осуществляет включение и выключение ЭЛО.

Органы присоединения, расположенные на правой боковой панели ЭЛО:

гнездо «» - корпус ЭЛО;

гнездо « ВНЕШ. СИНХР., 1:1» - вход внешней синхронизации без ослабления;

гнездо « ВНЕШ. СИНХР., 1:10» - вход внешней синхронизации с ослаблением в 10 раз;

гнездо « X, 1:1» - совмещено с гнездом « ВНЕШ. СИНХР., 1:1» и служит для подачи исследуемого сигнала непосредственно на входной усилитель X без ослабления;

гнездо « X, 1:10» - совмещено с гнездом « ВНЕШ. СИНХР., 1:10» и служит для подачи исследуемого сигнала непосредственно на входной усилитель X с ослаблением в 10 раз.

7.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

7.4.1. Назначение ЭЛО. Что называется осциллограммой?

7.4.2. Какие основные каналы входят в состав ЭЛО. Назначение каждого канала.

7.4.3. Устройство канала вертикального отклонения. Назначение каждой структурной составляющей канала.

7.4.4. Устройство канала горизонтального отклонения. Назначение каждой структурной составляющей канала.

7.4.5. Устройство канала управления яркостью. Принцип организации схмотехнических связей между каналами ЭЛО и электродами ЭЛТ.

7.4.6. Какие основные параметры сигналов измеряются с помощью ЭЛО? Назовите основные методы осциллографических измерений.

7.4.7. В чем заключается метод калиброванных шкал? Как при этом достигается минимальная погрешность измерения?

7.4.8. В чем заключается компенсационный метод? Чем достигается выигрыш в точности при использовании данного метода?

7.4.9. В чем заключается метод сравнения?

7.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

7.5.1. Изучить устройство и принцип работы ЭЛО (см. п. 7.2.1.), основные технические характеристики и назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-77 (см. п. 7.3.2, п. 7.3.3), сопровождая нахождением их месторасположения на приборных панелях выключенного С1-77.

7.5.2. **Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.** При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии.

7.5.3. У генератора ГЗ-120 ручки плавного регулирования частоты «Hz», амплитуды выходного сигнала, а также дискретные переключатели частотных поддиапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» и аттенюатора «ΔdB» установить в начальное (с минимальные значением) положение.

7.5.4. У генератора прямоугольных импульсов блока «Частотомер-генератор» ручку плавного регулирования «ЧАСТОТА» выходного сигнала, а также дискретный переключатель «ДИАПАЗОН» установить в начальное положение. Ручки плавного регулирования «АМПЛИТУДА» и «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» установить в среднее положение. Переключатель режима работы установить в положение «ГЕНЕРАТОР».

7.5.5. После включения тумблером «СЕТЬ» блока включения стенда БИС-Р включить ЭЛО С1-77 тумблером «СЕТЬ». При этом должна загореться сигнальная лампочка.

Установить:

переключатель режима работы усилителя в положение «I», указывающее на использование ЭЛО в одноканальном режиме (КАНАЛ I);

переключатель полярности синхронизации в положение «+»;

тумблер режима работы генератора развертки в положение «АВТ»;

переключатель вида синхронизации в положение «ВНУТР I»;

переключатель вида связи синхронизирующего сигнала в положение « $\overline{+}$, $\overline{-}$ »;

переключатель растяжки по горизонтали в положение « $\square \times 1$ »;

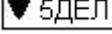
тумблер выбора вида входа усилителя в положение « $\overline{\square}$ » (открытый вход);

ручку « \blacktriangledown » КАНАЛА I в крайнее правое положение (до защелкивания);

ручку «ПЛАВНО» в крайнее правое положение (до защелкивания);

переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в положение «1mS».

7.5.6. Ручкой «» установить яркость изображения, удобную для наблюдения, а ручкой «» - одинаковую четкость изображения по всей линии развертки. В случае отсутствия линии развертки ручкой « I» вертикального перемещения вывести линию развертки на рабочую часть экрана. При необходимости ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение.

7.5.7. **Проверить калибровку коэффициента отклонения.** Для этого переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I установить в положение «». При этом величина изображения импульсного сигнала по вертикали на экране ЭЛТ должна быть равна 5 большим делениям шкалы.

7.5.8. **Проверить калибровку коэффициента развертки.** С помощью ручки « \leftrightarrow » совместить один из фронтов импульса на начальном участке развертки с первой вертикальной линией масштабной сетки на экране ЭЛТ. При этом восьмой период импульсного сигнала должен совпадать с последней вертикальной линией масштабной сетки на экране ЭЛТ.

7.5.9. Установить переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I в положение «0,01». Подключить к гнезду « 1MΩ 30pF» КАНАЛА I ЭЛО С1-77 соединительный кабель, имеющий с противоположного конца пальчиковые выводы. При этом вывод кабеля, соответствующий корпусу «» отличается черным цветом или другим признаком (завязанным узлом и пр.). Закоротив вход КАНАЛА I на корпус, ручкой « I» совместить линию развертки с горизонтальной осью масштабной сетки экрана ЭЛТ.

ЭЛО готов к проведению измерений.

7.5.10. Для измерения амплитудных и временных параметров импульсного прямоугольного сигнала с помощью ЭЛО С1-77 методом калиброванных шкал:

у ЭЛО С1-77 переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I установить в положение «5»;

включить блок «Частотомер-генератор» тумблером «СЕТЬ» (должно засветиться цифровое табло, отображающее частоту в Гц прямоугольных импульсов); ручкой плавного регулирования «ЧАСТОТА» и с помощью дискретного переключателя «ДИАПАЗОН» установить заданную частоту следования импульсов f_u с погрешностью $\pm 2\%$;

соединительный кабель, подключенный с одной стороны к КАНАЛУ I ЭЛО С1-77, присоединить к выходным гнездам генератора прямоугольных импульсов: «» и, в зависимости от заданной полярности сигнала, «» (+) или «» (-);

Примечание: В случае заданной отрицательной полярности сигнала («»), переключатель вида связи синхронизирующего сигнала у ЭЛО С1-77 необходимо установить в положение «, $\bar{\square}$ ».

ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение сигнала;

переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала; при этом с помощью ручки « \leftrightarrow » совместить фронт первого импульса с первой вертикальной линией масштабной сетки;

при необходимости переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I установить в другое положение, чтобы размер осциллограммы по вертикали составлял примерно 5-6 больших делений, но не выходил за пределы масштабной сетки.

7.5.11. Используя вертикальную градуировочную линию масштабной сетки шкалы, измерить расстояние в делениях H_u , соответствующее амплитудному (пиковому) значению U_{mi} прямоугольного импульса. Умножив измеренное расстояние H_u на масштабный коэффициент отклонения d_u , рассчитать искомое значение U_{mi} . Результаты измерения H_u , d_u и расчета U_{mi} занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Результаты осциллографических измерений амплитудных и временных параметров импульсного прямоугольного сигнала с помощью ЭЛО С1-77 и расчета относительной погрешности измерения периода следования

<i>Измерение</i>								
<i>N_ц, дел.</i>	<i>d_ц, В/дел.</i>	<i>L_ц, дел.</i>	<i>q_ц, Время/дел.</i>	<i>L_{нц}, дел.</i>	<i>q_{нц}, Время/дел.</i>			
<i>Расчет</i>								
<i>U_{нц}, В</i>	<i>t_ц, мкс</i>	<i>T_{ц0}, мкс</i>	<i>Q_ц</i>	<i>K_а=K_ф</i>	<i>U_ц, В</i>	<i>U_{ср.в} в В</i>	<i>T_ц, мкс</i>	<i>γ_{Tц}, %</i>

7.5.12. Используя горизонтальную градуированную линию масштабной сетки шкалы, измерить расстояния в делениях L_u и $L_{нц}$, соответствующие длительности t_u и периоду следования $T_{ц0}$ прямоугольных импульсов. При измерении L_u и $L_{нц}$ переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» последовательно устанавливать в такое положение, при котором расстояние между измеряемыми точками будет максимальным, но меньше 8 больших делений. Умножив измеренные расстояния L_u и $L_{нц}$ на соответствующие масштабные коэффициенты развертки q_u и $q_{нц}$, рассчитать искомые значения t_u и $T_{ц0}$, а также скважность импульсов $Q_u = T_{ц0}/t_u$, коэффициенты амплитуды K_a и формы K_f : $K_a = K_f = \sqrt{Q_u}$. Пользуясь значениями K_a и K_f , рассчитать среднеквадратическое $U_u = U_{нц}/K_a$ и средневывпрямленное $U_{ср.в} = U_u/K_f$ значения исследуемого импульсного напряжения. Результаты измерения L_u , $L_{нц}$, q_u , $q_{нц}$ и расчета t_u , $T_{ц0}$, Q_u , $K_a=K_f$, U_u , $U_{ср.в}$ занести в табл. 7.2. Для значений q_u и $q_{нц}$ в табл. 7.2 вместо Время/дел, указать конкретные единицы измерения.

7.5.13. Осциллограмму импульсного прямоугольного сигнала сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛО - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу). Выключить блок «Частотомер-генератор». Отключить соединительный кабель от блока «Частотомер-генератор» и ЭЛО С1-77.

7.5.14. Рассчитать исходное значение периода следования T_u прямоугольных импульсов, используя выставленное значение частоты следования f_u в соответствии с заданным вариантом: $T_u = 1/f_u$. Сравнить измеренное значение периода $T_{ц0}$ с помощью ЭЛО С1-77 с исходным значением T_u . Рассчитать относительную погрешность измерения периода следования прямоугольных импульсов γ_{T_u} с помощью ЭЛО С1-77, условно приняв за образцовое показание периода следования T_u , по формуле:

$$\gamma_{T_u} = \frac{T_{ц0} - T_u}{T_u} \cdot 100,$$

где $T_{ц0}$ - измеренное значение периода следования с помощью ЭЛО С1-77;

T_u - образцовое значение периода следования.

Результаты расчета T_u и γ_{T_u} занести в табл. 7.2.

7.5.15. Для измерения амплитудных и временных параметров переменного синусоидального сигнала с помощью ЭЛО С1-77 методом калиброванных шкал:

у ЭЛО С1-77 тумблер выбора вида входа усилителя КАНАЛА I установить в положение «~» (закрытый вход), переключатель вида связи синхронизирующего сигнала установить в положение «+,~»;

включить генератор ГЗ-120 тумблером «СЕТЬ» (должна загореться сигнальная лампочка); ручкой плавного регулирования частоты «Hz» и с помощью дискретного переключателя

«МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установить заданную частоту f , а ручкой плавного регулирования амплитуды выставить по внутреннему вольтметру ГЗ-120 заданную величину относительного значения (не отражает реальной величины) выходного напряжения U ;

измеряемый сигнал с помощью соединительного кабеля с высокочастотными байонетными разъемами, подключенного с одной стороны к гнезду выходного напряжения синусоидальной формы генератора ГЗ-120, подвести к гнезду « \ominus 1M Ω 30pF» КАНАЛА I ЭЛО С1-77;

при необходимости переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I установить в другое положение, чтобы размер осциллограммы по вертикали составлял около 5-6 больших делений, но не выходил за пределы масштабной сетки; ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение сигнала;

переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала; ручкой « \leftrightarrow » горизонтального перемещения сместите изображение таким образом, чтобы один из его верхних пиков располагался симметрично относительно вертикальной средней (калиброванной) линии масштабной сетки.

7.5.16. По методике, описанной в п. 7.5.11, измерить размах $U_{раз}$ исследуемого синусоидального сигнала. Рассчитать пиковое U_m значение: $U_m = U_{раз}/2$. Пользуясь значениями коэффициентов амплитуды K_a и формы K_ϕ для синусоидального сигнала ($K_a=1,41$; $K_\phi=1,11$), рассчитать среднеквадратическое U_o и средневыпрямленное $U_{ср.в}$ значения исследуемого сигнала. Результаты измерения H , d и расчета $U_{раз}$, U_m , U_o , $U_{ср.в}$ занести в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты осциллографических измерений амплитудных и временных параметров переменного синусоидального сигнала с помощью ЭЛО С1-77 и расчета относительной погрешности измерения периода

Измерение						
H , дел.	d , В/дел.	L_n , дел.	q_n , Время/дел.			
Расчет						
$U_{раз}$, В	U_m , В	U_o , В	$U_{ср.в}$, В	T_o , мкс	T , мкс	γ_T , %

7.5.17. По методике, описанной в п. 7.5.12, измерить период T_o исследуемого синусоидального сигнала. Результаты измерения L_n , q_n и расчета T_o занести в табл. 7.3. Для значения q_n в табл. 7.3 вместо Время/дел, указать конкретные единицы измерения.

7.5.18. Осциллограмму переменного синусоидального сигнала сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛО - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

7.5.19. Сравнить измеренное значение периода T_o синусоидального сигнала с помощью ЭЛО С1-77 с исходным значением T , рассчитав значение T и относительную погрешность измерения периода синусоидального сигнала γ_T с помощью ЭЛО С1-77, условно приняв за образцовое показание исходное значение периода T , по методике, описанной в п. 7.5.14. Результаты расчета T и γ_T занести в табл. 7.3.

7.5.20. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

7.5.21. По окончании работы выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать все соединительные кабели, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные кабели, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы основных узлов цифрового частотомера; приобретение навыков по измерению частоты переменного синусоидального напряжения с помощью цифрового частотомера, а также с помощью электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО).

8.1. ЗАДАНИЕ

8.1.1. Получите у преподавателя заданные величины измеряемой частоты f_x и относительного значения переменного синусоидального напряжения U_x , соотношения измеряемой f_x и образцовой f_o частот (f_x/f_o) и амплитуды образцового синусоидального напряжения U_{mo} в соответствии с табл. 8.1

Таблица 8.1

Исходные данные

Параметры \ №варианта	1	2	3	4
f_x , Гц	500	1000	1500	2000
U_x , В (отн. ед.)	5,0	3,0	4,0	4,5
f_x/f_o	1/2	2/3	1/3	1/4
U_{mo} , В	10	7	5	8

8.1.2. Изучите устройство и принцип работы цифрового частотомера.

8.1.3. Проведите осциллографическое измерение с помощью ЭЛО С1-77 методом интерференционных фигур частоты f_{x1} переменного синусоидального напряжения. Сфотографируйте осциллограмму (скопируйте ее на кальку или клетчатую бумагу).

8.1.4. Проведите измерение с помощью цифрового частотомера методом дискретного счета частоты f_{x2} переменного синусоидального напряжения.

8.1.5. Сравните измеренные значения частот f_{x1} и f_{x2} с заданным значением f_x . Рассчитайте относительные погрешности измерения частоты с помощью ЭЛО С1-77 по п. 8.1.3 (γ_{f1}) и с помощью цифрового частотомера по п. 8.1.4 (γ_{f2}).

8.1.6. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

8.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8.2.1. Общие понятия

В частотоизмерительной технике основополагающей характеристикой периодического сигнала является *период*.

Периодом T периодического сигнала называют наименьший интервал времени, через который регулярно, последовательно повторяется произвольно выбранное мгновенное $u(t)$ периодического сигнала.

Частота f периодического сигнала - физическая величина, значение которой обратно значению периода T этого сигнала, т.е.

$$f = 1/T.$$

Для периодических, но не гармонических колебаний строго справедливо лишь понятие периода (*периода повторения*). Однако и в этом случае часто говорят о частоте (*частоте следования*), понимая под этим величину, обратную периоду.

Приборы для измерения частоты называют *частотомерами*.

Методы измерения частоты многообразны:

1. Метод перезаряда конденсатора (конденсаторные частотомеры);
2. Резонансный метод (резонансные частотомеры);
3. Методы сравнения:
 - а - гетеродинный метод (гетеродинные частотомеры);
 - б - осциллографические методы;
4. Метод дискретного счета (электронно-счетные или цифровые частотомеры).

Конденсаторные частотомеры имеют относительно высокую погрешность измерения - 1...2%.

Резонансные частотомеры применяют, в основном, в диапазоне СВЧ. Их погрешность - $10^{-3} \dots 10^{-4}$.

Гетеродинные частотомеры практически не используют, а гетеродинное преобразование применяют для переноса частоты сигнала в область, удобную для ее измерения цифровыми приборами.

Наиболее распространены *осциллографические методы* измерения частоты синусоидального напряжения с помощью сравнения измеряемой и образцовой частот, а также метод дискретного счета, реализуемый в *цифровых частотомерах*.

Измерение частоты периодических сигналов с относительно высокой погрешностью ($\pm 10\%$) может быть проведено с помощью ЭЛО в режиме линейной периодической развертки путем измерения периода T сигнала (см. лабораторную работу №2). Однако этот метод для ответственных измерений частоты не используется.

8.2.2. Осциллографические методы сравнения частот

Осциллографические методы пригодны для измерения частот синусоидального напряжения в диапазоне от 10Гц до 10...20МГц. При кратности измеряемой и образцовой частот до 10 целесообразно применять метод интерференционных фигур. При большей кратности и до 50 (при фотографировании осциллограммы - до нескольких сотен) применяется метод круговой развертки с модуляцией яркости.

Метод интерференционных фигур (фигур Лисажу) осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. Генератор развертки ЭЛО выключается, а электронный луч (светящаяся точка) совмещается с началом координат шкалы на экране ЭЛО. Гармоническое напряжение с неизвестной (измеряемой) частотой f_x подается на один из входов: Y-вход канала вертикального отклонения или X-вход канала горизонтального отклонения. Гармоническое напряжение с регулируемой известной (образцовой) частотой f_o подается на второй вход (соответственно, X или Y). Электронный луч вычерчивает на экране ЭЛО фигуру Лисажу. Для получения неподвижного изображения фигуры регулируется частота f_o образцового напряжения. При этом выполняется следующее условие:

$$f_x/f_o = m/n$$

где m, n - целые числа.

Форма фигуры зависит от отношения m/n и сдвига начальных фаз φ сравниваемых напряжений (примеры форм фигуры приведены в табл. 8.2).

Таблица 8.2

Формы фигуры Лисажу при сравнении частот

$m/n \backslash \varphi$	0°	45°	90°	135°	180°
1/1					
1/2					
1/3					
2/3					

Соотношение частот f_x/f_o определяется графическим способом. Через фигуру на экране ЭЛО (или скопированной на бумаге) проводятся горизонтальная и вертикальная прямые линии, не проходящие через точки пересечения самой фигуры (рис. 8.1).

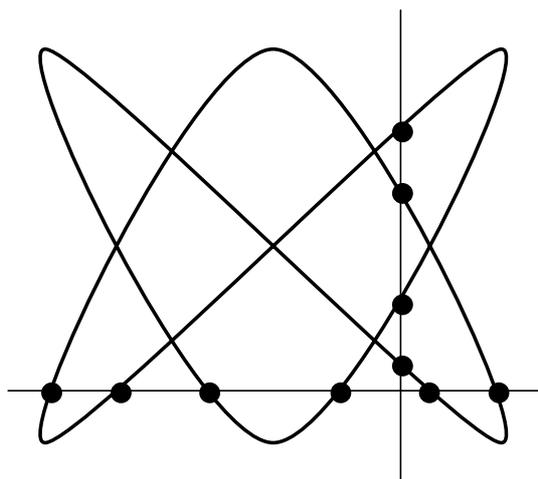


Рис. 8.1. Определение соотношения частот f_x/f_o методом интерференционных фигур.

Число пересечений горизонтальной линии с фигурой соответствует числу n (на рис. 8.1 $n=6$), число пересечений вертикальной линии - числу m (на рис. 8.1 $m=4$). Для неподвижной фигуры справедливо соотношение:

$$f_x/f_o = m/n,$$

которое позволяет найти измеряемую частоту f_x по известной образцовой частоте f_o .

Метод круговой развертки с модуляцией яркости также, как и метод интерференционных фигур осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. При этом измеряемая частота f_x должна быть соизмерима или выше частоты f_o образцового генератора. Напряжение частоты f_o подается одновременно на оба входа ЭЛО (Y и X) со сдвигом по фазе $\varphi=90^\circ$ на одном из входов, достигаемым с помощью фазовращателя. Усиления обоих каналов регулируются таким образом, чтобы луч на экране ЭЛО вычерчивал окружность (реализация круговой развертки).

Напряжение измеряемой частоты f_x подается в канал управления яркостью (на вход Z). Частота f_o образцового генератора перестраивается до получения на экране ЭЛО неподвижного

изображения, состоящего из ярких отрезков окружности с одинаковыми темными промежутками между ними (рис. 8.2).

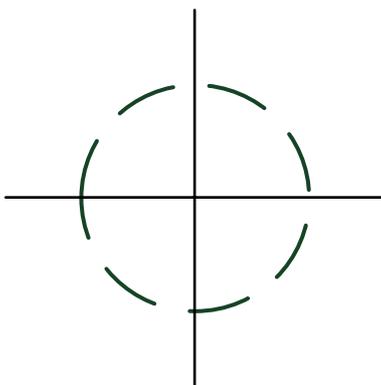


Рис. 8.2. Определение соотношения частот f_x/f_o методом круговой развертки с модуляцией яркости.

Число ярких дуг или темных промежутков между дугами N определяет соотношение частот:

$$N = f_x/f_o.$$

8.2.3. Устройство и принцип работы цифрового частотомера

Измерение частоты синусоидального напряжения методом дискретного счета (цифровым способом) включает две основные операции:

1 - преобразование синусоидального напряжения измеряемой частоты f_x в последовательность однополярных кратковременных импульсов с частотой следования, равной частоте f_x ;

2 - подсчет числа импульсов N_x за известный интервал времени счета T_c :

$$f_x = N_x/T_c.$$

Структурная схема простейшего цифрового частотомера представлена на рис. 8.3.

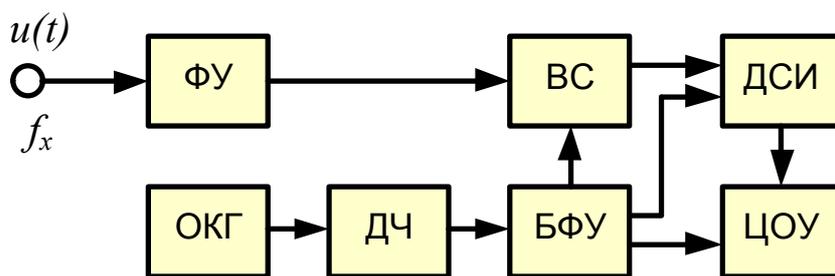


Рис. 8.3. Структурная схема цифрового частотомера.

Частотомер работает следующим образом. На вход *формирующего устройства (ФУ)* подается напряжение $u(t)$ синусоидальной формы, частота f_x которого подлежит измерению. В момент перехода напряжения $u(t)$ через нуль от значений отрицательной полуволны к значениям положительной полуволны на выходе ФУ появляется кратковременный импульс. Периодическая последовательность этих импульсов имеет частоту следования, равную частоте f_x . Данные импульсы подводятся к первому входу *временного селектора (ВС)* и проходят через него в

декадные счетчики импульсов (ДСИ), если на втором входе ВС имеется стробирующий импульс с известной длительностью T_c .

Стробирующий импульс формируется из напряжения высокочастотного *образцового кварцевого генератора (ОКГ)* с известной высокостабильной частотой. Так как период выходного сигнала ОКГ мал, то для получения требуемой длительности T_c стробирующего импульса в схеме предусмотрен *делитель частоты (ДЧ)*. Из периодической последовательности импульсов; образующейся на выходе ДЧ, *блок формирования и управления (БФУ)* формирует стробирующий импульс (*временные ворота*) длительностью T_c , открывающий ВС для прохода импульсов с измеряемой частотой f_x и определяющий продолжительность счета. Кроме этого, БФУ содержит схему, задающую продолжительность индикации результата измерения *цифровым отсчетным устройством (ЦОУ)* и сбрасывающую показания декадных счетчиков ДСИ на нуль. ДСИ осуществляют счет поступающих импульсов, а ЦОУ представляет результат измерения частоты f_x в виде визуально наблюдаемых цифр десятичной системы исчисления в единицах частоты.

8.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Перечень используемых приборов:

Лабораторная работа выполняется с использованием:

универсального двухканального ЭЛО С1-77, используемого в настоящей работе для измерения частоты осциллографическим методом (внешний вид прибора см. на рис. 7.2);

генератора сигналов низкочастотного ГЗ-120 (в составе стенда БИС-Р) - источника переменного синусоидального напряжения с регулируемой амплитудой (2...10В) и частотой (5Гц...500кГц) выходного сигнала (внешний вид прибора см.на рис. 6.5);

блока генератора низкой частоты (в составе стенда УЛС) - источника периодических сигналов трех форм: синусоидальной, треугольной и прямоугольной; с регулируемой амплитудой (0,1...16В) и частотой (20Гц...20кГц) выходного сигнала; внешний вид прибора изображен на рис. 8.4;



Рис. 8.4. Внешний вид блока генератора низкой частоты УЛС.

цифрового частотомера (в составе блока «Частотомер-генератор» стенда БИС-Р), предназначенного для измерения частот гармонических и импульсных напряжений амплитудой 1...60В в диапазоне 10Гц...10³ кГц (внешний вид прибора см. на рис. 3.1);

блока включения стенда, предназначенного для подключения к сети ~220В осциллографа С1-77, генератора ГЗ-120, блока генератора УЛС и блока «Частотомер-генератор» (внешний вид прибора см. на рис. 3.1.).

8.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

8.4.1. Дайте понятия периода и частоты периодического сигнала. В чем заключается специфика этих понятий в отношении периодических, но не гармонических сигналов?

8.4.2. Как называются приборы, измеряющие частоты сигналов? Какие методы наиболее широко используются для измерения частоты сигналов?

8.4.3. В чем заключается метод интерференционных фигур при измерении частоты синусоидального сигнала? Какой недостаток этого метода?

8.4.4. В чем заключается метод круговой развертки с модуляцией яркости при измерении частоты синусоидального сигнала?

8.4.5. В чем заключается измерение частоты методом дискретного счета? Устройство и принцип работы простейшего цифрового частотомера.

8.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

8.5.1. Изучить устройство и принцип работы цифрового частотомера (см. п. 8.2.3).

8.5.2. Ознакомиться с используемыми в работе приборами в соответствии с п. 8.3.

8.5.3. При использовании ЭЛО С1-77 применить навыки, приобретенные при выполнении лабораторной работы №2.

8.5.4. **Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.** При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии.

8.5.5. У генератора ГЗ-120 ручки плавного регулирования частоты «Hz», амплитуды выходного сигнала, а также дискретные переключатели частотных поддиапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» и аттенюатора «dB» установить в начальное (с минимальным значением) положение.

8.5.6. У блока генератора УЛС ручки плавного регулирования частоты «ГРУБО, Hz», «ТОЧНО, Hz» и амплитуды выходного сигнала «\llcorner» установить в начальное положение, для выбора синусоидальной формы выходного сигнала нажать соответствующую кнопку («~»).

8.5.7. У частотомера блока «Частотомер-генератор» переключатель режима работы установить в положение «ЧАСТОТОМЕР».

8.5.8. После включения тумблером «СЕТЬ» блока включения стенда БИС-Р включить ЭЛО С1-77 тумблером «СЕТЬ». При этом должна загореться сигнальная лампочка.

Установить:

переключатель режима работы в положение «I», указывающее на использование ЭЛО в одноканальном режиме (КАНАЛ I);

тумблер выбора вида входа усилителя КАНАЛА I в положение «~» (закрытый вход);

ручку «\blacktriangledown» КАНАЛА I в крайнее правое положение (до защелкивания);

переключатель вида синхронизации в положение «$\ominus X$», соответствующее отключению развертки (на экране ЭЛО наблюдается светящаяся точка); развертка осуществляется сигналом от внешнего источника;

ручками «\leftrightarrow» и «$\uparrow I$» установить изображение светящейся точки в центре масштабной сетки шкалы экрана;

при необходимости ручкой «\star» установить яркость изображения, удобную для наблюдения, а ручкой «\odot» - четкость изображения.

ЭЛО готов к проведению измерений.

8.5.9. Для осциллографического измерения частоты f_x переменного синусоидального напряжения с помощью ЭЛО С1-77 методом интерференционных фигур:

включить генератор ГЗ-120 тумблером «СЕТЬ» (должна загореться сигнальная лампочка); ручкой плавного регулирования амплитуды выставить по внутреннему вольтметру ГЗ-120 заданную величину относительного значения выходного напряжения U_x ; ручкой плавного регулирования частоты «Hz» и с помощью дискретного переключателя «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установить заданную частоту f_x , которая подлежит измерению (генератор ГЗ-120 условно используется как источник гармонического напряжения *измеряемой частоты*);

включить блок генератора УЛС тумблером «СЕТЬ» (должно засветиться цифровое табло, отображающее частоту в Гц); ручками плавного регулирования частоты «ГРУБО, Hz» и «ТОЧНО, Hz», а также с помощью кнопочного переключателя частотных поддиапазонов установить частоту f_0 , значение которой удовлетворяет заданному соотношению частот f_x/f_0 ; заданную амплитуду U_{m0} выходного напряжения выставить после подключения к ЭЛО С1-77 (см. ниже) (блок генератора УЛС условно используется как источник гармонического напряжения *образцовой частоты*);

с помощью соединительного кабеля с пальчиковыми выводами подать с генератора ГЗ-120 синусоидальное напряжение U_x с частотой f_x на вход « \ominus X, 1:1» ЭЛО (данное гнездо и гнездо « \perp » расположены на правой боковой панели ЭЛО), соблюдая полярность; вывод кабеля, соответствующий корпусу « \perp », отличается черным цветом или другим признаком (завязанным узлом и пр.);

с помощью соединительного кабеля с пальчиковыми выводами подать с блока генератора УЛС синусоидальное напряжение с частотой f_o на вход КАНАЛА I ЭЛО С1-77, соблюдая полярность; вывод кабеля, соответствующий корпусу « \perp », отличается черным цветом или другим признаком (завязанным узлом и пр.);

используя вертикальную градуировочную линию масштабной сетки шкалы и переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I ЭЛО С1-77, ручкой плавного регулирования амплитуды выходного сигнала « \leftarrow » блока генератора УЛС выставить заданную амплитуду U_{mo} выходного сигнала методом калиброванных шкал (см. лабораторную работу №2); при необходимости переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I установить в положение, при котором осциллограмма по вертикали занимает максимальную площадь рабочей части экрана ЭЛО С1-77;

Примечание: При необходимости размер осциллограммы по горизонтали можно уменьшить ослаблением усиления по входу X в 10 раз, переключив сигнальный вывод соединительного кабеля с входа « \ominus X, 1:1» на вход « \ominus X, 1:10» ЭЛО С1-77;

используя ручку плавного регулирования частоты «ТОЧНО, Hz» блока генератора УЛС, подрегулировать частоту f_o образцового напряжения до получения неподвижного (или медленно изменяющегося) изображения фигуры Лисажу; зафиксировать значение частоты f_o ; осциллограмму сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛО - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу;

определить соотношение частот f_{x1}/f_o методом интерференционных фигур и рассчитать измеренное с помощью ЭЛО С1-77 значение частоты f_{x1} (см.п. 8.2.2);

результаты измерения частоты f_o , соотношения частот f_{x1}/f_o и расчета частоты f_{x1} занести в табл. 8.3;

выключить генератор ГЗ-120, не изменяя положения органов регулировок; выключить блок генератора УЛС и ЭЛО С1-77; отключить соединительные кабели от генератора ГЗ-120, блока генератора УЛС и ЭЛО С1-77.

Таблица 8.3

Результаты осциллографического измерения частоты методом интерференционных фигур и расчета относительной погрешности измерения частоты

Измерение		Расчет	
$f_o, \text{Гц}$	f_{x1}/f_o	$f_{x1}, \text{Гц}$	$\gamma_{f1}, \%$

8.5.10. Сравнить измеренное значение частоты f_{x1} с помощью ЭЛО С1-77 с выставленным значением f_x в соответствии с заданным вариантом на генераторе ГЗ-120. Рассчитать относительную погрешность измерения частоты γ_{f1} с помощью ЭЛО С1-77, условно приняв за образцовое показание заданное значение частоты f_x на генераторе ГЗ-120, по формуле:

$$\gamma_{f1} = \frac{f_{x1} - f_x}{f_{x1}} \cdot 100,$$

где f_{x1} - измеренное значение частоты с помощью ЭЛО С1-77;

f_x - образцовое значение частоты.

Результат расчета γ_{f1} занести в табл. 8.3.

8.5.11. Для измерения частоты f_{x2} переменного синусоидального напряжения методом дискретного счета с помощью цифрового частотомера:

включить блок «Частотомер-генератор» тумблером «СЕТЬ» (должно засветиться цифровое табло, отображающее нули во всех разрядах);

включить генератор ГЗ-120; с помощью соединительного кабеля с высокочастотным (байонетным) и низкочастотным разъемами подать с генератора ГЗ-120 синусоидальное напряжение U_x с частотой f_x на вход частотомера, соблюдая полярность;

по цифровому индикатору частотомера произвести считывание показания частоты f_{x2} ; результат измерения f_{x2} занести в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Результаты измерения частоты с помощью цифрового частотомера и расчета относительной погрешности измерения частоты

<i>Измерение</i>	<i>Расчет</i>
$f_{x2}, \text{Гц}$	$\gamma_{f2}, \%$

8.5.12. Сравнить измеренное значение частоты f_{x2} с помощью цифрового частотомера с выставленным значением f_x в соответствии с заданным вариантом на генераторе ГЗ-120. Рассчитать относительную погрешность измерения частоты γ_{f2} с помощью цифрового частотомера, условно приняв за образцовое показание заданное значение частоты f_x на генераторе ГЗ-120, по методике, описанной в п. 8.5.10. Результат расчета γ_{f2} занести в табл. 8.4.

8.5.13. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

8.5.14. По окончании работы выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать все соединительные кабели, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные кабели, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

«ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы основных узлов цифрового Фазометра; приобретение навыков по измерению фазового сдвига переменных синусоидальных напряжений с помощью цифрового фазометра, а также с помощью электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО).

9.1. ЗАДАНИЕ

9.1.1. Получите у преподавателя заданные величины частоты f и относительного значения переменного синусоидального напряжения U , а также номер фазовращателя в соответствии с табл. 9.1.

Таблица 9.1

Исходные данные

Параметры \ № варианта	1	2	3	4
f , кГц	0,12	0,15	0,2	0,5
U , В (отн. ед.)	2,0	2,5	4,0	5,0
№ фазовращателя	1	2	3	4

9.1.2. Изучите устройство и принцип работы цифрового фазометра.

9.1.3. Проведите осциллографическое измерение с помощью ЭЛО С1-77 фазового сдвига φ_{o1} между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 одинаковой частоты f по их осциллограммам. Сфотографируйте осциллограммы (скопируйте их на кальку или клетчатую бумагу).

9.1.4. Проведите осциллографическое измерение с помощью ЭЛО С1-77 фазового сдвига φ_{o2} между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 способом эллипса. Сфотографируйте осциллограмму (скопируйте ее на кальку или клетчатую бумагу).

9.1.5. Проведите измерение фазового сдвига φ_ϕ между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 с помощью цифрового фазометра методом дискретного счета.

9.1.6. Сравните измеренные значения фазового сдвига φ_{o1} , φ_{o2} и φ_ϕ между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 . Рассчитайте относительные погрешности измерения фазового сдвига осциллографическими методами по п. 9.1.3 ($\gamma_{\varphi_{o1}}$) и п. 9.1.4 ($\gamma_{\varphi_{o2}}$) с помощью ЭЛО С1-77.

9.1.7. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

9.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

9.2.1. Общие понятия

Для двух гармонических колебаний с разными частотами ω_1 и ω_2

$$u_1(t) = U_{m1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1),$$

$$u_2(t) = U_{m2} \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$

разность фаз (аргументов синусоидальных функций):

$$\Delta\varphi = (\omega_1 t + \varphi_1) - (\omega_2 t + \varphi_2) = (\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2),$$

где φ_1 , φ_2 - начальные фазы.

В практике обычно решают задачу измерения разности фаз двух гармонических колебаний с равными частотами. При этом разность фаз

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Модуль разности начальных фаз двух гармонических сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ одинаковой частоты называют **фазовым сдвигом**:

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

Для негармонических колебаний понятие фазового сдвига заменяют понятием **сдвига во времени**. В этом случае измеряют время задержки.

Приборы, измеряющие фазовые сдвиги, называют **фазометрами** или измерителями фазовых сдвигов.

Широкое распространение получили осциллографические методы измерений фазового сдвига. При этом фазовый сдвиг определяют по измеренным параметрам изображения на экране ЭЛО, реализуемого способами линейной, эллиптической и круговой разверток. Также наиболее предпочтительным является метод дискретного счета, реализуемый в цифровых фазометрах.

9.2.2. Осциллографические методы измерения фазового сдвига

Наиболее распространены: способ измерения по осциллограммам исследуемых напряжений (при линейной развертке) и измерение способом эллипса (при эллиптической развертке).

Способ измерения по осциллограммам исследуемых напряжений осуществляется в двухканальном режиме работы ЭЛО. Генератор развертки включается, а линии развертки обоих каналов двухлучевого или двухканального ЭЛО совмещаются с горизонтальной осью масштабной сетки шкалы на экране ЭЛО. На Y-входы каналов вертикального отклонения (КАНАЛА I и КАНАЛА II) подаются напряжения: $u_1(t) = U_{m1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ и $u_2(t) = U_{m2} \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$. При этом удобно уравнивать амплитуды обоих напряжений. Осциллограмма будет иметь вид, представленный на рис. 9.1 (осциллограмма по каналу II условно показана в виде пунктирной линии для сравнения; на экране ЭЛО изображение осциллограмм по каналам I и II будет представлено в виде сплошных линий).

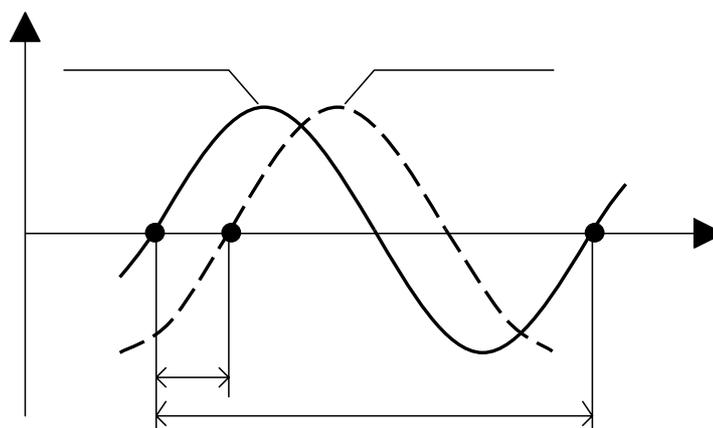


Рис. 9.1. Осциллограмма напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ при линейной развертке.

Фазовый сдвиг вычисляется по формуле:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \Delta L / L.$$

Точность этого способа невелика. Обычно погрешность измерения составляет $\pm 10^\circ$.

Измерение *способом эллипса* (с помощью фигур Лисажу) осуществляется в одноканальном режиме работы ЭЛО. Генератор развертки ЭЛО выключается, а электронный луч (светящаяся точка) совмещается с началом координат шкалы на экране ЭЛО. Напряжение u_1 подается на Y-вход канала вертикального отклонения, а напряжение u_2 - на X-вход канала горизонтального отклонения. Электронный луч вычерчивает на экране ЭЛО эллипс (рис. 9.2).

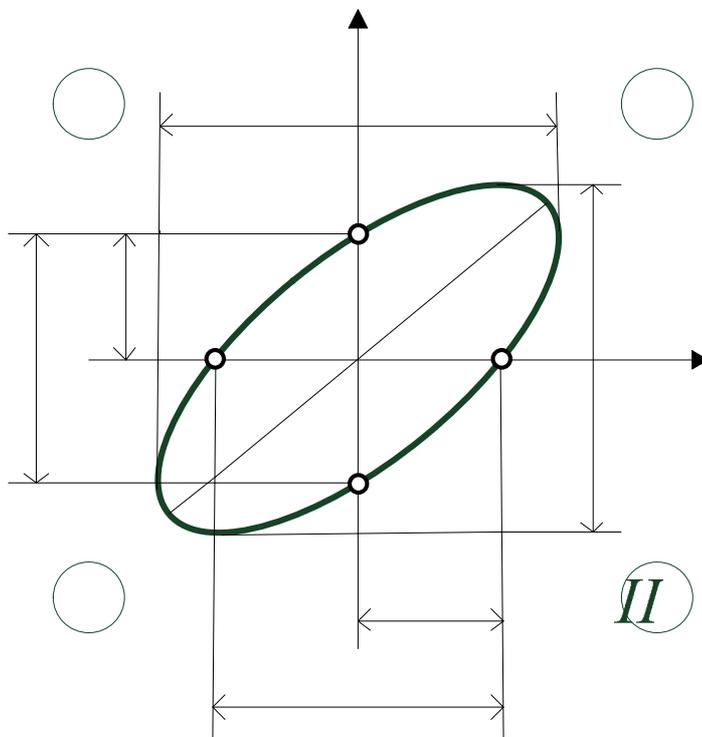


Рис. 9.2. Осциллограмма напряжений u_1 и u_2 при эллиптической развертке.

Перед измерением удобно уравнивать максимальные отклонения по вертикали и горизонтали ($A=B$), тогда $Y_o=X_o$.

Фазовый сдвиг вычисляется по формуле:

$$\varphi = \pm \arcsin (2Y_o/2B) = \pm \arcsin (2X_o/2A).$$

Измерение способом эллипса не позволяет определить фазовый сдвиг однозначно.

Если большая ось эллипса располагается в I и III квадрантах, то $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ или $270^\circ < \varphi < 360^\circ$ (рис. 9.2); если во II и IV, то $90^\circ < \varphi < 180^\circ$ или $180^\circ < \varphi < 270^\circ$. Когда оси эллипса совпадают с осями координат (при $A=B$ - окружность), то $\varphi=90^\circ$ или $\varphi=270^\circ$. При отсутствии фазового сдвига ($\varphi=0$) изображение представляет собой диагонально направленную прямую линию, располагающуюся в I и III квадрантах. Если напряжения u_1 и u_2 находятся в противофазе ($\varphi=180^\circ$), то прямая линия располагается во II и IV квадрантах.

9.2.3. Устройство и принцип работы цифрового фазометра

Измерение фазового сдвига *методом дискретного счета* (цифровым способом) включает две основные операции:

- 1 - преобразование фазового сдвига в интервал времени;
- 2 - измерение интервала времени методом дискретного счета.

Структурная схема простейшего цифрового фазометра представлена на рис. 9.3.

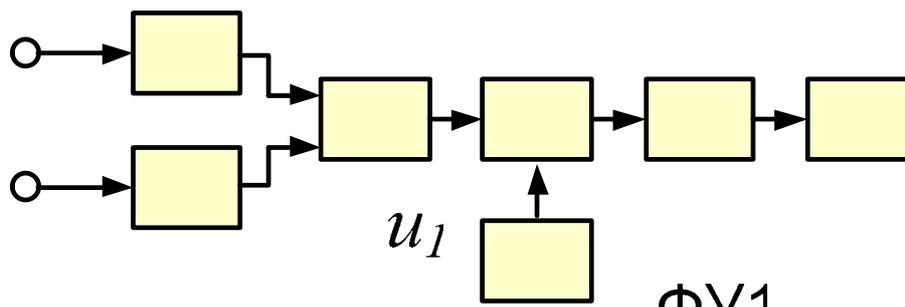


Рис. 9.3. Структурная схема цифрового фазометра.

Фазометр работает следующим образом. На входы *формирующих устройств (ФУ1 и ФУ2)* подаются напряжения u_1 и u_2 синусоидальной формы, фазовый сдвиг φ между которыми подлежит измерению. В момент перехода напряжения u_1 через нуль от значений отрицательной полуволны к значениям положительной полуволны на выходе ФУ1 появляется кратковременный стартовый (опорный) импульс, включающий *триггер (Тр)*, который, в свою очередь, открывает *временной селектор (ВС)*. Когда напряжение u_2 , сдвинутое по фазе относительно напряжения u_1 , аналогично переходит через нуль, на выходе ФУ2 появляется кратковременный стоповый (интервальный) импульс, выключающий триггер Тр, и временной селектор ВС закрывается.

Таким образом, на выходе триггера Тр формируются прямоугольные импульсы (временные ворота) с длительностью Δt , пропорциональной измеряемому фазовому сдвигу φ . В течение этого интервала времени Δt временной селектор ВС находится в открытом состоянии и пропускает на выход ВС счетные импульсы стабильной частоты, поступающие с *генератора счетных импульсов (ГСИ)*. Количество счетных импульсов в этой группе подсчитывается *декадными счетчиками импульсов (ДСИ)*, а *цифровое отсчетное устройство (ЦОУ)* представляет результат измерения фазового сдвига φ в виде визуально наблюдаемых цифр десятичной системы исчисления (в градусах или долях градуса).

9.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Перечень используемых приборов:

Лабораторная работа выполняется с использованием:

универсального двухканального осциллографа ЭЛО С1-77, используемого в настоящей работе для измерения фазового сдвига осциллографическими методами (внешний вид прибора см. на рис. 7.2);

генератора сигналов низкочастотного ГЗ-120 (в составе стенда БИС-Р) - источника переменного синусоидального напряжения с регулируемой амплитудой (2...10В) и частотой (5Гц...500кГц) выходного сигнала (внешний вид прибора см. на рис. 6.5);

высокочастотного тройника для разветвления сигнала; внешний вид тройника изображен на рис. 9.4



Рис. 9.4. Внешний вид высокочастотного тройника.

низкочастотного RC-фазовращателя с фиксированным значением фазового сдвига между исследуемыми сигналами (выдается в соответствии с заданным вариантом);

цифрового фазометра (блока фазометра в составе стенда УЛС), производящего измерение фазового сдвига в диапазоне от -180° до $+180^\circ$ между напряжениями величиной от 0,5В до 60В, токами величиной от 0,001А до 1А, а также между напряжением и током (имеет два токовых входа – «O1-I1», «O2-I2» и два потенциальных входа – «O1-U1», «O2-U2»; входы $\Psi 1$ и $\Psi 2$ гальванически развязаны); внешний вид прибора изображен на рис. 9.5.



Рис. 9.5. Внешний вид блока цифрового фазометра УЛС.

9.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

9.4.1. Дайте определения разности фаз и фазового сдвига двух гармонических сигналов. Какой термин используется для характеристики фазового сдвига для негармонических сигналов?

9.4.2. Как называются приборы, измеряющие фазовые сдвиги? Какие методы наиболее широко используются для измерения фазового сдвига?

9.4.3. В чем заключается способ измерения фазового сдвига по осциллограммам исследуемых сигналов? Какой недостаток этого способа?

9.4.4. В чем заключается измерение фазового сдвига способом эллипса? Какой недостаток этого способа?

9.4.5. В чем заключается измерение фазового сдвига методом дискретного счета? Устройство и принцип работы простейшего цифрового фазометра.

9.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

9.5.1. Изучить устройство и принцип работы цифрового фазометра (см. п. 9.2.3).

9.5.2. Ознакомиться с используемыми в работе приборами в соответствии с п. 9.3.

9.5.3. При использовании ЭЛО С1-77 применить навыки, приобретенные при выполнении лабораторных работ №2 и №3.

9.5.4. *Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.* При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии.

9.5.5. У генератора ГЗ-120 ручки плавного регулирования частоты «Hz», амплитуды выходного сигнала, а также дискретные переключатели частотных поддиапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» и аттенуатор «dB» установить в начальное (с минимальным значением) положение.

9.5.6. После включения общего сетевого тумблера стенда УЛС (расположен на левой боковой панели) включить ЭЛО С1-77 тумблером «СЕТЬ». При этом должна загореться сигнальная лампочка.

Установить:

переключатель режима работы в положение «...» или « $\rightarrow \rightarrow$ » указывающее на использование ЭЛО в двухканальном режиме (КАНАЛ I и КАНАЛ II);

Примечание: Режим «...» обычно применяется при низкочастотных сигналах.

переключатель полярности синхронизации в положение «+»;

тумблер режима работы генератора развертки в положение «АВТ»;

переключатель вида синхронизации в положение «ВНУТР I»;

переключатель вида связи синхронизирующего сигнала в положение «+,~»;

переключатель растяжки по горизонтали в положение « $\text{---} \times 1$ »;

тумблеры выбора вида входов усилителей КАНАЛА I и КАНАЛА II в положение «~» (закрытые входы);

ручки « \blacktriangledown » обоих каналов в крайнее правое положение (до защелкивания);

ручку «ПЛАВНО» в крайнее правое положение (до защелкивания).

9.5.7. Ручной « \odot » установить яркость изображения, удобную для наблюдения, а ручкой « \odot » - одинаковую четкость изображения по обеим линиям развертки. В случае отсутствия линии развертки ручками « \updownarrow I» и « \updownarrow II» вертикального перемещения вывести линии развертки обоих каналов на рабочую часть экрана. При необходимости ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение.

9.5.8. Установить переключатели «V/ДЕЛ» обоих каналов в положение «5». Ручками « \updownarrow I» и « \updownarrow II» совместить линии развертки обоих каналов с горизонтальной осью масштабной сетки экрана ЭЛО.

ЭЛО готов к проведению измерений.

9.5.9. Для измерения фазового сдвига φ_{01} между опорным u_1 и сравниваемым u_2 напряжениями синусоидальной формы одинаковой частоты f по их осциллограммам с помощью ЭЛО С1-77.

получить сравниваемое напряжение u_2 , используя *тройник (Т)*, *фазовращатель (ФВ)* с заданным номером и схему подключения, представленную на рис. 9.6;

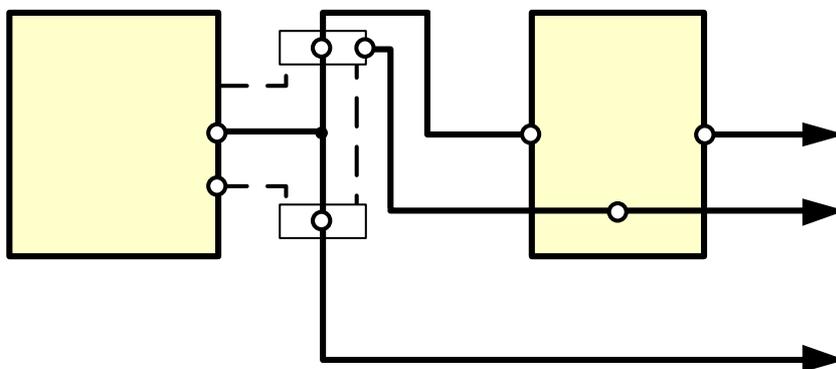


Рис. 9.6. Схема получения сравниваемого напряжения u_2 , сдвинутого по фазе относительно опорного напряжения u_1 .

включить генератор ГЗ-120 тумблером «СЕТЬ» (должна загореться сигнальная лампочка); ручкой плавного регулирования амплитуды выставить по внутреннему вольтметру ГЗ-120 заданную величину относительного значения выходного напряжения U , являющегося опорным напряжением u_1 ; ручкой плавного регулирования частоты «Hz» и с помощью дискретного переключателя «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установить заданную частоту f опорного напряжения u_1 ;

подать опорное напряжение u_1 на вход КАНАЛА I, используя соединительный кабель с байонетным разъемом, а сравниваемое напряжение u_2 - на вход КАНАЛА II ЭЛО С1-77, используя соединительный кабель с пальчиковыми выводами и соблюдая полярность; при необходимости ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение сигналов;

Примечания: 1. При подаче сравниваемого напряжения u_2 на вход КАНАЛА II ЭЛО достаточно подключить только сигнальный вывод к клемме "3" фазовращателя ФВ. При этом другой вывод кабеля, соответствующий корпусу « \perp » и отличающийся завязанным узлом, не задействовать (в этом случае подключение корпусного вывода КАНАЛА II обеспечивается за счет общего корпуса с КАНАЛОМ I при подключении опорного напряжения u_1).

2. Опорный сигнал u_1 должен предшествовать сравниваемому u_2 во времени.

установить переключателями «V/ДЕЛ» и ручками «▼» обоих каналов идентичные изображения около 4-5 делений по амплитуде;

установить переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в положение, обеспечивающее один цикл сигналов на экране ЭЛО;

используя горизонтальную градуировочную линию масштабной сетки шкалы, измерить в делениях шкалы период L опорного сигнала и разность по горизонтали ΔL между соответствующими точками исследуемых сигналов u_1 и u_2 (см. п. 9.2.2); осциллограмму напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛО - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу);

рассчитать фазовый сдвиг φ_{o1} (см. п. 9.2.2);

результаты измерения L , ΔL и расчета φ_{o1} занести в табл. 9.2;

выключить генератор ГЗ-120, не изменяя положения органов регулирования; отключить соединительный кабель, связывающий вход КАНАЛА II ЭЛО С1-77 и выход «3» фазовращателя.

Таблица 9.2

Результаты измерения фазового сдвига по осциллограммам исследуемых напряжений

Измерение		Расчет
L , дел.	ΔL , дел.	φ_{o1} , град.

9.5.10. Для осциллографического измерения фазового сдвига φ_{o2} между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 способом эллипса с помощью ЭЛО С1-77:

Установить:

переключатель режима работы в положение «I», указывающее на использование ЭЛО в одноканальном режиме (КАНАЛ I);

переключатель вида синхронизации в положение « \ominus X», соответствующее отключению развертки (на экране ЭЛО наблюдается светящаяся точка); развертка осуществляется сигналом от внешнего источника;

ручками « \leftrightarrow » и « \updownarrow I» установить изображение светящейся точки в центре масштабной сетки шкалы экрана;

при необходимости ручкой « \star » установить яркость, удобную для наблюдения;

включить генератор ГЗ-120; с помощью соединительного провода с выхода «3» фазовращателя (см. рис. 9.5) подать напряжение u_2 на вход « \ominus X, 1:1» (данное гнездо и гнездо « \perp » расположены на правой боковой панели ЭЛО), соблюдая полярность;

Примечание: Подключение вывода « \perp » напряжения u_2 , как и в п. 9.5.9 не производится.

установить переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I в положение, при котором изображение эллипса для удобства измерения будет соответствовать расположению большей его оси приблизительно под углом 45° к горизонтальной оси масштабной сетки шкалы;

Примечание: При необходимости угловое положение эллипса дополнительно можно регулировать ослаблением усиления по входу X в 10 раз, переключив соединительный провод со входа « \ominus X, 1:1» на вход « \ominus X, 1:10» ЭЛО С1-77.

используя вертикальную (или горизонтальную) градуировочную линию масштабной сетки шкалы, измерить расстояния $2Y_o$ и $2B$ (или $2X_o$ и $2A$) в делениях шкалы (см. п. 9.2.2); осциллограмму сфотографировать (скопировать на кальку или клетчатую бумагу);

рассчитать фазовый сдвиг φ_{o2} (см. п. 9.2.2);

результаты измерения $2Y_o$, $2B$ (или $2X_o$, $2A$) и расчета φ_{o2} занести в табл. 9.3.

выключить генератор ГЗ-120, не изменяя положения органов регулирования; выключить ЭЛО С1-77; отключить соединительный провод и кабель от ЭЛО С1-77.

Таблица 9.3

Результаты осциллографического измерения фазового сдвига способом эллипса

Измерение		Расчет
$2Y_o$ ($2X_o$), дел.	$2B$ ($2A$), дел.	φ_{o2} , град.

9.5.11. Для измерения фазового сдвига φ_ϕ между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 методом дискретного счета с помощью цифрового фазометра:

для обеспечения подключения к цифровому фазометру опорного напряжения u_1 от генератора ГЗ-120 соединительный кабель с байонетным разъемом заменить на кабель с пальчиковыми выводами;

с помощью соединительных кабелей с пальчиковыми выводами и проводов подать напряжение u_1 на потенциальный вход «O1-U1», а напряжение u_2 - на потенциальный вход «O2-U2» цифрового фазометра, соблюдая полярность (к клеммам «O1» и «O2» подключить общий вывод «┴» напряжений u_1 и u_2 , для чего клеммы «O1» и «O2» цифрового фазометра закоротить соединительным проводом);

включить генератор ГЗ-120 и цифровой фазометр;

по цифровому индикатору фазометра произвести считывание показания фазового сдвига φ_ϕ ; результат измерения φ_ϕ занести в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Результаты измерения фазового сдвига с помощью цифрового и расчета относительных погрешностей измерения фазового сдвига

Измерение	Расчет	
φ_ϕ , град.	$\gamma_{\varphi o1}$, %	$\gamma_{\varphi o2}$, %

9.5.12. Сравнить измеренные значения фазового сдвига между исследуемыми сигналами u_1 и u_2 по их осциллограммам (φ_{o1} - см. табл. 9.2), способом эллипса (φ_{o2} - см. табл. 9.3) и методом дискретного счета (φ_ϕ - см. табл. 9.4). Рассчитать относительные погрешности измерения фазового сдвига осциллографическими методами ($\gamma_{\varphi o1}$ и $\gamma_{\varphi o2}$, соответственно), условно приняв за образцовое показание результат измерения фазового сдвига с помощью цифрового фазометра φ_ϕ , по формулам:

$$\gamma_{\varphi o1} = \frac{\varphi_{o1} - \varphi_\phi}{\varphi_{o1}} \cdot 100; \quad \gamma_{\varphi o2} = \frac{\varphi_{o2} - \varphi_\phi}{\varphi_{o2}} \cdot 100,$$

где φ_{o1} , φ_{o2} - измеренные значения фазового сдвига осциллографическими методами с помощью ЭЛО С1-77;

φ_{ϕ} - образцовое значение фазового сдвига.

Результаты расчета $\gamma_{\phi o1}$ и $\gamma_{\phi o2}$ занести в табл. 9.4.

9.5.13. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

9.5.14. По окончании работы выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать все соединительные провода и кабели, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительные провода и кабели, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

«ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы основных узлов цифрового измерителя L , C , R ; приобретение навыков по измерению основных параметров: активного сопротивления резистора, индуктивности катушки, емкости конденсатора, а также их паразитных параметров.

10.1. ЗАДАНИЕ

10.1.1. Получите у преподавателя заданные величины измеряемых активного сопротивления R резистора, индуктивности L катушки, емкости C конденсатора в соответствии с табл. 10.1 и исследуемые компоненты с заданными номиналами.

Таблица 10.1

Исходные данные

Параметры \ № варианта	1	2	3	4
R , Ω (Ом)	5,175	694,1	2030,0	8176,0
L , μH (мкГн)	7,18	18,92	41,97	101,75
C , pF (пФ)	337,37	271,28	11601,0	24870,0

10.1.2. Изучите устройство, технические характеристики и принцип работы цифрового измерителя E7-12.

10.1.3. Измерьте с помощью цифрового измерителя E7-12 основной параметр резистора - активное сопротивление R , а также паразитные параметры: индуктивность L_R и емкость C_R .

10.1.4. Измерьте с помощью цифрового измерителя E7-12 основной параметр катушки - индуктивность L , а также паразитные параметры: активное сопротивление R_L и тангенс угла потерь $\text{tg}\delta_L$.

10.1.5. Измерьте с помощью цифрового измерителя E7-12 основной параметр конденсатора - емкость C , а также паразитные параметры: активную проводимость G_C и тангенс угла потерь $\text{tg}\delta_C$.

10.1.6. Рассчитайте добротности Q_L катушки индуктивности и Q_C конденсатора.

10.1.7. Сравните измеренные и исходные значения R , L и C . Рассчитайте относительные погрешности измерения γ_R , γ_L и γ_C цифровым измерителем E7-12.

10.1.8. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

10.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

10.2.1. Основные измеряемые параметры компонентов электрических цепей

К линейным пассивным компонентам электрических цепей с сосредоточенными постоянными относятся *резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы*.

Для *резистора* (рис. 10.1) основным параметром является активное сопротивление R электрическому току, а паразитными - индуктивность L_R проводов обмотки (для проволочных резисторов) и выводов, а также емкость C_R между витками и выводами. У поверхностных и композиционных резисторов значения L_R и C_R много меньше, чем у проволочных.

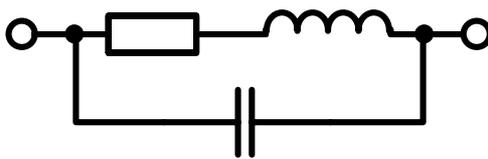


Рис. 10.1. Полная эквивалентная схема резистора.

Для катушки индуктивности (рис. 10.2, а) основным параметром является индуктивность L , а паразитными - сопротивление потерь R_L и собственная емкость катушки C_L . При измерениях на низких частотах эквивалентную схему катушки индуктивности представляют в другом виде (рис. 10.2, б), где L_0 и R_0 - действующие значения индуктивности и сопротивления потерь.

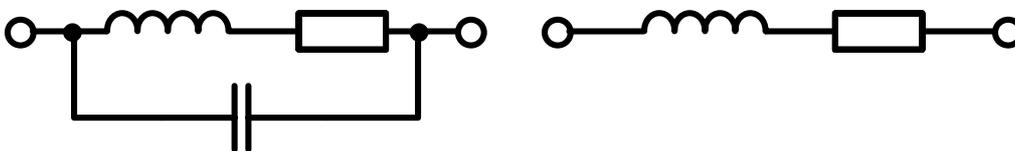


Рис. 10.2. Эквивалентная схема катушки индуктивности:
а - полная; б - на низких частотах.

Для конденсатора (рис. 10.3, а) основной параметром является емкость C , а паразитными - индуктивность L_C пластин и выводов и сопротивление потерь R_C (главным образом в диэлектрике). У большинства конструкций конденсаторов L_C пренебрежимо мала (особенно на низких частотах) и эквивалентная схема упрощается (рис. 10.3, б, в).

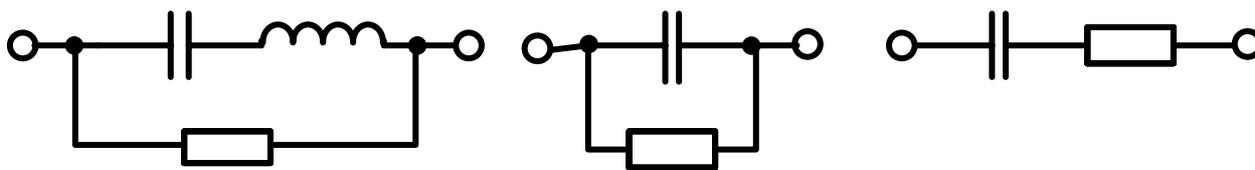


Рис. 10.3. Эквивалентная схема конденсатора:
а - полная; б, в - на низких частотах.

10.2.2. Методы измерения

Для измерения активного сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки применяют следующие **методы**:

- метод вольтметра и амперметра;
- мостовой метод;
- резонансный метод;
- метод дискретного счета.

Метод вольтметра и амперметра наиболее простой и используется для измерения активного сопротивления, основан на законе Ома и заключается в измерении тока I_x или напряжения U_x , функционально связанного с измеряемым сопротивлением R_x (рис. 10.4).

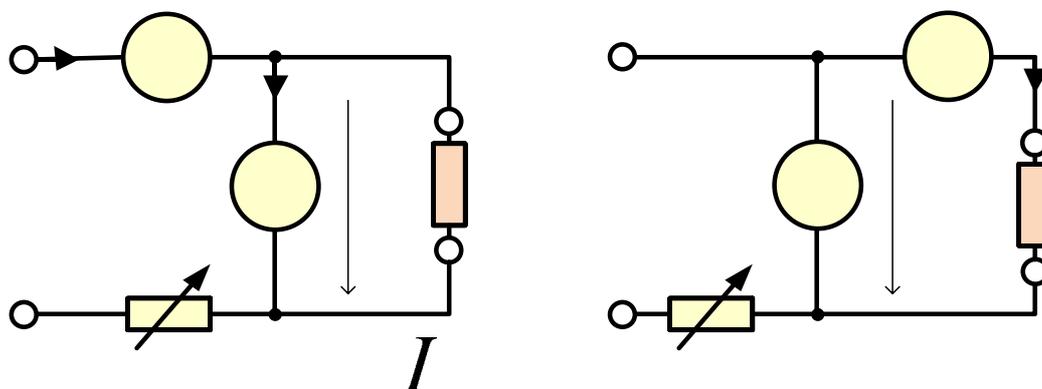


Рис. 10.4. Схемы измерения методом вольтметра и амперметра:
 а - малых сопротивлений; б - больших сопротивлений.

При измерении малых сопротивлений (рис. 10.4, а):

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_V} = \frac{U_x}{I - \left(\frac{U_x}{R_V}\right)} \approx \frac{U_x}{I},$$

где I_V – ток через вольтметр;

R_V – внутреннее сопротивление вольтметра.

При измерении больших сопротивлений (рис. 10.4, б):

$$R_x = \frac{U}{I_x} - R_A \approx \frac{U}{I_x},$$

где R_A - внутреннее сопротивление амперметра.

Метод вольтметра и амперметра используют, в основном, в омметрах. Однако он не обеспечивает высокой точности измерений.

Мостовой метод используется для измерения сопротивления, емкости и индуктивности компонентов низкочастотных цепей, а также тангенса угла потерь конденсаторов и добротности катушек. Основан на сравнении измеряемых активных и реактивных сопротивлений с сопротивлениями рабочих элементов, включенных в соответствующие плечи мостовой схемы.

В измерительных приборах используют разные виды **мостовых схем** - четырехплечие, шестиплечие, Т-образные и др. Наиболее распространены **четырёхплечие мосты**.

Мосты постоянного тока (рис. 10.5, а) применяют для измерения активного сопротивления R_x резисторов. Из условия баланса, фиксируемого по нулевому показанию индикатора (И):

$$R_x = (R_1/R_2) \cdot R_3,$$

где R_1, R_2, R_3 - сопротивления резисторов высокой точности остальных плеч моста.

R_x

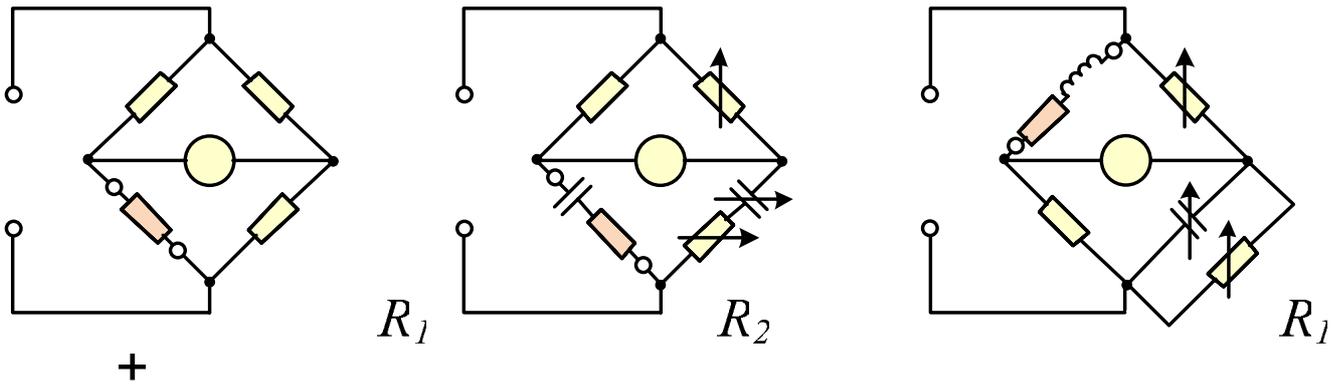


Рис. 10.5. Мостовые схемы: а - постоянного тока (для измерения активных сопротивлений); б, в - переменного тока (для измерения емкостей (б) и индуктивностей (в)).

Мосты переменного тока (на рис. 10.5, б, в приведены некоторые схемы) используют для измерения емкости C_x и тангенса угла потерь $tg\delta_C$ конденсаторов (рис. 10.5, б), а также индуктивности L_x катушек и их добротности Q_L (рис. 10.5, в).

Когда мосты полностью сбалансированы:

$$C_x = C_{обр} \cdot (R_2/R_1); \quad r_x = R_{обр} \cdot (R_1/R_2); \quad tg\delta_C = 1/\omega \cdot C_{обр} \cdot R_{обр}; \quad V_x$$

$$L_x = C_{обр} \cdot R_2 \cdot R_4; \quad r_x = R_2 \cdot R_4 / R_{обр}; \quad Q_L = \omega \cdot C_{обр} \cdot R_{обр},$$

где $C_{обр}$, $R_{обр}$ - образцовые конденсатор переменной емкости и переменный резистор, соответственно;

$\omega=2\pi f$ - циклическая частота переменного напряжения питания моста $\sim U$.

Резонансные методы используются для измерения емкости и индуктивности и основаны на использовании физических явлений в колебательных контурах и LC-генераторах. Эти методы могут быть разделены на:

- контурные;
- генераторные.

Принцип **контурных методов** заключается в определении резонансной частоты f_0 колебательного контура, состоящего из образцового и измеряемого элементов (рис. 10.6):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

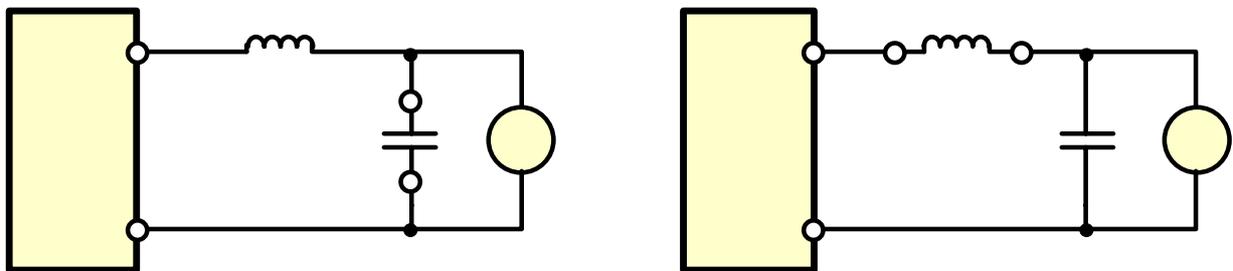


Рис. 10.6. Схемы для измерения контурным методом: а - емкостей; б - индуктивностей.

Настройка контура в резонанс при $L_{обр} = \text{const}$ (или $C_{обр} = \text{const}$) осуществляется изменением частоты **измерительного генератора (ИГ)** до максимального отклонения стрелки **электронного вольтметра (V)**. Измеряемые параметры определяют из выражений:

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L_{обр}}; \quad L_x = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C_{обр}}.$$

В основе **генераторных методов** лежит зависимость частоты напряжения генератора от значений емкости и индуктивности компонентов его колебательного контура. Включая в контур генератора конденсатор неизвестной емкости или катушку неизвестной индуктивности, можно рассчитать значения этих величин по соответствующим формулам после предварительного измерения частоты выходного сигнала.

Метод дискретного счета относится к цифровым методам измерения, используется для измерения сопротивления, емкости и индуктивности и основан на подсчете дискретных импульсов, заполняющих пропорциональный измеряемым параметрам временной интервал, либо соответствующих определенному числу периодов затухающих колебаний в контуре ударного возбуждения и т.п.

10.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

10.3.1. Перечень используемых приборов

Лабораторная работа выполняется с использованием:

цифрового измерителя L, C, R E7-12, предназначенного для измерения **иммитансов** (полных сопротивлений и/или полных проводимостей) радиокомпонентов и цепей на частоте 1 МГц; внешний вид прибора изображен на рис. 10.7;



Рис. 10.7. Внешний вид цифрового измерителя L, C, R E7-12 (справа – устройство присоединительное).

исследуемых резистора, катушки индуктивности, конденсатора, эталонной перемычки и отвертки, помещенных в коробку.

10.3.2. Устройство, технические характеристики и принцип работы измерителя Е7-12

Измеритель Е7-12 обеспечивает измерения иммитансов исследуемых объектов в следующих эквивалентных схемах (режимах измерения):

режим CG – в виде параллельного соединения емкости и активной проводимости;

режим LR – в виде последовательного соединения индуктивности и активного сопротивления;

режимы CD и LD – при измерении объектов реактивного характера активная составляющая их иммитанса может быть представлена в форме тангенса угла потерь.

Диапазон измеряемых прибором величин разбит на 5 пределов в соответствии с табл. 10.2.

Таблица 10.2

Диапазон измеряемых величин

Номер предела \ Параметры	$\pm C_k$	$\pm G_k$	$\pm L_k$	$\pm R_k$	$\pm D_k$
1	10.000 pF	100.00 μ s	1.0000 mH	10.000 k Ω	1.0000
2	100.00 pF	1.0000 ms	100.00 μ H	1.0000 k Ω	1.0000
3	1000.0 pF	10.000 ms	10.000 μ H	100.00 Ω	1.0000
4	10.000 nF	100.00 ms	1.0000 μ H	10.000 Ω	1.0000
5	100.00 nF	1.0000 s	100.00 nH	1.0000 Ω	1.0000

Примечание: C_k , G_k , L_k , R_k , D_k - номинальные (конечные) значения измеряемых на каждом из пределов емкости, проводимости, индуктивности, активного сопротивления и тангенса угла потерь.

Упрощенная структурная схема измерителя Е7-12 приведена на рис. 10.8.

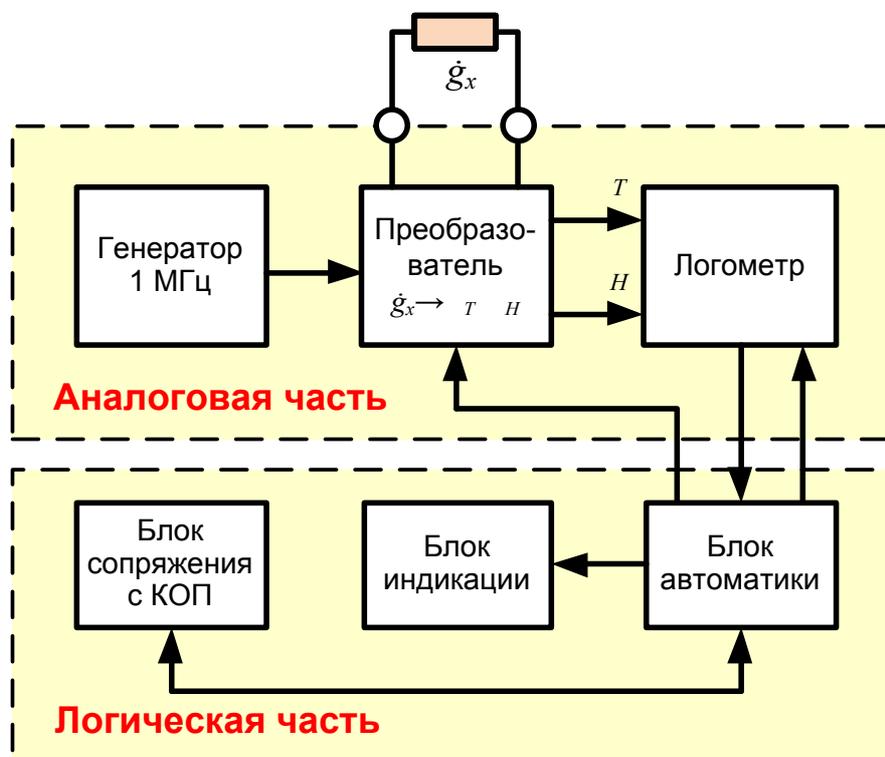


Рис. 10.8. Упрощенная структурная схема измерителя Е7-12.

Напряжение частотой 1МГц поступает с *генератора* на *преобразователь* $\dot{g}_x \rightarrow \dot{U}_T/\dot{U}_H$. Преобразователь формирует два синусоидальных напряжения \dot{U}_T и \dot{U}_H .

Напряжение \dot{U}_T пропорционально току через измеряемый объект, а напряжение \dot{U}_H – напряжению на нем. Напряжения \dot{U}_T и \dot{U}_H нормированы, т.е. зависят не от значения проводимости измеряемого объекта, а от отношения \dot{g}_x/\dot{g}_k , где \dot{g}_k – номинальное (конечное) значение проводимости, измеряемой на включенном пределе измерения.

В зависимости от эквивалентной схемы, в которой измеряется объект, одно из выходных напряжений \dot{U}_T , \dot{U}_H преобразователя является измеряемым (\dot{U}_x), а другое – опорным (\dot{U}_o). При измерении объекта по параллельной эквивалентной схеме в виде составляющих *адмиттанса* (полной проводимости) в качестве измеряемого напряжения \dot{U}_x берется \dot{U}_T , а при измерении по последовательной эквивалентной схеме в виде составляющих *импеданса* (полного сопротивления) – \dot{U}_H .

Цифровой двухтактный *логометр* выделяет синхронным детектором из напряжения \dot{U}_x измеряемую составляющую и измеряет отношение ее значения к напряжению \dot{U}_o .

Блок автоматики прибора обеспечивает взаимодействие всех узлов, автоматический выбор предела измерения и знака измеряемой величины.

Результат измерения высвечивается на цифровом табло (*блок индикации*) и выводится на заднюю панель через *блок сопряжения с каналом общего пользования (КОП)* для использования измерителя Е7-12 в составе автоматизированного измерительного комплекса.

10.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

10.4.1. Воспроизведите полные эквивалентные схемы резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Дайте качественную характеристику каждой составляющей этих схем.

10.4.2. В чем специфика эквивалентных схем резистора, катушки индуктивности и конденсатора на низких и высоких частотах?

10.4.3. Назовите основные методы измерения активного сопротивления, индуктивности и емкости. Для чего используется и в чем заключается метод вольтметра и амперметра, его основной недостаток?

10.4.4. В чем заключаются мостовые методы измерения? Назовите основные виды мостовых схем.

10.4.5. В чем заключаются резонансные методы измерения? Назовите основные их разновидности.

10.4.6. В чем заключается метод дискретного счета?

10.4.7. Дайте определения импеданса, адмиттанса и иммитанса.

10.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

10.5.1. Изучить устройство, технические характеристики и принцип работы измерителя Е7-12 (см. п. 10.3.2).

10.5.2. В исходном положении измеритель Е7-12 должен быть в выключенном состоянии.

10.5.3. Проверить правильность подключения устройства присоединительного с помощью ВЧ кабеля к измерителю Е7-12 по соответствию наименований «I», «U», «I'», «U'» соединяемых гнезд.

10.5.4. Включить измеритель E7-12 тумблером «СЕТЬ» (должно засветиться цифровое табло) и подготовить его для проведения измерений.

10.5.5. Установить переключатель «ЗАПУСК» прибора в положение «». при этом должен периодически загораться индикатор «Счет».

10.5.6. Установить начальный баланс прибора по C , G , L и R с подключенным устройством присоединительным (см. п. 10.5.7, п. 10.5.8).

10.5.7. Для установки начального баланса прибора по C , G :

установить переключатели прибора в следующие положения:

«ЭКВ. СХЕМА» - «CG»;

«ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕР.» - «1»;

«УРОВЕНЬ СИГНАЛА» - « $\times 0,1$ »;

«ЗАПУСК» - «»

установить нулевые показания прибора по обоим составляющим с помощью органов регулирования начального баланса по C и G .

10.5.8. Для установки начального баланса прибора по L , R :

перевести переключатели прибора «ЭКВ. СХЕМА» и «ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕР.» в положения «LR» и «5», соответственно;

выбрать расстояние между контактными точками устройства присоединительного, согласующееся с габаритными размерами исследуемых компонентов;

Примечание: 1. Контактные устройства устанавливаются в пазы устройства присоединительного. Меняя установку контактных устройств, можно менять расстояние между контактными точками. В каждом случае необходимо заново устанавливать начальный баланс прибора по всем составляющим.

2. При перестановке контактных устройств необходимо следить за тем, чтобы они точно входили в посадочные клеммы, не допуская деформацию зажимов клемм.

подключить к контактам устройства присоединительного эталонную перемычку;

используя отвертку, установить показания прибора по обоим составляющим с помощью органов регулирования начального баланса по L и R , указанные на эталонной перемычке;

Примечание: На эталонной перемычке даны 3 группы начальных параметров, соответствующих ближнему, среднему и дальнему расположению контактов устройства присоединительного.

отключить эталонную перемычку от контактов и вместе с отверткой поместить в коробку.

Прибор готов к проведению измерений.

10.5.9. Для измерения основного параметра резистора - активного сопротивления R , а также паразитных параметров: индуктивности L_R и емкости C_R :

подключить резистор к контактам устройства присоединительного (расстояние между контактными точками не изменять - прибор сбалансирован);

установить переключатель «СМЕЩЕНИЕ» (на задней панели) в положение «ВНЕШ.»;

установить переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора в положение «LR», в котором измеряемый объект представляется в виде последовательного соединения индуктивности и активного сопротивления;

установить переключатель «УРОВЕНЬ СИГНАЛА» в положение «×0,1»;

установить переключатель «ЗАПУСК» в положение «», в котором прибор запускается непрерывно и таким образом осуществляется следящий режим измерения;

установить переключателем «ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕР.» нужный предел измерения или автоматический «АВТ.»;

Примечание: В случае, если измеряемый объект не может быть измерен при выбранном положении органов управления, около переключателей «ЭКВ. СХЕМА» и/или «ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕР.» загораются светодиодные индикаторы, указывающие оператору, в какое положение (какую сторону) надо перевести соответствующие переключатели, чтобы измерение данного объекта можно было произвести.

произвести считывание показаний прибора по измеряемым параметрам R_n и L_R ; результаты измерений R_n и L_R занести в табл. 10.3;

установить переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора в положение «CG», в котором измеряемый объект представляется в виде параллельного соединения емкости и активной проводимости;

выбрав по описанной выше методике нужный предел измерения с помощью переключателя «ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕР.», произвести считывание показаний прибора по измеряемому паразитному параметру C_R ; результат измерения C_R занести в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Результаты измерения основного и паразитных параметров резистора измерителем E7-12 и расчета относительной погрешности измерения активного сопротивлений

<i>Исходное значение</i>	<i>Измерение</i>			<i>Расчет</i>
$R_{обр}, \Omega$	R_n, Ω	L_R, mH	C_R, pF	$\gamma_R, \%$

10.5.10. Сравнить измеренное значение активного сопротивления R_n резистора с номиналом, указанным на его корпусе. Рассчитать относительную погрешность измерения активного сопротивления γ_R измерителем E7-12, условно приняв номинал исследуемого резистора за образцовую меру, по формуле:

$$\gamma_R = \frac{R_n - R_{обр}}{R_n} \cdot 100,$$

где R_n - показание измерителя E7-12;

$R_{обр}$ - образцовая величина резистора (номинал на корпусе).

Исходное значение $R_{обр}$ и результат расчета γ_R занести в табл. 10.3.

10.5.11. Для измерения основного параметра катушки - индуктивности L , а также паразитных параметров: активного сопротивления R_L и тангенса угла потерь $\text{tg}\delta_L$ применить методику, аналогичную для измерения параметров резистора (см. п. 10.5.9).

При этом в случае измерения индуктивности L и паразитного активного сопротивления R_L переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора установить в положение «LR», в котором измеряемый

объект представляется в виде последовательного соединения индуктивности и активного сопротивления.

В случае измерения паразитного параметра - тангенса угла потерь $tg\delta_L$ переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора установить в положение «CD», в котором при измерении реактивной составляющей активная составляющая измеряемого объекта представляется в форме тангенса угла потерь.

Результаты измерения L_n , R_L , $tg\delta_L$ занести в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Результаты измерения основного и паразитных параметров катушки индуктивности измерителем В7-12 и расчета добротности катушки и относительной погрешности измерения индуктивности

<i>Исходное значение</i>	<i>Измерение</i>			<i>Расчет</i>	
$L_{обр}$, мН	L_n , мН	R_L , Ω	$tg\delta_L$	Q_L	γ_L , %

10.5.12. Рассчитать добротность Q_L исследуемой катушки индуктивности по формуле: $Q_L=1/tg\delta_L$. Результат расчета Q_L занести в табл. 10.4.

10.5.13. Расчет относительной погрешности измерения индуктивности γ_L произвести по методике, аналогичной для расчета γ_R (см. п. 10.5.10). Исходное значение $L_{обр}$ и результат расчета γ_L занести в табл.10.4.

10.5.14. Для измерения основного параметра конденсатора - емкости C , а также паразитных параметров: активной проводимости G_C и тангенса угла потерь $tg\delta_C$ применить методику, аналогичную для измерения параметров резистора (см. п. 10.5.9).

При этом в случае измерения емкости C и паразитной активной проводимости G_C переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора установить в положение «CG», в котором измеряемый объект представляется в виде параллельного соединения емкости и активной проводимости.

В случае измерения паразитного параметра - тангенса угла потерь $tg\delta_C$ переключатель «ЭКВ. СХЕМА» прибора установить в положение «LD», в котором при измерении реактивной составляющей активная составляющая измеряемого объекта представляется в форме тангенса угла потерь.

Результаты измерения C_n , G_C , $tg\delta_C$ занести в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Результаты измерения основного и паразитных параметров конденсатора измерителем Е7-12 и расчета добротности конденсатора и относительной погрешности измерения емкости

<i>Исходное значение</i>	<i>Измерение</i>			<i>Расчет</i>	
$C_{обр}$, pF	C_n , pF	G_C , mS	$tg\delta_C$	Q_C	γ_C , %

10.5.15. Рассчитать добротность Q_C исследуемого конденсатора (по аналогичной формуле - см. п. 10.5.12). Результат расчета Q_C занести в табл.10.5.

10.5.16. Расчет относительной погрешности измерения емкости γ_C произвести по методике, аналогичной для расчета γ_R , (см. п. 10.5.10). Исходное значение $C_{обр}$ и результат расчета γ_C занести в табл. 10.5.

10.5.17. При формулировании выводов дать анализ экспериментальных и расчетных результатов.

10.5.18. По окончании работы выключить прибор, демонтировать исследуемые компоненты из устройства присоединительного и поместить в коробку, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать коробку, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

11. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

«ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства анализатора спектра последовательного типа и принципа работы основных его узлов; приобретение навыков по наблюдению спектров периодических сигналов различной формы, овладение техникой измерений спектральных составляющих исследуемых сигналов с помощью анализатора спектра последовательного типа.

11.1. ЗАДАНИЕ

11.1.1. Получите у преподавателя заданные частоту f и форму исследуемого периодического сигнала в соответствии с табл. 11.1.

Таблица 11.1

Исходные данные

Параметры \ № варианта	1	2	3	4
f , Гц	80000	10000	9000	8000
Форма	синусоидальная	треугольная	пилообразная	прямоугольная

11.1.2. Изучите устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа, основные технические характеристики и назначение основных органов управления, контроля и присоединения анализатора спектра С4-77.

11.1.3. Проведите проверку калибровки анализатора спектра С4-77. Произведите селекцию высоких уровней составляющих спектра собственных шумов С4-77.

11.1.4. Проведите измерения спектра исследуемого периодического сигнала по частоте и амплитуде. При этом измерение уровня амплитуд спектральных составляющих выполните в абсолютных (В) или относительных (дБ) единицах. Сфотографируйте спектрограмму исследуемого сигнала (скопируйте ее на кальку или клетчатую бумагу).

11.1.5. Исследуйте другие функциональные возможности анализатора спектра С4-77 при воздействии исследуемого сигнала: режима независимого задания параметров анализа, различных режимов памяти, режима однократной развертки, режима ручной развертки, режима слежения.

11.1.6. По результатам измерения спектра исследуемого сигнала рассчитайте экспериментальные коэффициенты гармоник K_2 и нелинейности K_n .

11.1.7. Рассчитайте спектр $S(f)$ исследуемого сигнала. По результатам расчета спектра определите теоретические коэффициенты K_2 и K_n .

11.1.8. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

11.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

11.2.1. Общие сведения

Исследование формы сигнала с помощью осциллографа позволяет получить зависимость напряжения от времени. Спектральное представление детерминированного сигнала в виде совокупности его частотных составляющих дает более полную информацию о его форме и, дополнительно, о качестве радиотракта, через который этот сигнал прошел. Измерение спектра

используется для количественной оценки искажений импульсных сигналов, нелинейности радиотехнических устройств и гармонических сигналов, параметров модулированных сигналов любого вида модуляции и для физических исследований.

Характеристики, описывающие свойства сигнала при частотном представлении, называют **спектральными**.

К ним относятся:

- 1 - **частотные спектры амплитуд и фаз** (наиболее полные характеристики);
- 2 - **коэффициент гармоник**;
- 3 - **коэффициент модуляции** (амплитудно-модулированного сигнала);
- 4 - **девиация частоты** (частотно-модулированного сигнала);
- 5 - **индекс угловой модуляции** (модулированного по фазе сигнала);
- 6 - **кепстр** и др.

Для периодических сигналов $u(t)$ справедливо следующее соотношение (рис. 11.1):

$$u(t) = u(t + nT),$$

где t – текущее значение времени ($-\infty \leq t \leq \infty$);

n – произвольное целое число;

T – фиксированное значение времени, называемое периодом.

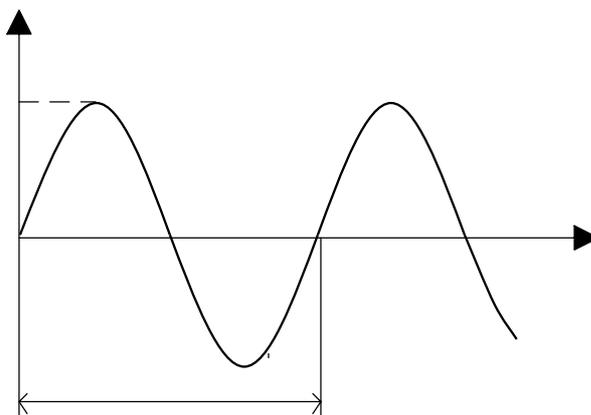


Рис. 11.1. Изображение периодического сигнала.

Реальные электрические сигналы можно считать периодическими только с определенной степенью приближения, т.к. все они ограничены во времени. Однако для упрощения анализа примем допущение об их периодичности.

Простейшим периодическим сигналом является гармоническое колебание типа (рис. 11.1)

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = U_m \cdot \sin(2\pi t/T + \varphi_0) = U_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_0),$$

где U_m - амплитуда колебания;

ω - круговая частота, рад/сек;

f - частота, Гц;

φ_0 - начальная фаза;

$(\omega t + \varphi_0)$ - мгновенное значение фазы.

$u(t)$

Из математики известно, что периодическая функция может быть представлена бесконечной суммой ортогональных функций, в качестве которых удобно использовать *sin* и *cos*. В этом случае периодическое колебание представляется рядом Фурье в следующем виде:

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cdot \cos(k\omega t) + b_k \cdot \sin(k\omega t)),$$

где $U_0 = \frac{1}{T} \int_{-0,5T}^{0,5T} u(t) dt$ - постоянная составляющая колебания;

$a_k = \frac{2}{T} \int_{-0,5T}^{0,5T} u(t) \cdot \cos(k\omega t) dt$ - амплитуда k -ой косинусоидальной составляющей колебания;

$b_k = \frac{2}{T} \int_{-0,5T}^{0,5T} u(t) \cdot \sin(k\omega t) dt$ - амплитуда k -ой синусоидальной составляющей колебания;

Совокупность амплитуд гармонических составляющих называется **амплитудным спектром** колебания. Амплитудный спектр графически представляют в прямоугольной системе координат, откладывая по оси ординат (y) амплитуду, а по оси абсцисс (x) частоту соответствующей гармонической составляющей. В случае элементарного гармонического сигнала $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ амплитудный спектр представляется единственной составляющей, амплитуда которой равна U_m , а частота - f или ω (рис. 11.2);

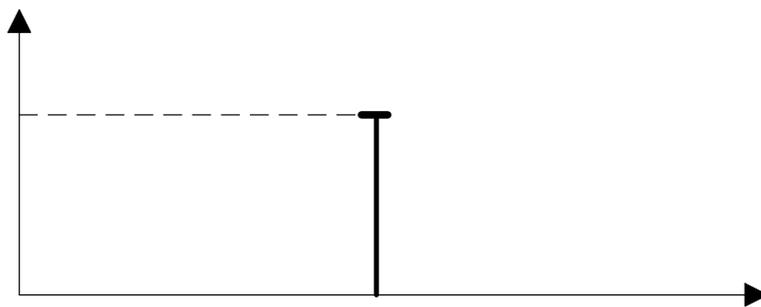


Рис. 11.2. Амплитудный спектр гармонического сигнала.

Периодические сигналы сложной формы (например, амплитудно- или частотно-модулированные) с помощью преобразования Фурье можно представить в виде суммы составляющих, меняющихся во времени по гармоническому закону. Совокупность гармоник составляет полный спектр сигнала:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt .$$

Анализ спектра включает измерение как амплитуд гармоник - **спектр амплитуд**, так и их начальных фаз - **спектр фаз**. Однако для многих практических задач достаточно знать лишь спектр амплитуд.

$S(\omega)$ - комплексная функция. Модуль этой функции и есть спектр амплитуд. Значение $|S(\omega)|$ выражает не непосредственную амплитуду, а спектральную плотность.

Спектр периодического сигнала $u(t)$ - **линейчатый**. Для непериодических сигналов характерен **сплошной** спектр.

К **спектральным характеристикам**, используемым на практике, также относятся;

U

текущий спектр,

мгновенный спектр.

Реальные физические процессы исследуются в течение конечного интервала времени t . С учетом этого определяемый спектр может быть представлен в виде:

$$S(\omega, t) = \int_0^t u(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau.$$

Функция $S(\omega, t)$ является функцией не только частоты, но и времени и носит название *текущего спектра*. Это понятие важно для теории и техники анализа спектра. Дело в том, что периодичность процесса проявляется лишь за достаточно большое время - по крайней мере, за несколько периодов. В течение же небольшой части периода характерные черты процесса вырисовываться не успевают. Спектр короткого отрезка процесса - сплошной, так как этот отрезок по существу является коротким импульсом. Переход к линейчатому спектру происходит лишь в пределе, когда $t \rightarrow \infty$ (строго теоретически); на практике длительность процесса оказывается достаточной при условии $t = nT$ ($n \gg 1$). Форма текущего спектра в общем случае отличается от истинного тем больше, чем меньше t .

Мгновенный спектр описывается функцией:

$$S_T(\omega, t) = \int_{t-T}^t u(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau$$

и определяется как спектр отрезка сигнала длительностью T , непосредственно предшествующего данному моменту времени t .

Спектральной характеристикой стационарных случайных процессов (напряжения или тока) служит *спектральная плотность мощности* $G_x(f)$. Она выражает приходящуюся на единицу полосы частот среднюю мощность процесса.

Изменение формы гармонического сигнала, возникающее в результате его прохождения через устройство, содержащее нелинейные элементы, называется *нелинейным искажением*.

Искаженный негармонический сигнал содержит в своем спектре постоянную составляющую, первую гармонику (основную частоту f) и высшие гармоники с частотами $2f, 3f, \dots$ и т.д.

Степень нелинейного искажения гармонического сигнала характеризуется *коэффициентом гармоник* K_2 , равным отношению среднеквадратического значения всех гармоник напряжения (или тока) искаженного сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому значению напряжения (или тока) первой гармоники:

$$K_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} = \frac{U_2}{U_1}.$$

Коэффициент гармоник K_2 часто выражается в процентах.

Нелинейные искажения сигнала любой формы оцениваются *коэффициентом нелинейности* K_n , который вычисляется по формуле:

$$K_n = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} = \frac{U_2}{U_c}$$

(отношение среднеквадратического значения высших гармоник напряжения (или тока) к среднеквадратическому значению всех гармоник напряжения (или тока), т.е. к напряжению (или току) сигнала).

Коэффициенты гармоник и нелинейности связаны соотношением:

$$K_2 = \frac{K_n}{\sqrt{1 - K_n^2}}.$$

Если искажения не очень велики ($K_2 < 0,1$), то коэффициенты K_2 и K_n отличаются мало (меньше, чем на 1%).

11.2.2. Методы экспериментального анализа спектров

В аналоговых анализаторах спектра наиболее широко используется *метод фильтрации*. Основной элемент таких приборов - полосовой фильтр с узкой полосой пропускания, служащий для выделения отдельных частотных составляющих или узких участков исследуемого спектра.

Возможны два основных *способа анализа методом фильтрации*:

1 - *одновременный* (параллельный);

2 - *последовательный*.

Одновременный анализ осуществляется с помощью совокупности узкополосных фильтров (высокодобротных резонаторов) с идентичными амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ), каждый из которых настроен на определенную частоту. При одновременной подаче исследуемого сигнала на все фильтры (резонаторы) каждый из них выделяет соответствующую его настройке составляющую спектра. Анализаторы спектра такого типа применяют, в основном, для анализа спектров одиночных импульсов.

Последовательный анализ производится посредством одного узкополосного фильтра, перестраиваемого в широкой полосе частот. Фильтр последовательно настраивают на различные частоты. При каждой новой настройке он выделяет очередную составляющую спектра. Анализаторы спектра такого типа эффективны при исследовании периодических, а точнее, многократно повторяющихся процессов, медленно меняющихся по сравнению с продолжительностью анализа; они получили преимущественное распространение.

11.2.3. Устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа

Структурная схема анализатора спектра последовательного типа представлена на рис. 11.3.



Рис. 11.3. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа.

Анализатор спектра состоит из супергетеродинного приемника, индикаторного (обычно осциллографического) устройства и вспомогательных устройств.

Супергетеродинный приемник служит для последовательного во времени выделения гармонических составляющих спектра входного сигнала $u(t)$. Настройку приемника на разные частоты производят с помощью напряжения, поступающего с выхода **генератора развертки**.

Осциллографическое устройство предназначено для наблюдения спектра исследуемого процесса и построено по принципу электронно-лучевого осциллографа.

Вспомогательные устройства используют для измерения характерных параметров спектра: частот, соответствующих максимумам или нулевым значениям огибающей спектра, ширины главного и боковых лепестков и т.д. К вспомогательным устройствам относят **генератор частотных меток** (калибратор) и перестраиваемый **резонансный частотомер**.

Рассмотрим принцип работы такого анализатора спектра.

Исследуемый сигнал $u(t)$ поступает через **входной блок** на вход 1 **смесителя**, к входу 2 которого подводится напряжение линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) гетеродина, представляющего собой **генератор качающейся частоты (ГКЧ)**. ГКЧ настраивается по частоте так, чтобы средняя частота полосы качания была близка к значению частоты, соответствующему середине полосы частот, занимаемой спектром исследуемого сигнала. Линейная частотная модуляция (качание частоты) достигается в результате воздействия на ГКЧ линейно-изменяющегося во времени напряжения **генератора развертки** (рис. 11.4), которое после усиления **усилителем X** подается одновременно на горизонтально отклоняющие пластины **электронно-лучевой трубки (ЭЛТ)**. Таким образом, перемещение электронного луча по горизонтали пропорционально частоте, и горизонтальная ось служит осью частот.

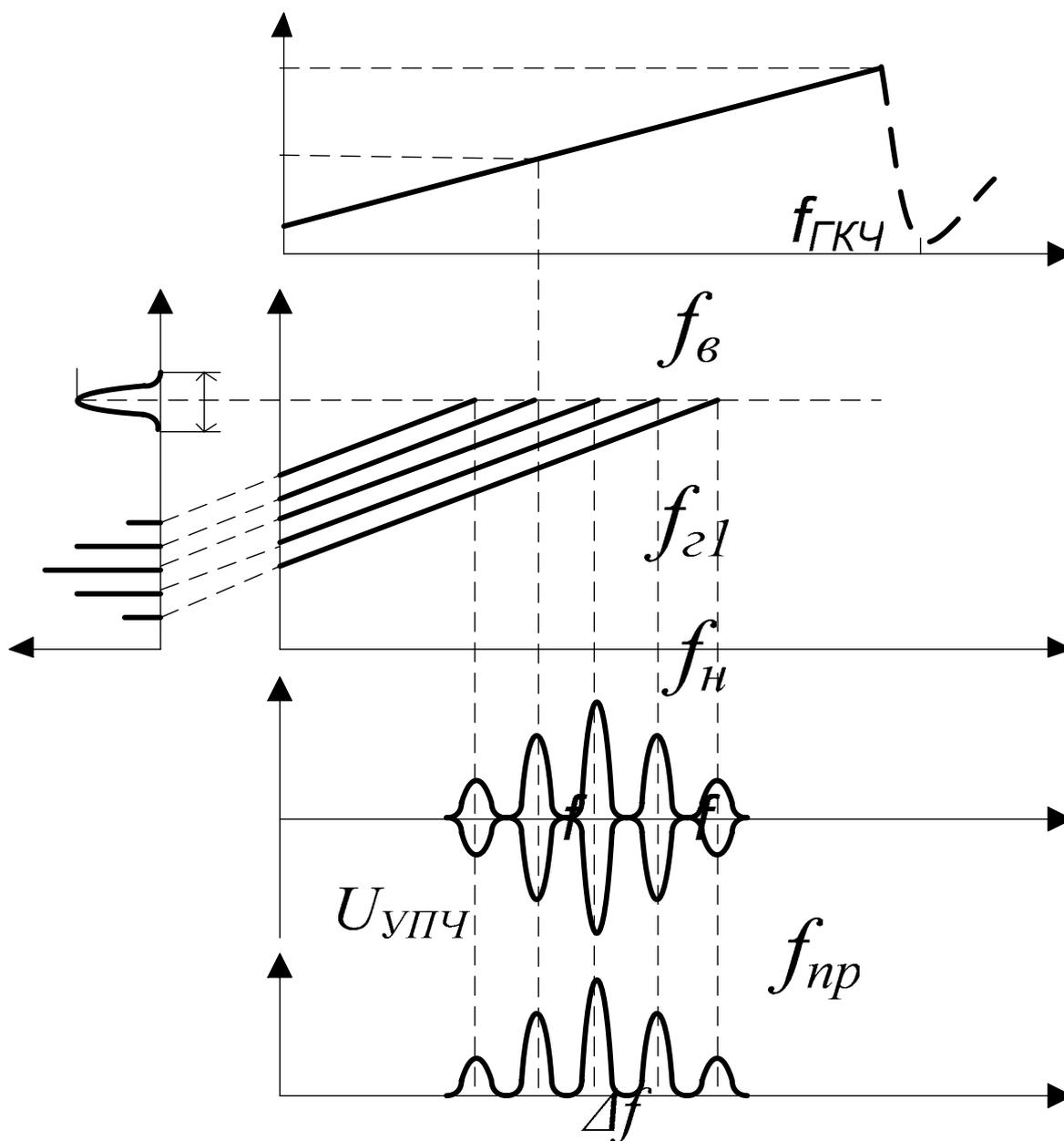


Рис. 11.4. Диаграммы напряжений в цепях анализатора спектра.

На выводе смесителя, представляющего собой нелинейный элемент, образуется совокупность сигналов комбинационных частот и, в том числе, разностной промежуточной частоты f_{Π} . Этот сигнал выделяется узкополосным (избирательным) **усилителем промежуточной частоты (УПЧ)**, так как только он попадает в полосу пропускания УПЧ (рис. 11.4).

Так, если в спектре исследуемого сигнала $u(t)$ содержатся n существенных составляющих (линии частот $f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n$), а ГКЧ линейно перестраивается в интервале частот $f_{\Pi} \dots f_{\Sigma}$, то для того, чтобы выделить составляющую спектра определенной частотой f_i , необходима настройка ГКЧ на такую частоту, чтобы $f_{\Sigma} - f_i = f_{\Pi}$. Таким образом, с перестройкой частоты ГКЧ можно последовательно выделить каждую из n составляющих спектра сигнала. Условие выделения только одной составляющей спектра (а не группы составляющих) заключается в выполнении неравенства $\Delta f \ll f_i - f_{i-1}$ (разность частот соседних составляющих спектра больше полосы

пропускания УПЧ). Если это условие не выполняется, то выделяется сразу группа спектральных составляющих - участок спектра.

Напряжение $U_{упч}$ на выходе УПЧ имеет вид радиоимпульсов, огибающая которых совпадает с формой АЧХ УПЧ (рис. 11.4). Амплитуды радиоимпульсов при постоянном напряжении ГКЧ пропорциональны амплитудам составляющих исследуемого спектра. Радиоимпульсы в результате детектирования в *детекторе* преобразуются в видеоимпульсы U_{δ} , поступающие после усиления *усилителем* Y на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. В результате многократно и синхронно повторяющихся с периодом T_p циклов качания ГКЧ (развертки генератора развертки) на экране ЭЛТ наблюдается изображение спектра исследуемого сигнала, состоящее из совокупности последовательных выбросов (светящихся линий).

11.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

11.3.1. Перечень используемых приборов

Лабораторная работа выполняется с использованием:

анализатора спектра С4-77, предназначенного для визуального наблюдения и измерения составляющих спектра периодически повторяющихся сигналов и стационарных шумов в диапазоне частот от 20Гц до 600кГц; внешний вид прибора изображен на рис. 11.5;



Рис. 11.5. Внешний вид анализатора спектра С4-77.

генератора сигналов специальной формы Г6-33 - источника периодических сигналов пяти форм: синусоидальной, треугольной, пилообразной, пилообразно-импульсной и прямоугольной; с регулируемой частотой: 0,001...99999Гц - для синусоидальной формы, 0,001...10000Гц - для всех остальных форм; с регулируемой амплитудой в пределах ослабления от 0 до -70дБ относительно максимального значения 5В; с регулируемым фазовым сдвигом сигнала синусоидальной формы (0...359°); с регулируемым коэффициентом заполнения прямоугольного сигнала τ/T (0,1...0,9); внешний вид прибора изображен на рис. 11.6.



Рис. 11.6. Внешний вид генератора сигналов специальной формы Г6-33.

11.3.2. Основные технические характеристики анализатора спектра С4-77

Области применения:

абсолютные и относительные измерения спектров периодических сигналов;
 измерение шумов сигналов;
 измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) четырехполюсников;
 запоминание и сравнение спектрограмм.

Технические характеристики:

1. Номинальные значения полос обзора - 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200 кГц.
2. Номинальные значения полос пропускания на уровне 3дБ - 3; 10; 30; 100; 300 Гц и 1; 3 кГц.
3. Номинальное значение входного активного сопротивления прибора – 600 Ом и 100 кОм. Входная емкость - не более 100 пФ.
4. Максимально допустимое напряжение на входе прибора - не более 3В (среднеквадратическое значение). При перегрузке на входе прибора включается индикация перегрузки.
5. Прибор имеет следующие режимы работы развертки: ручной, автоматический, ускоренный и однократный:
 В **автоматическом режиме** время развертки изменяется в пределах от 0,1 до 500с кратностью 1; 2; 5.
 В **ускоренном режиме** время развертки в диапазоне от 20 до 500с уменьшается не менее, чем в 10 раз. Уровень обнаружения в режиме ускоренного анализа регулируется в пределах трех нижних делений масштабной сетки индикатора.
6. В режиме слежения прибор обеспечивает автоматическую подстройку на максимум отклика выбранной спектральной составляющей при отстройке на скат отклика до уровня 0,1 в пределах установленной полосы обзора и полос пропускания от 3 до 300 Гц.
7. Прибор обеспечивает работу в режиме связанных функций.

8. Прибор имеет возможность индикации спектрограммы по двум каналам и возможность запоминания в одном канале.

11.3.3. Назначение основных органов управления, контроля и присоединения анализатора спектра С4-77

тумблер «СЕТЬ |» - включение прибора;

ручка «» - регулировка яркости изображения на экране ЭЛТ;

клавиша «МЕТКА» - включение яркостной метки (вертикальной линии) на экране ЭЛТ;

клавиша «ОПТИМ» - включение режима связанных функций (полоса пропускания, постоянная времени видеофильтра, время развертки связываются с установленной полосой обзора);

Примечание: При включенной клавише «ОПТИМ» в приборе обеспечивается автоматизация режима измерения, т.е. при изменении полосы обзора автоматически устанавливаются остальные оптимальные значения параметров (время развертки, полоса пропускания, постоянная времени видеофильтра), обеспечивающие отсутствие динамических искажений. Если необходимо независимое включение указанных параметров, нужно выключить клавишу «ОПТИМ»;

клавиша «ПАМЯТЬ» - включение режима памяти (по каналу 2);

клавиша «ГАШЕН» - выключение индикации изображения, записанного по каналу 2 (в памяти);

клавиша «ОГИБ» - включение индикации по каналу 2 в виде огибающей спектрограммы (последовательности яркостных точек);

Примечания: 1. Режим памяти включается, если необходимо сохранить записанное изображение. При этом нужно нажать клавишу «ПАМЯТЬ». Хранящееся в памяти и текущее изображения будут воспроизводиться одновременно;

2. Изображение, взятое из памяти, может быть стерто путем нажатия на клавишу «ГАШЕН». При выключении этой клавиши изображение появится вновь;

3. При включении клавиши «ОГИБ» хранящееся в памяти изображение будет воспроизводиться в виде огибающей;

клавиша «СЛЕЖЕНИЕ» - включение режима, обеспечивающего автоматическую настройку прибора на максимум отклика сигнала в ручном режиме («РУЧ»);

Примечание: Режим слежения обеспечивается при настройке прибора на скат отклика до уровня 0,1 в пределах установленной полосы обзора;

клавиша «ОДНОКР» - включение однократной развертки в автоматическом режиме («АВТ»);

клавиша «ПУСК» - запуск однократной развертки; стирание информации по каналу 1 с экрана ЭЛТ; очистка экрана и запуск развертки сначала;

клавиша «РУЧ» - включение режима ручной развертки (ручного режима);

Примечание: Текущее местонахождение развертки индицируется указателем места записи (УМЗ);

ручка «РУЧ» - ручная перестройка прибора в пределах полосы обзора; перемещение яркостной вертикальной линии (метки) по экрану ЭЛТ;

клавиша «АВТ» - включение периодической развертки (автоматического режима);

клавиша «УСКОР» - включение ускоренного режима анализа в автоматическом режиме («АВТ»);

тумблер « f » - включение (положение - вверх) встроенного частотомера;

блок клавиш «ПОЛОСА ОБЗОРА kHz» (6 шт.) и клавиша множителя « $\times 100$ » - установка соответствующих полос обзора;

блок клавиш «ВРЕМЯ РАЗВЕРТКИ s» (6 шт.) и клавиша множителя « $\times 100$ » - установка времени развертки;

блок клавиш «ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ms» (5 шт.) - установка постоянной времени видеофильтра;

блок клавиш «ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ Hz, kHz» (7 шт.) - установка полос пропускания;

клавиша «V» - включение линейного масштаба по вертикали;

клавиша «100dB» - включение логарифмического масштаба (10dB/деление) по вертикали;

клавиша «10dB» - включение логарифмического масштаба (1dB/деление) по вертикали;

клавиша «КАЛИБР» - включение режима калибровки прибора; при этом на вход прибора подается сигнал частотой 128kHz, напряжением 30mV от внутреннего калибратора;

Примечания: 1. Установка всех клавиш в исходные положения осуществляется автоматически при включении прибора;

2. Включение клавиш (нажатие) регистрируется подсветом, клавиша «ПУСК» не подсвечивается;

переключатель «Ат ОТСЧЕТ – dB» - дискретное изменение пределов измерения прибора только в масштабах «V» и «10dB»;

переключатель «Ат ВХ $\times 10dB$ » - дискретное изменение пределов измерения прибора только от 0 до 70dB для всех масштабов;

Примечания: 1. Переключение пределов измерения прибора осуществляется двумя аттенуаторами «Ат ОТСЧЕТ – dB» и «Ат ВХ $\times 10dB$ », причем в логарифмическом масштабе «100dB» аттенуатор «Ат ОТСЧЕТ – dB» отключается;

2. Для удобства отсчета относительных уровней в табл. 11.2 приведен пересчет децибел в относительные единицы;

Таблица 11.2

Перевод децибел в отношения напряжений

Децибел	Усиление напряжения	Ослабление напряжения	Децибел	Усиление напряжения	Ослабление напряжения	Децибел	Усиление напряжения	Ослабление напряжения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,02	1,002	0,998	3,4	1,479	0,676	22	12,58	$7,94 \cdot 10^{-2}$
0,04	1,005	0,995	3,6	1,514	0,661	24	15,85	$6,31 \cdot 10^{-2}$
0,06	1,007	0,993	3,8	1,549	0,646	26	19,95	$5,01 \cdot 10^{-2}$
0,08	1,009	0,991	4,0	1,584	0,631	28	25,12	$3,98 \cdot 10^{-2}$

0,1	1,012	0,989	4,2	1,622	0,617	30	31,62	$3,16 \cdot 10^{-2}$
0,2	1,023	0,977	4,4	1,660	0,603	32	39,81	$2,51 \cdot 10^{-2}$
0,3	1,035	0,966	4,6	1,698	0,589	34	50,12	$1,99 \cdot 10^{-2}$
0,4	1,047	0,955	4,8	1,738	0,575	36	63,10	$1,58 \cdot 10^{-2}$
0,5	1,059	0,944	5,0	1,778	0,562	38	79,43	$1,26 \cdot 10^{-2}$
0,6	1,071	0,933	5,5	1,884	0,531	40	100,0	$1,00 \cdot 10^{-2}$
0,7	1,084	0,923	6,0	1,995	0,501	42	125,9	$7,94 \cdot 10^{-3}$
0,8	1,096	0,912	6,5	2,113	0,473	44	158,5	$6,31 \cdot 10^{-3}$
0,9	1,109	0,902	7,0	2,239	0,447	46	199,5	$5,01 \cdot 10^{-3}$
1,0	1,122	0,891	7,5	2,371	0,422	48	251,2	$3,98 \cdot 10^{-3}$
1,1	1,135	0,881	8,0	2,512	0,398	50	316,2	$3,16 \cdot 10^{-3}$
1,2	1,148	0,871	8,5	2,661	0,376	55	562,3	$1,78 \cdot 10^{-3}$
1,3	1,161	0,861	9,0	2,818	0,355	60	1000	$1,00 \cdot 10^{-3}$
1,4	1,175	0,851	9,5	2,985	0,335	65	1778	$5,62 \cdot 10^{-4}$
1,5	1,188	0,841	10	3,162	0,316	70	3162	$3,16 \cdot 10^{-4}$
1,6	1,202	0,832	11	3,548	0,282	75	5623	$1,78 \cdot 10^{-4}$
1,7	1,216	0,822	12	3,981	0,251	80	$1,00 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
1,8	1,230	0,813	13	4,467	0,224	85	$1,78 \cdot 10^4$	$5,62 \cdot 10^{-5}$
1,9	1,245	0,804	14	5,012	0,1995	90	$3,16 \cdot 10^4$	$3,16 \cdot 10^{-5}$
2,0	1,259	0,794	15	5,623	0,1778	95	$5,62 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^{-5}$
2,2	1,288	0,776	16	6,310	0,1585	100	$1,00 \cdot 10^5$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
2,4	1,318	0,759	17	7,079	0,1413	105	$1,78 \cdot 10^5$	$5,62 \cdot 10^{-6}$
2,6	1,349	0,741	18	7,943	0,1259	110	$3,16 \cdot 10^5$	$3,16 \cdot 10^{-6}$
2,8	1,380	0,724	19	8,912	0,1122	115	$5,62 \cdot 10^5$	$1,78 \cdot 10^{-6}$
3,0	1,412	0,708	20	10,00	0,1	120	$1,00 \cdot 10^6$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
3,2	1,446	0,692						

ручка «ЧАСТОТА » - установка центральной частоты во всем диапазоне прибора;

ручка «ЧАСТОТА » - точная установка центральной частоты прибора;

тумблер «600Ω/100kΩ» - переключение величины входного сопротивления прибора (100kΩ - исходное положение);

цифровое табло «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» - индикация величины напряжения (среднеквадратического значения) входного сигнала с учетом ослабления аттенюаторами «Ат ОТСЧЕТ – dB» и «Ат ВХ × 10dB»;

цифровое табло «ЧАСТОТА kHz» - индикация частоты настройки прибора, измеряемой встроенным частотомером;

световые индикаторы «V», «mV», «μV» - индикация единиц пределов измерения;

световой индикатор «+» - включается при показаниях единиц децибел (первого разряда) аттенюатора «Ат ОТСЧЕТ – dB», отличных от 0;

Примечание: При включении светового индикатора «+» к показаниям индикатора «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» добавляется показание единиц децибел аттенюатора «Ат ОТСЧЕТ – dB»;

световой индикатор «>>» - индикация появления динамических искажений; загорается, когда величина входного сигнала превышает уровень, индицируемый на цифровом табло «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ»;

гнездо «» - входное гнездо, служит для подачи входного исследуемого сигнала.

11.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

11.4.1. Что называется спектром сигнала? Для чего используются спектры сигналов?

11.4.2. Какие характеристики называются спектральными? Назовите основные виды спектральных характеристик.

11.4.3. Какой математический аппарат используется для спектрального представления периодического сигнала?

11.4.4. Что включает в себя анализ спектра? Дайте определение спектра амплитуд, спектральной плотности.

11.4.5. Какую форму имеют спектры периодического, непериодического сигналов и короткого одиночного импульса? Дайте понятие текущего и мгновенного спектров.

11.4.6. Что является спектральной характеристикой стационарных случайных процессов?

11.4.7. Дайте определения нелинейного искажения, коэффициентов гармоник и нелинейности. Как связаны аналитически коэффициенты гармоник и нелинейности?

11.4.8. Какой метод используется для экспериментального анализа спектра? Назовите основные способы его реализации. Какой из способов получил преимущественное распространение?

11.4.9. В чем заключается способ одновременного анализа? Назовите области его применения.

11.4.10. В чем заключается способ последовательного анализа? Назовите области его применения.

11.4.11. Общее устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа.

11.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

11.5.1. Изучить устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа (см. п. 11.2.3), основные технические характеристики и назначение основных органов управления, контроля и присоединения анализатора спектра С4-77 (см. п. 11.3.2, п. 11.3.3).

11.5.2. *Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.* При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии. Каждый прибор готовится отдельно (в исходном положении выход генератора Г6-33 и вход анализатора спектра С4-77 не соединены).

11.5.3. У генератора Г6-33 тумблер «ОПОРН. ГЕН. ВНУТР.-ВНЕШ.» (расположен на задней панели) переключить в положение «ВНУТР». Остальные органы управления могут находиться в произвольном положении.

11.5.4. Включить генератор Г6-33 тумблером «СЕТЬ». При этом должны загореться индикаторы параметров на табло лицевой панели, указывающие следующие исходные значения: частоты « F » - 0Гц; фазового сдвига « ϕ » - 0; ослабления выходного напряжения первого канала (ВЫХОДА I) «В1» - 70дБ; ослабления выходного напряжения второго канала (ВЫХОДА II) «ВII» - 70дБ; коэффициента заполнения прямоугольного сигнала « τ/T » (τ - длительность импульсов, T - период повторения импульсов) третьего канала (ВЫХОДА III) - 0,1. При включении прибора индикаторы формы сигналов могут устанавливаться в произвольные состояния.

11.5.5. Установить требуемый режим работы генератора Г6-33. Для этого ввести: заданную форму исследуемого сигнала (см. п. 11.5.6); заданное значение частоты « F », ослабление выходного сигнала на ВЫХОДЕ I «VI» – 10дБ (при синусоидальной, треугольной и пилообразной формах сигнала), коэффициента заполнения « τ/T » - 0,2 (при прямоугольной форме сигнала) - см. п. 11.5.7. Остальные параметры в работе не используются.

11.5.6. Для ввода заданной формы сигнала нажать соответствующую клавишу. При этом на табло должен загореться соответствующий световой индикатор.

11.5.7. Для ввода остальных параметров нажать клавиши в следующей последовательности: клавишу вводимого параметра (при этом на табло загорается буква **H** индикатора набора «НАБОР»); клавиши численного значения параметра (при этом на табло высвечивается набранное значение); клавишу «ВВОД» (при этом индикатор «НАБОР» гаснет).

- Примечания:** 1. Для установки ослабления на ВЫХОДЕ I «VI» достаточно набрать только цифру десятков дБ.
2. Для установки коэффициента заполнения достаточно набрать только цифру десятой доли τ/T .
3. Ослабление на ВЫХОДЕ III задать ориентировочно, установив соответствующую ручку плавного регулирования амплитуды выходного сигнала в среднее положение.

11.5.8. У генератора Г6-33 ручку плавного регулирования выходного напряжения на ВЫХОДЕ I установить в крайнее правое положение (на максимальное значение).

Генератор Г6-33 готов к проведению работы.

11.5.9. Включить анализатор спектра С4-77 тумблером «СЕТЬ |». Прибор автоматически устанавливает органы управления в следующие положения (начальная установка):

включены клавиши: «ОПТИМ», «АВТ», «100dB»;

установлены значения:

полосы обзора - 200kHz;

времени развертки - 0,2s;

постоянной времени - 0,1ms;

полосы пропускания – 3kHz;

11.5.10. Проверить калибровку анализатора спектра С4-77. Для этого:

ручкой «» установить умеренную яркость изображения;

дискретный переключатель «At VX \times 10dB» установить в положение «3» («30dB»);

дискретный переключатель (отсчетный аттенюатор) «At ОТСЧЕТ – dB» установить в положение «0dB»;

Примечание: На табло «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» должно индицироваться значение предела измерения шкалы индикатора «30mV»;

включить клавиши «КАЛИБР», «V» и тумблер «»;

ручками «ЧАСТОТА » и «ЧАСТОТА » установить на табло «ЧАСТОТА kHz» частоту, равную 128kHz;

Примечание: После небольшого времени прогрева прибора в центре экрана на фоне шумовых помех должен наблюдаться отклик сигнала внутреннего калибратора;

проверить совмещение вершины отклика на экране ЭЛТ с верхней горизонтальной линией масштабной сетки;

Примечание: При работе в логарифмическом масштабе необходимо произвести аналогичную проверку калибровки прибора, включая клавиши «100dB» или «10dB»; при необходимости потенциометром «КАЛИБР» (шлиц) произвести соответствующую регулировку;

выключить клавишу «КАЛИБР».

11.5.11. Произвести селекцию высоких уровней составляющих спектра (откликов) собственных шумов анализатора спектра С4-77:

включить клавишу «100dB»;

включить клавишу «МЕТКА»; на экране ЭЛТ должна появиться яркостная вертикальная линия (при необходимости воспользоваться ручкой «РУЧ»);

Примечание: В автоматическом режиме («АВТ») при выключенной клавише «МЕТКА» на табло «ЧАСТОТА kHz» индицируется центральная частота настройки прибора (соответствует вертикальной средней оси экрана), а при включенной клавише "МЕТКА" измеряется частота, соответствующая положению метки на экране ЭЛТ;

вращая ручку «ЧАСТОТА » во всем диапазоне регулировки, вывести на рабочую часть экрана ЭЛТ отклики, имеющие относительно высокие уровни;

вращая ручку «РУЧ» и совмещая светящуюся метку с положением вершин откликов, определить по показанию частотомера (световому табло «ЧАСТОТА kHz») частоту этих спектральных составляющих;

Примечание: В связи с высокой входной чувствительностью прибора будет наблюдаться отклик с частотой 50Гц, наводимый внешней питающей сетью;

зафиксировать частоты высоких уровней откликов собственных шумов, занести их значения в протокол исследований.

11.5.12. Установить тумблер «600Ω/100kΩ» анализатора спектра С4-77 в положение «600Ω», соответствующее выходному сопротивлению генератора Г6-33.

Анализатор спектра С4-77 готов к проведению измерений.

11.5.13. Для измерения спектра исследуемого периодического сигнала по частоте и амплитуде:

дискретный переключатель «Ат ВХ × 10dB» установить в положение «7» («70dB»);

соединительный кабель подключить к ВЫХОДУ I (или ВЫХОДУ III, в зависимости от формы сигнала) генератора Г6-33 и к входу «» анализатора спектра С4-77;

ВНИМАНИЕ: На протяжении всего времени исследования строго следить за световым индикатором «>>», свечение которого сигнализирует о перегрузке (превышении величины входного сигнала уровня, индицируемого на цифровом табло). При наличии перегрузки с помощью аттенуаторов «Ат ВХ × 10dB» и «Ат ОТСЧЕТ – dB» уменьшить величину входного сигнала.

при помощи ручки «ЧАСТОТА » настроиться так, чтобы спектр исследуемого сигнала находился в пределах рабочей части экрана ЭЛТ;

Примечание: Отклики собственных шумов прибора (см. п. 11.5.11) во внимание не принимать;

переключением клавиш «ПОЛОСА ОБЗОРА kHz» и клавиши множителя « $\times 100$ » выбрать соответствующую полосу обзора;

Примечание: При настройке прибора при медленных развертках удобно пользоваться ускоренным режимом анализа, для чего включается клавиша «УСКОР»;

переключением клавиш «V», «100dB» и «10dB» выбрать желаемый масштаб по вертикали для измерения амплитуд откликов;

не допуская перегрузки (свечения индикатора «>>>») переключением ослабления входного аттенюатора «Ат ВХ $\times 10$ dB» установить вершину наибольшего отклика в верхней части масштабной сетки ЭЛТ;

вращая ручку «РУЧ» и совмещая светящуюся метку с положением вершин основного и боковых откликов, определить по показанию частотомера частоты этих спектральных составляющих; результаты измерений частот $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ (где n - число откликов; f_1 - частота основного отклика; f_2, f_3, \dots, f_n - частоты боковых откликов) занести в табл. 11.3;

Таблица 11.3

Результаты измерения и расчета спектра исследуемого сигнала по частоте и амплитуде

Частота, кГц	Измерение	f_1	f_2	f_3	...	f_n
	Расчет	f_{p1}	f_{p2}	f_{p3}	...	f_{pn}
Амплитуда, В (dB)	Измерение	U_1	U_2	U_3	...	U_n
	Расчет	U_{p1}	U_{p2}	U_{p3}	...	U_{pn}

определить уровень амплитуд напряжения основной (U_1) и боковых (U_2, U_3, \dots, U_n) спектральных составляющих исследуемого сигнала в абсолютных (см. п. 11.5.14) или относительных (см. п. 11.5.15) единицах; результаты измерений амплитуд $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ занести в табл. 11.3;

спектрограмму исследуемого сигнала сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛТ - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу);

Примечание: Для копирования спектрограммы удобно пользоваться однократной разверткой, для чего включается клавиша «ОДНОКР».

11.5.14. Отсчет **абсолютных уровней** (в В) составляющих спектра произвести по масштабной сетке ЭЛТ с учетом показаний индикаторов «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ», единиц намерения «V», «mV», « μ V» и индикатора «+».

При измерениях в **линейном масштабе** (нажата клавиша «V») цена одного большого деления A_N (одно большое деление содержит пять малых) масштабной сетки на экране ЭЛТ равна:

при положениях отсчетного аттенюатора «Ат ОТСЧЕТ – dB», кратных 10:

$$A_n = \frac{S}{10},$$

где S - значение предела измерения на табло «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ»;

при положениях отсчетного аттенюатора «Ат ОТСЧЕТ – dB», не кратных 10 (единицы децибел отличны от 0):

$$A_n = \frac{S}{10} \cdot 10^{-\frac{n}{20}},$$

где n - значение единиц децибел (первого разряда) отсчетного аттенюатора «Ат ОТСЧЕТ – dB».

При измерениях в *логарифмическом масштабе «10dB»* (нажата клавиша «10dB») напряжение сигнала U_c определяется по формуле:

$$U_c = S \cdot 10^{-\frac{10-n'+n}{20}},$$

где n' - амплитуда отклика сигнала в больших делениях по масштабной сетке на экране ЭЛТ.

При измерениях в *логарифмической масштабе «100dB»* (нажата клавиша «100dB») напряжение сигнала U_c определяется по формуле (в этом масштабе аттенюатор «Ат ОТСЧЕТ – dB» отключается):

$$U_c = S \cdot 10^{-\frac{10-n'}{20}}.$$

11.5.15. Отсчет *относительных уровней* (в дБ) произвести по масштабной сетке и отсчетным устройствам прибора:

Примечание: Для удобства отсчета относительных уровней рекомендуется воспользоваться табл. 11.2 (пересчет децибел в относительные единицы - см. п. 11.3.3);

при измерениях в *режиме «V»* отношения уровней сигналов определяются по масштабной сетке (масштаб - линейный) и с помощью аттенюаторов «Ат ВХ × 10dB» и «Ат ОТСЧЕТ – dB»; при этом необходимо следить, чтобы не было перегрузки;

при измерениях в *режиме «10dB»* отношения уровней сигналов в пределах 10dB определяются по масштабной сетке (масштаб логарифмический – 1dB/деление) и с помощью аттенюаторов прибора;

при измерениях в *режиме «100dB»* отсчет отношения уровней сигналов производится по масштабной сетке (масштаб логарифмический – 10dB/деление).

11.5.16. Исследовать другие (незадействованные в измерении исследуемого спектра) функциональные возможности анализатора спектра С4-77 при воздействии исследуемого сигнала:

Режим независимого задания параметров анализа:

выключить клавишу «ОПТИМ»; переключая в различных сочетаниях клавиши в блоках «ПОЛОСА ОБЗОРА kHz» (с клавишей множителя «×100»), «ВРЕМЯ РАЗВЕРТКИ s» (с клавишей множителя «×100»), «ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ms», «ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ kHz», оценить влияние изменения этих параметров на индицируемую на экране ЭЛТ спектрограмму и отразить это влияние в выводах; включить клавишу «ОПТИМ»;

Режимы памяти:

включить клавишу «ПАМЯТЬ»; вращая ручку «ЧАСТОТА », сместить изображение в любую сторону на 1-2 больших деления: хранящееся в памяти и текущее изображения будут воспроизводиться одновременно;

включить клавишу «ГАШЕН»: хранящееся в памяти изображение исчезнет; выключить клавишу «ГАШЕН»: изображение, взятое из памяти, появится вновь;

включить клавишу «ОГИБ»: хранящееся в памяти изображение будет воспроизводиться в виде огибающей спектрограммы (последовательности яркостных точек); выключить клавиши «ПАМЯТЬ» и «ОГИБ»;

Режим однократной развертки:

включить клавишу «ОДНОКР»: изображение зафиксируется в момент включения данной клавиши (включится однократная развертка);

включить клавишу «ПУСК» (не подсвечивается): предыдущее фиксированное изображение сотрется, экран очистится, запустится однократная развертка вновь и на экране ЭЛТ появится новое изображение, зафиксированное в момент включения данной клавиши; последующие нажатия клавиши «ПУСК» будут обеспечивать фиксирование очередных изображений (произвести нажатие несколько раз);

Режим ручной развертки:

включить клавишу «РУЧ» (при этом клавиша «ОДНОКР» и одноименный режим автоматически выключатся): при вращении ручки «РУЧ» будет обеспечиваться режим ручной развертки;

Примечания: 1. При выключенной клавише «МЕТКА» ручная развертка производится синхронно с перемещением указателя места записи (УМЗ). УМЗ индицирует текущее местонахождение развертки и представляет собой короткую яркостную метку под первой (нижней) горизонтальной линией масштабной сетки экрана ЭЛТ;

2. Показания частотомера соответствуют частоте настройки прибора (в точке нахождения УМЗ);

3. В режиме ручной развертки, обеспечиваются все описанные выше функциональные возможности прибора по измерению и графическому представлению изображения, за исключением режимов «ОДНОКР», «ПУСК» и «УСКОР»;

Режим слежения:

предварительно включить клавиши «АВТ» и «МЕТКА»; ручкой «РУЧ» установить положение метки на скат основного отклика на уровне не менее 0,1; включить последовательно клавиши «РУЧ» и «СЛЕЖЕНИЕ»: прибор будет обеспечивать автоматическую подстройку на максимум отклика выбранной спектральной составляющей; при этом по мере подстройки яркостная линия метки будет смещаться в сторону максимума, а частотомер будет синхронно измерять частоту подстройки и фиксирует показание при настройке на максимум;

Примечание: Режим слежения обеспечивается и при выключенной клавише «МЕТКА» (убедиться в этом, последовательно нажав на клавиши «АВТ», «МЕТКА» (отключить), «РУЧ», «СЛЕЖЕНИЕ»); при этом развертка производится синхронно с перемещением УМЗ;

включить клавиши «АВТ» и «МЕТКА».

11.5.17. По результатам намерения спектра исследуемого сигнала по частоте и амплитуде (см. табл. 11.3) рассчитать экспериментальные коэффициенты гармоник K_2 и нелинейности K_n (см. п. 11.2.1). Результаты расчета экспериментальных коэффициентов K_2 и K_n занести в табл. 11.4.

Таблица 11.4

Результаты расчета коэффициентов гармоник и нелинейности по данным измерения с помощью анализатора С4-77 и расчета

<i>Коэффициенты</i>			
<i>K_2</i>		<i>K_n</i>	
<i>экспериментальный</i>	<i>теоретический</i>	<i>экспериментальный</i>	<i>теоретический</i>

11.5.18. Используя заданную форму и заданные параметры наследуемого сигнала, рассчитать его спектр $S(f)$. Результаты расчета согласовать с результатами измерений с помощью анализатора спектра С4-77, представив их на одном графике (скопированной спектрограмме). Результаты расчета спектра по частоте ($f_{p1}, f_{p2}, f_{p3}, \dots, f_{pn}$) и амплитуде ($U_{p1}, U_{p2}, U_{p3}, \dots, U_{pn}$) занести в табл. 11.3.

11.5.19. По результатам расчета спектра исследуемого сигнала по частоте и амплитуде (см. табл. 11.3) определить теоретические коэффициенты K_2 и K_n . Результаты расчета теоретических коэффициентов K_2 и K_n занести в табл. 11.4.

11.5.20. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

11.5.21. По окончании работы выключить все приборы, демонтировать соединительный кабель, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать соединительный кабель, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

12. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

«ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ»

Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы характериографа в составе электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО) С1-122, приобретение навыков по исследованию вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (ППП) и измерению по ВАХ их основных статических параметров.

12.1. ЗАДАНИЕ

12.1.1. Получите у преподавателя заданный тип ППП в соответствии с табл. 12.1.

Таблица 12.1

Исходные данные

<i>№ варианта</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Тип ППП</i>	стабилитрон	биполярный транзистор	полевой транзистор	тиристор

12.1.2. Изучите основные технические характеристики, устройство и принцип работы, назначение основных органов управления, контроля и присоединения базового и сменных блоков ЭЛО С1-122.

12.1.3. Изучите по справочнику конструкцию (цоколевку) и паспортные значения основных параметров (характеристик) исследуемого ППП.

12.1.4. Воспроизведите ВАХ (или семейство ВАХ) исследуемого ППП на экране ЭЛО С1-122. Проведите по полученной ВАХ осциллографические измерения методом калиброванных шкал основных статических параметров исследуемого ППП. Сфотографируйте ВАХ (или семейство ВАХ) (скопируйте на кальку или клетчатую бумагу).

12.1.5. Сравните основные параметры по исследованным ВАХ ППП с паспортными данными по справочнику.

12.1.6. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

12.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В качестве простейшего характериографа для наблюдения ВАХ ППП можно использовать практически любой ЭЛО с дополнительной схемой сопряжения в соответствии с рис. 12.1.

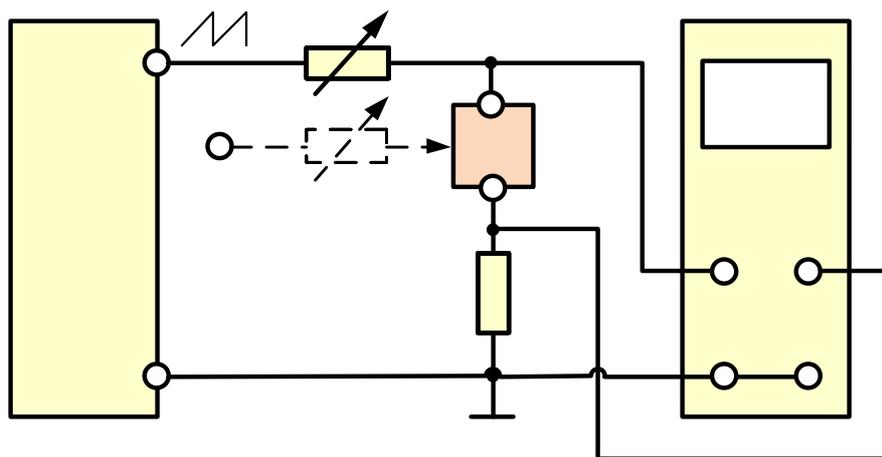


Рис. 12.1. Схема простейшего характериографа.

ЭЛО используется в одноканальном режиме. Генератор развертки ЭЛО отключается, а электронный луч (светящаяся точка) перемещается либо в левый нижний, либо в правый верхний угол экрана ЭЛО в зависимости от полярности ветви ВАХ исследуемого ППП.

ГЛИН **Генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН)** выступает одновременно в качестве источника однополярного напряжения питания для ППП и источника развертывающего напряжения по оси X для ЭЛО. ГЛИН может быть отдельным устройством, как показано на рис. 12.1, либо встроенным узлом ЭЛО. Во втором случае используется отключенный генератор развертки, выходной разъем которого имеется на многих типах ЭЛО.

С помощью **токоограничивающего резистора** $R_{огр}$ и амплитудой напряжения ГЛИН задается диапазон изменения рабочего тока через исследуемый ППП. Падение напряжения на ППП подается на вход X ЭЛО.

Падение напряжения на **токоъемном резисторе** R_T небольшой величины прямо пропорционально протекающему через ППП рабочему току и подается на вход Y ЭЛО. Для этого сопротивление резистора R_T должно быть много меньше сопротивления ППП в открытом состоянии с целью наименьшей погрешности воспроизведения ВАХ. При этом минимальное значение сопротивления резистора R_T (обычно единицы Ом) ограничено чувствительностью канала Y ЭЛО.

Для наблюдения ВАХ ППП в трехэлектродном включении (транзисторов, тиристоров и др.) используется дополнительный источник питания (на рис. 12.1 не показан) для задания управляющего тока $I_{упр}$. Последовательно устанавливая величину тока $I_{упр}$ посредством изменения сопротивления токоограничивающих резисторов в цепи управления R_y , возможно последовательно получить семейство ВАХ исследуемого ППП.

Для проведения измерения статических параметров исследуемых ППП по полученной ВАХ необходима предварительная калибровка масштабных коэффициентов отклонения каналов X и Y (соответствуют положениям переключателей входных аттенюаторов ЭЛО). Результаты калибровки оформляются в виде специальной переводной таблицы для данного ЭЛО. Используя эту таблицу и метод калиброванных шкал, измеряют статические параметры ППП в соответствующих точках ВАХ.

Для расширения функциональных возможностей характериографа, в частности, для одновременного наблюдения семейства ВАХ трехэлектродных ППП и задания числа ВАХ в семействе, дополнительно используется **генератор ступенчатого напряжения (ГСН)**. Схема такого характериографа на примере исследования семейства ВАХ биполярного транзистора приведена на рис. 12.2.

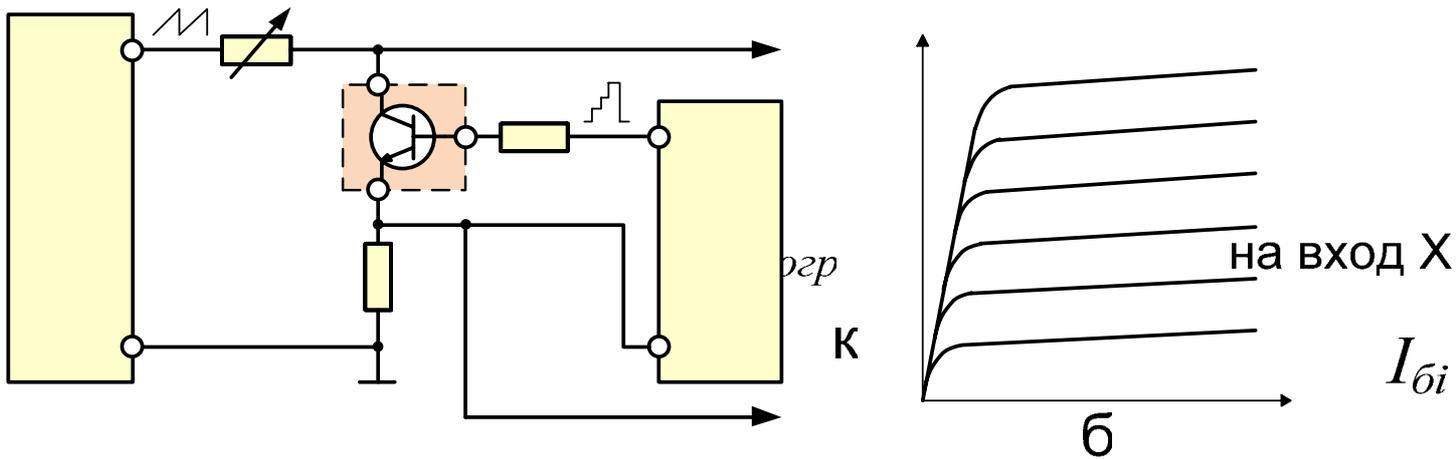


Рис. 12.2. Схема для измерения ВАХ (а) и изображение семейства ВАХ на экране ЭЛО (б) биполярного транзистора.

В схеме на рис. 12.2 ток базы I_{bi} задается ГСН и резистором R_p . Временные параметры ступенчатого напряжения согласованы с периодом изменения напряжения ГЛИН таким образом, чтобы в течение каждого периода ГЛИН (на каждом ходе развертки) высвечивалась ВАХ, соответствующая одному значению тока базы I_{bi} (одной ступеньке). За счет частоты ГСН и развертывающего напряжения ГЛИН, выше частоты мелькания глаза, на экране ЭЛО воспроизводится семейство ВАХ биполярного транзистора, число характеристик в котором равняется количеству ступенек в одном периоде напряжения ГСН.

Для исследования ППП различного типа проводимости данная схема может содержать переключатель изменения полярности подключения ППП.

По данному принципу устроены специальные осциллографы (например, С1-91, С1-122А и др.), в которых предусмотрены сменные блоки различного функционального назначения, в том числе и блок характериографа для измерения ВАХ различных типов ППП. Кроме этого, на аналогичных методах построены специализированные измерители ВАХ - характериографы (например, ПНХТ-1, ПНХТ-2, Л2-56, TR4805 (Венгрия) и др.).

12.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

12.3.1. Перечень используемых приборов

Лабораторная работа выполняется с использованием:

осциллографа универсального С1-122А, состоящего из базового блока и трех сменных блоков: **блока усилителя Я4С-90**, **блока развертки Я4С-91** и **блока характериографа Я4С-92**, и предназначенного для выполнения функций осциллографа, а также в настоящей работе совместно с блоком характериографа для двухканального воспроизведения на экране осциллографа вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (ППП) с рассеиваемой мощностью до 0,8Вт, значениями контролируемых токов от 30нА до 160мА и напряжений от 0,6В до 450В; внешний вид прибора изображен на рис. 12.3;



Рис. 12.3. Внешний вид характериографа.

сменных адаптеров в составе блока характериографа для подключения исследуемых ППП в зависимости от типа корпуса и цоколевки; внешний вид адаптера изображен на рис. 12.4;

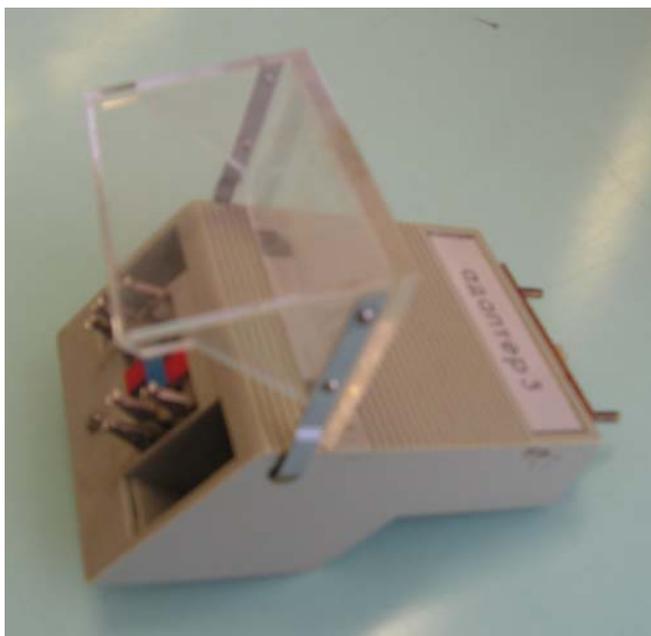


Рис. 12.4. Внешний вид адаптера с открытой защитной крышкой.

исследуемого ППП: стабилитрона, биполярного транзистора, полевого транзистора, тиристора (тип ППП выдается в соответствии с заданным вариантом).

12.3.2. Назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-122

БАЗОВЫЙ БЛОК

Органы управления ЭЛТ:

ручка «☀» - регулирует яркость луча;

ручка «☀ ЗНАКИ» - регулирует яркость знаков;

ручка «⊗» - регулирует фокус луча;

ручка «🐱» - регулирует астигматизм линии луча;

ручка «💡» - регулирует подсвет шкалы на экране ЭЛТ;

кнопка «ПОИСК ЛУЧА» - при нажатии обеспечивается появление изображения луча в рабочей части экрана ЭЛТ;

Примечания: 1. Базовый блок обеспечивает изображение на экране ЭЛТ следующих букв, цифр и символов (знаков): «0», «1», «2», «3», «4», «5», «6», «7», «8», «9», «↓», «P», «K», «M», «A», «C», «T», «U», «⋮», «→», «Σ», «+», «n», «m», «μ», «V», «S», «>», «-», «Ω», «H», «z», «.», «0.», «1.», «2.», «3.», «4.», «5.», «6.», «7.», «8.», «9.»;

2. Знаки размещаются в пределах первого и восьмого делений по вертикали шкалы.

Органы управления режимами работы каналов вертикального отклонения (группа «ВЕРТ РЕЖИМ»):

кнопка «ЛЕВЫЙ» - при нажатии обеспечивается работа левого вертикального канала;

кнопка «ПРАВЫЙ» - при нажатии обеспечивается работа правого вертикального канала;

кнопка «...» - при нажатии обеспечивается двухканальный прерывистый режим работы левого и правого каналов с частотой переключения 0,4МГц;

кнопка «→ →» - при нажатии обеспечивается двухканальный поочередный режим работы левого и правого каналов с частотой повторения развертки;

кнопка «Σ» - при нажатии обеспечивается одновременная работа (алгебраическая сумма сигналов) левого и правого каналов (дифференциальный режим);

Примечание: Режим работы «→ →» обеспечивает измерения при коэффициентах развертки до 0,1ms/дел. При коэффициентах развертки 0,1ms/дел и более (обычно при низкочастотных сигналах) необходимо использовать режим работы «...».

Органы управления режимами синхронизации (группа «СИНХР»):

кнопка «ЛЕВЫЙ» - при нажатии обеспечивается синхронизация развертки от левого вертикального канала;

кнопка «ПРАВЫЙ» - при нажатии обеспечивается синхронизация развертки от правого вертикального канала;

кнопка черная - при нажатии обеспечивается синхронизация от левого и/или правого каналов (одного или одновременно обоих) в соответствии с установленным их режимом работы.

Органы присоединения и управления режимами работы калибратора (группа «КАЛИБРАТОР»):

гнездо «» - выход калибрационного напряжения прямоугольной формы;

кнопки «0,03V, 1kHz», «1V, 1MHz», «0,3V, 1kHz», «3V, 1kHz» - устанавливают соответствующие амплитуду и частоту повторения калибрационного напряжения;

Примечание: Органы используются при калибровке ЭЛО С1-122.

Органы включения ЭЛО:

кнопка « ВКЛ,  ОТКЛ» - обеспечивает подключение (отключение) ЭЛО к питающей сети ~220В;

световой индикатор «СЕТЬ» - отображает включенное (выключенное) состояние ЭЛО;

Примечание: Нажатие (включение) кнопок, за исключением черной кнопки и кнопки « ВКЛ,  ОТКЛ», сопровождается свечением встроенных световых индикаторов.

БЛОК УСИЛИТЕЛЯ

кнопочный переключатель *режима работы усилителя* в положениях:

«I» - работает только КАНАЛ I (*одноканальный режим*);

«II» - работает только КАНАЛ II (*одноканальный режим*);

«...» - КАНАЛ I и КАНАЛ II коммутируются с постоянной частотой, независимой от частоты развертки (*двухканальный прерывистый режим*);

«→ →» - КАНАЛ I и КАНАЛ II коммутируются поочередно с частотой повторения развертки (*двухканальный поочередный режим*);

«Σ» - работают одновременно КАНАЛ I и КАНАЛ II - алгебраическая сумма сигналов (*дифференциальный режим*);

кнопочный переключатель «СИНХР» *режима синхронизации* в положениях:

«I» - синхронизация развертки от КАНАЛА I;

«II» - синхронизация развертки от КАНАЛА II;

«» - синхронизация развертки от КАНАЛА I и/или КАНАЛА II в зависимости от режима работы усилителя;

кнопка «ПОЛОСА, MHz» выбора *полосы пропускания усилителя* в положениях:

«» - широкая полоса пропускания;

«20» - полоса пропускания равна 20MHz;

галетные переключатели «V/ДЕЛЕНИЕ, I» и «V/ДЕЛЕНИЕ, II» - обеспечивают независимую установку калиброванных масштабных коэффициентов отклонения КАНАЛОВ I и II усилителя, когда ручки плавной регулировки «ПЛАВНО» находятся в калиброванном положении «» (до защелкивания), в положениях:

5mV; 10mV; 20mV; 50mV; 0,1V; 0,2V; 0,5V; 1V; 2V; 5V;

Примечание: Усилитель обеспечивает изображение масштабных коэффициентов отклонения на экране ЭЛТ базового блока в цифро-буквенном виде.

ручки «ПЛАВНО, I» и «ПЛАВНО, II» - совмещены на одной оси с соответствующими переключателями «V/ДЕЛЕНИЕ» и обеспечивают независимую плавную (некалиброванную) регулировку коэффициента отклонения соответствующего канала с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза;

Примечание: В положении «некалибровано» ручек «ПЛАВНО» на экране ЭЛТ базового блока рядом с изображением значения масштабного коэффициента отклонения высвечивается символ «>».

ручки «↑ I» и «↑ II» - обеспечивают независимое регулирование положения луча соответствующего канала по вертикали;

гнезда « 1MΩ 20pF, I» и « 1MΩ 20pF, II» - высокочастотные входы КАНАЛОВ I и II для подачи исследуемых сигналов;

движковые переключатели *вида входа* КАНАЛОВ I и II усилителя в положениях:

«» - на входы усилителя исследуемый сигнал поступает с постоянной составляющей (*открытый вход*);

«» - на входы усилителя исследуемый сигнал поступает через разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую (*закрытый вход*);

«» - входы усилителя заземляются на корпус;

Примечание: Входы в положении «» используются для точной установки луча развертки по вертикали с помощью ручек «↑» с последующим переключением в одно из рабочих положений.

кнопка «ПОЛЯРНОСТЬ, II» - изменяет *фазу сигнала в КАНАЛЕ II* в положениях:

«+» - фаза сигнала не меняется;

«-» - фаза сигнала меняется на 180° (инвертирование сигнала);

Примечания: 1. В положении «-» (инвертно) кнопки «ПОЛЯРНОСТЬ, II» на экране ЭЛТ базового блока высвечивается символ «↓»;

2. Инвертирование сигнала в КАНАЛЕ II может использоваться в дифференциальном режиме работы усилителя («Σ»).

БЛОК РАЗВЕРТКИ

кнопочный переключатель «**РЕЖИМ РАБОТЫ**» *развертки* в положениях:

«А» - работает развертка А;

«А+Б» - развертка Б подсвечивает развертку А;

«Б» - развертка А запускает через схему задержки развертку Б;

ручка «ЗАДЕРЖ.» режимов работы развертки «А+Б» и «Б» - регулирует задержку запуска развертки Б от начала развертки А от $0,2\mu\text{s}$ до $0,5\text{s}$;

Примечания: 1. В режиме работы разверток «А+Б» на экране ЭЛТ базового блока должна наблюдаться яркостная метка, которая при вращении ручки «ЗАДЕРЖ.» должна плавно смещаться по экрану;

2. При данном режиме («А+Б») яркостная метка позволяет подсветить исследуемый участок сигнала и растянуть его, а также определить временной интервал (величину задержки) между сигналами от двух источников (в двухканальном режиме);

3. В режиме работы «Б» яркостная метка используется для измерения длительности одного импульса.

кнопочный переключатель «ЗАПУСК» *режимов запуска генератора развертки А* в положениях:

«» - в этом режиме вырабатывается пилообразное напряжение и наблюдается линия развертки независимо от запускающего сигнала (*автоколебательный режим*);

«Z» - запуск развертки осуществляется только при наличии запускающего сигнала (*ждущий режим*);

«» - при ручном запуске кнопкой «ГОТОВ» осуществляется однократная развертка (*однократный режим*);

Примечания: 1. В положении «Z» переключателя «ЗАПУСК» допускается появление линии развертки в среднем положении ручки «УРОВЕНЬ»;

2. При синхронизации сигналов от 20Hz и ниже переключатель «ЗАПУСК» необходимо установить в положение «Z»;

кнопка «ГОТОВ» в режиме запуска развертки «» - при нажатии (без фиксации) вырабатывается однократный запускающий импульс, подаваемый на генератор развертки А;

световой индикатор «ГОТОВ» - свечение отображает нажатое положение кнопки «ГОТОВ»;

кнопочный переключатель «СИНХР.» *вида синхронизации развертки А* в положениях:

«ВНУТР.» - развертка синхронизируется сигналом с каналов вертикального отклонения;

«ВНЕШ., СЕТЬ, 1:1» - развертка синхронизируется внешним сигналом или от питающей сети без ослабления;

«ВНЕШ., СЕТЬ, 1:10» - развертка синхронизируется внешним сигналом или от питающей сети с ослаблением в 10 раз.

кнопка «СИНХР.» *полосы пропускания входа синхронизации* в положениях:

«» - синхронизация в широкой полосе частот;

«ВЧ» - синхронизация в узкой полосе на высоких частотах;

Примечания: 1. При синхронизации низкочастотных сигналов переключатель необходимо установить в положение «»;

2. При синхронизации высокочастотных сигналов переключатель необходимо установить в положение «ВЧ».

кнопка «СИНХР.» *вида входа синхронизации* в положениях:

«~» - закрытый вход синхронизации (через разделительный конденсатор);

«» - открытый вход синхронизации;

кнопка *полярности запуска синхронизирующим сигналом* в положениях:

«+» - синхронизация импульсом положительной полярности;

«-» - синхронизация импульсом отрицательной полярности;

ручка «УРОВЕНЬ» - обеспечивает выбор точки синхронизации и уровня запуска синхронизирующим сигналом, при котором происходит запуск развертки, и устанавливает устойчивое изображение сигнала на экране ЭЛТ базового блока;

гнездо «, СИНХР.» - вход внешней синхронизации развертки А;

ручка «» - перемещает луч по горизонтали и обеспечивает установку начала и конца рабочего участка развертки в центральной части экрана ЭЛТ базового блока;

галетные переключатели «ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ» масштабных коэффициентов разверток А и Б:

переключатель развертки А (малый) - устанавливает только *калиброванные коэффициенты развертки* в положениях:

5ns; 10ns; 20ns; 50ns; 0,1µs; 0,2µs; 0,5µs; 1µs; 2µs; 5µs; 10µs; 20µs; 50µs; 0,1ms; 0,2ms; 0,5ms; 1ms; 2ms; 5ms; 10ms; 20ms; 50ms;

переключатель развертки Б (большой) - устанавливает *калиброванные коэффициенты развертки*, когда ручка плавной регулировки «ПЛАВНО» находится в калиброванном положении «» (до защелкивания), в положениях:

20ns; 50ns; 0,1µs; 0,2 µs; 0,5µs; 1µs; 2µs; 5µs; 10µs; 20µs; 50µs; 0,1ms; 0,2ms; 0,5ms; 1ms; 2ms; 5ms;

Примечания: 1. Блок развертки обеспечивает изображение масштабных коэффициентов разверток А и Б на экране ЭЛТ базового блока в цифро-буквенном виде;

2. Переключатели разверток А и Б совмещены на одной оси и работают с частично зависимым переключением (позволяют коммутировать диапазоны в разных секторах независимо или независимо друг от друга);

3. При зависимой работе в целях исключения поломки переключателей их необходимо переключать поочередно в пределах диапазона каждого переключения;

4. Изменение коэффициентов разверток А и Б производится таким образом, чтобы соотношение между ними (А/Б) поддерживалось от 1 до 10. Исключение составляют положения 5ns и 10ns развертки А.

ручка «ПЛАВНО» - совмещена на одной оси с переключателями «ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ» и обеспечивает плавную (некалиброванную) регулировку только коэффициента развертки Б с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза;

Примечание: В положении «некалибровано» ручки «ПЛАВНО» на экране ЭЛТ базового блока рядом с изображением значения масштабного коэффициента развертки Б высвечивается символ «>».

БЛОК ХАРАКТЕРИОГРАФА

Органы управления, присоединения и индикации на передней панели:

кнопка «ИЗМЕР.» - обеспечивает управление режимом работы базового блока ЭЛО С1-122 совместно с блоком характернографа;

галетный переключатель « U_C , U_D , V/ДЕЛ.» - обеспечивает выбор пределов установки напряжения U_C или U_D , установки цены деления измеряемого развертывающего напряжения (U_C или U_D); (установки *чувствительности канала горизонтального отклонения*) в положениях:

0,2; 0,5; 2; 5; 20; 50;

Примечания: 1. U_C - напряжение коллектора биполярного транзистора;

U_D - напряжение стока полевого транзистора;

2. Характернограф обеспечивает изображение масштабных коэффициентов по горизонтали на экране ЭЛТ базового блока в цифро-буквенном виде.

ручка « U_C , U_D » - совмещена на одной оси с переключателем « U_C , U_D , V/ДЕЛ.» и обеспечивает плавную установку развертывающего напряжения U_C или U_D ;

Примечание: Диапазон установки напряжения U_C или U_D на выходе составляет 0...450В при мощности на нагрузке до 0,8Вт;

световой индикатор « \overline{V} » - свечение указывает на наличие высокого напряжения внутри прибора при положениях 5, 20 и 50 переключателя « U_C , U_D , V/ДЕЛ.»;

галетный переключатель « I_C , I_D /ДЕЛ.» (малый) - обеспечивает установку цены деления измеряемого контролируемого тока I_C или I_D (установку *чувствительности канала вертикального отклонения*) в положениях:

10nA; 20nA; 50nA; 0,1μA; 0,2μA; 0,5μA; 1μs; 2μA; 5μA; 10μA; 20μA; 50μA; 0,1mA;
0,2mA; 0,5mA; 1mA; 2mA; 5mA; 10mA; 20mA;

Примечания: 1. I_C - ток коллектора биполярного транзистора;

I_D - ток стока полевого транзистора;

2. Характернограф обеспечивает изображение масштабных коэффициентов по вертикали на экране ЭЛТ базового блока в цифро-буквенном виде.

галетный переключатель (большой) - совмещен на одной оси с малым переключателем «I_C, I_D/ДЕЛ.», работает независимо от него и обеспечивает **выбор режима**, соответствующего структуре исследуемого ППП, в положениях:

«+U_G(n)», «-U_G(n)» - положительное и отрицательное напряжения затвора полевого транзистора с каналом *n*-типа, соответственно;

«+U_G(p)», «-U_G(p)» - положительное и отрицательное напряжения затвора полевого транзистора с каналом *p*-типа, соответственно;

«n-p-n» - биполярный транзистор структуры *n-p-n*;

«p-n-p» - биполярный транзистор структуры *p-n-p*;

«+К», «-К» - положения переключателя для калибровки блока характеристики графа;

Примечание: Характериограф обеспечивает изображение символов структуры исследуемых ППП на экране ЭЛТ базового блока в зависимости от положения переключателя.

галетный переключатель «I_B, U_G/СТУП.» - обеспечивает установку цены ступеньки управляющего сигнала для подачи на управляющий электрод (базу, затвор) исследуемых ППП в положениях:

для I_B - 1μA; 2μA; 5μA; 10μA; 20μA; 50μA; 0,1mA; 0,2mA; 0,5mA; 1mA;

для U_G - 1mV; 2mV; 5mV; 10mV; 20mV; 50mV; 0,1V; 0,2V; 0,5V; 1V.

Примечание: I_B - управляющий ток базы биполярного транзистора;

U_G - управляющее напряжение затвора полевого транзистора.

ручка «СТУП.» - совмещена на одной оси с переключателем «I_B, U_G/СТУП.» и обеспечивает установку необходимого количества ступенек управляющего сигнала для получения семейства ВАХ ППП;

Примечания: 1. Возможность регулировки количества ступенек управляющего сигнала - от 0 до 10;

2. Число ступенек соответствует количеству ВАХ в семействе.

ручка «СМЕЩ./ОТКЛ.» - обеспечивает плавную регулировку постоянного смещения управляющего сигнала; нажатие вдоль оси ручки отключает смещение;

ручки «↔» и «↑» - обеспечивают независимое смещение изображения на экране ЭЛТ базового блока по горизонтали и вертикали, соответственно;

входной разъем - служит для подключения одного из 5 типов адаптеров, обеспечивающих крепление электродов исследуемых ППП и подведение к ним развертывающего напряжения и управляющего сигнала;

Примечания: 1. Выбор типа адаптера производится в зависимости от вида корпуса и цоколевки исследуемых ППП;

2. При отключенном адаптере в характериографе срывается генерация высокого напряжения и на контактах входного разъема действуют напряжения не более 20В;

3. Не допускается закорачивание контактов входного разъема.

Органы присоединения, управления и коммутации адаптеров:

контактные гнезда А и В - служат для подключения исследуемых ППП с целью одновременного воспроизведения и сравнения их ВАХ на экране базового блока;

Примечания: 1. При одновременном наблюдении семейств ВАХ двух ППП изображение по каналу В адаптера выделяется относительно изображения по каналу А подсветкой луча. При этом ВАХ ППП по каналу А изображается сплошными линиями, ВАХ ППП по каналу В - прерывистыми линиями;

2. Режимы для обоих ППП одинаковы. Сравнение ВАХ позволяет подбирать пары ППП, оценить разность ВАХ.

кнопки А и В - нажатие обеспечивает отключение управляющего сигнала соответствующего ППП (замыкают соответствующие базу с эмиттером в биполярном транзисторе, затвор с истоком в полевом транзисторе, управляющий электрод с катодом в тиристоре и т.д.);

крышка - служит для подачи напряжений U_C или U_D на исследуемые ППП и защиты оператора от высокого напряжения;

Примечание: При открытой крышке подключенного к характериографу адаптера срывается генерация высокого напряжения и на контактах гнезд А и В адаптера действуют напряжения не более 20В,

вилка разъема - служит для подключения адаптеров к характериографу;

штырь снизу адаптера - служит для отстыковки адаптера от характериографа нажатием снизу.

12.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

12.4.1. В чем состоит принцип схемного решения и работы характериографа на базе осциллографа (воспроизведения на экране ЭЛТ осциллограммы в виде ВАХ)?

12.4.2. Какую роль выполняют токоограничивающий $R_{огр}$ и токосъемный R_T резисторы? Какие требования предъявляются к величине токосъемного резистора?

12.4.3. Какой электронный узел в блок-схеме характериографа обеспечивает воспроизведение на экране ЭЛТ семейства ВАХ? Как согласованы временные параметры ступенчатого напряжения ГСН с периодом изменения развертывающего напряжения ГЛИН?

12.4.4. Назовите типы известных серийно выпускаемых характериографов?

12.4.5. Назначение всех органов управления, присоединения и индикации блока характериографа Я4С-92 в составе ЭЛО С1-122А?

12.4.6. Какую роль выполняют адаптеры? Назначение гнезда В в сочетании с гнездом А. В чем отличие изображений ВАХ при подключении исследуемого ППП к гнезду А и гнезду В?

12.4.7. Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ ВАХ стабилитрона.

12.4.8. Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ семейства выходных ВАХ БТ.

12.4.9. В чем заключается методика определения коэффициента передачи тока h_{21e} и выходной проводимости h_{22e} по полученным выходным ВАХ БТ?

12.4.10. Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ семейства выходных ВАХ ПТ.

12.4.11. В чем заключается методика определения крутизны характеристики S и активной составляющей выходной проводимости g_{22U} по полученным выходным ВАХ ПТ?

12.4.12. Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ семейства выходных ВАХ тиристора.

12.5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

12.5.1. Изучить устройство и принцип работы характериографа в составе ЭЛО С1-122, назначение основных органов управления и присоединения базового и сменных блоков (см. п. 12.3.2), сопровождая нахождением их месторасположения на приборных панелях выключенного ЭЛО С1-122.

12.5.2. *Подготовить ЭЛО С1-122 в режиме характериографа к работе.* Для этого, органы управления установить в следующие положения

БАЗОВЫЙ БЛОК

Включить ЭЛО С1-122 кнопкой « ВКЛ.,  ОТКЛ.»; должен загореться световой индикатор «СЕТЬ».

Установить органы управления ЭЛТ (яркость , фокусировку  и астигматизм ) в положения, обеспечивающие оптимальное изображение линии развертки.

Нажать кнопку «ПРАВЫЙ» группы «ВЕРТ РЕЖИМ».

Остальные кнопки оставить в ненажатом состоянии.

БЛОК РАЗВЕРТКИ

Нажать кнопку «» переключателя «ЗАПУСК».

БЛОК ХАРАКТЕРИОГРАФА

Предварительно органы управления установить в исходные положения:

переключатель « $U_C, U_D, V/ДЕЛ.$ » в положение « 0,2»;

ручку « U_C, U_D » в крайнее левое положение;

переключатель « $I_C, I_D/ДЕЛ.$ » (малый) в положение «50 А»;

переключатель выбора структуры ППП (большой) в положение « p-p-n»;

переключатель « $I_B, U_G/СТУП.$ » в положение «20 μ А»;

ручку «СТУП.» в крайнее левое положение;

ручку «» в среднее положение;

ручку «» в среднее положение;

ручку «СМЕЩ./ОТКЛ.» в среднее положение;

Примечания: 1. При переключении положений переключателей обратить внимание на индикацию символов структуры ППП и масштабных коэффициентов по горизонтали и вертикали на экране ЭЛТ базового блока;

2. При необходимости ручкой « ЗНАКИ» на базовом блоке установить оптимальную яркость знаков.

Нажать кнопку «ИЗМЕР.».

Характериограф готов к проведению измерений.

Примечание: Измерение напряжений (токов) по горизонтальной (вертикальной) оси осуществляется методом калиброванных шкал (применить навыки, приобретенные при выполнении лабораторной работы №2).

12.5.3. Из справочника по полупроводниковым приборам (получить у преподавателя) внимательно изучить и срисовать цоколевку, тип структуры, выписать (срисовать) паспортные значения основных параметров (характеристик) исследуемого ППП в соответствии с заданным вариантом. Особо обратить внимание на предельно допустимые значения рабочих напряжений, рабочих токов, управляющего базового тока (биполярного транзистора, тиристора), управляющего напряжения затвора (полевого транзистора) и строго руководствоваться этими данными при задании электрического режима работы исследуемого ППП с помощью органов управления характериографа.

12.5.4. Для воспроизведения и исследования ВАХ заданного ППП руководствоваться одной из методик, изложенных ниже.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВАХ СТАБИЛИТРОНА

а) Проверить предварительную установку органов управления характериографа в исходные положения (см. п. 12.5.2).

б) Установить:

ручки « \updownarrow » и « \leftrightarrow » в положения, обеспечивающие установку начала развертки в точку пересечения второй слева вертикальной и второй снизу горизонтальной линий масштабной сетки экрана ЭЛТ;

переключатель « $I_C, I_D/ДЕЛ.$ » в положение «20 mA».

в) Выбрать соответствующий цоколевке и корпусу исследуемого стабилизатора адаптер №1 и с закрытой крышкой подключить его к характериографу.

г) Открыть крышку адаптера и подключить исследуемый стабилизатор к контактам гнезда А в соответствии с изображением «» на корпусах адаптера и стабилизатора.

д) Закрыть крышку адаптера.

е) Установить прямое рабочее напряжение на стабилизаторе вращением ручки « U_C, U_D », получив прямую ветвь ВАХ на экране ЭЛТ.

ж) Определить методом калиброванных шкал по положению переключателя « $I_C, I_D/ДЕЛ.$ » (или индикации соответствующего масштабного коэффициента на экране ЭЛТ) значение прямого рабочего тока стабилизатора.

Примечания: 1. Строго следить за предельно допустимым значением рабочего тока;

2. Для удобного наблюдения и более точного определения тока необходимую величину ВАХ по вертикали выбрать при помощи переключателя « $I_C, I_D/ДЕЛ.$ ».

з) Прямую ветвь ВАХ стабилизатора сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛТ - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

и) Для получения обратной ветви ВАХ стабилизатор включить в обратном направлении по отношению к изображению «» или установить переключатель выбора структуры ППП в положение «р-п-р». Во втором случае ручки « \updownarrow » и « \leftrightarrow » установить в положения, обеспечивающие установку начала развертки в точку пересечения второй справа вертикальной и второй сверху горизонтальной линий масштабной сетки экрана ЭЛТ.

к) Необходимое значение обратного рабочего напряжения задать при помощи переключателя « $U_C, U_D, V/ДЕЛ.$ » и ручки « U_C, U_D ».

л) Дальнейшие указания по определению значения обратного рабочего тока, соблюдению мер предосторожности и копированию обратной ветви ВАХ стабилитрона аналогичны случаю исследования прямой ветви ВАХ.

м) По полученной полной ВАХ стабилитрона, пользуясь рис. 12.5, определить значения напряжения стабилизации $U_{ст}$ при фиксированном токе стабилизации $I_{ст}$, обратного тока утечки $I_{обр}$ при фиксированном обратном напряжении $U_{обр}$, прямого остаточного напряжения $U_{пр}$ при фиксированном прямом токе $I_{пр}$. Результаты измерения $U_{ст}, I_{обр}, U_{пр}$ занести в табл. 12.2.

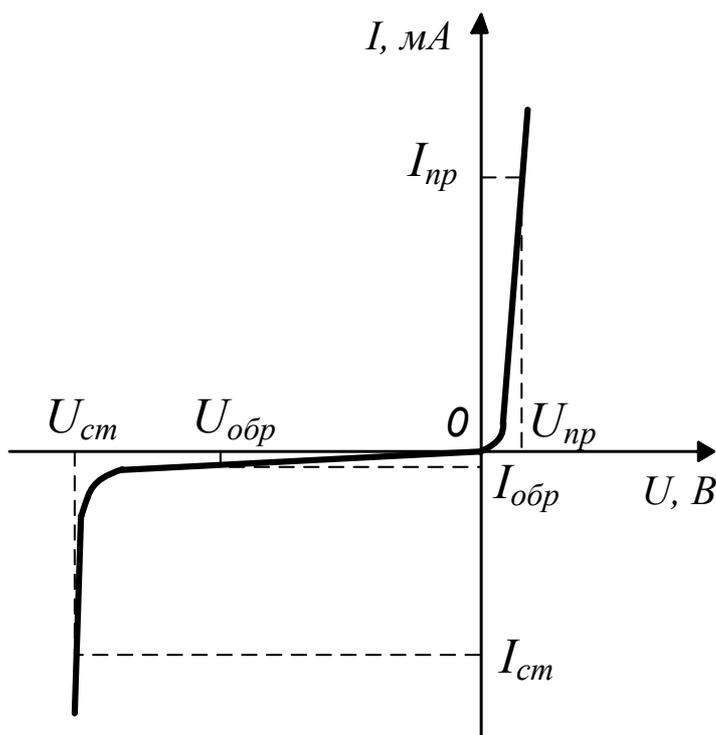


Рис. 12.5. Определение основных статических параметров по ВАХ стабилитрона.

Таблица 12.2

Результаты измерения основных статических параметров стабилитрона

$U_{ст}, В$ при $I_{ст} = \dots мА$		$I_{обр}, \mu А$ при $U_{обр} = \dots В$		$U_{пр}, В$ при $I_{пр} = \dots мА$	
Паспорт.	Измерение	Паспорт.	Измерение	Паспорт.	Измерение

н) Сравнить основные статические параметры по исследованной полной ВАХ стабилитрона с паспортными данными по справочнику. Паспортные данные стабилитрона занести в табл. 12.2.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА (БТ)

а) Проверить предварительную установку органов управления характеристики графа в исходные положения (см. п. 12.5.2).

б) Установить:

переключатель выбора структуры ППП в положение «n-p-n» или «p-n-p» в зависимости от структуры исследуемого БТ;

ручки « \updownarrow » и « \leftrightarrow » в положения, обеспечивающие установку начала развертки в точку пересечения второй слева вертикальной и второй снизу горизонтальной линий масштабной сетки экрана ЭЛТ для БТ n-p-n-структуры и в точку пересечения второй справа вертикальной и второй сверху горизонтальной линий для БТ p-n-p-структуры;

переключатель « I_C, I_D /ДЕЛ.» в положение «20 мА»;

переключатель « I_B, U_G /СТУП.» в положение «0,1 мА»;

ручку «СТУП.» в среднее положение.

в) Выбрать соответствующий цоколевке и корпусу исследуемого БТ адаптер (№2, 3, 4 или 5) и с закрытой крышкой подключить его к характеристографу.

г) Открыть крышку адаптера и подключить исследуемый БТ к контактам гнезда А в соответствии с цоколевкой БТ.

Примечание: Обозначение контактов гнезд на корпусе адаптера: Е - эмиттер; В - база; С - коллектор.

д) Закрыть крышку адаптера.

е) Установить при помощи переключателя « U_C, U_D, V /ДЕЛ.» и ручки « U_C, U_D » значение рабочего напряжения U_C (коллектор-эмиттер), не превышающее предельно допустимого значения для исследуемого БТ.

ж) Пользуясь переключателями « I_C, I_D /ДЕЛ.» и « I_B, U_G /СТУП.», выбрать удобное для наблюдения и исследования изображение семейства выходных ВАХ $I_C = f(U_C)$ БТ по вертикали.

з) Установить необходимое количество ВАХ в семействе вращением ручки «СТУП.».

и) Выбрать необходимое постоянное смещение управляющего базового тока I_B вращением ручки «СМЕЩ./ОТКЛ.».

Примечание: Нажатием ручки «СМЕЩ./ОТКЛ» вдоль оси отключается смещение. Величина смещения определяется количеством и ценой ступенек I_B , исходя из смещения изображения ВАХ при нажатой и ненажатой ручке «СМЕЩ./ОТКЛ.».

к) Нажать кнопку А адаптера и получить изображение выходной ВАХ БТ при отсутствии управляющего базового тока I_B , т.е. при замкнутой базе с эмиттером. Отпустить кнопку А.

л) По полученному семейству выходных ВАХ определить методом калиброванных шкал рабочий ток коллектора I_C при выбранных значениях рабочего напряжения U_C и управляющего тока I_B , а также цену ступеньки, которая задана переключателем « I_B, U_G /СТУП.».

м) Семейство выходных ВАХ исследуемого БТ сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛТ - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

н) По полученному семейству выходных ВАХ БТ, пользуясь рис.12.6, определить коэффициент передачи тока h_{21e} и выходную проводимость h_{22e} следующим образом:

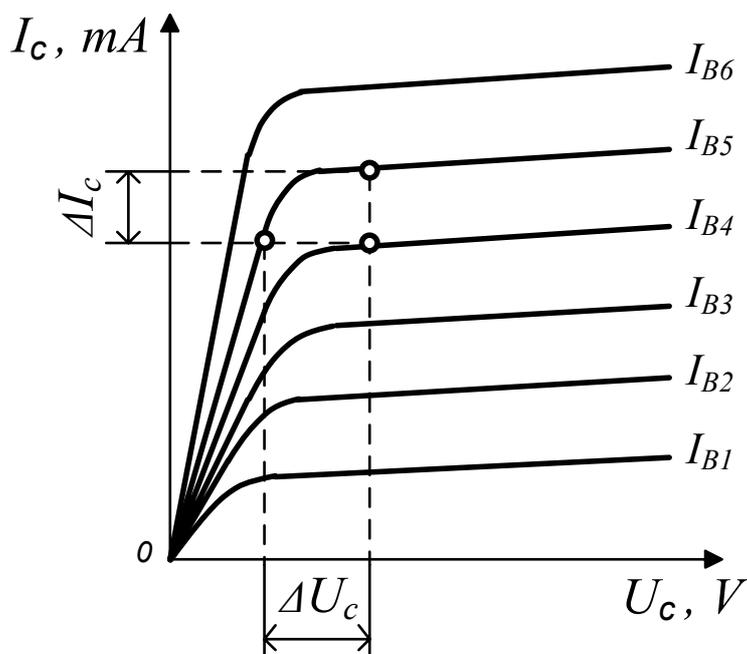


Рис. 12.6. Определение параметров h_{21e} и h_{22e} по выходным ВАХ БТ.

для определения h_{21e} на выбранном участке семейства выходных ВАХ БТ при фиксированном напряжении U_C измерить расстояние по вертикали между соседними кривыми (приращение ΔI_C) и его значение разделить на цену ступеньки I_B :

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{I_B / \text{ступ.}} ;$$

для определения h_{22e} измерить расстояние по вертикали между соседними кривыми (приращение ΔI_C) и его значение разделить на значение расстояния между теми же кривыми по горизонтали (приращение ΔU_C) на том же участке семейства выходных ВАХ БТ:

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_C} ;$$

результаты измерения h_{21e} и h_{22e} занести в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Результаты измерения основных параметров БТ

h_{21e} при $U_C = \dots В$		h_{22e} , $1/\Omega$	
Паспорт.	Измерение	Паспорт.	Измерение

о) Сравнить основные параметры по исследованным выходным ВАХ БТ с паспортными данными по справочнику. Паспортные данные БТ занести в табл. 12.3.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА (ПТ)

а) Проверить предварительную установку органов управления характериографа в исходные положения (см. п. 12.5.2).

б) Установить:

переключатель выбора структуры ППП в положение «n - $+U_G$ », «n - $-U_G$ », «p - $+U_G$ » или «p - $-U_G$ » в зависимости от структуры исследуемого ПТ:

ручки « \updownarrow » и « \leftrightarrow » в положения, обеспечивающие установку начала развертки в точку пересечения второй слева вертикальной и второй снизу горизонтальной линий масштабной сетки экрана ЭЛТ для структуры ПТ с *n*-каналом и в точку пересечения второй справа вертикальной и второй сверху горизонтальной линий для структуры ПТ с *p*-каналом;

переключатель « $I_C, I_D/\text{ДЕЛ.}$ » в положение «20 mA»;

переключатель « $I_B, U_G/\text{СТУП.}$ » в положение «0,5 V»;

ручку «СТУП.» в среднее положение.

в) Выбрать соответствующий цоколевке и корпусу исследуемого ПТ адаптер (№2, 3, 4 или 5) и с закрытой крышкой подключить его к характериографу.

г) Открыть крышку адаптера и подключить исследуемый ПТ к контактам гнезда А в соответствии с цоколевкой ПТ.

Примечание: Обозначение контактов гнезд адаптера: S - исток, D - сток, G - затвор.

д) Закрыть крышку адаптера.

е) Установить при помощи переключателя « $U_C, U_D, V/\text{ДЕЛ.}$ » и ручки « U_C, U_D » значение рабочего напряжения U_D (сток-исток), не превышающее предельно допустимого значения для исследуемого ПТ.

ж) Пользуясь переключателями « $I_C, I_D/\text{ДЕЛ.}$ » и « $I_B, U_G/\text{СТУП.}$ », выбрать удобное для наблюдения и исследования изображение семейства выходных ВАХ $I_D = f(U_D)$ ПТ по вертикали.

з) Установить необходимое количество выходных ВАХ в семействе вращением ручки «СТУП.».

и) Выбрать необходимое постоянное смещение управляющего напряжения затвора U_G вращением ручки «СМЕЩ./ОТКЛ.».

Примечание: Нажатием ручки «СМЕЩ./ОТКЛ.» вдоль оси отключается смещение. Величина смещения определяется количеством и ценой ступенек U_G , исходя из смещения изображения выходных ВАХ при нажатой и ненажатой ручке «СМЕЩ./ОТКЛ.».

к) Нажать кнопку А адаптера и получить изображение выходной ВАХ ПТ при отсутствии управляющего напряжения затвора U_G , т.е. при замкнутом затворе с истоком. Отпустить кнопку А.

л) По полученному семейству выходных ВАХ определить методом калиброванных шкал рабочий ток стока I_D при выбранных значениях рабочего напряжения U_D и управляющего напряжения U_G , а также цену ступеньки, которая задана переключателем « $I_B, U_G/\text{СТУП.}$ ».

м) Семейство выходных ВАХ исследуемого ПТ сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛТ - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

н) По полученному семейству выходных ВАХ ПТ, пользуясь рис. 12.7, определить крутизну характеристики S и активную составляющую выходной проводимости g_{22U} следующим образом:

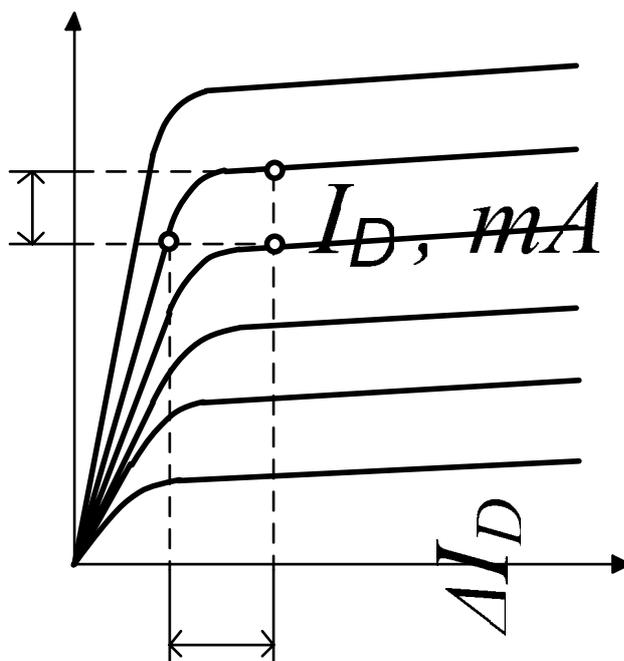


Рис. 12.7. Определение параметров S и g_{22U} по выходным ВАХ ПТ.

для определения S на выбранном участке семейства выходных ВАХ ПТ при фиксированном напряжении U_D измерить расстояние по вертикали между соседними кривыми (приращение ΔI_D) и его значение разделить на цену ступеньки U_G :

$$S = \frac{\Delta I_D}{U_G / \text{ступ.}} ;$$

для определения g_{22U} измерить расстояние по вертикали между соседними кривыми (приращение ΔI_D) и его значение разделить на значение расстояния между теми же кривыми по горизонтали (приращение ΔU_D) на том же участке семейства выходных ВАХ ПТ:

$$g_{22U} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_D} ;$$

результаты измерения S и g_{22U} занести в табл. 12.4.

Результаты измерения основных параметров ПТ

Таблица 12.4 J_D

S , при $U_D = \dots B$		g_{22U} , 1/Ом	
Паспорт.	Измерение	Паспорт.	Измерение

о) Сравнить основные параметры по исследованным выходным ВАХ ПТ с паспортными данными по справочнику. Паспортные данные ПТ занести в табл. 12.4.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ВАХ ТИРИСТОРА

а) Проверить предварительную установку органов управления характеристики графа в исходные положения (см. п. 12.5.2).

б) Установить:

ручки « \updownarrow » и « \leftrightarrow » в положения, обеспечивающие установку начала развертки в точку пересечения второй слева вертикальной и второй снизу горизонтальной линий масштабной сетки экрана ЭЛТ;

переключатель « $I_C, I_D/\text{ДЕЛ.}$ » в положение «20 мА»;

переключатель « $I_B, U_G/\text{СТУП.}$ » в положение «0,1 мА»;

ручку «СТУП.» в среднее положение.

в) Выбрать соответствующий цоколевке и корпусу исследуемого тиристора адаптер (№2, 3, 4 или 5) и с закрытой крышкой подключить его к характериографу.

г) Открыть крышку адаптера и подключить исследуемый тиристор к контактам гнезда А в соответствии с цоколевкой тиристора.

Примечание: Анод подключить к контакту С, катод - к контакту Е, управляющий электрод - к контакту В.

д) Закрыть крышку адаптера.

е) Установить при помощи переключателя « $U_C, U_D, V/\text{ДЕЛ.}$ » и ручки « U_C, U_D » значение прямого рабочего напряжения U_C (анод-катод), при котором произойдет переключение тиристора из закрытого в открытое состояние. При этом на экране ЭЛТ должно наблюдаться семейство S-образных прямых ветвей выходных ВАХ тиристора.

ж) Определить методом калиброванных шкал по положению переключателя « $I_C, I_D/\text{ДЕЛ.}$ » (или индикации масштабного коэффициента на экране ЭЛТ) значение прямого рабочего тока тиристора.

Примечание: Строго следить за предельно допустимым значением рабочего тока.

з) Пользуясь переключателями « $I_C, I_D/\text{ДЕЛ.}$ » и « $I_B, U_G/\text{СТУП.}$ », выбрать удобное для наблюдения и исследования изображение семейства прямых ветвей выходных ВАХ тиристора по вертикали.

и) Установить необходимое количество прямых ветвей выходных ВАХ в семействе вращением ручки «СТУП.».

к) Нажать кнопку А адаптера и получить изображение выходной ВАХ тиристора при отсутствии управляющего базового тока I_B , т.е. при замкнутом управляющем электроде с катодом. Отпустить кнопку А.

л) Семейство прямых ветвей выходных ВАХ тиристора сфотографировать (скопировать на кальку - наложением на экран ЭЛТ - или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

м) Для получения обратной ветви выходной ВАХ тиристора переключатель выбора структуры ППП установить в положение «р-п-р».

н) Дальнейшие указания по определению значения обратного рабочего тока, соблюдению мер предосторожности и копированию обратной ветви выходной ВАХ тиристора аналогичны случаю исследования прямой ветви выходной ВАХ.

о) По полученному семейству полных выходных ВАХ тиристора, пользуясь рис. 12.8, определить значения напряжения включения $U_{вкл}$ при управляющем базовом токе $I_B=0$, обратного напряжения $U_{обр}$ при фиксированном минимальном обратном рабочем токе $I_{обр}$, тока утечки $I_{ут}$ в закрытом состоянии при фиксированных прямом U'_{np} и обратном $U'_{обр}$ напряжениях, прямого остаточного напряжения $U_{ост}$ во включенном состоянии при фиксированном номинальном прямом рабочем токе I_{np} , токов включения $I_{вкл}$ и выключения $I_{выкл}$ при прямом смещении. Фиксированные значения $I_{обр}$, U'_{np} , $U'_{обр}$, I_{np} , и результаты измерения $U_{вкл}$, $U_{обр}$, $I_{ут}$, $U_{ост}$, $I_{вкл}$, $I_{выкл}$ занести в табл. 12.5.

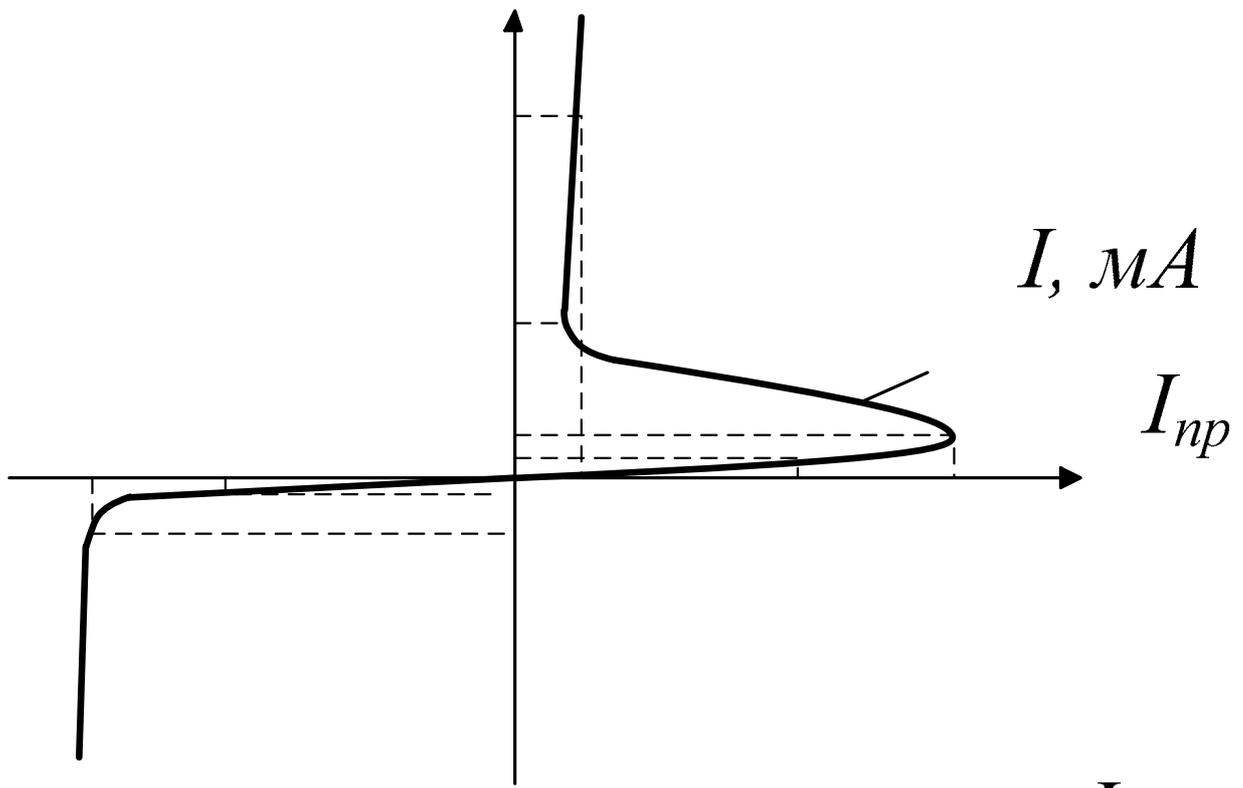


Рис. 12.8. Определение основных статических параметров по выходной ВАХ тиристора.

Таблица 12.5

Результаты измерения основных статических параметров тиристора

$U_{вкл}, В$ при $I_y=0$		$U_{обр}, В$ при $I_{обр}=\dots mA$		$I_{ум}, \mu A$ при $U'_{np}=U'_{обр}=\dots В$		$U_{ост}, В$ при $I_{np}=\dots mA$		$I_{вкл}, mA$		$I_{выкл}, mA$	
Пас-порт	Изме-рение	Пас-порт	Изме-рение	Пас-порт	Изме-рение	Пас-порт	Изме-рение	Пас-порт	Изме-рение	Пас-порт	Изме-рение

п) Сравнить основные статические параметры по исследованной полной выходной ВАХ тиристора с паспортными данными по справочнику. Паспортные данные тиристора занести в табл. 12.5.

12.5.5. При формулировании выводов дать анализ полученных экспериментальных результатов и паспортных данных.

12.5.6. По окончании работы выключить ЭЛО С1-122, установить органы регулировки в исходные положения, демонтировать исследуемый ППП из адаптера, адаптер отстыковать от характеристикиграфа, используя штырь снизу адаптера, сложить исследуемый ППП и адаптер в коробку, доложить преподавателю о завершении работы. Сдать коробку, а также предъявить рабочее место лаборанту или преподавателю.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. Пособие для радиотехнич. спец. вузов/ Под ред. В.И.Винокуров. - М.: Высш.шк., 1986. – 351 с.
2. Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М: Радио и связь, 1986. – 440 с.
3. Кушнир Ф.В. Электроизмерения: Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
4. Карпов Р.Т., Карпов Р.Н. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1988.
5. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. - М.: Радио и связь, 1984. - 176 с.