

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет информационной безопасности

Кафедра информационно-измерительных систем

М. Ю. Дерябина, В. Т. Ревин

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия
для специальности*

*1-45 01 02 «Инфокоммуникационные системы (по направлениям)» направления
специальности 1-45 01 02-01 «Инфокоммуникационные системы
(стандартизация, сертификация и контроль параметров)»*

Минск БГУИР 2025

УДК 654.1(075.8)
ББК 32.88я73
Д36

Рецензенты:

кафедра радиотехники и электроники учреждения образования
«Военная академия Республики Беларусь»
(протокол № 1 от 15.01.2024);

начальник лаборатории испытаний по параметрам электромагнитной
совместимости республиканского унитарного предприятия «Белорусский
государственный институт стандартизации и сертификации»
О. А. Муравьев

Дерябина, М. Ю.

Д36 Контроль параметров систем инфокоммуникаций. Лабораторный
практикум : учеб.-метод. пособие / М. Ю. Дерябина, В. Т. Ревин. – Минск :
БГУИР, 2025. – 96 с.

ISBN 978-985-543-827-5.

Содержит методические указания для проведения лабораторных работ по дисциплине «Контроль параметров систем инфокоммуникаций». Приводятся основные сведения из теории, необходимые для ознакомления с порядком выполнения работ, и краткие сведения о руководстве по эксплуатации средств измерений, используемых для выполнения лабораторных работ.

Может быть использовано при подготовке специалистов инженерно-технического профиля.

**УДК 654.1(075.8)
ББК 32.88я73**

ISBN 978-985-543-827-5

© Дерябина М. Ю., Ревин В. Т., 2025
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа КП1 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ»	5
1.1 Цели работы	5
1.2 Краткие теоретические сведения	5
1.3 Описание лабораторной установки	8
1.4 Подготовка к выполнению работы	8
1.5 Лабораторное задание	9
1.6 Порядок выполнения работы	9
1.7 Контрольные вопросы	11
Лабораторная работа КП2 «ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ»	13
2.1 Цель работы	13
2.2 Краткие теоретические сведения	13
2.3 Описание лабораторной установки	17
2.4 Подготовка к выполнению работы	18
2.5 Лабораторное задание	18
2.6 Порядок выполнения работы	18
2.7 Контрольные вопросы	19
Лабораторная работа КП3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ»	20
3.1 Цели работы	20
3.2 Краткие теоретические сведения	20
3.3 Описание лабораторной установки	22
3.4 Подготовка к выполнению работы	22
3.5 Лабораторное задание	23
3.6 Порядок выполнения работы	23
3.7 Контрольные вопросы	24
Лабораторная работа КП4 «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ»	25
4.1 Цели работы	25
4.2 Краткие теоретические сведения	25
4.3 Описание лабораторной установки	26
4.4 Подготовка к выполнению работы	27
4.5 Лабораторное задание	27
4.6 Порядок выполнения работы	27
4.7 Контрольные вопросы	29
Лабораторная работа КП5 «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ»	30
5.1 Цели работы	30
5.2 Краткие теоретические сведения	30
5.3 Описание лабораторной установки	38
5.4 Подготовка к выполнению работы	40

5.5 Лабораторное задание	41
5.6 Порядок выполнения работы	41
5.7 Контрольные вопросы	43
Приложение А. Содержание отчета	44
Приложение Б. Генератор сигналов высокочастотный Г4-107	45
Приложение В. Осциллограф запоминающий цифровой АКИП-4115/1А	49
Приложение Г. Микровольтметр ВЗ-40	72
Приложение Д. Генератор сигналов низкочастотный Г4-117	74
Приложение Е. Импульсный рефлектометр «РД Мастер»	76
Приложение Ж. Компьютерно-измерительная система для исследования частотных характеристик на базе ЭВМ и платы NI PCI-6251	91
Список использованной литературы	96

Лабораторная работа КП1

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ»

1.1 Цели работы

1.1.1 Изучение методов модуляции сигналов и измерения их параметров.

1.1.2 Изучение устройства и принципа действия электронного цифрового осциллографа АКПП-4115/1А и приобретение практических навыков работы с ним.

1.1.3 Измерение параметров модулированных сигналов.

1.2 Краткие теоретические сведения

Модуляцией называется изменение параметров измерительного сигнала (амплитуды, частоты, фазы или формы) по известному закону. Чаще всего процесс преобразования характеристик высокочастотного колебания происходит с помощью управляющего низкочастотного сигнала, содержащего информацию о передаваемом сообщении. В итоге спектр управляющего сигнала перемещается в высокочастотную область, где передача информации является более эффективной.

Передаваемые данные содержатся в управляющем (модулирующем) сигнале. Сигналом несущей частоты являются высокочастотные колебания, а их параметры модулируются низкочастотным передаваемым сигналом. В роли несущего колебания обычно используются гармонические колебания.

При передаче информации чаще всего применяют амплитудную, фазовую и частотную модуляцию. Возможна и смешанная модуляция (например, амплитудно-фазовая).

В простейшем случае модуляции сигнала амплитуды A_0 синусоидальным сигналом закон амплитудно-модулированного колебания может быть записан в виде

$$U = U_0 \cdot (1 + m \cdot \sin \Omega t) \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (1.1)$$

где U_0 – амплитуда несущего колебания;

Ω – частота модулирующего колебания;

ω – частота несущего колебания;

m – глубина амплитудной модуляции.

Величина m называется глубиной амплитудной модуляции и характеризует степень изменения амплитуды несущего сигнала:

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}, \quad (1.2)$$

где U_{\max} и U_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения модулирующего сигнала.

При симметричном законе модуляции выражение для глубины модуляции можно записать в виде

$$m = \frac{\Delta U}{U_m}, \quad (1.3)$$

где ΔU – изменение амплитуды модулированного сигнала;

U_m – амплитуда модулирующего сигнала.

При несимметричной модуляции m измеряется отдельно: «вверх» – $m_{\text{ВВ}}$ и «вниз» – $m_{\text{ВН}}$:

$$m_{\text{ВВ}} = \frac{\Delta U_+}{U_0} \cdot 100 \%; \quad (1.4)$$

$$m_{\text{ВН}} = \frac{\Delta U_-}{U_0} \cdot 100 \%, \quad (1.5)$$

где U_0 – среднее за период T значение амплитуды модулируемого (несущего) сигнала.

Частота модулирующего колебания Ω характеризует скорость изменения амплитуды колебаний несущего сигнала.

Любая передающая станция, работающая в режиме амплитудной модуляции, излучает не одну, а спектр частот. В простейшем случае модуляции сигнала синусоидальным сигналом спектр содержит лишь три составляющие с частотами ω , $(\omega + \Omega)$, $(\omega - \Omega)$. Частота ω называется **несущей**, две остальные – **боковыми** частотами (сателлитами). Амплитуда каждого сателлита равна $mU_0/2$.

При более сложном модулирующем сигнале вместо двух боковых частот в спектре модулированного колебания будут две боковые полосы, частотный состав которых определяется частотным составом модулирующего сигнала. Во избежание помех несущие частоты различных передающих станций должны отстоять друг от друга на расстояние, большее, чем сумма боковых полос.

Недостатком амплитудной модуляции является неэффективное использование мощности передатчика.

При **частотной модуляции** изменяется частота несущего колебания. Параметрами частотной модуляции являются:

- **девиация частоты «вверх»** $\Delta f_{\text{ВВ}}$ – пиковое отклонение «вверх» закона модуляции при частотной модуляции [1]

$$\Delta f_{\text{ВВ}} = \max f_{\text{переменная}}(t); \quad (1.6)$$

- **девиация частоты «вниз»** $\Delta f_{\text{ВН}}$ – пиковое отклонение «вниз» закона модуляции при частотной модуляции [1]

$$\Delta f_{\text{ВН}} = \min f_{\text{переменная}}(t), \quad (1.7)$$

где $f_{\text{переменная}}(t)$ – переменная составляющая закона модуляции при частотной модуляции.

Модель частотно-модулированного сигнала можно представить в следующем виде:

$$f(t) = f_0 + \Delta f \sin \Omega t, \quad (1.8)$$

где f_0 – частота модулируемого сигнала;

Δf – максимальное отклонение частоты от f_0 (девиация частоты);

Ω – круговая частота модулирующего сигнала ($\Omega = 2\pi F$);

F – частота модулирующего колебания.

Зная Δf , можно определить индекс частотной модуляции, характеризующий степень изменения частоты:

$$\beta = \frac{\Delta f}{F} = \frac{\Delta \omega}{\Omega}. \quad (1.9)$$

При **фазовой модуляции** изменяется фаза несущего колебания по закону модулирующего сигнала.

Характеристикой такого сигнала является **индекс угловой модуляции** Θ – пиковое отклонение закона модуляции фазово-модулированного сигнала при гармоническом законе модуляции [1]:

$$\Theta = \max_{t \in T} \varphi(t) = \max_{t \in T} [\varphi(t) - \bar{\varphi}], \quad (1.10)$$

где $\varphi(t) = \varphi_0(t) + \bar{\varphi} = \Theta \cdot \sin(\Omega t + \Psi) + \varphi_0$ – закон модуляции при фазовой модуляции;

Ω – круговая частота модулирующего сигнала;

Ψ – начальная фаза модулирующего сигнала;

$\varphi_0(t)$ – начальная фаза модулируемого сигнала.

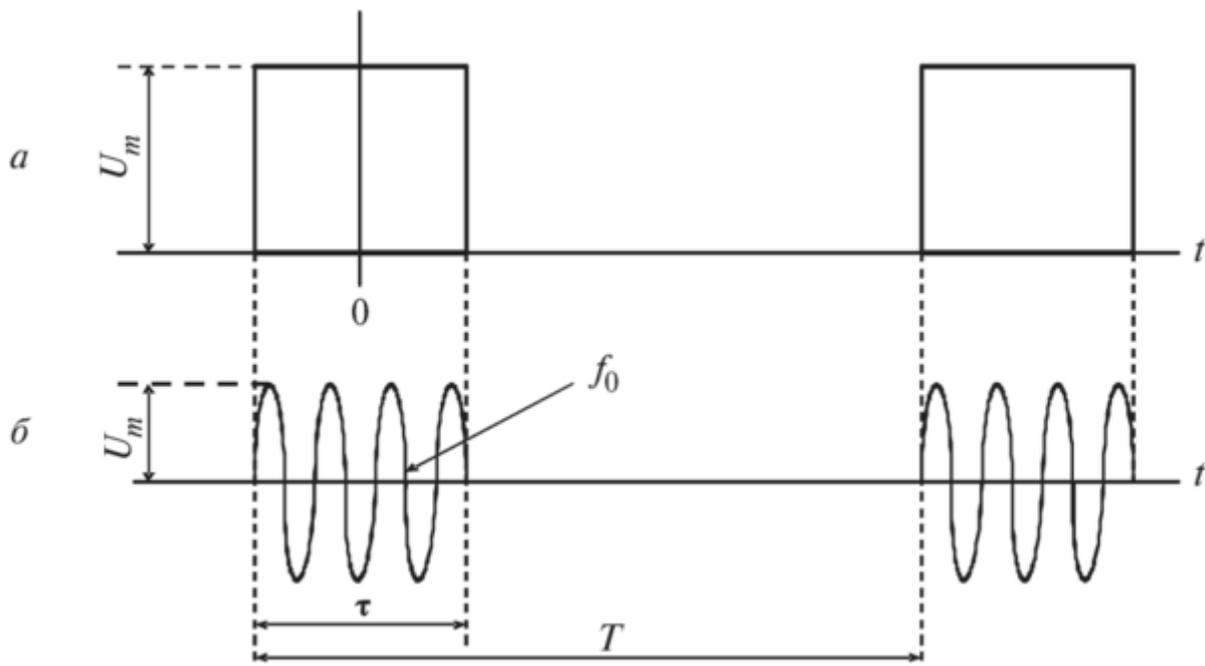
В многоканальных системах передачи в качестве переносчика информации используется не гармоническое колебание, а периодическая последовательность радиоимпульсов с четырьмя параметрами: амплитудой, частотой следования, длительностью и фазой. Такой вид модуляции называется **импульсной модуляцией**. Если модулирующий сигнал имеет форму меандра, такая импульсная модуляция называется **манипуляцией** (рисунок 1.1).

При импульсной модуляции формируется последовательность пачек модулированных колебаний.

Для оцифровки аналоговых сигналов используется импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). В этом случае аналоговый сигнал, содержащий передаваемое сообщение, подвергается операциям дискретизации по времени и квантования по уровню.

Для передачи цифровых данных используется цифровая модуляция, называемая амплитудной манипуляцией.

Параметры модулированных сигналов могут быть измерены с помощью осциллографа при линейной или синусоидальной развертке.



a – модулирующий видеоимпульс; *б* – сигнал с амплитудной манипуляцией
Рисунок 1.1 – Сигнал с амплитудной манипуляцией во временной области

Модулированный сигнал при линейной развертке подается на вход вертикального отклонения Y осциллографа, и на экране будет изображение амплитудно-модулированного сигнала. Измерив с помощью масштабной сетки максимальные отклонения луча U_{\max} и U_{\min} , по формуле (1.2) вычисляют коэффициент амплитудной модуляции (для симметричной модуляции).

В случае несимметричной модуляции измеряют отдельно ΔU_+ , ΔU_- и U_{\max} и по формулам (1.4) и (1.5) вычисляют $M_{\text{вв}}$ и $M_{\text{вн}}$.

1.3 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой источник исследуемых сигналов – высокочастотный генератор сигналов Г4-107 (приложение Б) – и электронный цифровой осциллограф АК ИП-4115/1А (приложение В).

Структурная схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.2.

1.4 Подготовка к выполнению работы

1.4.1 По рекомендуемой литературе детально изучите методы измерения параметров амплитудно-модулированных сигналов.

1.4.2 Изучите устройство, принцип действия и работу приборов Г4-107 и АКИП-4115/1А, а также методику проведения измерений и оценки погрешностей полученных результатов по приложениям Б и В настоящего пособия.

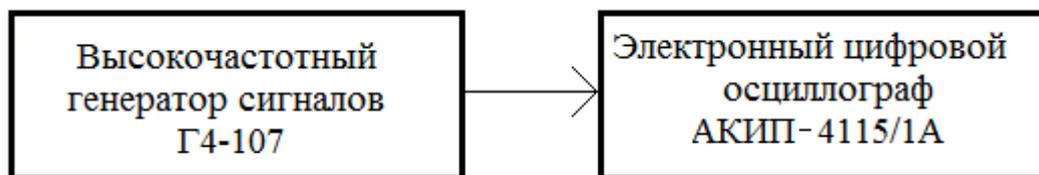


Рисунок 1.2 – Структурная схема лабораторной установки

1.4.3 Сделайте заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями приложения А «Содержание отчета».

1.4.4 Ответьте на контрольные вопросы.

1.5 Лабораторное задание

1.5.1 Измерить параметры амплитудно-модулированных сигналов.

1.5.2 Измерить параметры импульсно-модулированных сигналов.

1.6 Порядок выполнения работы

1.6.1 Измерение параметров амплитудной модуляции.

1.6.1.1 Подготовьте к проведению измерений высокочастотный генератор сигналов Г4-107 и осциллограф АКИП-4115/1А согласно разделам Б.4 и В.4 приложений Б и В.

1.6.1.2 Установите генератор Г4-107 в режим внутренней амплитудной модуляции, нажав кнопки **АМ** и **ВНУТР**, а осциллограф АКИП-4115/1А – в режим измерения амплитудных параметров сигнала.

1.6.1.3 Установите органы управления генератора Г4-107 в положения, соответствующие первой частотной точке (таблица 1.1).

1.6.1.4 Подайте сигнал с генератора на вход **У** осциллографа. Режим работы осциллографа АКИП-4115/1А установите следующий:

- вход открытый;
- канал **А**;
- синхронизация по каналу **А** – внутренняя;
- развертка – автоколебательная;
- ручка **Время/дел.** плавно должна быть нажата и повернута вправо до упора.

1.6.1.5 Установите размер изображения сигнала на экране осциллографа, чтобы сигнал по вертикали занимал 80–90 % экрана, а по горизонтали на экране помещались 2–3 периода исследуемого сигнала, с помощью переключателей **Вольт/дел** (калиброванный коэффициент отклонения) и **Время/дел** (калиброванный коэффициент развертки).

При нестабильности изображения на экране осциллографа добейтесь неподвижного изображения с помощью ручки СИНХРОНИЗАЦИЯ.

1.6.1.6 Измерьте параметры амплитудно-модулированного сигнала, руководствуясь методикой, изложенной в п. В13.4 приложения В, и рассчитайте коэффициент амплитудной модуляции исследуемого сигнала по формулам (1.3)–(1.5). Запишите результаты измерений в таблицу 1.2.

Таблица 1.1

Номер варианта (n – номер бригады)	Положение переключателя Глубина МОД % генератора Г4-107							
	АМ				ИМ			
1	10	30	50	70	20	60	10	60
2	20	40	50	80	30	70	20	70
3	30	50	70	90	40	80	30	80
4	10	40	70	80	50	90	10	90
5	20	50	80	90	20	40	20	60
6	10	20	30	40	30	70	30	70
7	50	60	70	80	40	80	10	80
8	60	70	80	90	50	90	20	90
9	10	20	40	60	20	60	30	60
Значения частот по шкале генератора Г4-107, МГц	$110 + 2n$	$82 + 1n$	$160 + 4n$	$50 + 3n$	$120 + 5n$	$67 + 7n$	$170 + n$	$60 + 3n$

Таблица 1.2

Параметры	Положение переключателя Глубина МОД % генератора Г4-107 при измерении КАМ			
U_m , В				
U_{max} , В				
U_{min} , В				
ΔU_+ , В				
ΔU_- , В				
M_+ , %				
M_- , %				
Погрешность измерения КАМ, %				

1.6.1.7 Повторите измерения коэффициента АМ для остальных частотных точек (см. таблицу 1.1).

1.6.2 Измерение параметров импульсной модуляции.

1.6.2.1 Генератор Г4-107 установите в режим внутренней импульсной модуляции ИМ и ВНУТР, а осциллограф – в режим измерения амплитудных параметров сигнала.

1.6.2.2 Установите органы управления генератора Г4-107 в положения, соответствующие первой частотной точке (см. таблицу 1.1).

1.6.2.3 Измерьте амплитуду модулирующего импульса A_T , его длительность τ_T , а также длительности фронта τ_Φ и среза τ_C , руководствуясь методикой, изложенной в п. В13.4 приложения В настоящего пособия.

Оцените погрешности измерения перечисленных параметров.

Занесите результаты измерений в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Параметры	Положение переключателя Глубина МОД % генератора Г4-107 при измерении параметров импульсной модуляции			
$A_T, В$				
$\tau_T, с$				
$\tau_\Phi, с$				
$\tau_C, с$				
$\Delta A_T, В$				
$\Delta \tau_T, с$				
$\Delta \tau_\Phi, с$				
$\Delta \tau_C, с$				

1.6.2.4 Повторите измерения указанных параметров для остальных частотных точек (см. таблицу 1.1).

1.7 Контрольные вопросы

1.7.1 Какой процесс называется модуляцией сигнала?

1.7.2 Какой параметр сигнала изменяется при амплитудной модуляции?

1.7.3 Какой параметр сигнала изменяется при частотной модуляции?

1.7.4 Какой параметр сигнала изменяется при фазовой модуляции?

1.7.5 Что понимают под импульсной модуляцией?

1.7.6 Что понимают под импульсной манипуляцией?

1.7.7 Какими параметрами характеризуется амплитудная модуляция и какие способы ее измерения вы знаете?

1.7.8 Какими параметрами характеризуется частотная модуляция и какие способы ее измерения вы знаете?

1.7.9 Какими параметрами характеризуется импульсная модуляция и какие способы ее измерения вы знаете?

1.7.10 Перечислите источники погрешностей при измерении параметров модуляции сигналов с помощью осциллографа.

Лабораторная работа КП2 «ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ»

2.1 Цель работы

Изучение методов измерения уровней сигналов.

2.2 Краткие теоретические сведения

В состав каналов и трактов передачи входят функциональные узлы, обладающие нелинейными свойствами:

- ограничители амплитуд, устанавливаемые в начале канала или тракта для защиты от сигналов, напряжение которых по каким-либо причинам превышает допустимое значение;

- усилители;

- преобразователи спектров;

- некоторые другие функциональные узлы.

Это приводит к тому, что затухание в каналах и трактах оказывается зависимым от уровня передаваемых сигналов.

Для сравнения сигналов в линиях передачи применяют внесистемную единицу измерения – децибел, определяемую как

$$1 \text{ дБ} = 10 \lg \frac{U_2}{U_1} \quad \text{при} \quad \frac{U_2}{U_1} = 10^{\frac{1}{10}} = 1,122. \quad (2.1)$$

При этом сравнение сигналов осуществляется по отношению к некоторым условным значениям, принятым за нулевую отметку логарифмической шкалы. Полученная в результате величина называется **уровнем сигнала** [2].

Различают абсолютный, относительный и измерительный уровни напряжения.

Абсолютный уровень напряжения определяется следующим образом:

$$p_{\text{абс}} = 20 \lg \frac{U}{U_0} = 20 \lg \frac{U}{0,7746}, \quad (2.2)$$

где U – среднеквадратическое значение напряжения (В);

U_0 – напряжение, при котором мощность, равная 1 мВт, рассеивается на резисторе сопротивлением $R_0 = 600 \text{ Ом}$ ($U_0 = \sqrt{P_0 R_0}$).

Значение мощности $P_0 = 1 \text{ мВт}$ регламентировано [1].

Относительный уровень определяется относительно значения напряжения в некоторой точке схемы (например, U_1):

$$p_{\text{абс}} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_0} \cdot \frac{U_0}{U_1} \right) = p_{\text{абс}2} - p_{\text{абс}1}. \quad (2.3)$$

Если на вход схемы подать сигнал с абсолютным уровнем 0 дБ, то относительные уровни во всех точках, определенные относительно входа, называются **измерительными** и совпадают по значениям с абсолютными уровнями.

Качество передачи информации по каналу связи определяется совокупностью параметров передающего тракта.

Одним из таких параметров является остаточное затухание:

$$\alpha_{\text{ост}} = p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}, \quad (2.4)$$

где $p_{\text{вх}}$ и $p_{\text{вых}}$ – уровни сигнала на входе и выходе канала соответственно, выраженные в дБ. При этом должно выполняться условие согласования.

При передаче сигналов различных частот контролируют следующие параметры:

- частотную характеристику остаточного затухания $\alpha_{\text{ост}}(f)$ в пределах диапазона рабочих частот;
- основную частоту измерения f_0 , лежащую в пределах диапазона рабочих частот ($f_{\text{н}} - f_{\text{в}}$);
- частотную характеристику отклонения остаточного затухания от его значения на частоте f_0 :

$$\Delta\alpha_{\text{ост}}(f) = \alpha_{\text{ост}}(f) - \alpha_{\text{ост}}(f_0). \quad (2.5)$$

Полоса частот, на границах которой $\alpha_{\text{ост}}$ и $\Delta\alpha_{\text{ост}}$ отличаются от значений $\alpha_{\text{ост}}(f_0)$ и $\Delta\alpha_{\text{ост}}(f_0)$ не более, чем на некоторое нормируемое значение, называется **эффективно передаваемой полосой частот (ЭППЧ)**. Для канала тональной частоты (ТЧ) ЭППЧ лежит в диапазоне от 0,3 до 3,4 кГц.

В рабочем диапазоне частот канала ТЧ и сетевых трактов допускается определенная неравномерность остаточного затухания. В идеальном случае частотные характеристики остаточного затухания типовых сетевых трактов должны быть плоскими во всем рабочем диапазоне частот. Поскольку в трактах устанавливаются устройства автоматической регулировки уровня (АРУ), то на частотах вблизи частоты контрольного сигнала затухание тракта из-за установки в нем запирающих фильтров резко возрастает.

Нелинейные искажения в канале ТЧ не должны превышать 1,5 % при подаче на вход простого или составного канала синусоидального сигнала частотой 1020 Гц и с номинальным измерительным уровнем.

Относительные уровни напряжений измеряют вольтметрами с детекторами среднеквадратического значения.

В технике связи наряду с вольтметрами для измерения уровней сигналов используют специальные приборы – измерители уровней (ИУ), шкалы которых проградуированы в абсолютных уровнях напряжения. За нулевой уровень принимается среднеквадратическое значение напряжения синусоидальной формы, равное 0,775 В.

Диапазон частот ИУ должен соответствовать диапазону каналов и трактов, для которых он применяется.

Структурная схема типового измерителя уровня ИК-25-1 показана на рисунке 2.1.

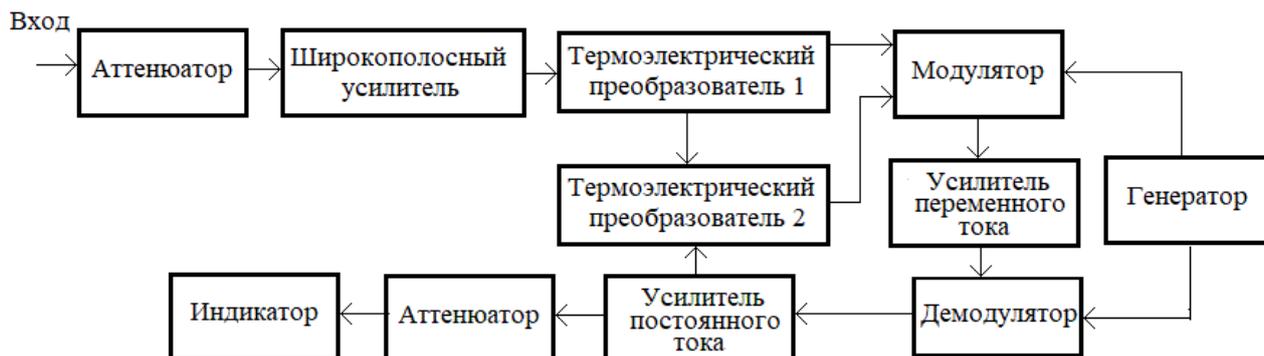


Рисунок 2.1 – Структурная схема типового измерителя уровня ИК-25-1

Входной сигнал поступает на вход аттенюатора, применение которого и включенного последовательно с ним широкополосного усилителя позволяет измерить уровни напряжения в диапазоне от –60 до +10 дБ при низкоомном входе и от –50 до +25 дБ при высокоомном входе.

Детектирующее устройство представляет собой отдельный блок. С помощью термоэлектрического преобразователя 1 осуществляется преобразование переменного напряжения в постоянное, пропорциональное среднеквадратическому значению измеряемого напряжения в широком диапазоне частот.

Усиление сигнала, поступающего с выхода термоэлектрического преобразователя 1, осуществляется по алгоритму «модуляция – усиление – демодуляция». Сначала постоянное напряжение, поступающее с выхода термоэлектрического преобразователя 1, преобразуется с помощью модулятора в переменное напряжение с помощью модулятора. Затем это напряжение усиливается усилителем переменного тока в заданное число раз. После этого усиленное переменное напряжение преобразуется в постоянное в демодуляторе. Такой алгоритм усиления сигнала постоянного тока повышает чувствительность преобразователя и обеспечивает высокую помехоустойчивость прибора при измерении малых уровней напряжения, близких к –60 дБ.

Далее сигнал усиливается усилителем постоянного тока и поступает на индикатор. С помощью термоэлектрического преобразователя 2 осуществляется отрицательная обратная связь, с помощью которой обеспечивается линеаризация коэффициента передачи детектирующего устройства и повышение стабильности его работы.

Часто индикатор имеет две шкалы, одна из которых проградуирована в абсолютных уровнях напряжения для 600-омной цепи (уровню 0 дБ соответствует напряжение 0,775 В), другая – для 135-омной (уровню 0 дБ соответствует напряжение 0,367 В). Еще один вариант градуировки может иметь одну шкалу для 135-омной цепи, а вторую – для 75-омной (уровню 0 дБ соответствует напряжение 0,274 В).

Измерители уровня часто называют псофометрами. Вариант структурной схемы псофометра изображен на рисунке 2.2.

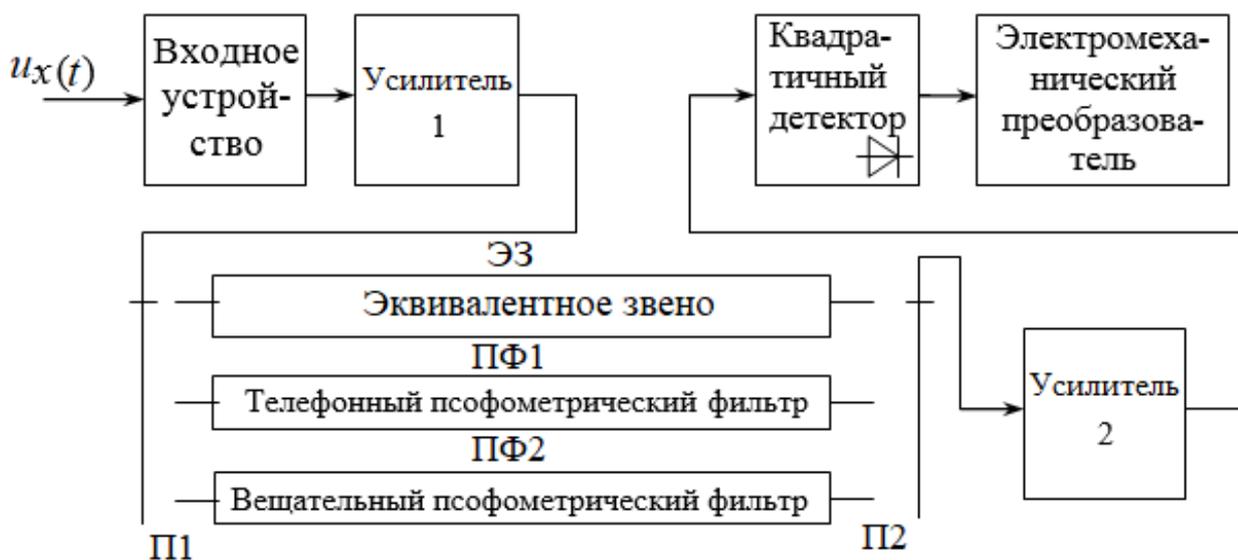


Рисунок 2.2 – Структурная схема псофометра

Входное устройство трансформаторного типа обеспечивает симметричный вход прибора.

С помощью переключателей П1 и П2 подключаются либо псофометрический полосовой фильтр ПФ1 (для телефонного канала), либо ПФ2 (для вещательного канала), либо эквивалентное звено ЭЗ.

Эквивалентное звено включается при измерении интегральных помех и имеет ослабление, равное ослаблению, которое вносят псофометрические фильтры на средних частотах.

Детектор обеспечивает квадратичное детектирование. При подведении к псофометру гармонических напряжений с частотами 800 или 1000 Гц показания прибора соответствуют среднеквадратическому значению напряжения, подаваемого на вход прибора.

Псофометры обычно обеспечивают измерение уровней напряжений в пределах 0,05 мВ – 3 В.

2.3 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка, внешний вид передней панели которой представлен на рисунке 2.3, содержит активный полосовой RC -фильтр, выполненный на операционном усилителе.

Переключатель П2 ВАРИАНТ установки изменяет полосу пропускания и коэффициент передачи фильтра. С помощью переключателя П1 к выходу подключается вход установки или выход RC -фильтра.

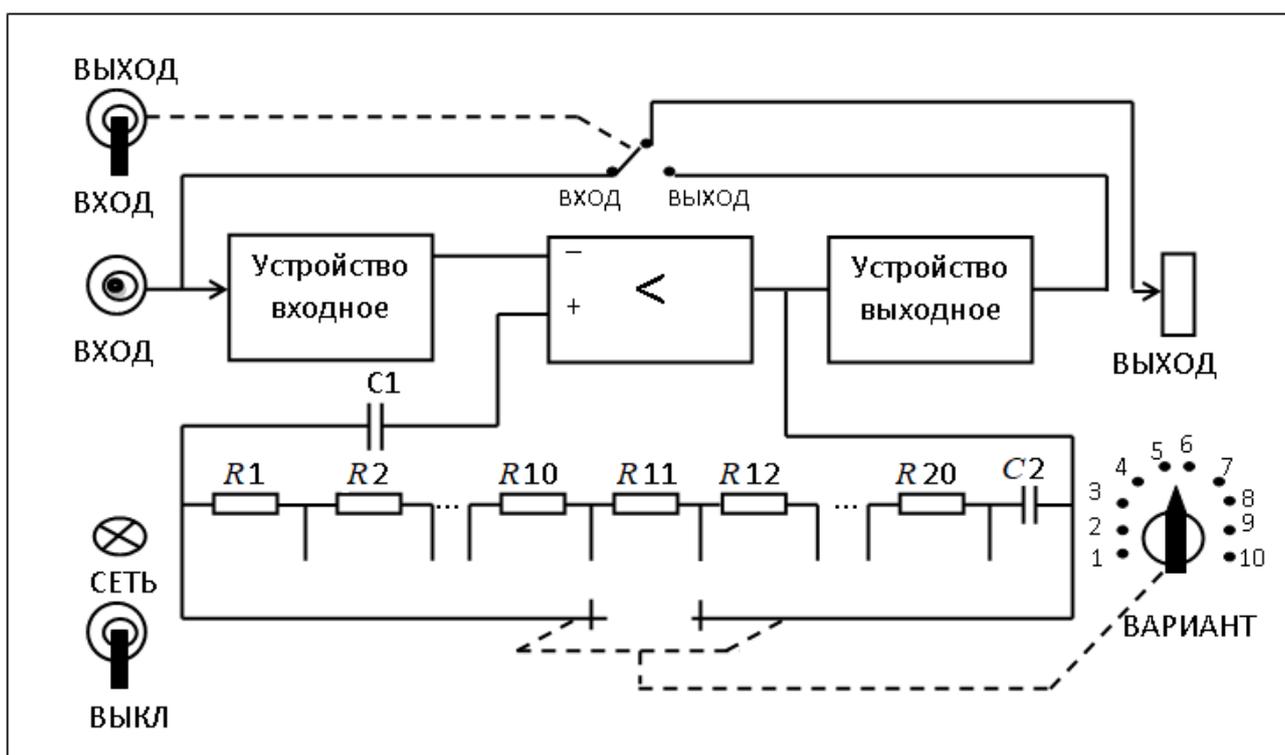


Рисунок 2.3 – Передняя панель лабораторной установки

Установка имеет следующие параметры:

- $R_{\text{ВЫХ}} = 600 \text{ Ом}$;
- полоса рабочих частот 100–5000 Гц;
- основная измерительная частота $f_0 = 1 \text{ кГц}$.

С помощью переключателя П1 ВХОД-ВЫХОД осуществляется подключение милливольтметра ВЗ-40 ко входу и выходу измерительной установки.

В качестве источника сигнала используется генератор сигналов низкочастотный Г4-117, подключаемый к разъему ВХОД лабораторной установки.

2.4 Подготовка к выполнению работы

2.4.1 Изучите методы измерения уровней сигналов передающего тракта вольтметрами и измерителями уровней.

2.4.2 Изучите приборы, применяемые при выполнении лабораторной работы, методику проведения измерений с их помощью, оценку полученных результатов, используя приложения Г и Д настоящего пособия.

2.4.3 Сделайте заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями приложения А «Содержание отчета» данного пособия.

2.4.4 Ответьте на контрольные вопросы.

2.5 Лабораторное задание

2.5.1 Снимите частотную характеристику остаточного затухания измерительной установки с помощью приборов Г4-117, ВЗ-40.

2.5.2 Снимите амплитудную характеристику остаточного затухания измерительной установки с помощью приборов Г4-117, ВЗ-40.

2.6 Порядок выполнения работы

2.6.1 Подготовьте к работе генератор Г4-117 и вольтметр ВЗ-40 согласно п. Г.4 приложения Г и п. Д.4 приложения Д.

2.6.2 Выполните измерения в соответствии с п. 2.5.1 лабораторного задания.

2.6.2.1 Установите переключатель **ВАРИАНТ** лабораторной установки в положение, соответствующее номеру варианта (бригады).

2.6.2.2 Подключите через кабель к разъему **ВХОД** лабораторной установки разъем **3V** генератора Г4-117, к разъему **ВЫХОД** – вольтметр ВЗ-40.

2.6.2.3 Установите напряжение $U_{Г} = 300$ мВ и частоту $f_{Г} = 20$ Гц выходного сигнала генератора Г4-117.

2.6.2.4 Переключатель **ВХОД-ВЫХОД** лабораторной установки установите в положение **ВХОД** и включите установку.

2.6.2.5 Измерьте напряжение входного сигнала $U_{0ВХ}$ с помощью вольтметра ВЗ-40.

2.6.2.6 Переведите переключатель **ВХОД-ВЫХОД** в положение **ВЫХОД** и измерьте значение выходного напряжения сигнала $U_{0ВЫХ}$.

2.6.2.7 Занесите результаты измерения $U_{0ВХ}$ и $U_{0ВЫХ}$ в таблицу 2.1.

2.6.2.8 Проведите измерения напряжений $U_{0ВХ}$ и $U_{0ВЫХ}$ на остальных частотах, заданных в таблице 2.1, перестраивая частоту генератора Г4-117.

Занесите результаты измерений в таблицу 2.1.

2.6.2.9 Рассчитайте значения $P_{0ВХ}$, $P_{0ВЫХ}$, $\alpha_{ост}$ и $\Delta\alpha_{ост}(f)$, используя результаты измерений напряжений $U_{0ВХ}$ и $U_{0ВЫХ}$ для всех частот, приведенных в таблице 2.1.

2.6.3 Выполните измерения в соответствии с п. 2.6.2 лабораторного задания.

Таблица 2.1

$f_{Г}$, кГц	0,02	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0
$U_{ОВХ}$, В								
$U_{ОВЫХ}$, В								
$P_{ОВХ}$, дБ								
$P_{ОВЫХ}$, дБ								
$\alpha_{ОСТ}$, дБ								
$\Delta\alpha_{ОСТ}(f)$, дБ								

2.6.3.1 Установите частоту выходного сигнала генератора Г4-117 $f_0 = 1$ кГц.

2.6.3.2 Измерьте значения напряжений сигналов $U_{ОВХ}$ и $U_{ОВЫХ}$, последовательно устанавливая значения напряжений выходного сигнала генератора Г4-117 в соответствии с таблицей 2.2.

Занесите результаты измерений в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

$U_{Г}$, мВ	3000	2000	1000	500	100	50	10	5	1	0,5
$U_{ОВХ}$, В										
$U_{ОВЫХ}$, В										
$P_{ОВХ}$, дБ										
$P_{ОВЫХ}$, дБ										
$\alpha_{ОСТ}$, дБ										

2.6.3.3 Рассчитайте значения $P_{ОВХ}$, $P_{ОВЫХ}$, $\alpha_{ОСТ}$ и $\Delta\alpha_{ОСТ}(f)$, используя результаты измерений напряжений $U_{ОВХ}$ и $U_{ОВЫХ}$ для всех значений напряжений выходного сигнала генератора Г4-117, приведенных в таблице 2.2.

Занесите результаты расчетов в таблицу 2.2.

2.7 Контрольные вопросы

2.7.1 Что понимают под уровнем сигнала?

2.7.2 В чем заключается отличие абсолютного и относительного уровней сигналов?

2.7.3 Что понимают под эффективно передаваемой полосой частот?

2.7.4 Какой диапазон частот передается по каналу тональной частоты?

2.7.5 Перечислите методы измерения уровней сигналов.

2.7.6 Какие устройства входят в типовую структурную схему измерителя уровней сигналов?

2.7.7 Почему в измерителях уровней применяются детекторы с квадратичной характеристикой?

Лабораторная работа КПЗ «ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ»

3.1 Цели работы

3.1.1 Изучение причин возникновения искажений сигналов в инфокоммуникационных системах.

3.1.2 Изучение методов измерения нелинейных искажений сигналов.

3.2 Краткие теоретические сведения

Использование в инфокоммуникационных системах сигналов сложной формы и различных видов модуляции, а также устройств для преобразования сигналов приводит к появлению искажений сигналов. Вследствие этого в спектре сигнала появляются гармоники высших порядков.

Во избежание потерь или искажения информации при передаче сигнала по линиям связи необходимо, чтобы принятый сигнал был как можно ближе к исходному.

Спектр сигнала представляет собой совокупность гармонических колебаний, на которые может быть разложено данное сложное колебательное движение.

В общем случае спектр сигнала содержит бесконечный ряд гармоник, амплитуды которых быстро убывают с увеличением их номера, так что практически приходится принимать во внимание только некоторое конечное их количество.

Гармоника – гармонический сигнал с амплитудой и начальной фазой, равными составляющим амплитудного и фазового спектра периодического сигнала при некотором значении аргумента [1]:

$$x_i(t) = A_i \sin(i\omega t + \varphi_i), \quad (3.1)$$

где i – номер гармоники.

О наличии высших гармоник, например, в гармоническом сигнале свидетельствует отличие формы сигнала от синусоидальной. Наличие искажений приводит к потере мощности сигнала.

Наилучшим образом спектр электромагнитных колебаний описывает ряд, состоящий из гармонических функций (ряд Фурье):

$$U(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(n\omega t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n(\omega) \cos(n\omega t + \varphi_n), \quad (3.2)$$

где $U_n(\omega) = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ – спектр амплитуд;

$\phi_i(\omega) = \text{arctg} \frac{A_i}{B_i}$ – спектр фаз.

Из выражения (3.2) можно сделать вывод, что спектры периодической последовательности сигналов являются **дискретными**. Форма огибающей спектра зависит от формы сигнала и не зависит от периода повторения T_x . В предельном случае спектральные линии образуют сплошной спектр.

Спектр непериодических сигналов (в частности, одиночных импульсов) описывается интегралом Фурье:

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (3.3)$$

где $S(j\omega)$ – комплексный аналитический спектр сигнала $U(t)$, который может быть представлен в следующем виде: $S(j\omega) = S_1(\omega) + jS_2(\omega)$.

Тогда спектр амплитуд непериодического сигнала (одиночного импульса) определяют по формуле

$$S(\omega) = \sqrt{S_1^2(\omega) + S_2^2(\omega)}, \quad (3.4)$$

а спектр фаз – по формуле

$$\phi(\omega) = \text{arctg} \frac{S_1(\omega)}{S_2(\omega)}. \quad (3.5)$$

Чем большее количество гармонических составляющих содержит сигнал, тем более он будет отличаться от гармонического. Дополнительные гармоники могут возникать вследствие прохождения сигнала в тракте передачи.

Любые изменения формы сигнала, обусловленные нелинейностью тракта передачи при прохождении через него исследуемого сигнала, называют **нелинейными искажениями**.

На практике наиболее часто для оценки нелинейных искажений сигналов используют **коэффициент гармоник (K_Γ)**, который характеризует отношение среднеквадратического значения напряжения возникающих гармонических составляющих к среднеквадратическому значению напряжения основной (первой) гармонической составляющей:

$$K_\Gamma = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_i^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}. \quad (3.6)$$

Значение K_Γ может изменяться в пределах от нуля до бесконечности.

Часто для оценки нелинейных искажений используют коэффициент нелинейных искажений, представляющий собой отношение среднеквадратического значения напряжения высших гармонических составляющих к среднеквадратическому значению всего искаженного сигнала:

$$K_{\text{НИ}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_i^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_i^2 + \dots + U_n^2}}. \quad (3.7)$$

Значения $K_{\text{НИ}}$ изменяются в диапазоне от 0 до 1.

Одним из способов измерения коэффициента нелинейных искажений представляется осциллографический, при котором прошедший через тракт передачи сигнал наблюдают на экране осциллографа и по форме сигнала судят о наличии и величине искажений.

3.3 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой источник исследуемых сигналов. В состав установки входит задающий генератор синусоидальных сигналов с изменяющейся частотой. Изменение частоты сигналов, а также полосы пропускания полосовых фильтров осуществляется с помощью переключателей **ВАРИАНТ** и **НОМЕР ТОЧКИ**.

Вид лицевой панели макета представлен на рисунке 3.1.

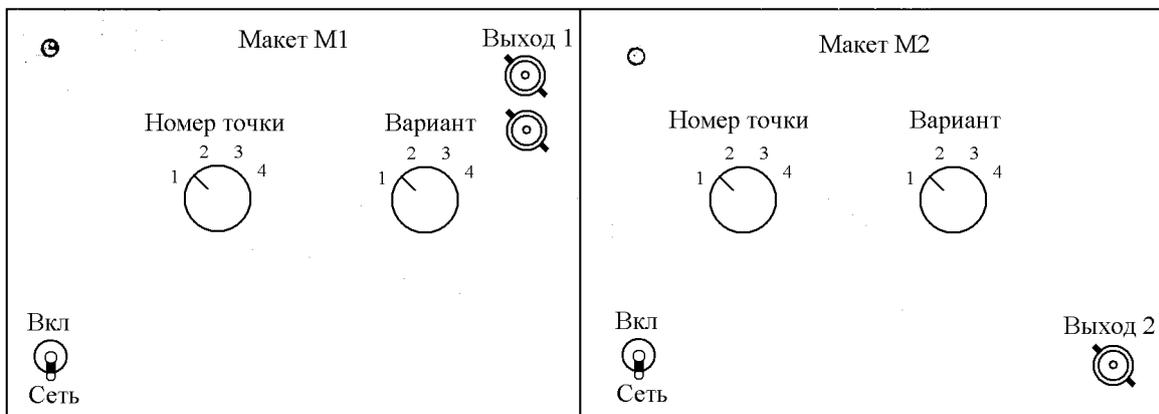


Рисунок 3.1 – Вид лицевой панели лабораторной установки

3.4 Подготовка к выполнению работы

3.4.1 По рекомендуемой литературе детально изучите методы измерения нелинейных искажений сигналов.

3.4.2 Изучите устройство, принцип действия и работу цифрового осциллографа, руководствуясь приложением В настоящего пособия, а также методику проведения измерений и оценки погрешностей полученных результатов.

Изучите устройство и принцип работы генератора Г4-117, руководствуясь приложением Г настоящего пособия.

3.4.3 Сделайте заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями приложения А данного учебно-методического пособия.

3.4.4 Ответьте на контрольные вопросы.

3.5 Лабораторное задание

3.5.1 Провести анализ формы измерительного сигнала.

3.5.2 Измерить мощность, передаваемую сигналом.

3.5.3 Произвести аппроксимацию исследуемого сигнала идеальным гармоническим сигналом и спрогнозируйте его параметры.

3.5.4 Определить процент искажений сигнала.

3.6 Порядок выполнения работы

3.6.1 Установите переключатель **ВАРИАНТ** лабораторной установки в положение, соответствующее номеру варианта. Номер варианта выберите исходя из номера бригады (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер варианта	1	2	3	4	4	3	2	1
Номера точек	1, 2	1, 3	2, 3	2, 4	1, 4	2, 4	1, 2	2, 3

3.6.2 Установите на лабораторной установке номер первой точки, выбрав ее из таблицы 3.1.

3.6.3 Подготовьте к работе осциллограф АКПП-4115/1А и генератор Г4-117, руководствуясь приложениями В и Г настоящего пособия.

3.6.4 Получите изображение сигнала на экране осциллографа, руководствуясь методикой, изложенной в приложении В настоящего пособия.

3.6.5 Измерьте площадь под кривой в течение первого полупериода измеряемого сигнала, руководствуясь приложением В настоящего пособия.

3.6.6 Проведите аппроксимацию полученного изображения гармоническим сигналом и оцените мощность передаваемого сигнала, проинтегрировав площадь под кривой.

3.6.7 Определите процентное соотношение передаваемой мощности.

3.6.8 Оцените погрешность измерения передаваемой мощности, руководствуясь метрологическими характеристиками осциллографа.

3.6.9 Повторите измерения по пунктам 3.6.4–3.6.8 для второй точки вашего варианта.

3.6.10 Занесите результаты измерений и расчетов в таблицу. Форму таблицы разработайте самостоятельно с учетом измеренных параметров и оцененных погрешностей.

3.7 Контрольные вопросы

3.7.1 Дайте определение спектру сигнала.

3.7.2 Как по виду сигнала можно судить о наличии в спектре сигнала высших гармоник?

3.7.3 Что такое коэффициент гармоник и каким образом его значение связано с искажениями исходного сигнала?

3.7.4 Каким образом можно определить коэффициент гармоник?

3.7.5 Поясните сущность осциллографического метода измерения коэффициента гармоник.

Лабораторная работа КП4 «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ»

4.1 Цели работы

4.1.1 Изучение импульсного метода измерения параметров линий связи.

4.1.2 Изучение устройства и принципа действия измерительного прибора «РД Мастер» и приобретение практических навыков работы с ним.

4.2 Краткие теоретические сведения

Импульсный метод измерения параметров линий связи основывается на явлении отражения электромагнитных волн в местах изменения волнового сопротивления линии.

Принцип импульсных измерений заключается в том, что в исследуемую линию подаются короткие зондирующие импульсы напряжения, которые при распространении по линии частично или полностью отражаются от различных неоднородностей (короткого замыкания, обрыва, изменения волнового сопротивления линии, уменьшения сопротивления изоляции).

Отраженные сигналы возвращаются к источнику зондирующего сигнала; в результате получается рефлектограмма исследуемой линии. По положению отраженных сигналов относительно фронта зондирующего сигнала определяют расстояние l_x до неоднородности по формуле

$$l_x = 0,5 V t, \quad (4.1)$$

где $V = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}}$ – скорость распространения электромагнитной волны в линии;

c – скорость света;

ε – диэлектрическая проницаемость материала линии;

t – время прохождения сигнала от источника до неоднородности и обратно.

Уменьшение скорости распространения электромагнитной волны V по отношению к скорости света c характеризуется коэффициентом укорочения электромагнитной волны $\gamma = \frac{c}{V}$. Значения γ для различных типов кабелей приводятся в справочной литературе.

Влияние неоднородности на передачу сигнала в линии описывается коэффициентом отражения

$$\Gamma = \frac{U_0}{U_3}, \quad (4.2)$$

где U_3 и U_0 – амплитуды зондирующего и отраженного сигналов соответственно.

Знак коэффициента отражения определяет характер неоднородности.

Сохранение знака отраженного сигнала свидетельствует о возрастании сопротивления в месте отражения, а изменение знака – об уменьшении сопротивления. Например, при $\Gamma = +1$ – в линии обрыв, при $\Gamma = -1$ – линия замкнута накоротко.

В качестве примера на рисунке 4.1, *а* приведена эквивалентная схема разомкнутой линии передачи длиной $l_л$ с плохим контактом ($R1$) на расстоянии l_1 и утечкой ($R2$) на расстоянии l_2 , а на рисунке 4.1, *б* изображена рефлектограмма этой линии при зондировании ее коротким видеоимпульсом.

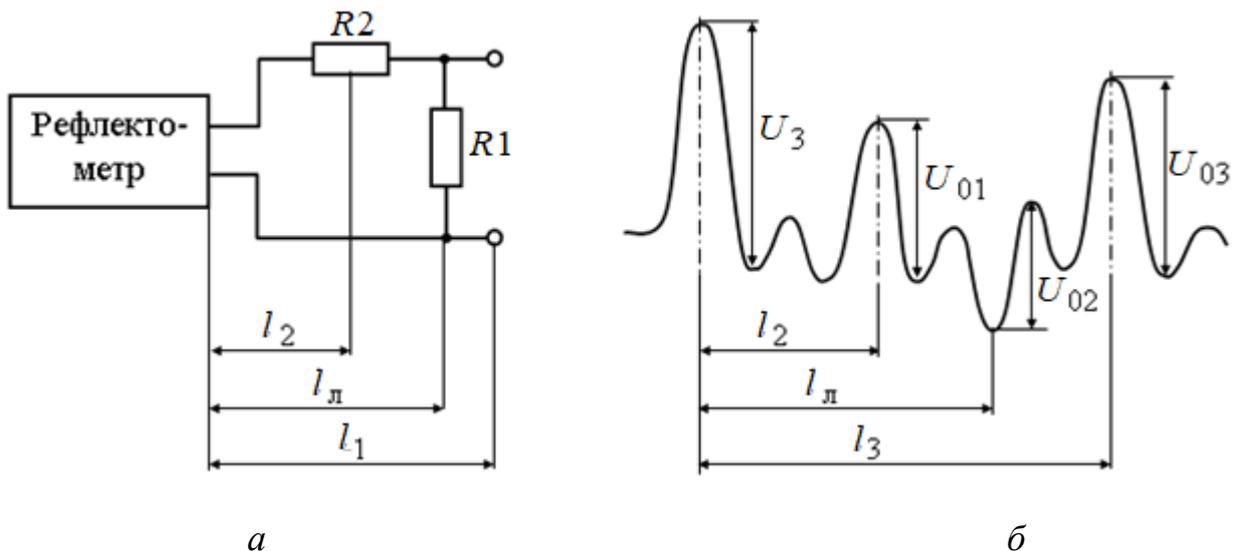


Рисунок 4.1 – Эквивалентная схема линии (*а*) и ее рефлектограмма (*б*)

4.3 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рисунок 4.2) представляет собой набор искусственных линий передачи, выбор которых осуществляется с помощью переключателя **ВАРИАНТ**. Выбор сопротивления нагрузки искусственной линии передачи осуществляется с помощью переключателя **ВЫХОД**.

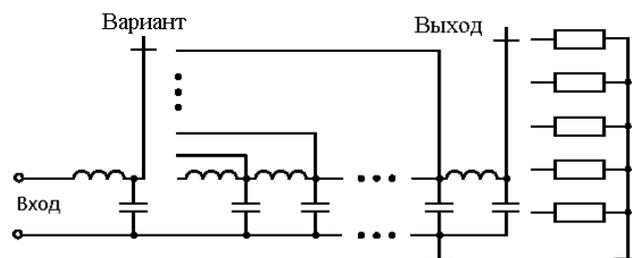


Рисунок 4.2 – Схема лабораторной установки

Внешний вид передней панели лабораторной установки приведен на рисунке 4.3.

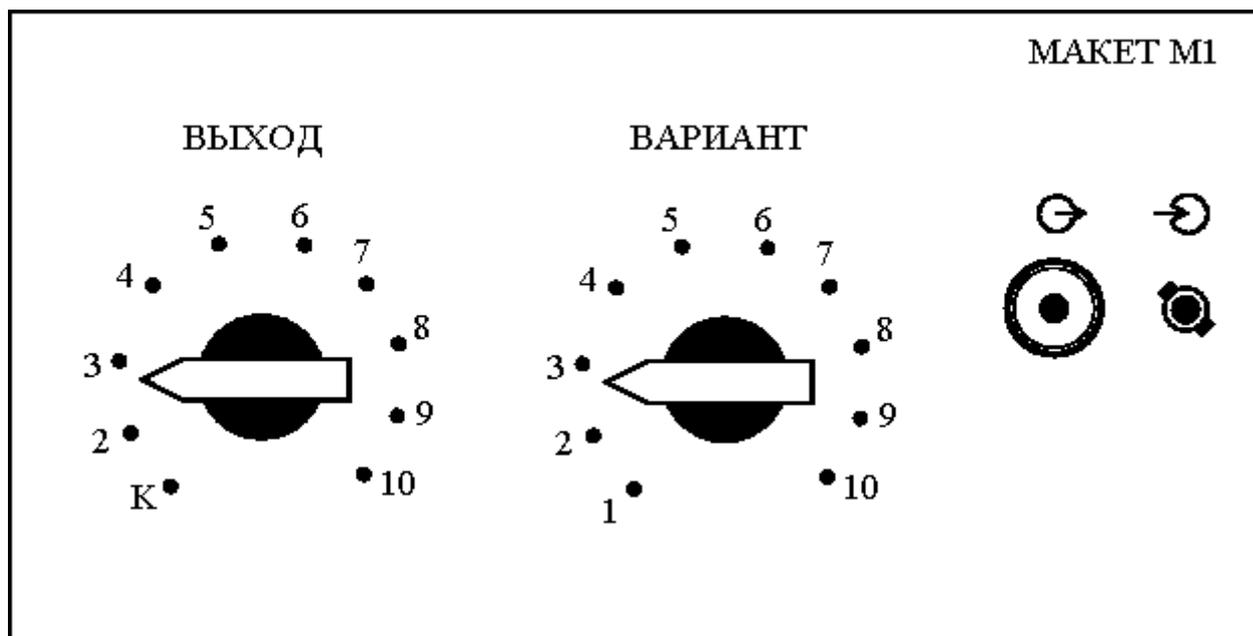


Рисунок 4.3 – Внешний вид передней панели лабораторной установки

4.4 Подготовка к выполнению работы

4.4.1 По рекомендуемой литературе детально изучите методы поиска неоднородностей в линиях передачи и методы определения характера неоднородности и измерения расстояния до них.

4.4.2 По приложению Е настоящего пособия изучите устройство, принцип действия и порядок работы с прибором «РД Мастер», а также методику проведения с его помощью измерений параметров и характеристик линий связи и оценки погрешностей полученных результатов измерений.

4.4.3 Сделайте заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями приложения А.

4.4.4 Ответьте на контрольные вопросы.

4.5 Лабораторное задание

4.5.1 Исследовать с помощью прибора «РД Мастер» искусственную несимметричную и реальную симметричную линии связи и измерить их параметры в различных режимах работы.

4.6 Порядок выполнения работы

4.6.1 Выполните измерения в соответствии с п. 4.5.1 лабораторного задания. Измерения проводите в следующей последовательности.

4.6.1.1 Подготовьте к проведению измерений прибор «РД Мастер» согласно п. Е.5 приложения Е.

Переключатель **ВАРИАНТ** установите в положение К.

4.6.1.2 Соедините разъемы \ominus прибора «РД Мастер» и \ominus лабораторной установки с помощью коаксиального кабеля.

Получите на экране прибора «РД Мастер» рефлектограмму линии известной длины ($l = 1$ м), руководствуясь методикой п. Е.4 приложения Е, и измерьте значение коэффициента укорочения γ .

Занесите результаты измерения в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Параметры										
Измеренные							Вычисленные			
искусственная линия		реальная линия								
γ	l_{x1}	l_{x2}	l'_{x1}	l'_{x2}	$U_{зонд}$	$U_{отр}$	Γ	$\Delta\gamma$	Δl_x	$\Delta\Gamma$

4.6.1.3 Установите переключатель **ВАРИАНТ** и **ВЫХОД** в положения, соответствующие последней цифре номера бригады.

4.6.1.4 Произведите измерение расстояния l_x до неоднородностей, руководствуясь методикой п. Е.5 приложения Е настоящего пособия.

Зарисуйте полученную рефлектограмму и оцените характер неоднородности или повреждения в исследуемой линии.

Занесите результаты измерений в таблицу 4.1.

4.6.1.5 Отключите соединительный кабель от разъема \ominus лабораторной установки и подключите к данному разъему реальную линию передачи в соответствии с таблицей 4.2.

Таблица 4.2

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер линии передачи	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2

4.6.1.6 Произведите исследование реальной линии передачи в соответствии с п. Е.5 приложения Е настоящего пособия.

Определите значение коэффициента Γ для неоднородностей исследуемой реальной линии передачи. Определите характер неоднородностей. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 4.1.

4.6.1.7 Оцените инструментальные погрешности измерения коэффициента укорочения $\Delta\gamma$, расстояний до неоднородностей Δl_x и коэффициента отражения $\Delta\Gamma$, пользуясь техническими характеристиками прибора «РД Мастер».

Занесите результаты вычислений в таблицу 4.1.

4.7 Контрольные вопросы

4.7.1 Какие параметры линий связи измеряются при их эксплуатации?

4.7.2 В чем заключается сущность импульсного метода измерения параметров линий связи?

4.7.3 Какие типы повреждений в линиях связи могут быть определены импульсным методом измерения?

4.7.4 Какие параметры линий связи могут быть измерены приборами, реализующими импульсный метод?

4.7.5 Какова методика определения повреждений и измерения параметров линий связи с помощью прибора «РД Мастер»?

4.7.6 Приведите наиболее характерные примеры повреждений в линиях связи и их рефлектограммы.

Лабораторная работа КП5 «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ»

5.1 Цели работы

5.1.1 Изучение методов панорамного исследования амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик четырехполюсников.

5.1.2 Изучение методов определения параметров электрических цепей по амплитудно- и фазочастотным характеристикам.

5.1.3 Определение погрешностей измерения параметров амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик.

5.2 Краткие теоретические сведения

По числу внешних зажимов электрические цепи подразделяются на двухполюсники, четырехполюсники (ЧП) и многополюсники.

Четырехполюсником называют часть электрической цепи, имеющую две пары внешних разъемов, через которые она подключается к остальной цепи (рисунок 5.1).

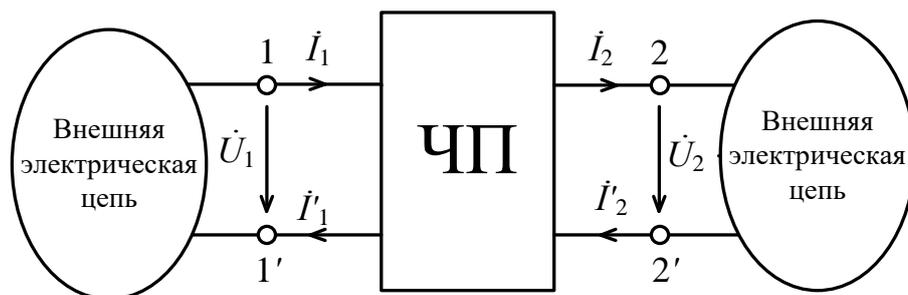


Рисунок 5.1 – Модель четырехполюсника

Зажимы 1-1' – входные, 2-2' – выходные. К входным разъемам ЧП, как правило, подключается источник электрической энергии, к выходным разъемам – нагрузка.

Основным назначением ЧП является передача электроэнергии (информации) от источника к потребителю и преобразование ее параметров (усиления, ослабления); стабилизация амплитуды колебаний; разделение или преобразование частот; обеспечение фазовых сдвигов сигналов и др.

В теории ЧП исследуются общие свойства входящей в четырехполюсник электрической цепи по отношению к ее внешним зажимам независимо от конкретного вида схемы цепи.

В радиоэлектронике широко распространены цепи и устройства, представляющие собой ЧП.

Линейным называют ЧП, не содержащий в своей цепи нелинейных элементов, т. е. напряжение и ток на его выходных зажимах линейно зависят от напряжения и тока на входных зажимах.

Важнейшей характеристикой линейного ЧП является коэффициент передачи K_{Π} , определяемый отношением комплексных амплитуд синусоидальных напряжений на выходе $U_{\text{ВЫХ}}$ и входе $U_{\text{ВХ}}$ на частоте ω :

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}. \quad (5.1)$$

Комплексный коэффициент передачи можно представить в виде

$$K(j\omega) = |K(\omega)|e^{j\varphi(\omega)} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} e^{j(\varphi_2 - \varphi_1)}, \quad (5.2)$$

где φ_1 и φ_2 – начальные фазы сигналов на выходе и входе ЧП соответственно.

Зависимость модуля коэффициента передачи $|K(\omega)|$ от частоты исследуемого сигнала называется **амплитудно-частотной** характеристикой (АЧХ).

$|K(\omega)|$ имеет смысл **коэффициента ослабления** на различных частотах для пассивных ЧП и **коэффициента усиления** для активных ЧП.

Зависимость аргумента коэффициента передачи $\varphi(\omega)$ от частоты исследуемого сигнала называется **фазочастотной** характеристикой (ФЧХ). Она характеризует зависимость фазовых сдвигов исследуемого сигнала, вносимых ЧП на различных частотах.

Модуль коэффициента передачи является безразмерной величиной, однако на практике, если коэффициент передачи изменяется в очень больших пределах, удобно использовать логарифмические единицы. Часто применяется внесистемная единица децибел (дБ), определяемая при сравнении напряжений как

$$1 \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \text{ при } \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} 10^{1/20} = 1,122, \quad (5.3)$$

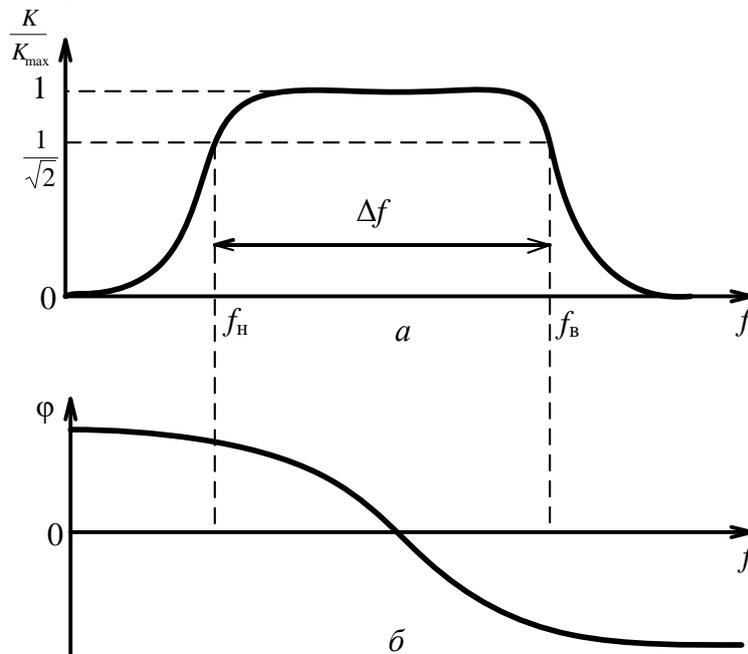
а при сравнении мощностей как

$$1 \text{ дБ} = 10 \lg \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \text{ при } \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} 10^{1/10} = 1,259. \quad (5.4)$$

Значение коэффициента передачи может характеризовать как усиление, так и ослабление сигнала. Поэтому перед значением $|K(\omega)|$ может стоять знак плюс или минус.

Как правило, АЧХ реальной цепи нелинейна, а ФЧХ монотонна в зависимости от частоты (рисунок 5.2). В области некоторой полосы частот отклик линейной цепи на входное воздействие начинает уменьшаться. В связи с этим используют понятия полосы пропускания и ширины полосы пропускания ЧП.

Полоса пропускания – это диапазон частот, в пределах которого модуль коэффициента передачи $|K(\omega)|$ ЧП достаточно равномерен для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.



a – амплитудно-частотная характеристика; b – фазочастотная характеристика

Рисунок 5.2 – Частотные характеристики линейной цепи

Ширина полосы пропускания – полоса частот, в пределах которой неравномерность $|K(\omega)|$ не превышает заданной. Она определяется как разность верхней и нижней частот диапазона, в пределах которого амплитуда сигнала уменьшается в $\frac{1}{\sqrt{2}}$ раз от максимального значения.

Отношение $\frac{1}{\sqrt{2}}$ соответствует уменьшению модуля коэффициента передачи ЧП на 3 дБ по напряжению.

На рисунке 5.2 полоса пропускания линейной цепи заключена в области от **нижней** f_H до **верхней** f_B частоты, и поэтому ее ширина определяется как

$$\Delta f = f_B - f_H. \quad (5.5)$$

К основным методам измерения частотных характеристик (ЧХ) ЧП можно отнести следующие:

- панорамный метод исследования ЧХ ЧП;
- исследование ЧХ ЧП «по точкам».

Панорамный метод исследования ЧХ ЧП реализован в **панорамных измерителях**, к которым относятся приборы, позволяющие производить визуальное наблюдение зависимости (панорамы) исследуемой характеристики ЧП от частоты измерительного сигнала в заданном диапазоне частот на экране осциллографического индикатора.

Одним из основных функциональных узлов панорамных приборов является генератор сигнала качающейся частоты (ГСКЧ), служащий источником измерительного сигнала с линейно изменяемой частотой в течение определенного интервала времени. С помощью ГСКЧ создается частотная ось панорамы.

Вторым элементом панорамных приборов является осциллографический индикатор, в качестве которого используется электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Чаще всего панорамные приборы используются для исследования АЧХ и ФЧХ пассивных и активных ЧП с сосредоточенными или распределенными постоянными.

Структурная схема панорамного измерителя АЧХ и ФЧХ ЧП представлена на рисунке 5.3.

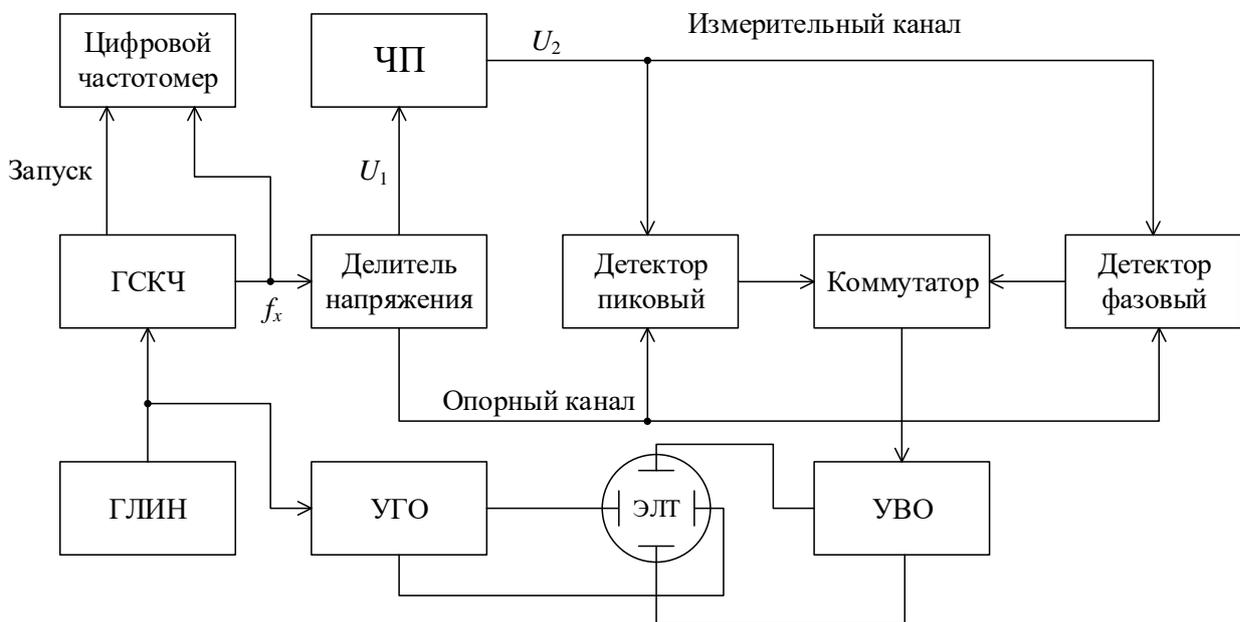


Рисунок 5.3 – Структурная схема панорамного измерителя амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик четырехполюсников

Выходной сигнал ГСКЧ с помощью делителя разделяется на опорный и измерительный сигналы.

Измерительный сигнал подается на вход исследуемого ЧП, выходной сигнал которого совместно с опорным сигналом детектируется амплитудным или фазовым детектором (в зависимости от вида измеряемой характеристики) и поступает на вход усилителя вертикального отклонения (УВО), управляющего отклонением луча ЭЛТ по вертикали.

Отклонение луча ЭЛТ по горизонтали осуществляется выходным сигналом генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), усиленного с помощью усилителя горизонтального отклонения (УГО). Перестройка частоты выходного сигнала ГСКЧ также осуществляется выходным сигналом ГЛИН, что обеспечивает создание частотной оси панорамы, линейный частотный масштаб и одинаковую яркость свечения всех участков наблюдаемых характеристик.

Часть выходного сигнала ГСКЧ подается на цифровой частотомер, работающий в зависимости от режима измерения (анализ АЧХ и ФЧХ или измерение ослабления АХ и фазового сдвига ФХ) при ручном или автоматическом запуске соответственно.

Использование цифрового частотомера обеспечивает измерение частоты выходного сигнала ГСКЧ в выбранных оператором частотных точках АЧХ или ФЧХ.

Метод исследования частотных характеристик ЧХ ЧП «по точкам» предусматривает использование генератора синусоидальных сигналов, вольтметра или измерителя мощности.

Сигнал фиксированной частоты с генератора подается на исследуемый ЧП; при этом на выходе ЧП изменяются уровень и фаза сигнала. Модуль коэффициента передачи рассчитывается по формуле (5.2).

Проведение таких измерений на разных частотах позволяет получить совокупность точек, по которым может быть построена кривая АЧХ или ФЧХ.

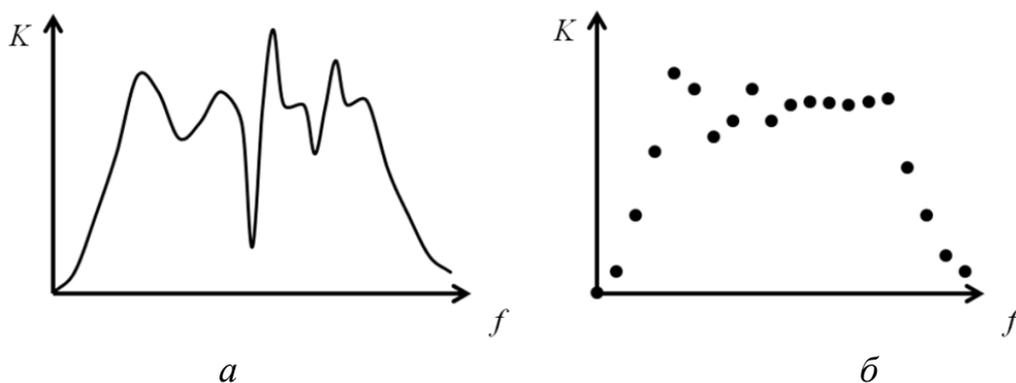
Данный метод удобен при автоматизации измерений и проведении дополнительных математических действий над полученными данными с помощью ЭВМ, однако он обладает рядом недостатков:

- снятие кривой АЧХ (ФЧХ) по точкам, число которых находится в прямой зависимости от требуемой точности описания кривой, занимает длительное время;

- ввиду дискретности воспроизведения АЧХ (ФЧХ) возможен пропуск резких изменений кривой в промежутках между точками (рисунок 5.4);

- при длительных измерениях на характер кривой АЧХ (ФЧХ) оказывает влияние изменение температуры окружающей среды и питающего напряжения.

Наиболее перспективным путем повышения быстродействия систем, реализующих данный метод измерения ЧХ, является использование в составе приборов встроенных средств вычислительной техники: микропроцессорных систем и микроЭВМ (рисунок 5.5).



a – действительная кривая АЧХ; *б* – АЧХ, снятая по точкам
 Рисунок 5.4 – Исследование кривой АЧХ по точкам

Встроенная микропроцессорная система выполняет следующие функции:

- обеспечивает диалог оператора с прибором и представляет при этом измерительную информацию в более удобном цифровом виде;
- обеспечивает контроль правильности действий оператора и самоконтроль прибора, что повышает производительность и безошибочность труда оператора;
- организует интерфейс, что позволяет использовать прибор в составе больших автоматизированных измерительных систем;

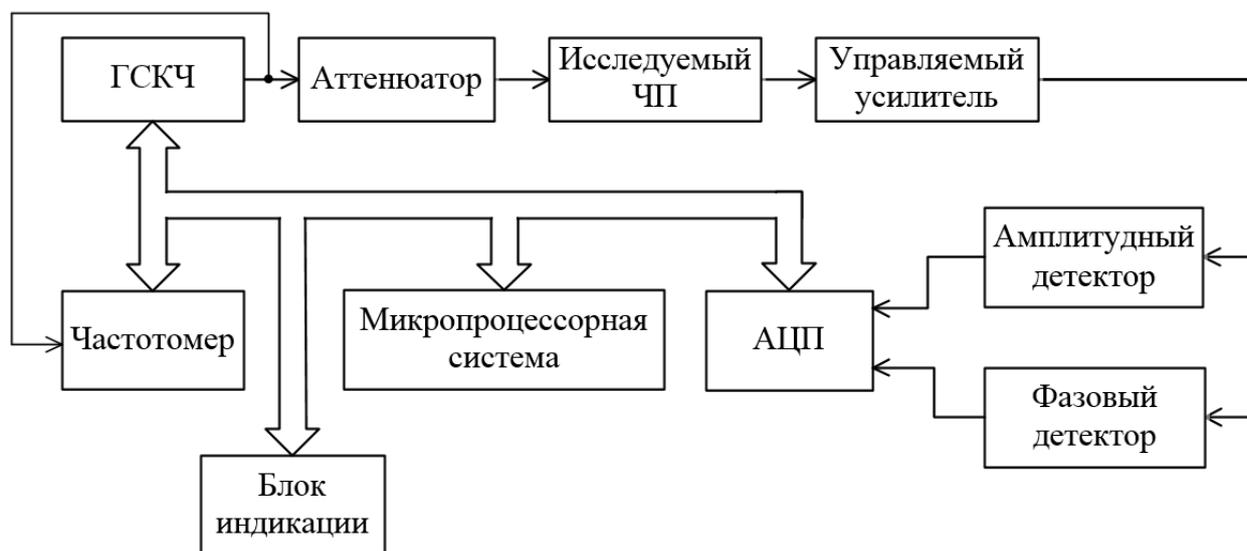


Рисунок 5.5 – Структурная схема измерителя ЧХ со встроенной микропроцессорной системой

- повышает точность измерений путем учета факторов, влияющих на точностные характеристики прибора, при вычислении результата измерения.

На основе поступающей в микропроцессорную систему информации об уровне и фазе выходного сигнала с управляемого усилителя и частоте выходного

сигнала с детектора производится расчет параметров ЧХ исследуемого ЧП. При этом может производиться коррекция неравномерности собственных АЧХ и ФЧХ измерителя, что повышает точность измерения.

Для работы с малыми уровнями сигнала с целью уменьшения влияния шумов и помех возможен режим многократной выборки и усреднения результатов измерения.

Функционирование прибора осуществляется по следующему алгоритму:

- устанавливаются параметры изменения частоты ГСКЧ;
- осуществляется сбор и обработка данных;
- производится индикация измеренных значений;
- осуществляется управление режимами работы измерителя.

На первом этапе устанавливаются начальная и конечная частоты качания по данным, введенным пользователем. Выбранные значения частот вводятся в оперативное запоминающее устройство микропроцессорной системы, и осуществляется проверка корректности введенных значений. При неверном выборе диапазона изменения частоты измеритель выдаст значение ошибки.

Частота ГСКЧ меняется дискретно с требуемым шагом. После прохождения каждой точки полосы качания производятся сбор и обработка данных, соответствующих этой точке, а затем переход к следующей точке полосы качания.

Получение и обработку данных об амплитуде и фазе измеряемого сигнала обеспечивает алгоритм сбора и обработки данных.

Сначала определяется длительность интервала выборки значений. При этом учитываются период выходного сигнала и необходимое время задержки. Затем запускается аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В результате получают данные об амплитуде и фазе исследуемого сигнала. В режиме измерения с усреднением цикл измерения в каждой точке полосы качания повторяется заданное число раз с последующим усреднением результата измерения.

Вывод на экран результатов измерений в цифровой и графической формах обеспечивается алгоритмом индикации.

В графической форме отображаются кривые частотных характеристик исследуемого ЧП в линейном или логарифмическом масштабе.

В цифровой форме отображается информация о граничных частотах полосы качания, значение частоты в точке, отмеченной частотной меткой, фазовые сдвиги и ослабление в этой точке в децибелах или относительных значениях.

Алгоритм управления режимами позволяет расширить функциональные возможности прибора, обеспечивая следующие режимы работы:

- внешнее управление прибором;
- вывод измерительной информации на внешнее регистрирующее устройство;

- измерение с произвольно выбранной задержкой;
- повышение точности измерений при наличии помех путем усреднения результатов измерений;
- запоминание текущих данных в отдельной памяти прибора.

Панорамное измерение частотных характеристик различных цепей удобно реализуется в **программной среде LabVIEW** с использованием совместимого с ней оборудования.

Так как *LabVIEW* реализует концепцию графического программирования, исходный код программы представляет собой блок-диаграмму (соединенные друг с другом пиктограммы элементов языка программирования), которая затем компилируется в машинный код. Несмотря на такой подход, в языке используются те же конструкции и методы программирования, что и в других языках: типы данных, циклы, переменные, рекурсия, обработка событий и объектно-ориентированное программирование.

На рисунке 5.6 *a, б* представлен пример программы, имитирующий работу развертки осциллографа. На осях *X* и *Y* откладываются значения синусоидальных сигналов, имеющих задаваемый фазовый сдвиг друг относительно друга.

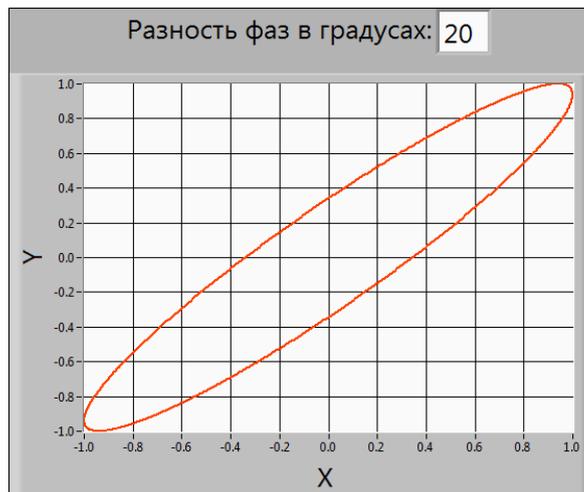
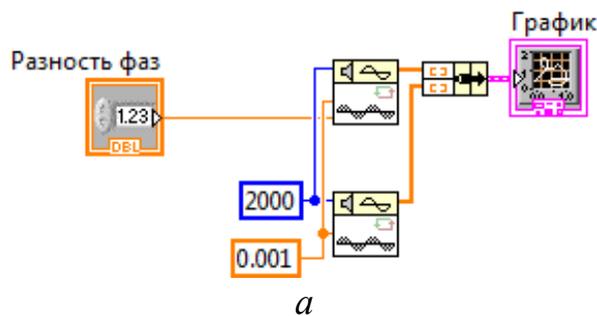
Узлы программы – функции, циклы и прочие конструкции языка – получают данные через входы, производят их обработку и выводят данные с помощью выходов.

Как только значения параметров поступают на каждый из входных терминалов узла, происходит выполнение кода узла, после чего значения выходных параметров оказываются доступными на выходных терминалах узла для их дальнейшей передачи на другие узлы согласно логике потока данных. При наличии двух последовательно связанных узлов второй код сможет быть выполнен только после получения данных от предыдущего.

Каждый новый проект в *LabVIEW* имеет область для создания программы и лицевую панель, через которую пользователь может взаимодействовать с программой, если это необходимо. На лицевой панели располагаются элементы управления и отображения информации. Информация может представляться численно либо графически.

В *LabVIEW* имеются готовые библиотеки элементов управления (кнопки, рычаги, ручки, ползунки), имитирующие элементы управления реальных устройств, а также элементы отображения (графики, световые индикаторы, числовые индикаторы). Интерфейс программы полностью настраиваемый: разработчик может создавать свои собственные элементы управления и отображения информации.

Совмещение этих возможностей позволяет создавать компьютерные измерительные системы для частотно-временного, спектрального анализа, позволяет проводить радиоизмерения и контроль параметров. Высокая степень интеграции с оборудованием и множество уникальных особенностей делают *LabVIEW* удобной программной платформой для решения комплексных инженерных и промышленных задач.



а – графический код программы; б – лицевая панель программы
 Рисунок 5.6 – Пример графического кода программы

5.3 Описание лабораторной установки

5.3.1 В состав лабораторной установки входит компьютерно-измерительная система и лабораторный макет.

Внешний вид лабораторного макета с узкополосным активным фильтром второго порядка представлен на рисунке 5.7. Питание макета осуществляется от питающей сети компьютера посредством *USB*-кабеля.

Подача на макет измерительного сигнала и регистрация сигналов измерительной информации осуществляется через указанные на рисунке 5.7 соединительные разъемы соединительного (коннекторного) блока.

5.3.2 В качестве лабораторного макета при выполнении лабораторной работы используется регулируемый активный полосовой фильтр второго порядка. Электрическая принципиальная схема узкополосного активного фильтра представлена на рисунке 5.8.

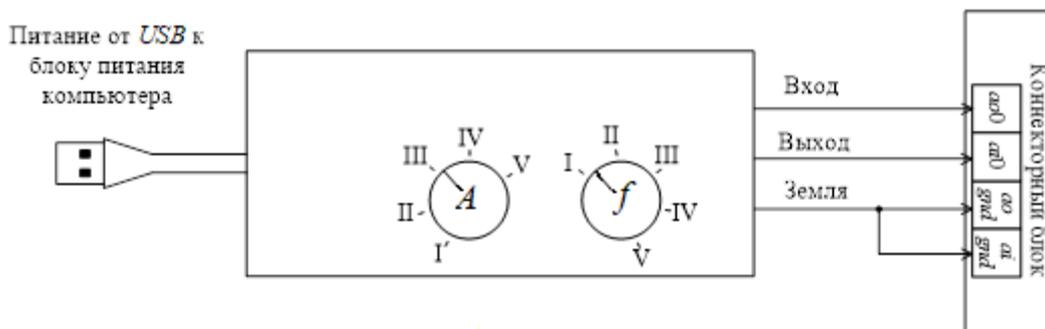


Рисунок 5.7 – Схематическое изображение лабораторной установки

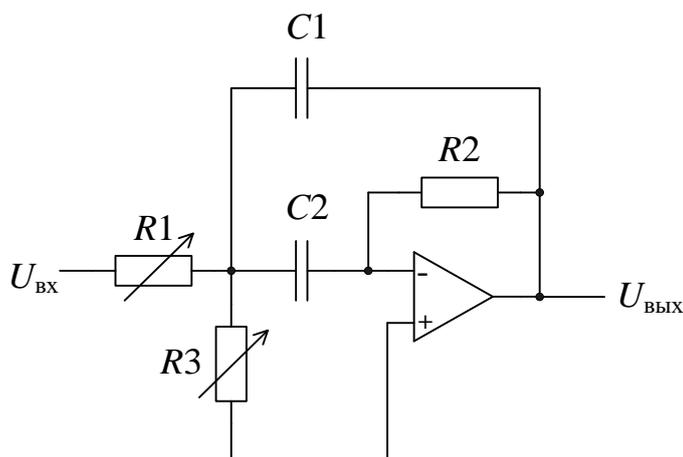


Рисунок 5.8 – Электрическая схема узкополосного активного фильтра второго порядка на операционном усилителе

Полосовой фильтр построен по схеме с многпетлевой обратной связью. Параметры фильтра зависят от значений элементов в схеме следующим образом. Центральная частота полосы пропускания фильтра $f_{Ц}$, на которой он имеет максимальный коэффициент усиления, Гц (при условии $C1 = C2 = C$), равна

$$f_{Ц} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2 \cdot R3}} \quad (5.6)$$

Коэффициент передачи по напряжению полосового фильтра на частоте $f_{Ц}$ определяется по формуле

$$K_{Ц} = -\frac{R2}{2R1} \quad (5.7)$$

а добротность – по формуле

$$Q = \pi \cdot f_{Ц} \cdot R2 \cdot C \quad (5.8)$$

В данном фильтре имеется возможность независимой регулировки центральной частоты и коэффициента усиления.

Изменение центральной частоты полосы пропускания производится изменением сопротивления $R3$ в соответствии с формулой (5.1) (ручка f на рисунке 5.7).

Регулировка коэффициента усиления производится изменением сопротивления резистора $R1$ в соответствии с формулой (5.2) (ручка A на рисунке 5.7).

5.3.3 Компьютерно-измерительная система (КИС) для исследования частотных характеристик на базе персонального компьютера и платы *NI PCI-6251* (подробное описание устройства приведено в приложении Ж).

5.3.4 Программное обеспечение, созданное в графической среде программирования *LabVIEW*.

5.4 Подготовка к выполнению работы

5.4.1 Перед выполнением работы ознакомиться с основными способами исследования АЧХ и ФЧХ цепей.

5.4.2 Изучить устройство, принцип действия и порядок работы с компьютерно-измерительной системой для исследования частотных характеристик на базе ЭВМ и платы *NI PCI-6251* по приложению Ж настоящего пособия.

5.4.3 Ответить на контрольные вопросы.

5.4.4 Решить задачу согласно варианту и привести ее в заготовке отчета по лабораторной работе.

Синусоидальный сигнал с частотой f_c модулирован сигналом с частотой f_m . Определить емкость конденсатора C и добротность Q LC-фильтра, обеспечивающего выделение спектра данного амплитудно-модулированного сигнала.

Индуктивность L принять равной 1 мГн. Частоты сигналов для решения задачи выбрать из таблицы 5.1 в соответствии с номером бригады.

Таблица 5.1 – Значения несущей частоты и частоты модулирующего сигнала

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
f_c , кГц	10	20	30	40	50
f_m , Гц	200	300	400	500	600

5.4.5 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями приложения А настоящего пособия.

5.5 Лабораторное задание

5.5.1 Произвести наблюдение АЧХ и ФЧХ исследуемого фильтра.

5.5.2 Измерить центральную частоту полосы пропускания полосового фильтра, коэффициент усиления и фазовый сдвиг.

5.5.3 Определить полосу пропускания фильтра и его добротность.

5.5.4 Определить погрешности измерения частоты, коэффициента передачи и фазовых сдвигов.

5.6 Порядок выполнения работы

5.6.1 Работа выполняется в соответствии с заданным вариантом по данным, приведенным в таблице 5.2, в которой указаны положения ручек A и f лабораторного макета.

Таблица 5.2 – Положение ручек управления лабораторного макета

Номер бригады	Ручка A	Ручка f
1	III	IV
2	I	III
3	II	V
4	II	II
5	IV	I

5.6.2 Откройте файл *FrequencyResponce.vi*, находящийся в папке *D:/AMR/КИС АЧХ*. При загрузке данного файла на экране дисплея появится изображение передней панели программного обеспечения для управления КИС. Описание элементов управления находится в приложении Ж.

5.6.3 Выполните измерения в соответствии с п. 5.5.1 лабораторного задания.

5.6.3.1 Установите ручки регулировок коэффициента усиления (ручка A) и центральной частоты (ручка f) лабораторного макета в положения, приведенные в таблице 5.2, в соответствии с вариантом.

5.6.3.2 Для начала работы с виртуальным прибором нажмите кнопку  (*Run*) в верхнем левом углу экрана.

5.6.3.3 После этого нажмите кнопку  (Старт) на передней панели интерфейса программного обеспечения для инициализации построения графиков АЧХ и ФЧХ. Наблюдайте построение графиков в течение нескольких циклов. Убедитесь, что АЧХ и ФЧХ не изменяется с каждым новым циклом измерения.

5.6.3.4 Для включения однократного панорамного воспроизведения АЧХ и ФЧХ нажмите кнопку . Дождитесь завершения построения графиков на экране дисплея персонального компьютера.

На экране дисплея будут представлены АЧХ и ФЧХ полосового фильтра во всем диапазоне измерений.

5.6.3.5 Измените пределы воспроизведения модуля коэффициента передачи K_U , дБ и фазовых сдвигов φ , град для обеспечения детального наблюдения графиков АЧХ и ФЧХ.

Сохраните полученные графики, нажав кнопку .

5.6.4 Измерение центральной частоты полосы пропускания фильтра и коэффициента усиления.

5.6.4.1 Установите с помощью ползунка Частота, Гц область частот, в пределах которой находится максимальное значение АЧХ.

Уменьшите шаг изменения частоты в 10, 100 или 1000 раз и нажмите кнопку очищения экрана  для воспроизведения характеристик с выбранным шагом изменения частоты.

5.6.4.2 Установите перекрестие курсора АЧХ на максимальное значение коэффициента передачи. Курсор ФЧХ установите на то же значение частоты, что и курсор АЧХ.

Занесите измеренные значения центральной частоты, коэффициента передачи и фазовых сдвигов на данной частоте в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Значения измеряемых параметров и оценки погрешности их измерения

Параметр		f , Гц	K_U , дБ	φ , °
$f_{Ц}$	Результат измерения			
	Погрешность измерения			
$f_{В}$	Результат измерения			
	Погрешность измерения			
$f_{Н}$	Результат измерения			
	Погрешность измерения			
Полоса пропускания, Δf , Гц				
Добротность, Q				

5.6.5 Определение полосы пропускания и добротности полосового фильтра

5.6.5.1 Переместите курсор АЧХ от центральной частоты влево на уровень -3 дБ от максимального значения коэффициента усиления и измерьте значения K_U , дБ и $f_{Н}$.

Занесите измеренные значения частоты $f_{Н}$, коэффициента передачи K_U и фазового сдвига φ на заданной частоте в таблицу 5.3.

5.6.5.2 Переместите курсор АЧХ от центральной частоты вправо на уровень -3 дБ от максимального значения коэффициента усиления и измерьте значения K_U , дБ и $f_{В}$.

Занесите измеренные значения частоты $f_{В}$, коэффициента передачи K_U и фазы φ на заданной частоте в таблицу 5.3.

5.6.5.3 Определите значение полосы пропускания полосового фильтра Δf по формуле (5.5). Результаты расчета занесите в таблицу 5.3.

5.6.5.4 Рассчитайте добротность полосового фильтра по формуле

$$Q = \frac{f_{\text{Ц}}}{\Delta f}. \quad (5.9)$$

Занесите результаты расчетов в таблицу 5.3.

5.6.6 Определите абсолютную погрешность измерения коэффициента передачи, разности фаз и частоты, используя технические характеристики КИС (приложение Ж). Занесите полученные значения в таблицу 5.3.

5.7 Контрольные вопросы

5.7.1 Какие ЧП называются линейными?

5.7.2 Перечислите измеряемые параметры пассивных и активных ЧП и дайте им определение.

5.7.3 Дайте определение АЧХ и ФЧХ ЧП и поясните их физический смысл.

5.7.4 Чем обусловлено наличие ослабления и фазового сдвига в ЧП? Почему эти параметры могут меняться на разных частотах?

5.7.5 К чему приводит наличие неучтенной неравномерности частотных характеристик в линейных и нелинейных цепях при обработке сигналов?

5.7.6 Какие методы применяются для измерения ослабления ЧП и вносимых ими фазовых сдвигов на разных частотах?

5.7.7 Что собой представляют измерительные приборы для панорамного исследования АЧХ и ФЧХ ЧП?

5.7.8 Какой метод применяется при автоматизации измерений частотных характеристик и как он реализуется на практике?

5.7.9 Поясните принцип действия КИС, используемой в данной работе.

5.7.10 Каковы преимущества использования КИС по сравнению с обычными средствами измерения?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги.

Текст отчета должен содержать цель работы, лабораторное задание, всю необходимую информацию об изучаемых приборах и проделанной работе, выводы.

Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в учебно-методическом пособии.

Отчет должен содержать рабочие схемы и расчетные формулы, в соответствии с которыми проводился эксперимент и осуществлялась обработка полученных результатов, выводы по полученным результатам.

Сведения об используемых измерительных приборах представляются в форме, приведенной в таблице А.1.

Таблица А.1

№ п/п	Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-107

Б.1 Назначение

Генератор Г4-107 является источником немодулированных и модулированных сигналов высокой частоты и предназначен для использования при контроле, регулировке и настройке различных радиотехнических устройств.

Б.2 Технические и метрологические характеристики

Б.2.1 Прибор обеспечивает следующие режимы работы:

- непрерывная генерация (НГ);
- амплитудная модуляция (АМ) синусоидальным напряжением;
- частотная модуляция (ЧМ) синусоидальным напряжением без отсчета значения девиации частоты;
- импульсная модуляция (ИМ).

Б.2.2 Частотные параметры (*F*-параметры):

- диапазон частот 12,5–400 МГц, перекрываемый пятью поддиапазонами;
- основная погрешность установки частоты не более ± 1 %;

Б.2.3 Параметры выходного напряжения (*U*-параметры) генератора в режиме «НГ»:

- выходное напряжение на согласованной нагрузке 50 ± 1 Ом, подключаемой через кабель к основному выходу генератора *dBV*, регулируется в пределах $1-10^{-5}$ В;

- основная погрешность установки опорного значения выходного напряжения не превышает ± 1 дБ;

- регулировка выходного напряжения производится с помощью внутреннего аттенюатора от 0 до 119 дБ ступенями через 1 дБ и плавно в пределах каждой ступени;

- основная погрешность ослабления внутреннего аттенюатора не превышает $\pm 0,8$ дБ в диапазоне частот до 200 МГц и $\pm 1,5$ дБ в диапазоне частот свыше 200 МГц.

Б.2.4 Параметры амплитудной модуляции (*AM*-параметры):

- амплитудная модуляция осуществляется сигналом частотой 1 кГц от внутреннего источника модуляции;

- коэффициент амплитудной модуляции регулируется в пределах 0–90 % ступенями через 10 %;

- основная погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции не превышает ± 5 % при $10 \% < M < 50 \%$ и ± 10 % при $50 \% < M < 90 \%$;

- выходное напряжение генератора в режиме «АМ» составляет 0,5 от уровня выходного напряжения в режиме «НГ».

Б.2.5 Параметры частотной модуляции (FM-параметры):

- частотная модуляция осуществляется сигналом частотой 1 кГц от внутреннего источника модуляции;
- максимальное значение девиации частоты в режиме внутренней ЧМ не менее 8, 16, 32, 64 и 128 кГц в соответствующих поддиапазонах частот;
- уровень выходного напряжения в режиме «ЧМ» соответствует уровню напряжения в режиме «НГ».

Б.3 Устройство и принцип работы генератора

Структурная схема генератора приведена на рисунке Б.1 и включает в себя четыре основных функциональных элемента, обеспечивающих установку и отсчет частоты сигнала, уровня выходного напряжения и коэффициента амплитудной модуляции.

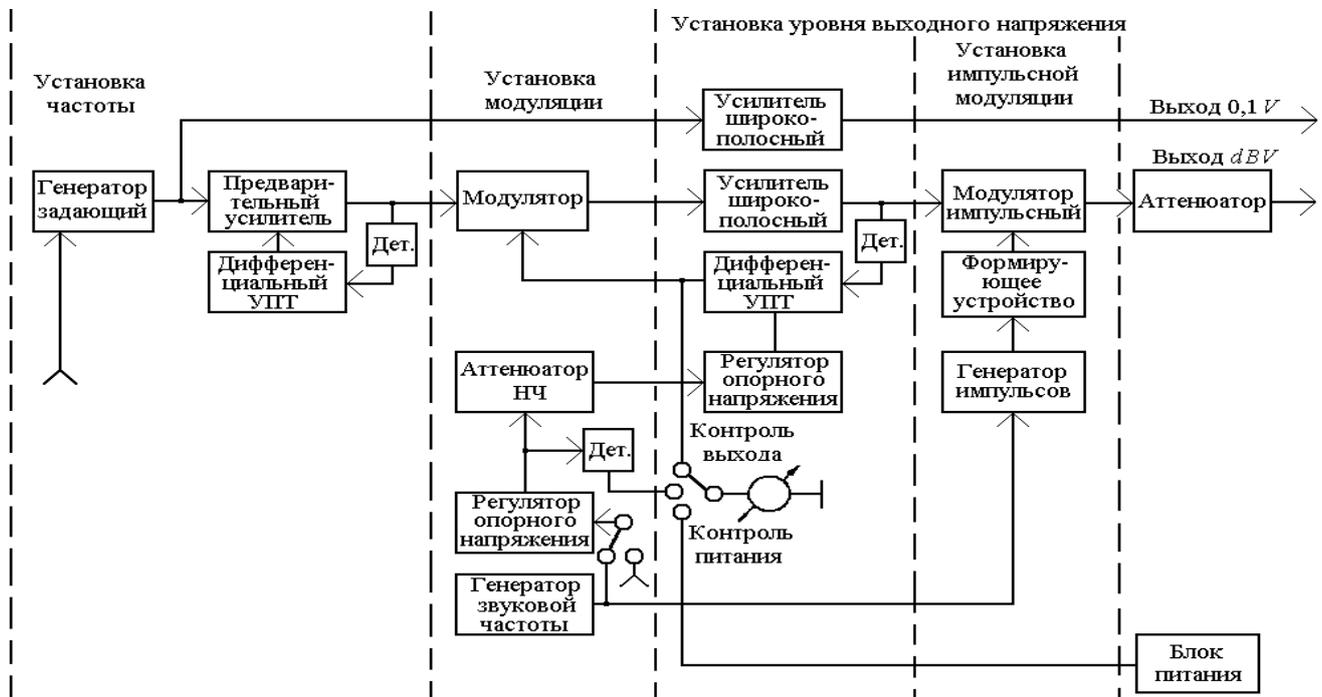


Рисунок Б.1 – Структурная схема генератора Г4-107

Установка и отсчет частоты сигнала производится в задающем генераторе, который определяет все частотные параметры прибора.

Установка и отсчет уровня выходного напряжения обеспечивается с помощью широкополосного усилителя, аттенюатора, детектора (Дет.) и дифференциального усилителя постоянного тока (УПТ) с регулируемым опорным напряжением, расположенных в основном канале прибора.

Выходной сигнал выпрямляется детектором и поступает на вход дифференциального УПТ.

На второй вход УПТ подается сигнал от регулятора опорного напряжения. Усиленная разность этих сигналов изменяет сигнал на входе широкополосного усилителя, обеспечивая пропорциональность уровня выходного напряжения основного канала генератора опорному напряжению. Таким образом, при постоянном опорном напряжении обеспечивается стабилизация уровня выходного напряжения генератора, а при его изменении – плавная регулировка выходного напряжения в пределах 1 дБ. Ступенчатая регулировка через 1 дБ осуществляется с помощью выходного аттенюатора.

Установка глубины амплитудной модуляции обеспечивается высокочастотным модулятором (аттенюатор на *p-i-n*-диодах) и низкочастотными узлами, с помощью которых формируется калиброванный модулирующий сигнал: генератора звуковой частоты, регулятора напряжения с детектором, позволяющего с помощью индикаторного прибора установить определенное опорное значение модулирующего сигнала, и аттенюатора сигнала НЧ, обеспечивающего дискретную регулировку глубины модуляции ступенями через 10 %.

Частотная модуляция сигнала генератора осуществляется путем электронной перестройки частоты задающего генератора с помощью варикапов, на которые подается модулирующий сигнал генератора звуковой частоты. Уровень этого сигнала, устанавливаемый регулятором напряжения и аттенюатором НЧ, определяет значение девиации частоты. Внешний вид прибора и расположение основных органов управления на передней панели приведены на рисунке Б.2.



Рисунок Б.2 – Внешний вид генератора сигналов Г4-107

Б.4 Подготовка прибора к работе

Б.4.1 Включить генератор и прогреть его в течение 15 мин. Нажать кнопки АМ и ВНУТР. Вращением ручки установки опорного значения модулирующего сигнала установить стрелку индикаторного прибора на деление 50 мкА.

Б.4.2 Установить с помощью ручек регулировки ослабления ступенчатого и плавного аттенюаторов уровень выходного сигнала генератора 0 дБ.

Б.5 Проведение измерений с прибором

Б.5.1 Установка требуемого режима работы производится нажатием кнопок переключателя рода работ (АМ, ЧМ, ИМ).

Б.5.2 Необходимое значение частоты устанавливается нажатием кнопки соответствующего поддиапазона и ручкой f установки частоты. При этом нижняя линейная шкала и деления на ободке ручки f служат нониусом для калибровки расстройки частоты относительно любой точки шкалы.

Б.5.3 Установка глубины амплитудной модуляции производится переключателем ГЛУБИНА МОД % ступенчато через 10 % и плавно ручкой установки опорного уровня.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

ОСЦИЛЛОГРАФ ЗАПОМИНАЮЩИЙ ЦИФРОВОЙ АКИП-4115/1А

В.1 Назначение

В.1.1 Осциллограф запоминающий цифровой АКИП-4115/1А (ЦЗО) предназначен для исследования и измерения параметров сигналов в полосе частот 0–200 МГц.

В.1.2 Осциллограф обеспечивает цифровое запоминание и измерение напряжений в диапазоне от 2 мВ до 600 В (с делителем) и временных интервалов от 2,5 нс до 50 с; автоматическую установку размера изображения; автоматическое измерение амплитудно-временных параметров входного сигнала с выводом результата измерения на экран ЦЗО.

В.1.3 Осциллограф обеспечивает возможность подключения к внешнему персональному компьютеру через разъемы *USB* или *RS-232*.

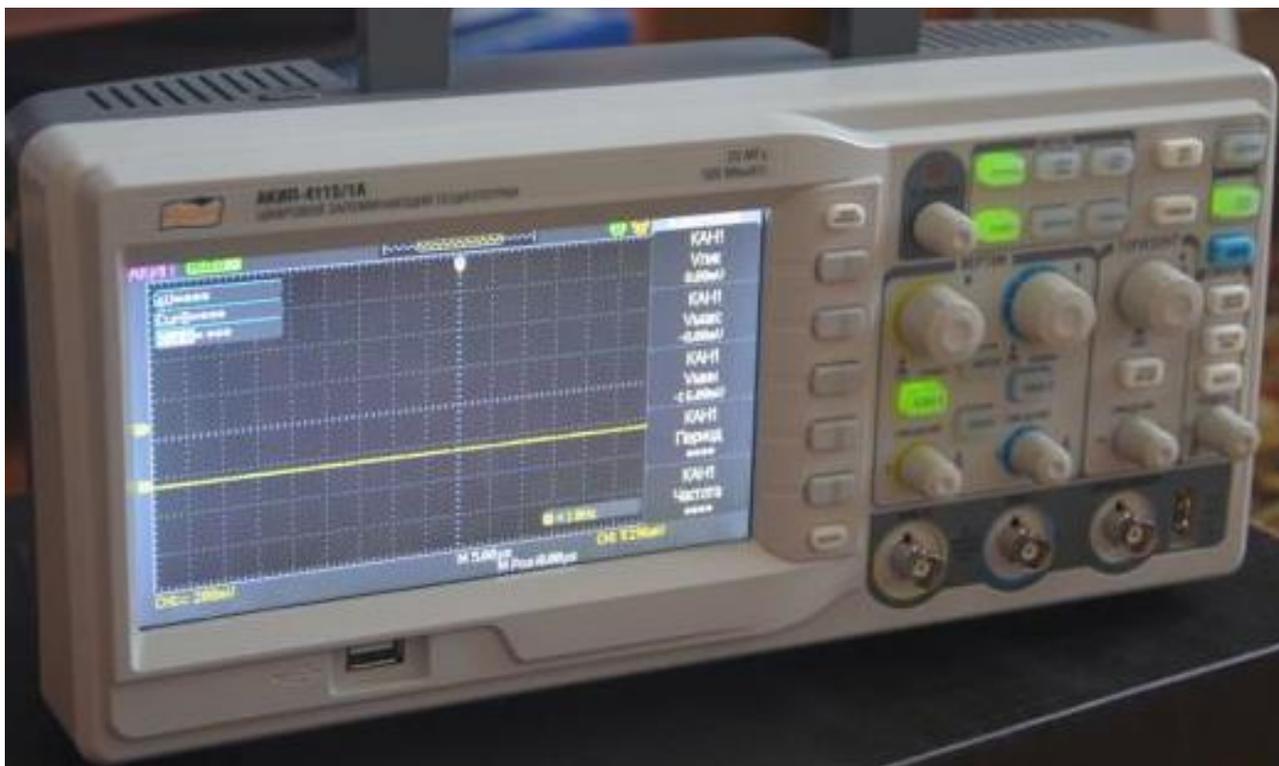


Рисунок В.1 – Внешний вид осциллографа

В.2 Основные технические и метрологические характеристики

В.2.1 Тракт вертикального отклонения.

В.2.1.1 Число каналов вертикального отклонения – 2.

В.2.1.2 Коэффициенты отклонения каждого из каналов вертикального отклонения имеют грубую и плавную установку значений от 2 мВ/дел в последовательности 1; 2; 5.

В.2.1.3 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения постоянного напряжения при фиксированных коэффициентах отклонения не превышают

$$\pm(3,0 \cdot 10^{-2} \cdot U + 0,1 \text{ дел } K_0 + 1 \text{ мВ}),$$

где U – результат измерения напряжения;

K_0 – установленный коэффициент отклонения.

В.2.1.4 Входное активное сопротивление 1 МОм \pm 2 %.

В.2.1.5 Входная емкость не более 13 пФ.

В.2.1.6 Осциллограф обеспечивает следующие режимы каналов вертикального отклонения:

- наблюдение сигналов по каналам;
- математические действия с сигналами всех входных каналов;
- суммирование сигналов каналов;
- вычитание сигналов каналов;
- умножение сигналов каналов;
- деление сигналов каналов;
- инвертирование сигнала;
- автоматическую установку размеров изображения и автоматическую синхронизацию исследуемого сигнала.

В.2.1.7 Допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжения на входе каждого из каналов усилителя при входном сопротивлении 1 МОм не более 600 В.

В.2.1.8 Предел перемещения луча по вертикали в каждом из каналов вертикального отклонения в зависимости от входного сопротивления и положения переключателя В/дел приведен в таблице В.1.

Таблица В.1

Пределы значений коэффициента отклонения	Значение смещения	Дискретность установки смещения
2–200 мВ/дел	$\pm 1,6$ В	$\pm K_0/25$ В
200 мВ/дел – 10 В/дел	$\pm 40,00$ В	

В.2.2 Тракт горизонтального отклонения.

В.2.2.1 Коэффициент развертки осциллографа изменяется в пределах от 25 нс/дел до 50 с/дел.

В.2.2.2 Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента развертки (K_p) составляют не более $\pm 0,01\%$.

В.2.2.3 Диапазон измерения временных интервалов составляет от 50 до $10\tau_H$, где τ_H – время нарастания переходной характеристики, равное 14 нс.

В.2.3 Синхронизация.

В.2.3.1 Осциллограф обеспечивает следующие режимы запуска развертки:

- автоколебательный (с ручной или автоматической установкой уровня синхронизации для сигналов частотой не менее 40 Гц);

- ждущий;

- однократный.

В.2.3.2 Осциллограф обеспечивает следующие режимы синхронизации:

- внутреннюю синхронизацию;

- внешнюю синхронизацию.

В.2.4 Аналого-цифровое преобразование.

В.2.4.1 Осциллограф обеспечивает частоту дискретизации однократного сигнала 500 МГц для одного используемого канала и 250 МГц для двух используемых каналов.

В.2.4.2 Пределы допускаемой основной погрешности частоты дискретизации F составляет не более $\pm 10^{-4} F$.

В.2.4.3 Число разрядов АЦП осциллографа составляет 8.

В.2.5 Автоматические и курсорные измерения.

В.2.5.1 Осциллограф обеспечивает следующие виды автоматических цифровых измерений.

Амплитудные измерения:

- измерение размаха сигнала;

- измерение максимального значения сигнала;

- измерение минимального значения сигнала;

- измерение амплитудного значения сигнала;

- измерение среднего значения сигнала;

- измерение среднеквадратического значения сигнала.

Временные измерения:

- измерение периода сигнала;

- измерение частоты сигнала;

- измерение длительности положительного импульса;

- измерение длительности отрицательного импульса;

- измерение времени нарастания импульса;

- измерение времени спада импульса;

- измерение длительность пакета импульсов;

- скважность положительного импульса.

В.3 Назначение органов управления и индикации.

В.3.1 Передняя панель осциллографа приведена на рисунке В.2.

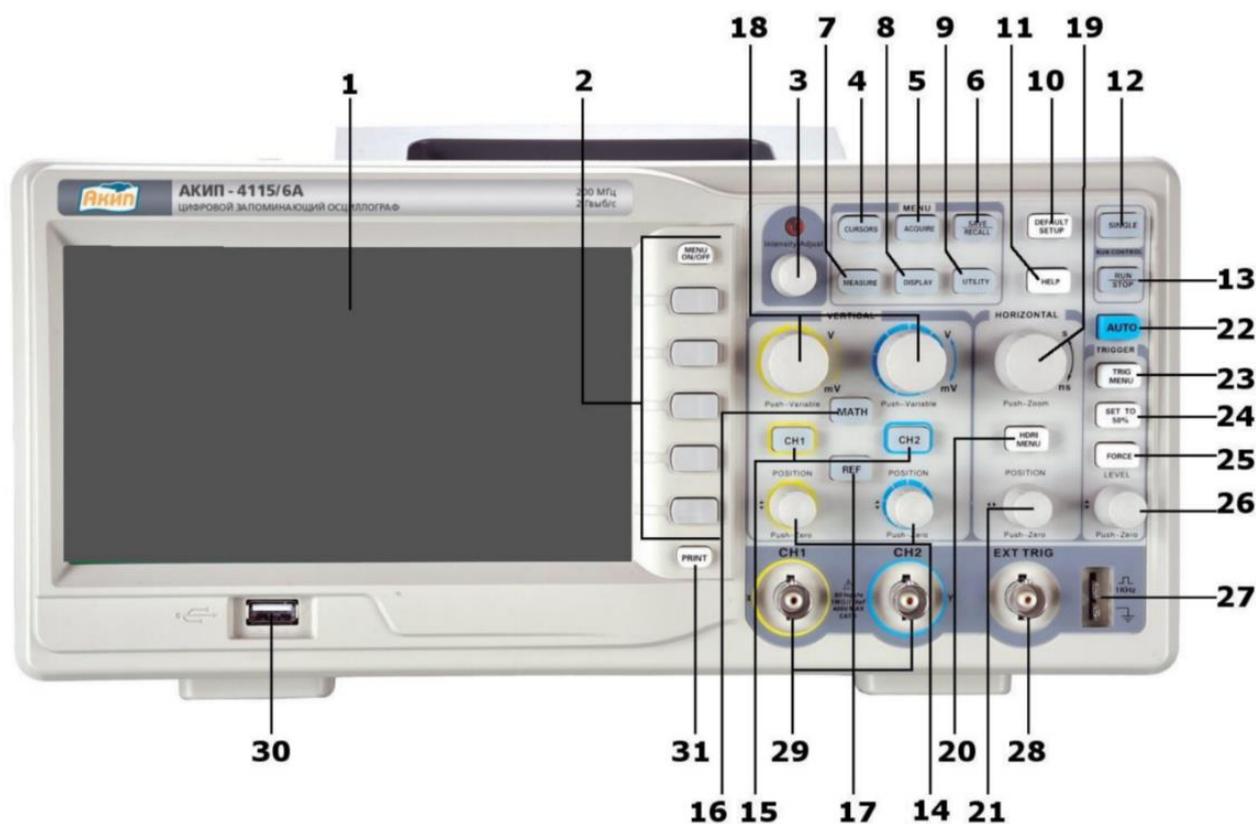


Рисунок В.2 – Передняя панель осциллографа

В.3.2 Назначение органов управления и индикации приведено в таблице В.2.

Таблица В.2

Номер на рисунке В.2	Орган управления	Функциональное назначение
1	Жидкокристаллический экран (ЖКИ)	Отображение формы и параметров измеряемых сигналов
2	Кнопки управления меню	Кнопка МЕНЮ ВКЛ/ВЫКЛ / MENU ON/OFF включает или выключает отображение меню на экране осциллографа
3	Яркость/ Регулир. (INTENSITY/ ADJUST)	Многофункциональный регулятор УСТАНОВКА осуществляет регулировку яркости линии развертки. Яркость луча отображается на ЖКИ в процентах от максимального значения

Продолжение таблицы В.2

Номер на рисунке В.2	Орган управления	Функциональное назначение
4	КУРСОР (CURSORS)	Кнопка и индикатор включения меню управления курсорами выводит меню курсоров; повторное нажатие кнопки убирает меню курсоров
5	СБОР ИНФ (ACQUIRE)	Кнопка и индикатор включения меню управления сбором информации выводит меню сбора информации; повторное нажатие кнопки убирает меню сбора информации
6	ЗАП/ВЫЗ (SAVE/RECALL)	Кнопка и индикатор включения меню управления записью / воспроизведением профилей и осциллограмм выводит меню; повторное нажатие кнопки убирает меню
7	ИЗМЕР / (MEASURE)	Кнопка и индикатор включения и выключения меню измерения выводит меню; повторное нажатие кнопки убирает меню
8	ДИСПЛ (DISPLAY)	Кнопка и индикатор включения и выключения меню управления режимами экрана выводит меню; повторное нажатие кнопки убирает меню
9	УТИЛИТЫ (UTILITY)	Кнопка и индикатор включения меню утилит выводит меню; повторное нажатие кнопки убирает меню
10	НАЧ УСТ (DEFAULT SETUP)	Кнопка вызова начальных установок
11	ПОМОЩЬ (HELP)	Кнопка вызова подсказки при управлении осциллографом
Органы управления запуском		
12	ОДНОКР (SINGLE)	Однократное нажатие кнопки останавливает процесс сбора информации. Повторное нажатие кнопки переводит схему синхронизации в режим готовности к однократному запуску. Запуск развертки будет осуществляться однократно только при наличии входного сигнала
13	ПУСК/СТОП (RUN/STOP)	Кнопка запуска или остановки сбора информации

Продолжение таблицы В.2

Номер на рисунке В.2	Орган управления	Функциональное назначение
Органы управления каналом вертикального отклонения		
14	СМЕЩЕНИЕ (POSITION)	Вращение регулятора смещает линию развертки выбранного канала в вертикальном направлении. Нажатие на регулятор устанавливает смещение на нулевой уровень (в центр экрана)
15	КАН 1 КАН 2 (CH1, CH2)	Однократное нажатие кнопки включает или выключает выбранный канал
16	МАТЕМ (MATH)	Нажатие кнопки включает меню математики; повторное нажатие кнопки убирает меню
17	ОПОРН (REF)	Нажатие кнопки выводит меню опорных осциллограмм; повторное нажатие кнопки убирает меню
18	В-мВ (V-mV)	Вращение регулятора изменяет значение коэффициента отклонения грубо. При нажатии на регулятор включается режим изменения коэффициента отклонения плавно
Органы управления каналом горизонтального отклонения		
19	СМЕЩЕНИЕ (POSITION)	Вращение регулятора смещает линию развертки в горизонтальном направлении. Нажатием на регулятор устанавливается смещение в нулевой уровень (в центр экрана)
20	ГОРИЗ МЕНЮ (HORIZ MENU)	Нажатие кнопки выводит горизонтальное меню, повторное нажатие убирает меню
21	с - нс (s - ns)	Вращение регулятора изменяет значение коэффициента развертки грубо. При нажатии на регулятор включается режим изменения коэффициента развертки плавно
Органы управления запуском развертки		
22	АВТО (AUTO)	Кнопка поиска автоматического поиска сигнала и установки изображения на экран
23	МЕНЮ СИНХР (TRIG MENU)	Кнопка и индикатор включения или выключения управления режимами синхронизации
24	УСТ НА 50 % (SET TO 50 %)	Кнопка установки уровня запуска на 50 %

Продолжение таблицы В.2

Номер на рисунке В.2	Орган управления	Функциональное назначение
25	ФОРС (FORCE)	Кнопка, при нажатии которой происходит перезапуск сбора информации, усреднений, результатов измерений и т. д.
26	УРОВЕНЬ (LEVEL)	Вращением регулятора устанавливается уровень синхронизации. Нажатием на регулятор устанавливается уровень синхронизации равным 0 мВ
Разъемы передней панели		
27		Разъем подключения калибратора 1 кГц, 3 В для компенсации делителей
28	ВНЕШ СИНХР (EXT TRIG)	Разъем для подключения внешней синхронизации
29	КАН 1X ;КАН 1Y (CAN 1X; CAN 1Y)	Входные гнезда Канала 1 и Канала 2
30	USB	Разъем подключения внешнего <i>USB</i> -носителя
31	ПЕЧАТЬ (PRINT)	В зависимости от выбранного режима эта кнопка сохраняет осциллограммы в графическом виде или запускает печать на принтер

В.4 Символы индикации экрана осциллографа приведены на рисунке В.3.

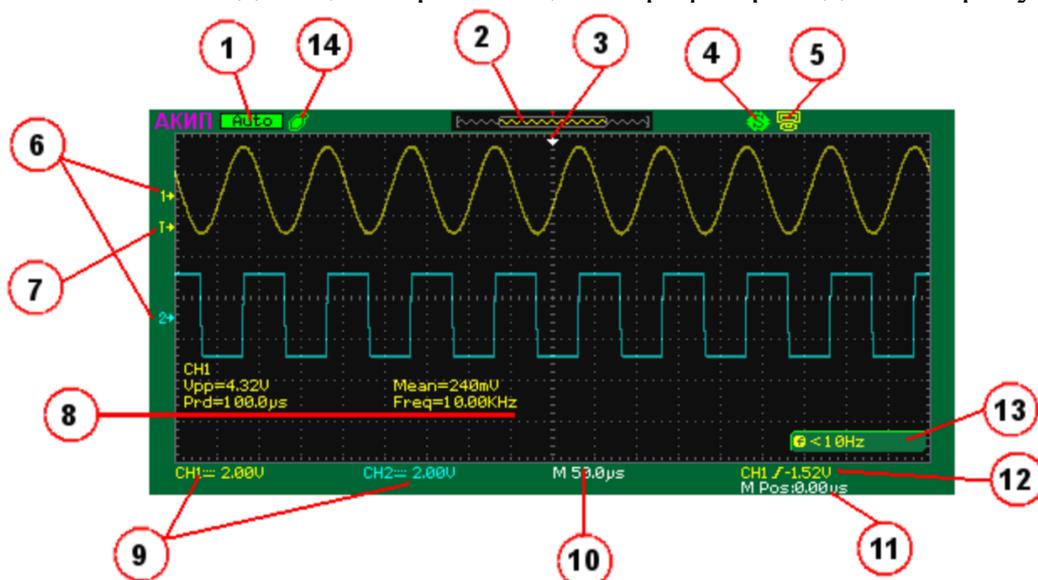
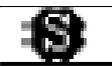


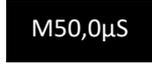
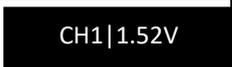
Рисунок В.3 – Окно осциллографа АКИП-4115/1А

В.4.1 Назначение символов индикации экрана осциллографа приведено в таблице В.3.

Таблица В.3

Номер на рисунке В.3	Символ индикации	Назначение символа индикации
1		Индикатор отображения состояния схемы синхронизации. На осциллографе установлен режим синхронизации
		Сбор информации остановлен
		На осциллографе установлен режим самописца
2		Индикатор соотношения отображения на экране видимой части осциллограммы и полного объема памяти сбора информации. Отображаемая на экране часть памяти меньше, чем полный объем памяти осциллографа
		Индикатор соотношения отображения на экране видимой части осциллограммы и полного объема памяти сбора информации. Отображаемая на экране часть памяти больше, чем полный объем памяти осциллографа
	T	Символ обзорной индикации расположения точки запуска развертки по отношению к полному объему памяти. При времени задержки, равном 0 с, будет располагаться посередине экрана. При времени задержки со знаком «←» предзапуск смещается вправо; при времени задержки со знаком «+» предзапуск смещается влево
3		Индикатор центра экрана
4		Индикатор отображения режима печати изображения сигнала на экране при нажатии кнопки Print
		Режим сохранения изображения сигнала в формате <i>.bmp</i>

Продолжение таблицы В.3

Номер на рисунке В.3	Символ индикации	Назначение символа индикации	
5		Индикатор отображения режима работы <i>USB</i> -разъема, расположенного на задней панели осциллографа	
		Печать на <i>USB</i> -принтер	
6		Индикатор точки земли Канала 1	
		Индикатор точки земли Канала 2	
7		Индикатор уровня синхронизации (желтый цвет для Канала 1, синий цвет для Канала 2)	
8	CH1 Upp=4.32 V	Результаты измерений после нажатия на кнопку AUTO (желтый цвет для Канала 1, синий цвет для Канала 2)	
9		Настройки канала вертикального отклонения (номер канала, вид связи, значение коэффициента отклонения)	
			
			Связь по переменному току
			Связь по постоянному току
			Вход отключен от входного сигнала и заземлен
	B	Включено ограничение ширины полосы пропускания 20 МГц	
10		Значение коэффициента развертки основной развертки	
		Значение коэффициента развертки растяжки	
11		Значение времени задержки основной развертки	
		Значение времени задержки растяжки	
12	 	Индикатор источника синхронизации, вида синхронизации и уровня синхронизации (желтый цвет для Канала 1, синий цвет для Канала 2)	

Продолжение таблицы В.3

Номер на рисунке В.3	Символ индикации	Назначение символа индикации
13		Попеременный запуск: поочередно от Канала 1 и Канала 2
14		

В.5 Включение и опробование осциллографа.

В.5.1 Включите питание прибора и ожидайте в течение 10 с появления заставки. Осциллограф перейдет в режим отображения осциллограмм.

В.5.2 Нажмите кнопку **НАЧ УСТ/Default Setup** для выбора начальных установок.

В6 Органы управления передней панели.

В.6.1 Органы управления канала вертикального отклонения.

В.6.1.1 Каждый из каналов вертикального отклонения имеет независимые органы управления. Для включения канала нажмите соответствующую кнопку на передней панели осциллографа. В этом случае подсвечивается кнопка включения соответствующего канала, а на экране отображается коэффициент отклонения включенного канала. Параметры канала 1 отображаются желтым цветом, канала 2 – синим цветом. Для выключения канала нажмите кнопку еще раз.

В.6.1.2 Регулятор **СМЕЩЕНИЕ (POSITION)** позволяет смещать линию развертки в вертикальном направлении. При повороте регулятора значение напряжения, определяющего положение осциллограммы в пределах экрана, в течение короткого времени отображается на экране. Этот режим особенно полезен, когда осциллограмму необходимо мгновенно переместить к центру экрана. В нулевой уровень (в центр экрана) осциллограмма устанавливается нажатием на регулятор **СМЕЩЕНИЕ (POSITION)**.

В.6.1.3 Если ни одна из кнопок включения канала не горит, это означает, что либо один из каналов не включен, либо активированы режимы математики (**МАТЕМ (MATH)**), растяжки или памяти. В этом случае ручки вертикального смещения и усиления (**В - мВ / V - mV**) регулируют положение и масштаб по вертикали опорного сигнала соответствующих режимов математики, растяжки или памяти.

В.6.1.4 При включенном режиме математики подсвечивается кнопка **МАТЕМ / MATH** и появляется осциллограмма зеленого цвета. При повторном нажатии кнопки **МАТЕМ / MATH** кнопка гаснет и осциллограмма исчезает.

В.6.1.5 Нажатие кнопки **ОПОРН REF** выводит меню опорных осциллограмм. При включенном режиме опорных осциллограмм подсвечивается кнопка **ОПОРН REF** и появляются осциллограммы красного и фиолетового цветов. Повторное нажатие кнопки убирает меню.

В.6.1.6 Для изменения коэффициента отклонения необходимо выполнить следующее.

В.6.1.6.1 Нажать кнопку В - мВ / V - mV; при этом текущее значение коэффициента отклонения отобразится на экране осциллографа.

В.6.1.6.2 Выбрать канал нажатием кнопки КАН1/СН1 или КАН2/СН2. При этом на экране появится меню функциональных кнопок.

В.6.1.6.3 Нажатием функциональной кнопки В/Дел выбрать шаг изменения вертикального масштаба Грубо или Точно.

В.6.1.6.4 Вращением регулятора В - мВ / V - mV установить необходимый масштаб изображения сигнала на экране.

В.6.1.6.5 Переключать режимы Грубо/Точно можно не только используя меню каналов 1 и 2, но также нажатием на регулятор В - мВ / V - mV.

В.7 Меню канала вертикального отклонения.

Опции канала вертикального отклонения представлены в таблице В.4.

Таблица В.4

Меню	Опция
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">СВЯЗЬ ВХОДА DC</div>	<p>Выбор связи входа.</p> <p>АС – блокируется постоянная составляющая входного сигнала.</p> <p>DC – пропускаются и постоянная, и переменная составляющие сигнала.</p> <p>Земля – отключается входной сигнал от входа осциллографа и замыкается вход осциллографа на корпус прибора</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Огр ПП Выкл</div>	<p>Выбор ограничения полосы пропускания канала вертикального отклонения.</p> <p>Вкл – ограничивается ширина полосы пропускания канала до 20 МГц для уменьшения шумов экрана.</p> <p>Выкл – устанавливается полная полоса пропускания</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">В/дел Грубо</div>	<p>Выбор режима. Устанавливается коэффициент отклонения регулятором В - мВ на передней панели.</p> <p>Грубо – коэффициент отклонения изменяется в пределах от 2 мВ до 5 В с шагом 1 или 2 или 5 мВ.</p> <p>Плавно – коэффициент развертки изменяется плавно.</p> <p>Переключение между режимами Грубо и Плавно осуществляется с помощью кнопки справа.</p> <p>Активный режим выделен квадратом</p>

Продолжение таблицы В.4

Меню	Опция
Делитель 10x	Выбор коэффициента деления внешнего пробника. Необходим для корректного отображения результата автоматических или курсорных измерений
След. Стр. Page 1/2	Переход ко второй странице главного меню
Инверсия Выкл	Инверсия входного сигнала. Включение или выключение инверсии осуществляется кнопкой справа. Активный режим выделен квадратом
Фильтр	Использование цифровых фильтров для выбранного канала
След. Стр. Page 2/2	Возвращение к первой странице главного меню

В.8 Органы управления канала горизонтального отклонения.

В.8.1 Осциллограф отображает сигналы, используя сетку с горизонтальным масштабом время/деление.

В.8.2 Элементы управления горизонтальной разверткой могут изменять масштаб и положение осциллограмм вдоль горизонтальной оси. Центр экрана по горизонтали является точкой начала отсчета временных параметров.

В.8.3 Изменение горизонтального масштаба приводит к растягиванию или сжатию осциллограммы относительно центра экрана. Регулятор горизонтального положения изменяет положение осциллограмм относительно момента запуска.

В.8.4 Регуляторы горизонтальной развертки.

В.8.4.1 **Время/деление (с - нс / s - ns)** – установка требуемого коэффициента развертки. Осциллограф автоматически определяет частоту дискретизации исходя из установленного значения коэффициента развертки.

В.8.4.2 Первое нажатие на регулятор включает режим выделения зоны растяжки. Зона растяжки выделена двумя вертикальными курсорами.

В.8.4.3 Перемещение курсоров по горизонтали осуществляется регулятором **СМЕЩЕНИЕ/Position**.

В.8.4.4 Изменение размера окна растяжки выполняется вращением регулятора **Время/деление (с - нс / s - ns)**.

В.8.4.5 Второе нажатие на регулятор выполняет растяжку всех осциллограмм.

В.8.4.6 Изменение коэффициента масштабирования выполняется вращением регулятора **Время/деление (с - нс / s - ns)**.

В.8.4.7 Перемещение осциллограмм по горизонтали осуществляется регулятором **СМЕЩЕНИЕ/Position**.

В.8.4.8 Третье нажатие на регулятор отключает режим растяжки.

В.8.4.9 Регулятор **Смещение/Position** изменяет горизонтальное положение осциллограмм всех каналов (включая **MATH**). Чувствительность этого регулятора меняется вместе с изменением длительности развертки. Нажатие на ручку этого регулятора сбрасывает смещение момента запуска (**trigger offset**) и возвращает его к горизонтальному центру экрана.

В.8.4.10 **ГОРИЗ МЕНЮ/HORIZ MENU** – переход к экранному меню канала горизонтального отклонения.

В.8.5 Меню канала горизонтального отклонения.

Опции канала горизонтального отклонения представлены в таблице В.5.

Таблица В.5

Меню	Опция
Растяжка Выкл	Вкл. – разделение экрана на две части. В верхней части экрана отображается основной сигнал, а в нижней – увеличенный отрезок сигнала. Вращением регулятора Время/деление изменяется размер окна растяжки. При этом в верхнем окне происходит расширение/сужение горизонтальных границ, выделенных синим цветом
Выбор памяти Короткая	Выбор глубины памяти: короткая (20 кБ/кан), длинная (1МБ/кан).

В.9 Органы управления запуском развертки (синхронизацией).

В.9.1 Автоматическая установка параметров развертки, запуска и коэффициентов отклонения предназначена для отображения широкого диапазона повторяющихся сигналов.

В.9.2 В режиме автоматической установки при наличии сигналов на обоих входах синхронизация будет выбрана от канала, имеющего наибольший уровень сигнала. После окончания автоматической установки экранное меню приобретет вид, как рисунок В.4.

При использовании меню автоустановки возможно выбрать один из четырех способов отображения сигнала:

- периодический сигнал с отображением нескольких периодов;
- периодический сигнал с отображением одного периода;
- отображение фронта сигнала;
- отображение среза сигнала.

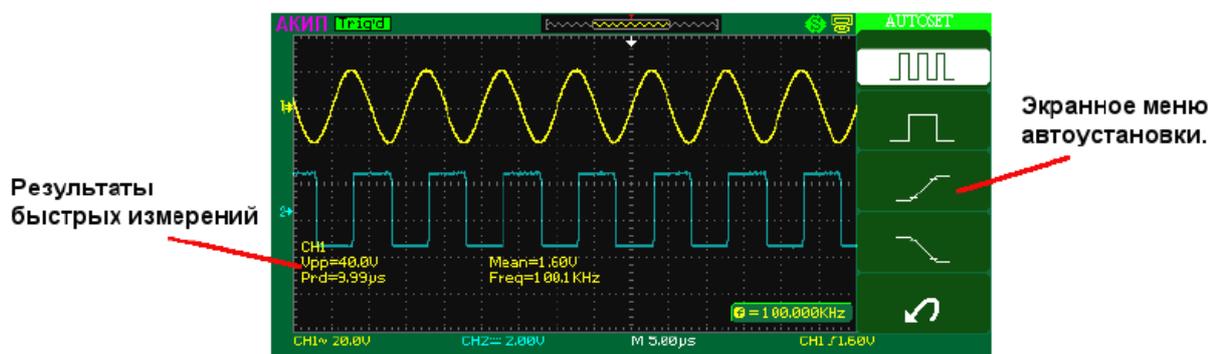


Рисунок В.4 – Экранное меню осциллографа в режиме автоматической установки параметров развертки

Измеряемые параметры при различных способах отображения сигнала представлены в таблице В.6.

Таблица В.6

Способ отображения	Измеряемые параметры
Периодический сигнал с отображением нескольких периодов	V_{PP} – пиковое значение сигнала. $Mean$ – среднее значение сигнала. Prd – период сигнала. $Freq$ – частота сигнала
Периодический сигнал с отображением одного периода	V_{min} – минимальное значение сигнала. V_{max} – максимальное значение сигнала. $Mean$ – среднее значение сигнала. $+Wid$ – период сигнала
Отображение фронта сигнала	$Rise$ – длительность фронта сигнала. V_{PP} – пиковое значение сигнала
Отображение среза сигнала	$Fall$ – длительность среза сигнала. V_{PP} – пиковое значение сигнала

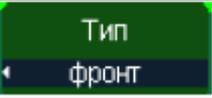
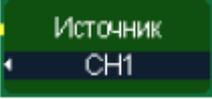
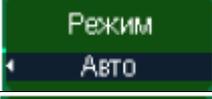
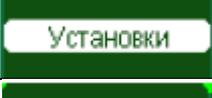
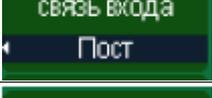
В.9.1.3 Нажатие кнопки  справа от иконки отменяет произведенные установки и возвращает меню в предыдущее состояние.

В.10 Меню синхронизации.

В.10.1 Момент запуска развертки можно регулировать от 0 до 100 % предпускового интервала, начиная с нулевого значения, или в делениях временной шкалы (от 0 до 10 000), отсчитываемых от момента пуска.

В.10.2 При нажатии кнопки **МЕНЮ СИНХР / TRIG MENU** зоны **TRIGGER (СИНХР)** на экране появится меню функциональных кнопок (таблица В.7).

Таблица В.7

Меню	Опция
	Выбор вида синхронизации
	Выбор источника синхронизации
	Выбор режима запуска развертки
	Переход к следующей странице меню
	Выбор вида связи схемы синхронизации
	Установка времени удержания запуска развертки
	Сброс времени удержания на 100 нс
	Возврат к предыдущей странице меню

В.10.3 Попеременный запуск.

Применяется при исследовании двух независимых сигналов, поданных на оба канала вертикального отклонения при разных коэффициентах развертки для каждого канала.

Возможен выбор различных режимов запуска для каждого канала:

- запуск по фронту;
- запуск по заданным параметрам длительности импульса;
- по скорости изменения;
- ТВ-синхронизация.

Информация об уровнях запуска, коэффициентах развертки, времени задержки и т. д. будет отображаться на экране осциллографа независимо для обоих каналов.

Пример использования попеременного запуска приведен на рисунке В.5.

В.11 Выбор источника синхронизации.

Для выбора источника синхронизации в главном меню синхронизации нажать кнопку **Источник КАН1**.

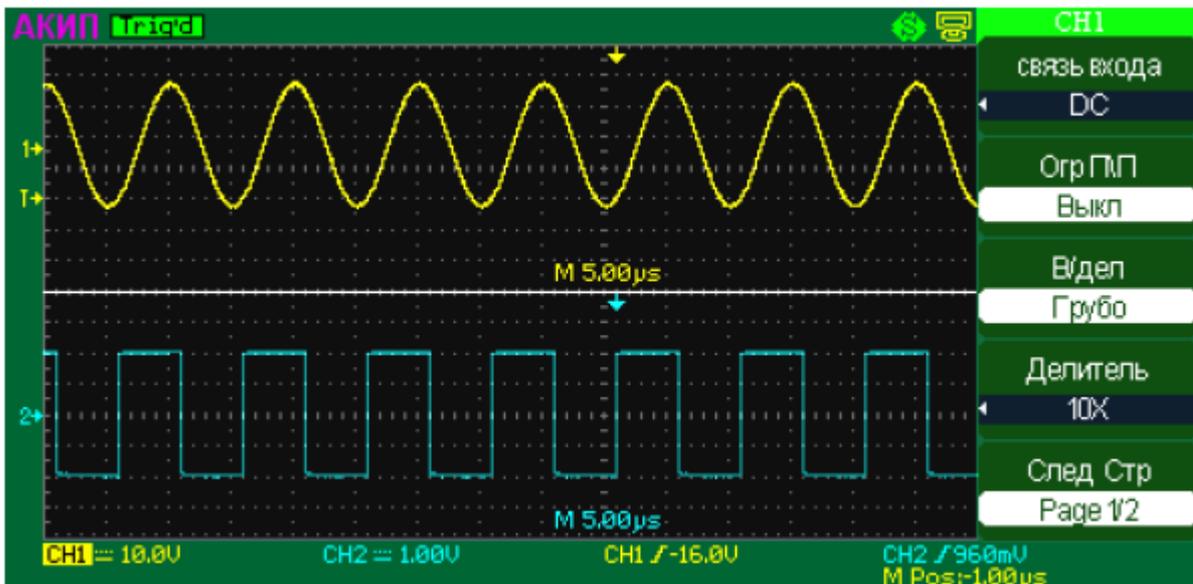


Рисунок В.5 – Вид экрана в режиме попеременного запуска

В качестве источника синхронизации можно выбрать:

- источник сигнала запуска КАН1;
- источник сигнала запуска КАН2.

В.12 Режимы работы развертки.

В осциллографе предусмотрены три режима развертки:

- автоматический;
- ждущий;
- однократный.

В.12.1 Автоматический режим **АВТО (AUTO)** позволяет регистрировать даже те сигналы, которые не соответствуют условию запуска.

При отсутствии сигнала запуска, соответствующего условиям запуска, осциллограф через определенный период (при определенной длительности сигнала развертки) произведет самозапуск. В этом случае процесс отображения осциллограммы на экране не связан с исследуемым сигналом, поэтому, если появляется действующий сигнал запуска, изображение на экране стабилизируется.

При установке коэффициента развертки ниже 50 мс/дел осциллограф не реагирует на входные сигналы в автоматическом режиме.

В.12.2 Ждущий режим **Normal** переводит осциллограф в режим ожидания выполнения условия синхронизации, и осциллограф будет регистрировать сигналы только при наличии сигнала запуска. При отсутствии сигнала запуска осциллограф ждет его появления, и на экране сохраняется предыдущая осциллограмма, если это возможно. Применяется для исследования импульсных сигналов с большой скважностью.

В.12.3 В режиме однократного *Single* запуска после нажатия кнопки ПУСК/СТОП/*RUN/STOP* осциллограф ждет выполнения условий запуска. При наличии сигнала запуска осциллограф регистрирует сигнал, и развертка останавливается. Повторный запуск возможен при нажатии на кнопку ОДНОКР/*SINGLE*.

В.12.4 Для выбора режима работы развертки в главном меню синхронизации нажмите кнопку Режим АВТО и выберите необходимый режим развертки.

В.13 Измерения с помощью курсоров.

В.13.1 Курсоры управляются кнопкой КУРСОР/*CURSORS* и многофункциональным регулятором 3 (см. рисунок В.2).

В.13.2 При нажатии кнопки Курсоры включается экранное меню курсорных измерений (рисунок В.6).

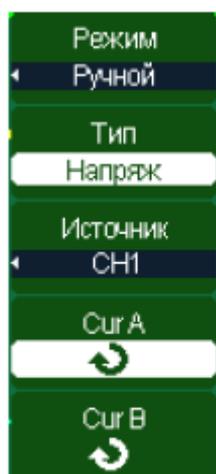
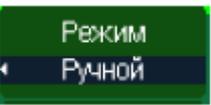
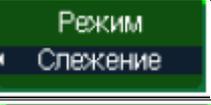
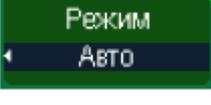


Рисунок В.6 – Меню режима курсорных измерений

Режимы работы курсорных измерений представлены в таблице В.8.

Таблица В.8

Меню	Опция
	Ручной режим (<i>Manual</i>): курсоры перемещаются пользователем
	Режим слежения (<i>Track</i>): курсоры перемещаются в соответствии с формой сигнала
	Режим АВТО: курсорные измерения не проводятся. Курсоры используются для отображения описания режима автоматических измерений

В.13.3 Меню ручного режима курсорных измерений представлено в таблице В.9.

Таблица В.9

Меню	Опция
<div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Тип</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center; border: 1px solid white;">Напряж</div>	Для измерения амплитудных параметров курсоры отображаются как горизонтальные линии
<div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Тип</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center; border: 1px solid white;">Время</div>	Для измерения временных параметров курсоры отображаются как вертикальные линии
<div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Источник</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 5px; text-align: center; border: 1px solid white;">CH1</div>	Выбор источника курсорных измерений: - канал 1, 2; - математика; - опорная осциллограмма «А»; - опорная осциллограмма «В»

В.13.3 Перемещение курсоров осуществляется выбором в меню активного курсора А  или В  и перемещением курсоров многофункциональным регулятором 3 (рисунок В.2).

В.13.4 Для получения результатов измерений необходимо установить курсор А (В) в нужную точку осциллограммы. Измеренные значения напряжения и временных параметров будут автоматически отображаться в правом верхнем углу экрана (рисунки В.7, В.8).

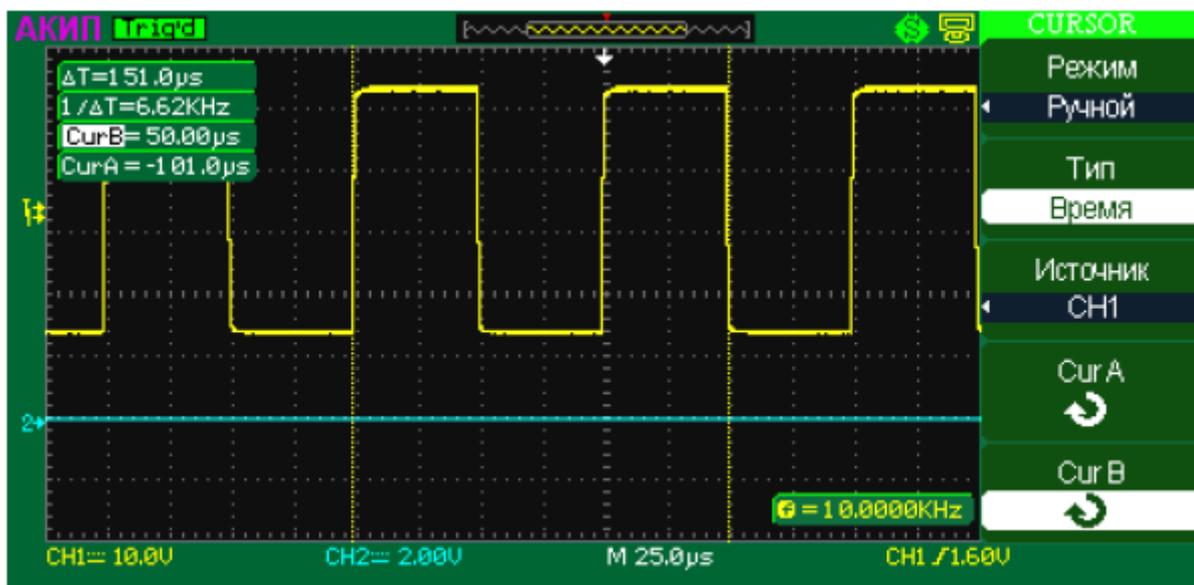


Рисунок В.7 – Режим измерения временных параметров

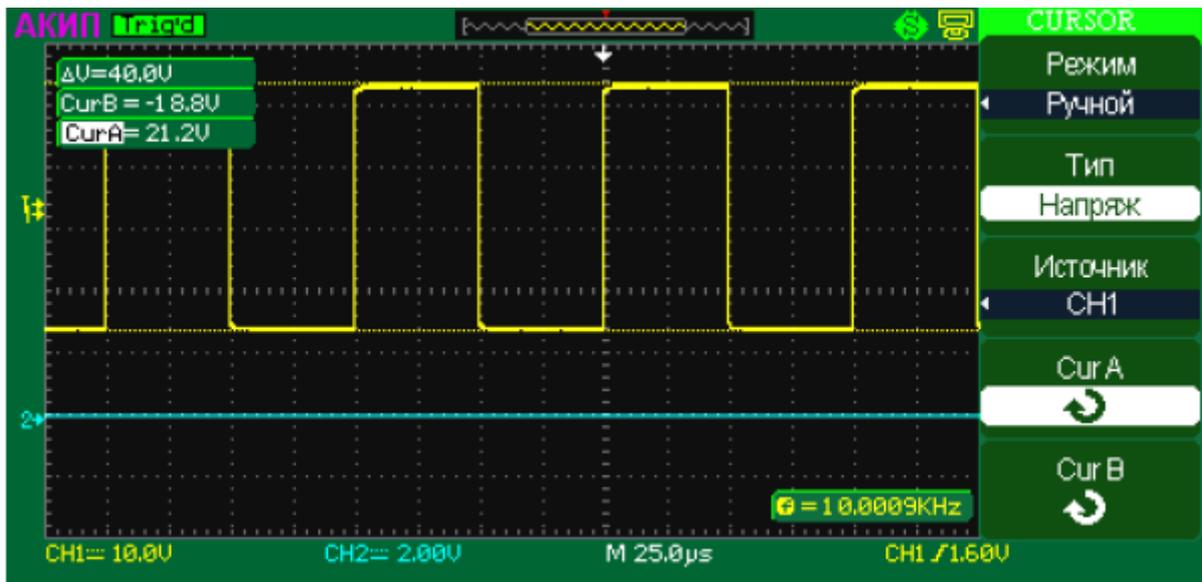


Рисунок В.8 – Режим измерения напряжения

В.13.5 В режиме слежения (**Слежение**) при перемещении курсора в горизонтальном направлении осциллограф автоматически находит точку пересечения с осциллограммой, и курсоры будут перемещаться вместе с выбранной формой сигнала.

В.13.5.1 Для осуществления курсорных измерений в режиме слежения необходимо:

- выбрать режим слежения (**Слежение**) для перемещения курсоров;
- выбрать канал источника сигнала (**Источник**) для курсора А и курсора В;
- перемещать курсоры для изменения их горизонтального положения.

Результаты измерений отображаются на экране (рисунок В.9).

В.13.6 Режим курсорных измерений **Авто**.

В.13.6.1 Нажмите кнопку **КУРСОР/CURSORS** для входа в меню курсорных измерений.

В.13.6.2 Выберите режим курсорных измерений **Авто**.

В.13.6.3 Перейдите в меню автоматических измерений, нажав кнопку **ИЗМЕР/MEASURE**.

В.13.6.4 Выберите параметр для автоматического измерения. В меню отобразится тип измерения и значение измеряемого параметра; измеренное значение также будет отображено с помощью курсоров на текущей осциллограмме.

В.13.7 Автоматические измерения.

В.13.7.1 Автоматические измерения – это предварительно запрограммированные процедуры измерения, сокращающие операции по настройке курсоров в стандартных ситуациях, таких как измерение временных и амплитудных параметров сигнала.

Имеется возможность выполнения измерений, общих для нескольких осциллограмм, с одновременным выводом до пяти измеряемых величин.

Можно также вывести на экран полную таблицу результатов измерений.

Если по какой-то причине параметр не может быть корректно вычислен, в блоке измерительной информации на экране появится предупреждающий символ ***, что позволяет сделать вывод о корректности дальнейших действий.

На экран всегда выводится последнее для данной реализации значение.

В.13.7.2 Автоматические измерения управляются кнопкой **ИЗМЕР/MEASURE**. При нажатии кнопки **ИЗМЕР/MEASURE** включается экранное меню автоматических измерений.

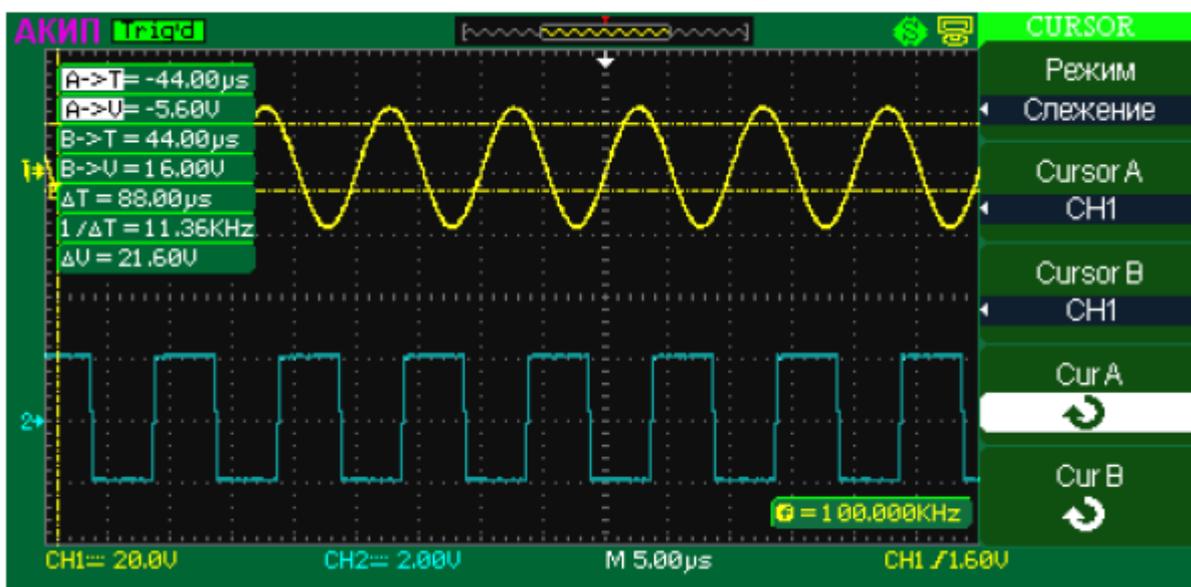


Рисунок В.9 – Изображение на экране осциллографа в режиме слежения

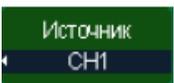
В.13.7.3 Осциллограф обеспечивает следующие режимы автоматических измерений (таблица В.9).

В.13.7.4 Автоматические измерения амплитудных параметров.

В.13.7.4.1 Нажмите кнопку **ИЗМЕР/MEASURE** для вывода экранного меню автоматических измерений.

В.13.7.4.2 Нажатием одной из кнопок **F1–F5** выберите одно из пяти отображений результатов измерений.

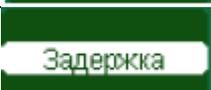
В.13.7.4.3 Нажмите кнопку 

В.13.7.4.4 Нажатием кнопки  выберите источник измерений (канал 1 или канал 2).

В.13.7.4.5 Нажатием кнопки  выберите один из измеряемых параметров напряжения.

В.13.7.4.6 Для возврата в меню выбора автоматических измерений нажмите кнопку **Назад**.

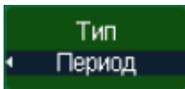
Таблица В.9

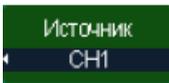
Меню	Опция
	Измерение амплитудных параметров в одном из выбранных сигналов
	Измерение временных параметров в одном из выбранных сигналов
	Измерение временной задержки между двумя сигналами
	Вывод полных таблиц результатов измерений для выбранного источника

В.13.7.5 Автоматические измерения временных параметров.

В.13.7.5.1 Нажмите кнопку **ИЗМЕР/MEASURE** для вывода экранного меню автоматических измерений.

В.13.7.5.2 Нажатием одной из кнопок **F1...F5** выберите одно из пяти отображений результатов измерений.

В.13.7.5.3 Нажмите кнопку .

В.13.7.5.4 Нажатием кнопки  выберите источник измерений (канал 1 или канал 2).

В.13.7.5.5 Нажатием кнопки  выберите один из измеряемых параметров напряжения.

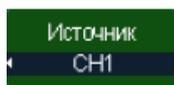
В.13.7.5.6 Для возврата в меню выбора автоматических измерений нажмите кнопку **Назад**.

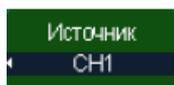
В.13.7.6 Вывод полных таблиц измерения.

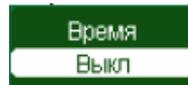
В.13.7.6.1 Нажмите кнопку **ИЗМЕР/MEASURE** для вывода экранного меню автоматических измерений.

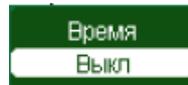
В.13.7.6.2 Нажатием одной из кнопок **F1–F5** выберите одно из пяти отображений результатов измерений.

В.13.7.6.3 Нажмите кнопку .



В.13.7.6.4 Нажатием кнопки  выберите источник измерений (канал 1 или канал 2).



В.13.7.6.5 Нажатием кнопок , ,  выключите отображение одной, двух или трех таблиц результатов измерений.

В.13.7.6.6 Для возврата в меню выбора автоматических измерений нажмите кнопку **Назад**.

В.13.7.6.7 Возможно вывести полные таблицы измерений только для одного источника; цвет таблицы соответствует цвету осциллограммы источника на экране осциллографа.

В.13.8 Запись/Вызов осциллограмм и профилей.

Осциллограммы и профили прибора можно записывать во внутреннюю и внешнюю память.

Нажмите кнопку **ЗАП/ВЫЗ/SAVE/RECALL** на передней панели осциллографа. На экране появится главное меню (таблица В.10).

Таблица В.10

Меню	Опции
Тип настройки	Выбор типа данных для сохранения: - настройки: сохранить или вызвать профили прибора; - осциллограмма: сохранить или вызвать осциллограмму; - изображение: создать или удалить файлы <i>.bmp</i> ; - CSV: создать или удалить файлы <i>.csv</i> ; - заводские: вызвать начальные заводские установки
Схр в Файл	Выбор места хранения данных. Возможен выбор хранения на внешнем устройстве «Файл» или во внутреннем файле «Устройство».
Настройки №1	При выборе места хранения данных «Внутренний файл «Устройство»» возможен выбор внутренней ячейки с номерами от 1 до 20. Выбор осуществляется нажатием кнопки или вращающимся многофункциональным регулятором
Сохранение	Кнопка записи выбранных данных
Вызов	Кнопка вызова выбранных данных

В.13.8.1 Сохранение профилей прибора.

В.13.8.1.1 Нажмите кнопку **ЗАП/ВЫЗ/Save/Recall** на передней панели осциллографа.

В.13.8.1.2 В меню Тип выберите Настройки.

В.13.8.1.3 В меню Сохр. в выберите место хранения профилей во внутреннем файле Устройство.

В.13.8.1.4 В меню Настройки выберите ячейку с номером от 1 до 20 и нажмите кнопку Сохр.

В.13.8.2 Вызов профилей из памяти прибора.

В.13.8.2.1 Нажмите кнопку ЗАП/ВЫЗ/Save/Recall на передней панели осциллографа.

В.13.8.2.2 В меню Тип выберите Настройки.

В.13.8.2.3 В меню Сохр в выберите место хранения профилей во внутреннем файле Устройство.

В.13.8.2.4 В меню Настройки выберите ячейку с номером от 1 до 20 и нажмите кнопку Вызов.

В.13.8.3 Сохранение профилей во внешнее USB-устройство.

В.13.8.3.1 Нажмите кнопку ЗАП/ВЫЗ/Save/Recall на передней панели осциллографа.

В.13.8.3.2 В меню Тип выберите Настройки.

В.13.8.3.3 В меню Сохр в выберите место хранения профилей: во внешнем устройстве Файл.

В.13.8.3.4 Нажмите кнопку Сохр. Появится подменю управления файлами (таблица В.11).

Таблица В.11

Меню	Опция
Модифиц.	Выбрать путь, каталог (<i>Directories</i>) или файл (<i>File</i>)
Нов. директ.	Создать новую папку, если выбрана папка
Нов. Файл	Создать новый файл, если выбран файл
Удалить папку (файл)	Удалить папку (файл)
Вызов	Вызвать профили и осциллограммы из памяти USB-устройства
Переименовать	Перейти в меню переименования файла

В.14 Математические функции и БПФ.

Математические функции включают сложение, вычитание, умножение, деление и быстрое преобразование Фурье (БПФ) для сигналов каналов КАН1 и КАН2. Результат математических действий может также быть измерен с помощью делений сетки и курсора, автоматические измерения для математических функций невозможны.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное)

МИКРОВОЛЬТМЕТР ВЗ-40

Г.1 Назначение

Микровольтметр ВЗ-40 предназначен для измерения напряжения переменного тока произвольной формы.

Г.2 Основные технические и метрологические характеристики

Г.2.1 Пределы измерения напряжения: 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100 мВ; 1; 3; 10; 30; 100 В.

Г.2.2 Диапазон частот измеряемых напряжений: 5 Гц – 5 МГц.

Г.2.3 Основная приведенная погрешность измерения напряжения не превышает значений, указанных в таблице Г.1.

Таблица Г.1

Диапазоны частот изменяемых напряжений	Погрешность измерения, %		
	Диапазоны измерения напряжения		
	1–300 мВ	0,1 мВ, 0,3 мВ, 1–300 В	0,03 мВ
5–10 Гц	±10,0	±10,0	±15,0
10–20 Гц	±6,0	±6,0	±10,0
20–30 Гц	±4,0	±4,0	±6,0
30–45 Гц	±2,5	±4,5	±6,0
45 Гц–1 МГц	±1,5	±2,5	±4,0
1–3 МГц	±2,5	±4,0	±6,0
3–5 МГц	±4,0	±6,0	±10,0

Г.2.4 Входное сопротивление прибора не менее 2,5 МОм.

Г.2.5 Входная емкость не превышает 30 пФ на пределах 0,3–300 мВ и 15 пФ на пределах 1–300 В.

Г.3 Принцип работы микровольтметра

Г.3.1 Микровольтметр является электронным аналоговым прибором прямого преобразования.

Г.3.2 Микровольтметр имеет детектор среднеквадратического значения.

Г.3.3 Шкала микровольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы.

Г.3.4 Вход микровольтметра закрытый.

Г.3.5 Структурная схема микровольтметра представлена на рисунке Г.1.

Г.4 Подготовка прибора к работе

Г.4.1 Установите переключатель пределов в положение 300 В.

Г.4.2 Установите тумблер СЕТЬ в верхнее положение.

Г.4.3 Прогрейте прибор в течение 2–3 мин.

Г.4.4 Ручкой ►0◄ установите стрелку прибора на зачерченный сектор шкалы.

Г.4.5 Подайте исследуемый сигнал на вход прибора.



Рисунок Г.1 – Структурная схема микровольтметра ВЗ-40

Г.5 Проведение измерений

Г.5.1 Установите переключатель пределов измерений прибора в положение, соответствующее уровню измеряемого напряжения.

Г.5.2 Измерьте среднеквадратическое значение исследуемого напряжения сигнала.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-117

Д.1 Назначение

Генератор Г4-117 предназначен для испытания и настройки различных широкополосных систем и устройств видеочастоты.

Д.2 Основные технические и метрологические характеристики

Д.2.1 Диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10 МГц (шесть поддиапазонов).

Д.2.2 Основная погрешность установки частоты не превышает $\pm(0,02f + 1)$ Гц; на участке 100–200 Гц не более $\pm(0,02f + 4)$ Гц.

Д.2.3 Выходное напряжение регулируется в пределах 100 мкВ – 3 В ступенями через 10 дБ с помощью ступенчатого аттенюатора и плавно в пределах каждой ступени ручкой РЕГ.ВЫХ (выход 3V);

В пределах 3–30 В – в диапазоне частот до 2 МГц (1–5 поддиапазонов) и 3–20 В – в диапазоне частот 2–10 МГц (6 поддиапазон) на выходе 30 V только ручкой РЕГ.ВЫХ.

Д.2.4 Основная погрешность установки выходного напряжения по шкале стрелочного индикатора не превышает ± 10 % от номинального конечного значения соответствующей шкалы.

Д.3 Принцип работы генератора

Д.3.1 Структурная схема генератора Г4-117 приведена на рисунке Д.1.

Д.3.2 RC-генератор выполнен по схеме с мостом Вина. Диапазон частот выбирается переключателем поддиапазонов МНОЖИТЕЛЬ - МНz, а рабочая частота ручкой ЧАСТОТА.

Д.3.3 Синусоидальные колебания с RC-генератора поступают на регулируемый усилитель и усиливаются до 3 В усилителем высокой частоты (ВЧ).

Часть сигнала с усилителя ВЧ поступает на систему автоматической регулировки уровня (АРУ), детектируется и сравнивается с опорным уровнем $U_{оп}$. В результате вырабатывается постоянное напряжение, управляющее регулируемым усилителем. Таким образом, напряжение на выходе усилителя ВЧ определяется значением $U_{оп}$, которое устанавливается потенциометром РЕГ. ВЫХ.

Д.3.4 Сигнал с усилителя ВЧ поступает через высоковольтный усилитель на выход 30V и через ступенчатый аттенюатор на выход 3V. Уровень выходного сигнала измеряется вольтметром, который переключателем ВОЛЬТМЕТР включается на выход усилителя ВЧ (вход аттенюатора) или на выход высоковольтного усилителя (положение 1 или 2).

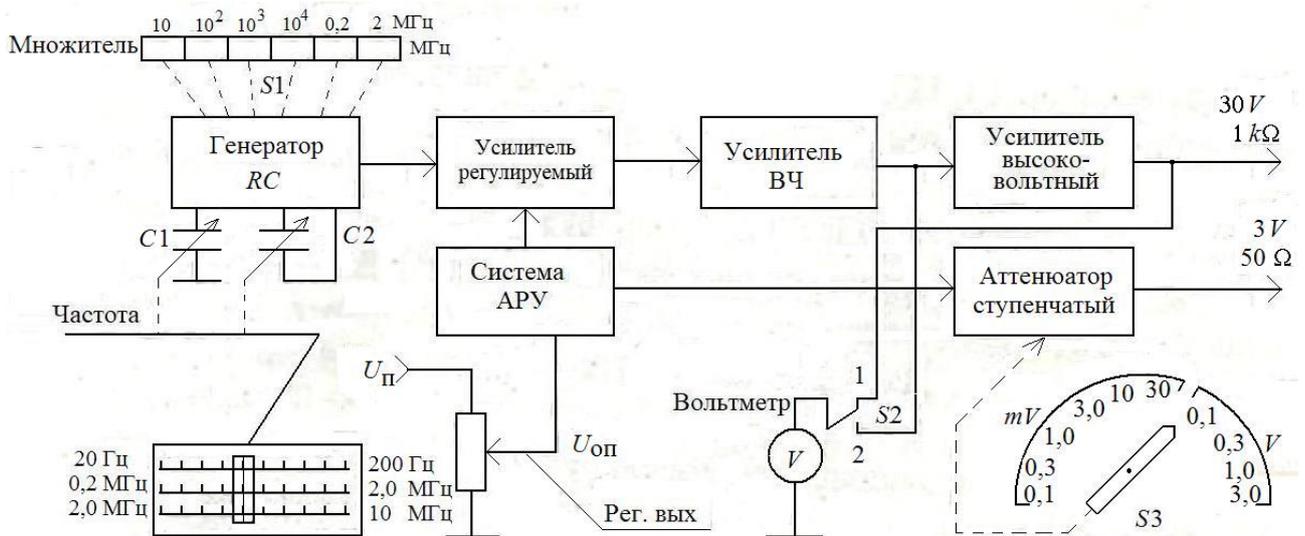


Рисунок Д.1 – Структурная схема генератора Г4-117

Д.4 Подготовка прибора к работе

Д.4.1 Перед началом работы с прибором по надписям на лицевой панели ознакомьтесь с назначением органов управления.

Д.4.2 Установите ручку РЕГ. ВЫХ в крайнее левое положение.

Д.4.3 Включите прибор в сеть при помощи соединительного шнура и установите тумблер в положение СЕТЬ. При этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогрейте прибор в течение 2–3 мин.

Д.4.4 За время самопрогрева убедитесь в работоспособности прибора. Для этого необходимо:

- нажать одну из кнопок переключателя МНОЖИТЕЛЬ-МГц;
- установить тумблер ВОЛЬТМЕТР в правое положение и, вращая ручку РЕГ. ВЫХ, убедиться в наличии напряжения на выходе 3V.

Д.5 Проведение измерений

Д.5.1 Установите необходимое значение частоты с помощью переключателей МНОЖИТЕЛЬ-МГц и ручкой ЧАСТОТА.

Д.5.2 Подключите выход генератора 3V ко входу лабораторного макета.

Д.5.3 Установите необходимое значение выходного значения генератора ручкой РЕГ.ВЫХ, выбрав положение тумблера ВОЛЬТМЕТР выход 3V.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР «РД МАСТЕР»

Е.1 Назначение

Е.1.1 Импульсный рефлектометр «РД Мастер» предназначен для тестирования и локализации повреждений всех типов связных и энергетических кабелей. Позволяет проводить измерения в линиях со значительным уровнем помех и высоким затуханием.

Е.1.2 Функциональные особенности:

- двухпозиционная система отсчета (возможность измерения расстояния между дефектами);

- дополнительное шумоподавление;
- измерение в канале *A*;
- измерение в канале *B*;
- одновременное измерение в каналах *A* и *B*;
- отображение разности результатов измерений в каналах *A* и *B*;
- сравнение рефлектограмм;
- фиксация «плавающих» дефектов;
- оценка взаимного влияния линий передачи;
- локализация разбалансировки пары.

Е.1.3 Специальные функции:

- запись и чтение измерений в цифровом и графическом формате;
- передача протокола измерений на компьютер (*USB*);
- обновление программного обеспечения.

Е.1.4 Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды от +20 до +50 °С ;
- относительная влажность воздуха до 90 % при 30 °С ;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа.

Е.2. Технические и метрологические характеристики

Е.2.1 Пределы измерения расстояний (при коэффициенте укорочения 1,5): 50, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10 000, 25 000, 50 000 м.

Е.2.2 Минимальное значение измеряемого расстояния (при коэффициенте укорочения 1,5 и растяжке «МАХ»): 0,1 м.

Е.2.3 Мертвая зона (при коэффициенте укорочения 1,5): не более 0,1 м.

Е.2.4 Пределы допускаемой погрешности измерения расстояния (при коэффициенте укорочения 1,5): 0,1 + 0,01 % от измеряемого значения, м.

Е.2.5 Перекрываемое затухание: не менее 96 дБ.

Е.2.6 Диапазон регулировки усиления сигнала: 0–88 дБ.

Е.2.7 Амплитуда зондирующего импульса (при $R_{ВХ} = 100 \text{ Ом}$): не менее 12 В.

- Е.2.8 Длительность зондирующего импульса: от 16 до 16 000 нс.
Е.2.8 Выходное сопротивление: от 35 до 350 Ом.
Е.2.9 Частота следования калибровочных меток: $1000 \pm 0,5$ кГц.
Е.2.10 Память: до 256 РФГ.
Е.2.11 Связь с ПК: *USB*.
Е.2.12 Высококонтрастный жидкокристаллический дисплей 320×240 .
Е.2.13 Время работы от аккумуляторной батареи: не менее 6 часов (без подсветки).
Е.2.14 Прибор выполнен в металлическом ударопрочном корпусе, помещенном для удобства эксплуатации в многофункциональный чехол-футляр.

Е.3 Принцип работы прибора

Е.3.1 В основу работы прибора положен импульсный метод измерения параметров линий связи, основанный на явлении отражения электромагнитных волн в местах изменения волнового сопротивления линии.

В исследуемую линию подаются короткие зондирующие импульсы напряжения, которые при распространении по линии частично или полностью отражаются от различных неоднородностей (короткого замыкания, обрыва, изменения волнового сопротивления линии, уменьшения сопротивления изоляции).

Отраженные сигналы возвращаются к источнику зондирующего сигнала, в результате получается рефлектограмма исследуемой линии.

Рефлектограмма является визуализированной индикацией места повреждения кабеля, оценки однородности линии, качества муфтовых соединений. По рефлектограмме определяется расстояние до места расположения неоднородности.

Два изолированных проводника, расположенных вблизи друг от друга, образуют линию передачи с некоторым характеристическим сопротивлением (импедансом). Если импеданс везде одинаков, то тестовый импульс проходит в линию полностью.

Любые изменения характеристик кабеля или несовпадение импедансов стыкуемых частей кабеля вызывают отражение части энергии импульса.

Измерив время, в течение которого импульс доходит до места отражения и возвращается обратно, можно рассчитать расстояние до места расположения неоднородности.

Скорость V распространения импульса в кабеле зависит от характеристик кабеля и определяется с помощью коэффициента укорочения:

$$K_{\text{укор}} = C / V,$$

где C – скорость света в вакууме.

Для большинства марок кабелей коэффициент укорочения находится в пределах от 1 до 3.

Прибор отображает на экране как переданный, так и отраженный импульс. Тип повреждения может быть определен по форме отраженного импульса (рисунок Е.1).



Рисунок Е.1 – Рефлектограмма исследуемой линии передачи

Наилучшие результаты измерения достигаются при непосредственном подключении к измеряемому кабелю.

Е.3.2 Внешний вид прибора представлен на рисунке Е.2.

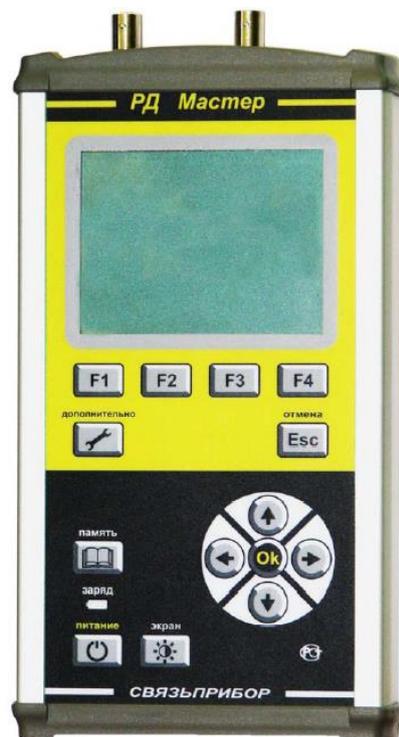
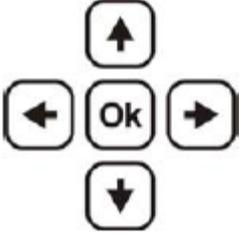


Рисунок Е.2 – Внешний вид прибора «РД Мастер»

Е.3.3 Функциональное назначение кнопок управления представлено в таблице Е.1.

Таблица Е.1

Кнопка	Назначение
питание 	Включение/выключение прибора
	«Горячие» кнопки: функциональное назначение определяется режимом работы
отмена 	Выход/отмена текущего действия или сообщения
ПАМЯТЬ 	Сохранение и просмотр результатов в памяти прибора
дополнительно 	Настройка дополнительных параметров, вызов дополнительных функций
экран 	Управление контрастностью и подсветкой экрана прибора
	Навигационные кнопки: вправо, влево, вверх, вниз, <i>Ok</i> .

Е.3.4 Внешний вид панели разъемов представлен на рисунке Е.3.



Рисунок Е.3 – Внешний вид панели разъемов

Е.3.5 На панели разъемов прибора расположены (слева направо):
 - разъем для подключения зарядно-питающего устройства;

- разъем *USB* (связь с компьютером);
- разъем для подключения измерительного провода к выходу/входу *A*;
- разъем для подключения измерительного провода к выходу/входу *B*.

Батарейный отсек вынимается из прибора путем нажатия на фиксаторы-защелки.

Е.4 Подготовка прибора к работе

Е.4.1 Проведите внешний осмотр прибора. Убедитесь в отсутствии механических повреждений корпуса и элементов, расположенных на лицевой панели.

Внимание! Перед включением прибора полностью зарядите аккумуляторы с помощью штатного зарядно-питающего устройства, входящего в комплект.

После заряда проверьте напряжение на аккумуляторах. Напряжение на каждом из них должно быть не менее 1,2 В.

Е.4.2 Включите прибор. О правильном подключении и нормальном напряжении питания свидетельствует появление на экране заставки, сообщающей о типе прибора и версии встроенного программного обеспечения.

Внимание! В приборе реализована защита от случайного включения.

После включения прибора кнопкой (Вкл/Выкл) необходимо в течение 2 с подтвердить включение нажатием кнопки **OK**.

После выключения прибора его повторное включение возможно только через 2 с.

Встроенное устройство контроля аккумуляторов отключает прибор при снижении напряжения питания ниже допустимого.

Проверить степень заряда аккумуляторов можно по изображению батарейки в правом верхнем углу экрана.

При нажатии на кнопку управления подсветкой и контрастностью появляется меню настройки экрана, с помощью которого при необходимости можно выполнить подстройку контрастности и яркости изображения.

Е.5 Проведение измерений

Е.5.1 Измерение расстояния.

Е.5.1.1 Прибор располагает набором режимов и функций, доступ к которым осуществляется через «горячие» кнопки *F1*, *F2*, *F3*, *F4* и кнопки дополнительного управления и навигации. Выбор параметра осуществляется нажатием кнопки **OK**, выход из режима или отмена действия – кнопкой **Esc**.

Вид экрана прибора после включения примет вид, представленный на рисунке Е.4.



L – расстояние от начала зондирующего импульса до активного курсора;

Δ – расстояние между курсорами

Рисунок Е.4 – Изображение на экране прибора непосредственно после включения

Мигание курсора указывает на его активность на данный момент.

Е.5.1.2 Переключение работы курсоров осуществляется нажатием кнопки **ОК**.

Е.5.1.3 Кнопки \rightarrow и \leftarrow перемещают активный курсор по горизонтали. При неактивности «горячих» кнопок (соответствующие им режимы на экране не выделены) навигационные кнопки \uparrow и \downarrow перемещают рефлектограмму по вертикали.

Е.5.1.4 Для измерения расстояния до предполагаемого повреждения кабеля (дефекта) установите нулевой курсор на начало зондирующего импульса.

Е.5.1.5 Переключите нулевой курсор на измерительный. Навигационными кнопками \rightarrow и \leftarrow переместите и установите измерительный курсор на начало отраженного импульса. От точности позиционирования зависит погрешность измерения. При необходимости растяните полученную рефлектограмму до получения наиболее четкой картинки для наиболее точного позиционирования курсора.

Е.5.1.6 По значениям L и Δ на экране оцените расстояние до предполагаемого повреждения кабеля (дефекта).

Е.5.1.7 При измерении возможно изменение диапазона измерений. Для этого перед началом измерений необходимо установить соответствующие параметры.

Е.5.1.7.1 Нажмите кнопку **Диапазон (F2)**. При этом соответствующая ячейка становится активной. С помощью кнопок \uparrow и \downarrow установите длину, несколько большую расстояния до предполагаемого дефекта или до конца кабеля.

Е.5.1.7.2 В зависимости от выбранного диапазона прибор сам устанавливает оптимальную ширину импульса. При этом измеритель может изменять этот параметр для получения более четкой картинки. Для этого нажмите кнопку **Импульс (F3)** и с помощью кнопок \uparrow и \downarrow выберите наиболее информативное значение.

Е.5.1.7.3 При измерении малых расстояний следует пользоваться короткими импульсами, а на больших – более длинными (рисунок Е.5).

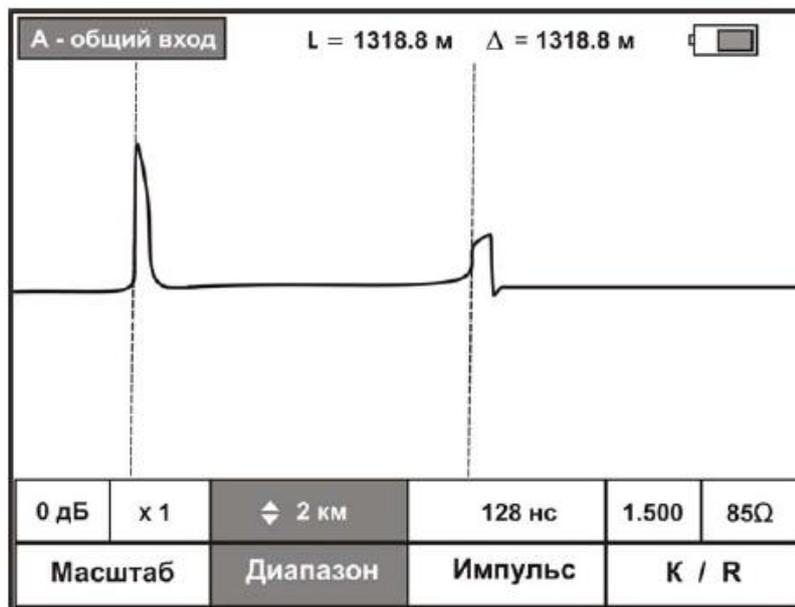


Рисунок Е.5 – Изображение импульсов различной длительности

Е.5.1.7.4 Для отмены активности режима «горячих» кнопок нажмите **Ок**.

Е.5.1.8 В приборе предусмотрена возможность изменения размера рефлектограммы по горизонтали и вертикали.

Е.5.1.8.1 Для изменения размера по вертикали нажмите кнопку **Масштаб (F1)**. Затем в установившемся активном режиме **Масштаб Y** с помощью кнопок \uparrow и \downarrow выберите наиболее информативное значение (рисунок Е.6).

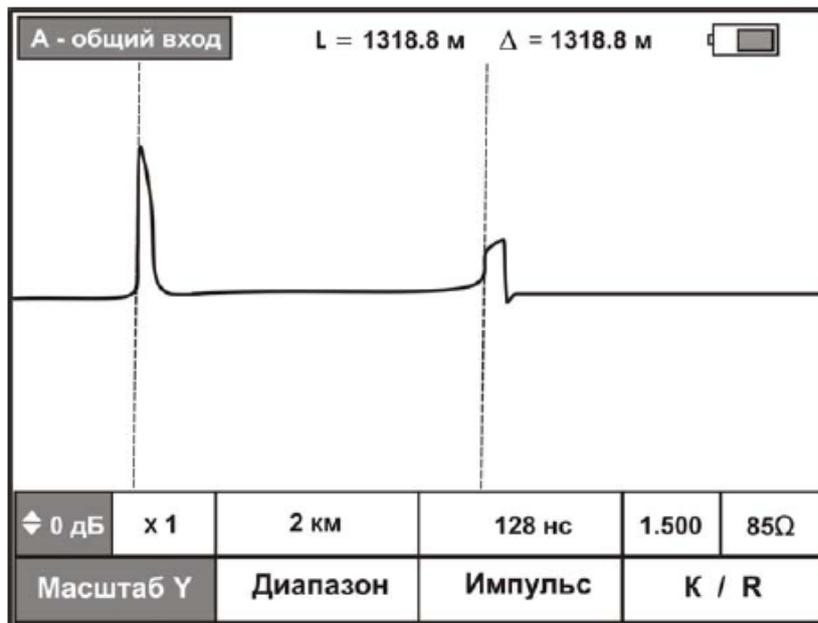


Рисунок Е.6 – Вид экрана при изменении размера рефлектограммы по вертикали

Е.5.1.8.2 Для изменения временного масштаба повторно нажмите кнопку **Масштаб Y (F1)** и в установившемся активном режиме **Масштаб X** с помощью кнопок \uparrow и \downarrow выберите наиболее информативное значение растяжки (рисунок Е.7).

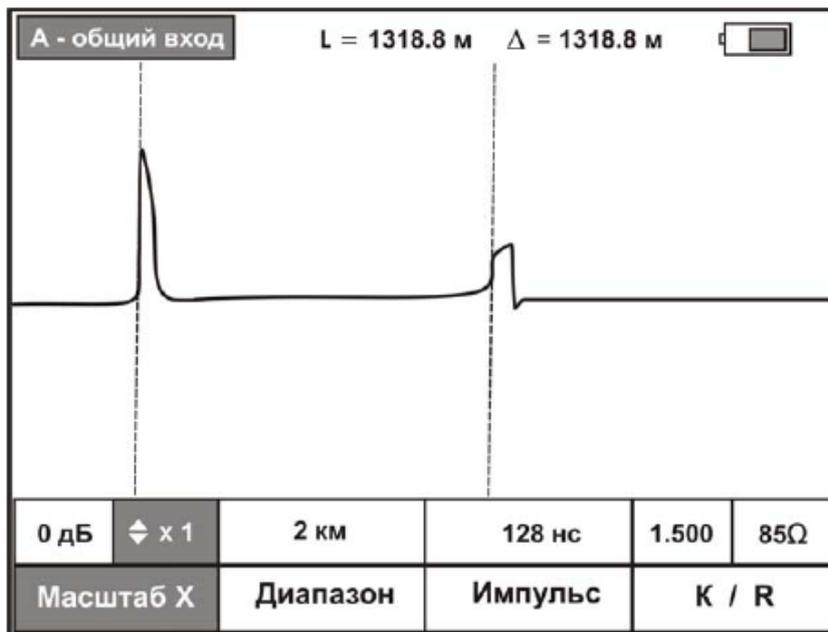


Рисунок Е.7 – Вид экрана при изменении размера рефлектограммы по горизонтали

Е.5.1.9 Изменение коэффициента укорочения.

Корректное измерение расстояния проводится после установки правильного коэффициента укорочения для измеряемого кабеля.

Наиболее точные значения коэффициента укорочения должны быть приведены заводом-изготовителем в паспорте кабеля.

Нажмите кнопку K/R ($F4$). В активном режиме K укор с помощью кнопок \uparrow и \downarrow установите желаемое значение коэффициента укорочения (рисунок Е.8).

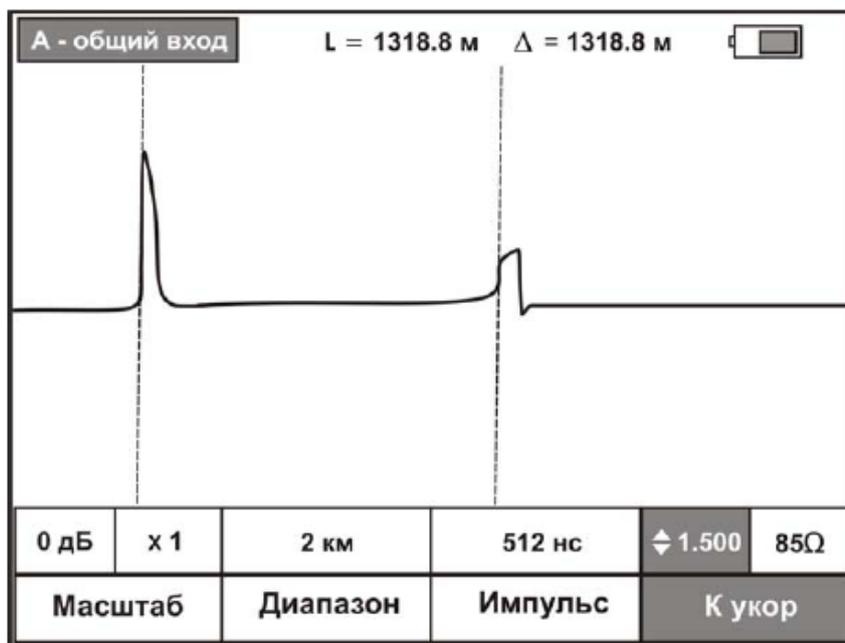


Рисунок Е.8 – Установка коэффициента укорочения

Е.5.1.10 Если коэффициент укорочения неизвестен, но точно известна длина кабеля (не менее 50 м), установите измерительный курсор на конец кабеля.

Затем, изменяя значение коэффициента укорочения, добейтесь показаний расстояния до измерительного курсора (верхняя строка экрана) равным реальной длине кабеля. Полученный при этом коэффициент укорочения будет искомым.

Е.5.1.10 Для согласования выхода прибора с волновым сопротивлением кабеля и получения на экране более четкой рефлектограммы необходимо выбрать соответствующее значение сопротивления согласования $R_{\text{согл}}$.

Для этого повторно нажмите кнопку K/R ($F4$) и в установившемся активном режиме $R_{\text{согл}}$ выберите необходимое значение сопротивления согласования (рисунок Е.9).

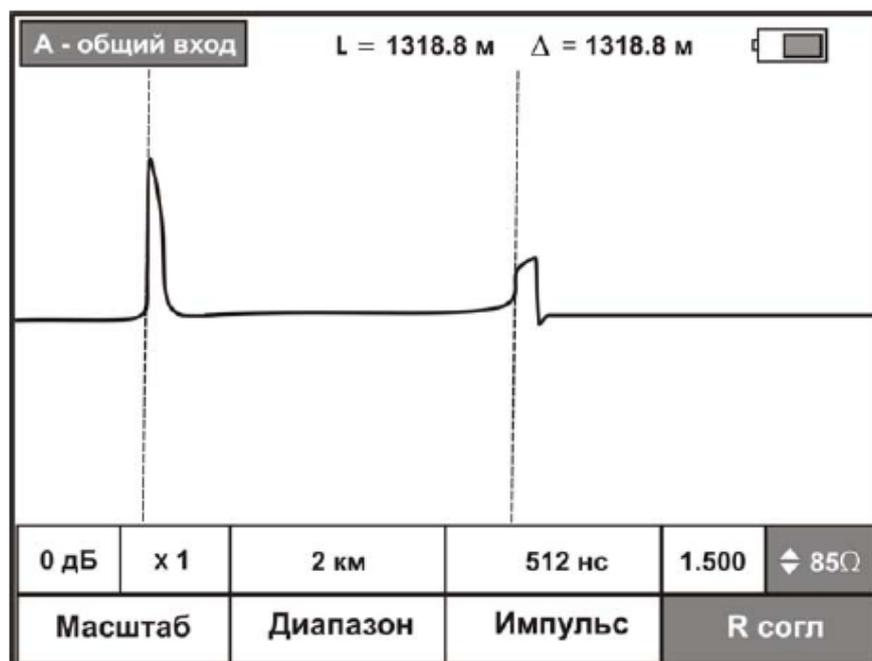


Рисунок Е.9 – Установка режима согласования

Е.5.2 Дополнительная настройка режима измерения осуществляется нажатием кнопки Дополнительно (рисунок Е.10).



Рисунок Е.10 – Меню дополнительных настроек

Е.5.1 В данном меню выполняются дополнительные настройки:

- Режим измерения: позволяет выбрать необходимый режим измерений;
- А – общий выход;

- **B** – общий вход;
- **A**-выход – **B**-вход (раздельный вход);
- **A** и **B** (работа одновременно с двумя общими входами);
- дифференциальный вход (отображение разницы между отраженными сигналами двух каналов);

- **Усреднение**: позволяет изменить количество усреднений. При уменьшении этого параметра время отклика сокращается, но возрастает влияние шумов. При большом уровне шумов рекомендуется устанавливать максимальную степень усреднения.

- **Антишум**: позволяет включить (выключить) дополнительный фильтр помех. При этом мелкие дефекты могут быть не видны.

- **Фиксация плавающих дефектов**: позволяет проводить длительный мониторинг состояния кабеля и фиксировать изменения, происходящие на линии с течением времени. При этом на рефлектограмме наглядно отобразится область «плавающего» дефекта (рисунок Е.11).

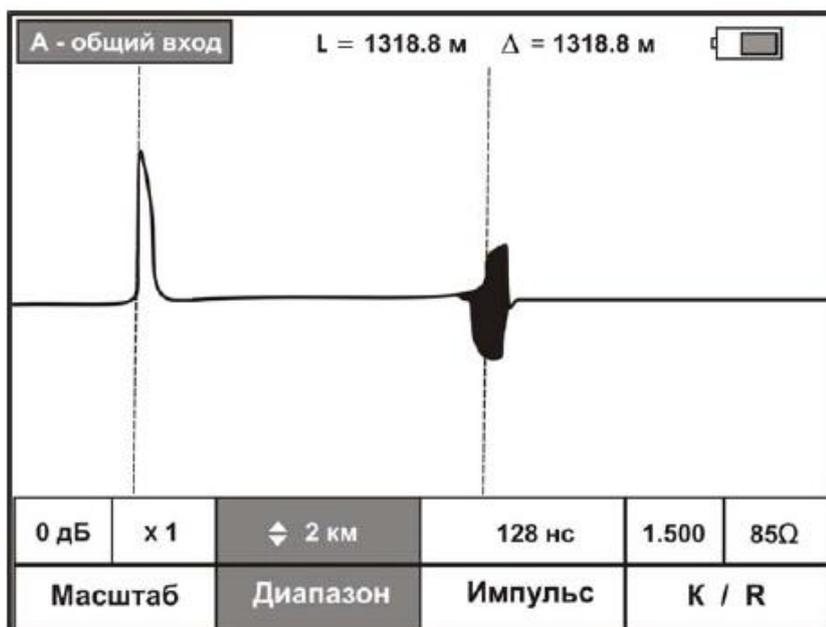


Рисунок Е.11 – Изображение области «плавающего» дефекта

- **Калибровочные метки**: данный режим предназначен для проведения поверки (калибровки) прибора.

Е.5.2 Изменение значения или включение режима осуществляется кнопками ←, →. Возврат в режим измерений с сохранением настроек на текущий сеанс производится с помощью кнопки Применить (F1) или Ок.

Кнопка Esc – возврат в режим измерений без сохранения.

Кнопка Восстанов. завод. параметры (F4) восстанавливает заводские настройки по умолчанию.

Кнопкой Дополнительно в пункте Режим измерения выбирается с помощью кнопок ←, → нужный общий вход А или В.

Е.5.3 В режиме с раздельным входом (*A*-выход, *B*-вход) зондирующий импульс передается в линию через разъем *A* (ВЫХОД). Отраженный сигнал поступает в прибор через разъем *B* (ВХОД). Такое подключение позволяет оценить переходное влияние одной линии на другую. Также этот режим полезен для поиска мест перепутывания жил кабеля (разбитости).

Импульс распространяется по линии и доходит до места перепутывания жил, которое характеризуется резким увеличением электромагнитной связи между парами. В результате на экране рефлектометра наблюдается характерный сигнал (рисунок Е.12).

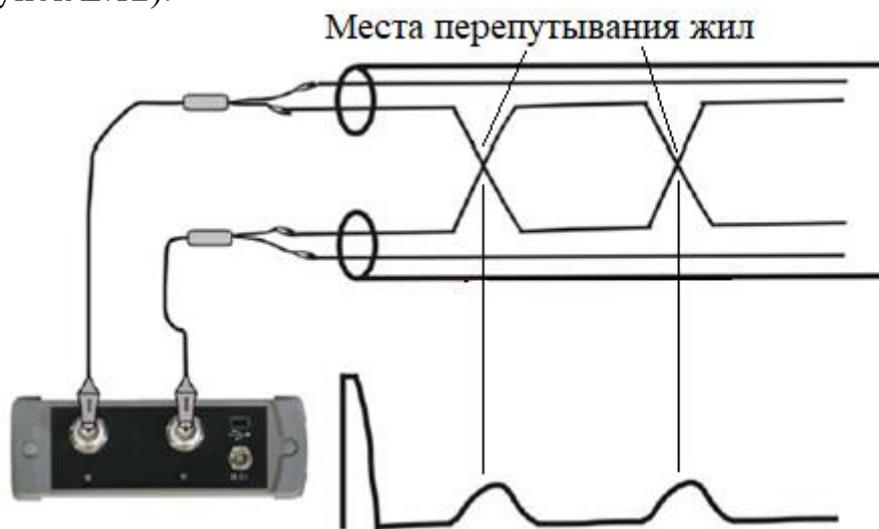


Рисунок Е.12 – Сигнал в месте перепутывания жил кабеля

Е.5.4 В режиме с двумя активными общими входами (*A* и *B*) зондирующие импульсы подаются в разные жилы, и на экране отображаются одновременно оба отраженных сигнала. Такой режим позволяет визуально сравнить жилы и выбрать лучшую, с наибольшей степенью однородности (рисунок Е.13).

Е.5.5 Если необходимо дифференциальное сравнение жил или пар (поиск асимметрии жил (пар)), то следует выбрать режим **Дифференциальный вход**.

Е.5.5.1 Подключите прибор по одному из вариантов, как показано на рисунках (предполагается, что одна из жил (пар) заведомо исправна) (рисунок Е.14).

Отображаемая на экране разница отраженных сигналов позволяет точно определить расстояние до места, где жилы (пары) отличаются друг от друга (рисунок Е.15). Поскольку на экране показана разность сигналов, то по виду рефлектограммы нельзя судить о характере неисправности (обрыв, короткое замыкание или низкий импеданс цепи). Для уточнения необходимо использовать режим общего входа.

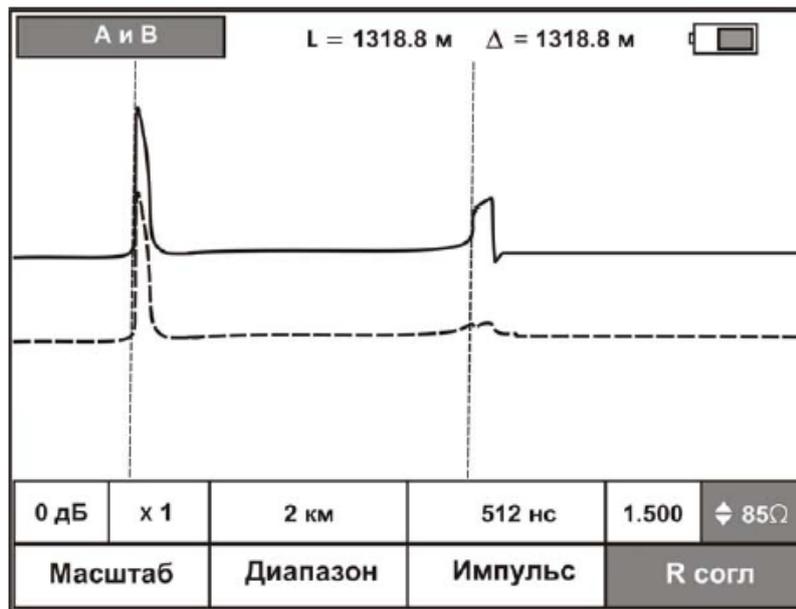


Рисунок Е.13 – Результат сравнения отраженных сигналов

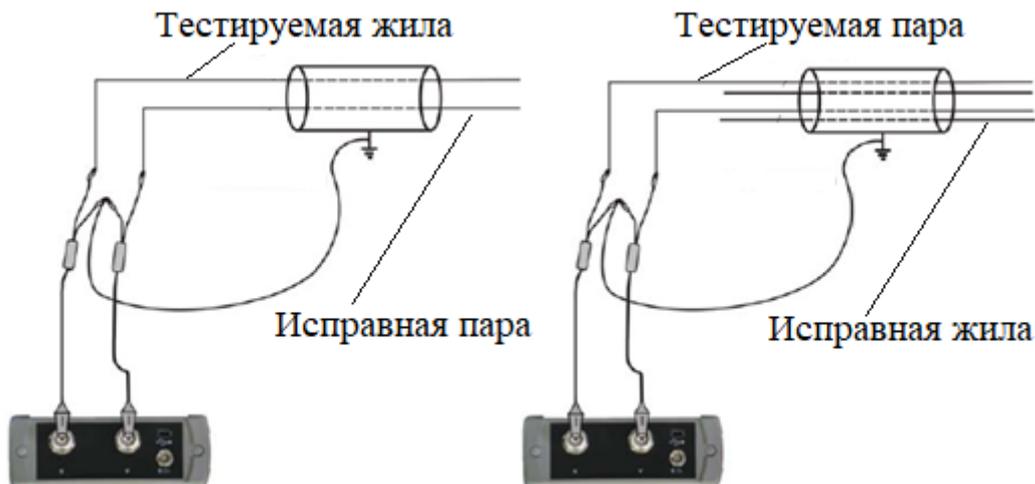


Рисунок Е.14 – Подключение в режиме дифференциального сравнения жил

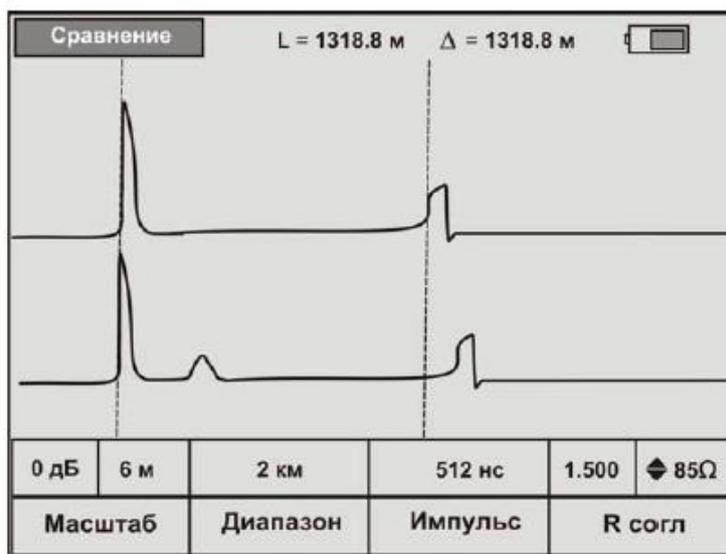


Рисунок Е.15 – Результат сравнения рефлектограмм

Е.5.7 Для сохранения результатов измерений нажмите **F1** (Сохранить).

Е.5.8 Сравнение результатов измерений

В приборе существует возможность сравнения результатов измерений:

- канал **A** – память;
- канал **B** – память;
- отдельный вход – память;
- дифференциальный вход – память;
- память – память.

Е.5.8.1 Для сравнения двух ранее сохраненных рефлектограмм необходимо с помощью ↓, ↑ выбрать файл для сравнения и нажать **Сравнить (F1)**.

Выбранный файл выделится инверсией, а соответствующая ему рефлектограмма зафиксируется в верхней части правой стороны экрана.

Е.5.8.2 Аналогично выбирается рефлектограмма для сравнения. В нижней части правой стороны экрана будут отображаться все перебираемые варианты.

Е.5.8.3 После выбора нужной рефлектограммы для сравнения повторно нажмите **Сравнить (F1)**.

Внимание! Для корректного визуального сравнения результатов измерений необходимо выполнение следующего условия: в числе сравниваемых рефлектограмм не должно быть ячеек с записью режима двух общих входов (**A** и **B**). В противном случае на экране появится соответствующее предупреждение о невозможности сравнения: ⊗.

После повторного нажатия кнопки **Сравнить (F1)** экран прибора примет полноэкранный вид с отображением сравниваемых рефлектограмм (см. рисунок Е.15).

При этом в ячейках параметров будут указаны значения для верхней рефлектограммы.

Е.5.8.4 Для сравнения рефлектограммы из памяти с текущим результатом измерения необходимо с помощью ↑, ↓ выбрать файл для сравнения и нажать Сравнить (*F1*) дважды.

Е.5.8.5 Выход из режима Сравнение производится поэтапным нажатием кнопки *Esc*.

Е.5.9 Создание и переименование папок.

Е.5.9.1 Для создания новой папки в любом месте основного меню памяти нажмите кнопку *F1*. Для переименования кнопками ↓ и ↑ выберите папку (выделяется цветом) и нажмите кнопку *F2*.

После этого появится диалоговое окно ввода (редактирования) имени (рисунок Е.16):

- *F1* применение (сохранение) действий;
- *F2*, *F3* передвижение курсора по окну имени;
- *F4* удаление символа;
- навигационные кнопки ↑, ↓ и →, ← – передвижение по символьной таблице;
- переключение таблицы символов с русского языка на английский осуществляется кнопкой ;
- кнопка *Ok* подставляет выбранный символ в окно имени.



Рисунок Е.16 – Диалоговое окно ввода (редактирования) имени файла

Е.5.10 Просмотр файлов.

Для просмотра нужного файла выберите его кнопками ↑, ↓ (выделяется цветом) и нажмите кнопку *F4*. После этого будет выведен полноэкранный режим с сохраненными результатами измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

КОМПЬЮТЕРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА БАЗЕ ЭВМ И ПЛАТЫ NI PCI-6251

Ж.1 Назначение

Компьютерно-измерительная система предназначена для измерения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик пассивных и активных четырехполюсников.

Ж.2 Технические и метрологические характеристики

Ж.2.1 Диапазон рабочих частот 1–150 кГц.

Ж.2.2 Пределы измерения фазовых сдвигов $\pm 180^\circ$.

Ж.2.3 Пределы измерения относительной амплитуды от –30 дБ до +20 дБ.

Ж.2.4 Основная погрешность измерения фазовых сдвигов $\pm 2^\circ$.

Ж.2.5 Погрешность измерения относительной амплитуды ± 1 дБ.

Ж.2.6 Собственная неравномерность АЧХ не более 0,3 дБ.

Ж.2.7 Погрешность измерения частоты с помощью курсора $\pm 0,0015$ %.

Ж.2.8 Сопротивление аналогового входа 10 ГОм.

Ж.2.9 Емкость аналогового входа 100 пФ.

Ж.2.10 Сопротивление аналогового выхода 0,2 Ом.

Ж.3 Устройство и принцип действия системы

Структурная схема измерителя АЧХ и ФЧХ представлена на рисунке Ж.1.

В качестве источника опорного и измерительного сигнала используется цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) платы NI PCI-6251.

Генерация синусоидального сигнала заданной частоты происходит следующим образом. Цифровые коды выборок, описывающих уровень сигнала в отдельные моменты времени, передаются по интерфейсной шине от ЭВМ и заносятся в буфер ЦАП.

Считывание из буфера и последующая генерация отдельной выборки синхронизируется тактовым генератором. Считывание и генерация происходит с периодом, соответствующим временному интервалу между выборками. Буфер ЦАП работает по принципу *FIFO (First Input First Output)*, поэтому при считывании выборки сигнала в конец буфера записывается новая. Таким образом достигается непрерывная генерация заданного аналогового сигнала.

К источнику сигнала исследуемый четырехполюсник подключается через коннекторный блок. Коннекторный блок представляет собой набор выводов платы, совмещенных в один блок для подключения внешних устройств. Вход четырехполюсника подключается к выводу *ao0* ЦАП и к выводу аналоговой «земли» *ao_{gnd}*. Измерительный сигнал поступает через вывод *ao0* на

четырёхполосник, а в качестве опорного используется тот же источник сигнала, подключенный параллельно к аналоговому входу $ai1$. Сигнал с выхода четырёхполосника поступает на аналоговый вход $ai0$.

В плате используется только один АЦП для всех аналоговых входов, поэтому для обеспечения поочередного считывания сигналов со всех входов используется мультиплексор (MUX). Процесс получения одного отсчета сигнала и занесение его в буфер синхронизируется тактовым генератором ТГ2.

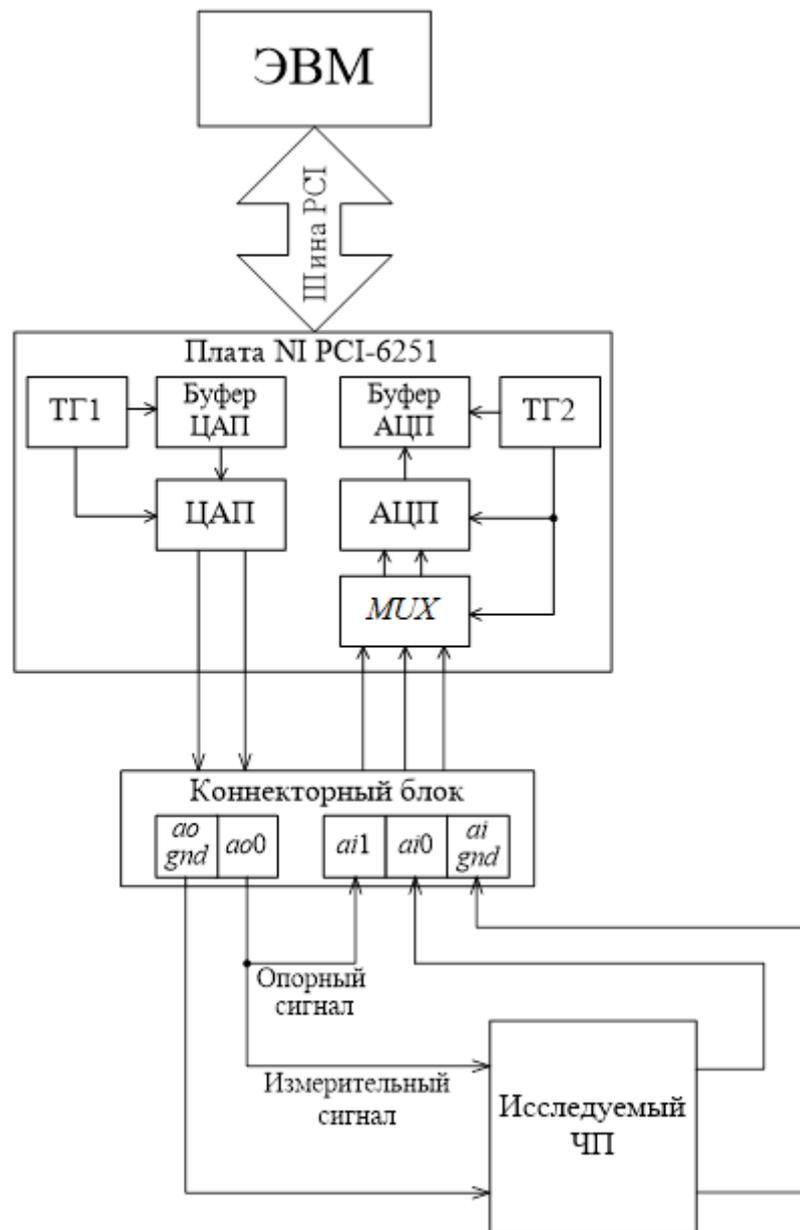


Рисунок Ж.1 – Структурная схема КИС для исследования АЧХ и ФЧХ четырёхполосников

Тактовым генератором задается частота дискретизации аналогового сигнала. При завершении операции считывания сигналов заполненный данными буфер высвобождается и информация поступает на ЭВМ. Так как получение отсчета для каждого из двух сигналов происходит не одновременно, а поочередно, полученные оцифрованные сигналы будут иметь ложный фазовый сдвиг, который далее в процессе вычислений корректируется в ЭВМ.

Управление платой, обработка полученной информации и ее графическое отображение происходят в ЭВМ с использованием программы, разработанной в графической среде программирования *LabVIEW 2009*. Лицевая панель программы представлена на рисунке Ж.2.

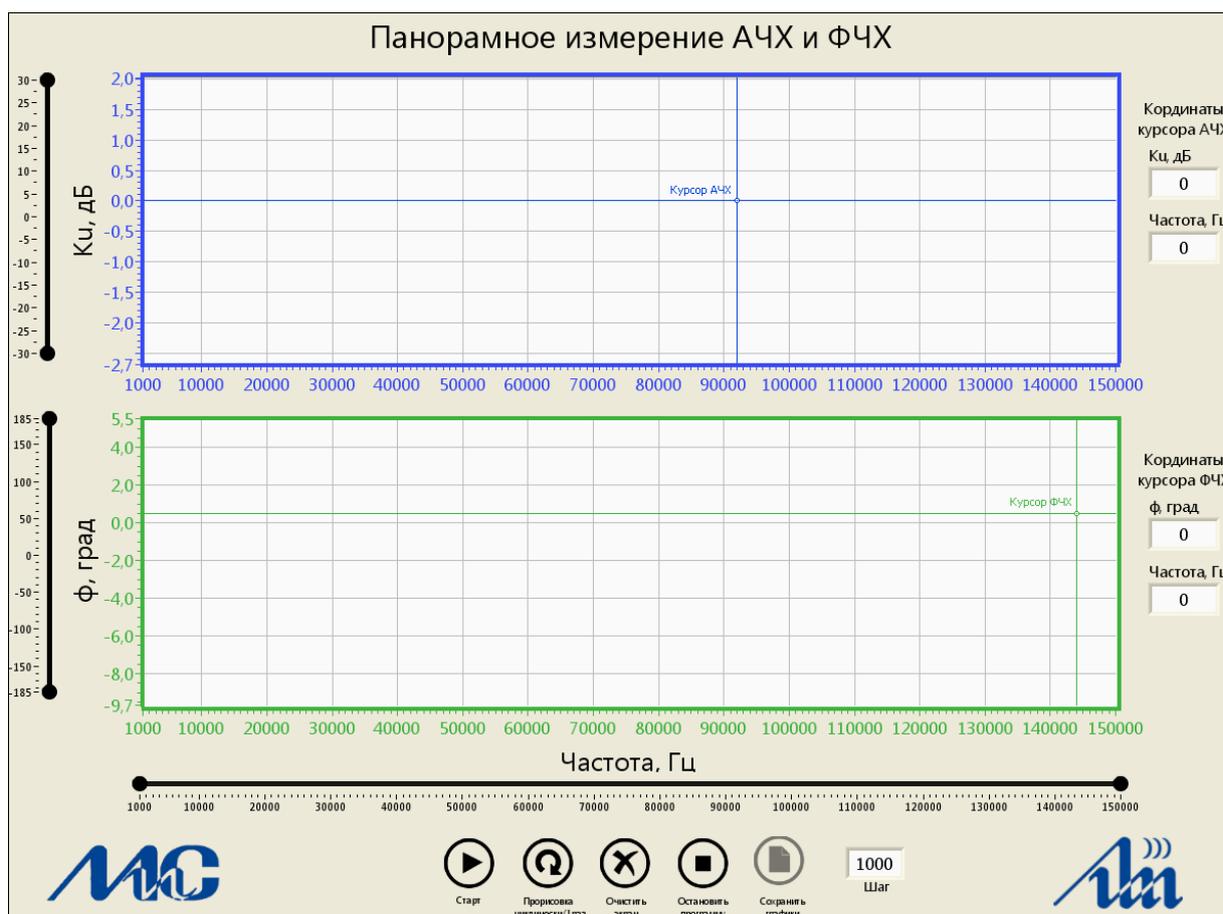


Рисунок Ж.2 – Передняя панель компьютерно-измерительной системы для исследования АЧХ и ФЧХ ЧП

Верхний график на лицевой панели изображает зависимость модуля коэффициента $K_u(f)$ передачи по напряжению исследуемого четырехполюсника от частоты в децибелах. Нижний график изображает зависимость фазового сдвига сигнала, прошедшего через четырехполюсник, относительно опорного в зависимости от частоты $\varphi(f)$ в градусах.

Для управления диапазоном изменения частоты измерительного синусоидального сигнала используется ползунок Частота, Гц. Шаг изменения частоты задается в окне Шаг в пределах от 1 до 1000 Гц.

Ползунки K_u , дБ и φ , град изменяют пределы отображения графиков зависимостей по оси ординат.

Управление запуском построения АЧХ и ФЧХ производится с помощью кнопок внизу лицевой панели программы. Нажатие кнопки  (Старт) запускает работу программы и построение графика по установленным параметрам изменения частоты.

Кнопкой Прорисовка циклически/1 раз изменяется режим прорисовки графика. Когда отображается значок , график воспроизводится циклически при достижении верхнего предела изменения частоты измерительного сигнала. При нажатии на эту кнопку режим прорисовки переключится в однократный, и кнопка сменит отображение значка на . Режимы переключаются повторным нажатием кнопки.

Нажатие кнопки  (Очистить экран) останавливает прорисовку графика, очищает графики, и построение АЧХ и ФЧХ начнется заново с минимальной заданной частоты.

Нажатие кнопки  (Остановить программу) полностью останавливает выполнение программы.

Для определения координаты отдельной построенной точки на графиках используются курсоры Курсор АЧХ и Курсор ФЧХ. Информация о координате точки, на которой установлен курсор, отображается слева от графиков. Курсоры Курсор АЧХ и Курсор ФЧХ становятся активными только после окончания прорисовки в режиме однократной прорисовки.

Если пользователь устанавливает режим однократной прорисовки частотных характеристик, то по окончании прорисовки во всем установленном диапазоне становится активной кнопка  (Сохранить графики). При нажатии этой кнопки сначала открывается диалоговое окно для выбора пути сохранения изображения графика АЧХ, а затем – диалоговое окно сохранения изображения графика ФЧХ в формате *JPEG*.

Ж.4 Проведение измерений

Ж.4.1 Работа с программой начинается после нажатия кнопки  (*Run*) в левом верхнем углу окна с открытой программой. Для начала проведения измерений частотных характеристик необходимо нажать кнопку СТАРТ. Перед началом измерения с помощью ползунков ЧАСТОТА, Гц, K_u , дБ, φ , град и окна ШАГ задаются требуемые начальные параметры представления частотных характеристик на экране.

Ж.4.2 Для запуска процесса измерения нажимается кнопка СТАРТ. Характеристики будут воспроизводиться циклически, что является удобным при наблюдении изменения формы частотных характеристик при изменении параметров исследуемой цепи.

Ж.4.3 В дальнейшем можно изменить пределы и шаг перестройки частоты синусоидального сигнала для детального наблюдения отдельной конкретной области. Также можно в любой момент времени изменить пределы изменения значений на осях ординат графиков.

Ж.4.4 При необходимости поточечного исследования частотных характеристик необходимо перейти в режим однократного воспроизведения с помощью кнопки **Воспроизведение циклически / 1 раз**. По окончании воспроизведения координаты каждой точки можно определить управляя местоположением курсоров **Курсор АЧХ** и **Курсор ФЧХ** для соответствующих графиков. При установке курсора в требуемую точку графика координаты точки отобразятся в окнах на лицевой панели справа от графика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 16465-70. Сигналы радиотехнические измерительные. – Введ. 1971–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1971.
- 2 СТБ 1343-2007 Единая сеть электросвязи Республики Беларусь. Термины и определения. – Введ. 2007–12–01. – Минск : Госстандарт, 2015.
- 3 Нефедов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи : учеб. пособие / В. И. Нефедов, А. С. Сигов ; под ред. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2009.
- 4 Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / А. С. Елизаров. – Минск : Высш. шк., 1986.
- 5 Измерения в электронике : справочник / под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987.
- 6 *ITU-T O.132 Quantizing distortion measuring equipment using a sinusoidal test signal* (Дискретизирующее измерительное оборудование для измерения искажения, использующее синусоидальный испытательный сигнал) / ITU-T Recommendation O.132-1988.
- 7 Бакланов, И. Г. Методы измерений в системах связи : учеб. пособие / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-трэндз, 1999.
- 8 Канаков, В. А. Новые технологии измерения в цифровых каналах передачи информации : учеб.-метод. материалы по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» / В. А. Канаков. – Н. Новгород, 2006.
- 9 ГОСТ 11515-91. Каналы и тракты звукового вещания. Основные параметры качества. Методы измерений. – Введ. 1992–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1991.
- 10 Куроедов, С. К. Использование технологии виртуальных приборов для построения анализаторов частотных характеристик электрорадиоэлементов / С. К. Куроедов, В. А. Мартяшин [и др.] // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments : VII Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Изд-во РУДН, 2008. – С. 191–198.
- 11 Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Дж. Тревис, Дж. Кринг. – М. : ДМК Пресс, 2008.
- 12 Bitter, R. LabVIEW: advanced programming techniques. 2nd ed. / Richard Bitter, Taqi Mohiuddin, Matthew R. Nawrocki. – CRC Press, 2006.
- 13 Системы сбора данных. Учебный курс National Instruments. – Режим доступа : <https://www.ni.com/en/shop/labview/labview-plus-suite.html>.
- 14 Картер, Б. Операционные усилители для всех / Б. Картер, Р. Манчини ; пер. с англ. А. Н. Рабодзея. – М. : Додэка-XXI, 2011.
- 15 АКПП-4115/A1 Осциллограф цифровой запоминающий. Руководство по эксплуатации. – Режим доступа : <http://www.Energo-snab.ru>.
- 16 Рефлектометр «РД Мастер». Руководство по эксплуатации. – Режим доступа : <http://www.docplayer.ru>.

Учебное издание

Дерябина Марина Юрьевна
Ревин Валерий Тихонович

**КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ
ИНФОКОММУНИКАЦИЙ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Ю. В. Граховская*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная верстка, оригинал-макет *А. А. Лущикова*

Подписано в печать 10.07.2025. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 30 экз. Заказ 142.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск