

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**



**ИмпульсМ**

**Н.Д. МАЛЮТИН, Э.В. СЕМЕНОВ,  
А.Г. ЛОЩИЛОВ**

**Измерение параметров ВЧ и СВЧ устройств с  
помощью векторных анализаторов цепей  
Р4-И-01 и Обзор-103**

Методические указания

Томск  
2012

Малютин Н.Д., Семенов Э.В., Лоцилов А.Г. Измерение параметров ВЧ и СВЧ устройств с помощью векторных анализаторов цепей Р4-И-01 и Обзор-103. Методические указания. Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектрон., 2012.– 71 с.

Содержит описание лабораторных работ по измерению параметров ВЧ и СВЧ устройств с помощью современных методов с применением импульсного векторного анализатора Р4-И-01 и измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения Обзор-103. Предназначено для студентов специальности 210201 – Проектирование и технология радиоэлектронных средств и других специальностей и направлений.

# Содержание

<b>1 ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>2 ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>6</b>
<b>3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....</b>	<b>8</b>
<b>4 ОПИСАНИЕ ПРИБОРА .....</b>	<b>9</b>
4.1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРА .....	9
4.2 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА .....	10
4.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ .....	12
4.4 МИНИМАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭВМ .....	13
4.5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	13
4.6 КОМПЛЕКТНОСТЬ .....	15
4.7 ОПИСАНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗЪЕМОВ ..	16
<b>5 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ .....</b>	<b>18</b>
5.1 ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА .....	18
5.2 УСТАНОВКА ДРАЙВЕРОВ .....	18
5.3 УСТАНОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	19
<b>6 ПОРЯДОК РАБОТЫ.....</b>	<b>20</b>
6.1 ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ПРИБОРА .....	20
6.2 ВЫБОР РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЯ .....	21
6.2.1 Измерение частотных характеристик.....	23
6.2.2 Измерение гармонических искажений .....	23
6.2.3 Измерение интермодуляционных искажений .....	24
6.2.4 Измерение нуль-спектральных искажений .....	24
6.2.5 Построение рефлектограмм (в том числе нелинейных) .....	25
6.3 ЗАПУСК И ОСТАНОВКА ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ.....	25
6.4 ЭКСПОРТ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ФАЙЛ .....	26
6.6 ЗАВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ .....	26
<b>7. НАСТРОЙКА ПРИБОРА .....</b>	<b>27</b>
7.1 ВЫБОР И НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОГО СИГНАЛА.....	27
7.1.1 Тестовый сигнал «Хевисайда функция» .....	31
7.1.2 Тестовый сигнал «Видеоимпульс».....	32
7.1.3 Тестовый сигнал «ЛЧМ-импульс».....	33
7.1.4 Тестовый сигнал «Радиоимпульс» .....	35
7.1.5 Тестовый сигнал «Двухчастотный импульс» .....	36
7.1.6 Тестовый сигнал «Сигнал с нулем спектра».....	37
7.1.7 Тестовый сигнал «Сигнал для нелинейной рефлектометрии» .....	39

7.2 КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА .....	40
7.3 НАСТРОЙКА УСРЕДНЕНИЯ .....	41
7.4 РАСШИРЕННЫЕ НАСТРОЙКИ.....	42
<b>8 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕРФЕЙСЕ .....</b>	<b>45</b>
8.1 ГЛАВНОЕ МЕНЮ.....	45
8.2 ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ.....	48
8.3 ПАНЕЛЬ СОСТОЯНИЯ .....	49
8.4 ФОРМА ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ГРАФИКОВ.....	50
8.4.1 Контекстное меню.....	51
8.4.2 Установка пределов автомасштаба.....	52
8.4.3 Установка основных свойств графиков.....	53
8.4.4 Ручная установка границ отображаемой области.....	55
8.4.5 Управление масштабом отображения характеристик с помощью манипулятора «мышь» и «горячих клавиш» .....	55
8.4.6 Маркерные измерения.....	56
8.4.7 Опорные графики и маркеры трассировки .....	57
8.4.8 Окна стробирования .....	59
<b>9. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ .....</b>	<b>61</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА.....</b>	<b>62</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ .....</b>	<b>64</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ.....</b>	<b>66</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ НУЛЬ-СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ .....</b>	<b>68</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ РЕФЛЕКТОГРАММ .....</b>	<b>70</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е. ИЗМЕРИТЕЛЬ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ «ОБЗОР – 103». РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ РЭ 6687–028–21477812–2008 (ОТДЕЛЬНЫЙ ФАЙЛ) .....</b>	<b>72</b>

# 1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Начало работы с векторным измерителем характеристик цепей P4-И-01 (далее прибором) означает, что Вы ознакомились с руководством и уяснили правила эксплуатации прибора.

1.2 В связи с постоянной работой по совершенствованию прибора, повышающей его надежность и улучшающей его эксплуатационные характеристики, производитель оставляет за собой право вносить в конструкцию прибора и программное обеспечение изменения, не ухудшающие его технические характеристики.

1.3 Программное обеспечение (ПО) имеет дружелюбный графический интерфейс и в этом смысле специальной квалификации персонала не требуется. Однако специфика проводимых измерений подразумевает наличие высшего образования радиотехнического профиля. Использование ПО возможно также студентами старших курсов технических специальностей.

Например, тестовый сигнал должен выбираться исходя из того, какие характеристики требуется измерить. В частности, при измерении частотных характеристик следует выбирать широкополосный тестовый сигнал (видеоимпульс или линейно частотно-модулированный), при измерении коэффициента гармоник – одностотный сигнал, при измерении нуль-спектральной характеристики нелинейности – широкополосный сигнал с локальными нулями спектра.



## 2 ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Рефлектограмма** – зависимость отраженного от исследуемого объекта сигнала от времени. При этом, как правило, в качестве тестового воздействия используется короткий видео- или радиоимпульс.

**Нелинейная рефлектограмма** – функция времени, тождественно равная нулю, если данный отражатель линеен; отличие нелинейной рефлектограммы от нуля свидетельствует о нелинейности отражателя.

**Импульсная характеристика** – временной отклик объекта на тестовое воздействие в виде дельта-функции (проходная характеристика).

**Переходная характеристика** – временной отклик объекта на тестовое воздействие в виде единичного скачка (проходная характеристика).

**Коэффициент пропускания (прямые потери)** – коэффициент  $S_{21}$  нормированной матрицы рассеяния исследуемого четырехполюсника (отношение напряжения прошедшей через четырехполюсник волны к напряжению падающей).

**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** – зависимость модуля коэффициента передачи от частоты.

**Фазочастотная характеристика (ФЧХ)** – зависимость аргумента коэффициента пропускания от частоты.

**Групповое время запаздывания (ГВЗ)** – первая производная от фазочастотной характеристики по частоте, взятая с отрицательным знаком.

**Коэффициент отражения (обратные потери)** – коэффициент  $S_{11}$  нормированной матрицы рассеяния исследуемого четырехполюсника (отношение напряжения отраженной от четырехполюсника волны к напряжению падающей волны).

**Коэффициент гармоник** – коэффициент, характеризующий отличие формы данного периодического сигнала от гармонической, равный отношению среднеквадратического напряжения

суммы всех гармоник сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому напряжению первой гармоники.

**Коэффициент интермодуляционных искажений второго порядка** – отношение арифметической суммы спектральных составляющих в отклике объекта на частотах  $f_2 + f_1$  и  $f_2 - f_1$  к составляющей на частоте  $f_2$ , где  $f_1$  и  $f_2$  – частоты спектральных составляющих двухчастотного тестового сигнала.

**Коэффициент интермодуляционных искажений третьего порядка** – отношение арифметической суммы спектральных составляющих в отклике объекта на частотах  $f_2 + 2f_1$  и  $f_2 - 2f_1$  к составляющей на частоте  $f_2$ , где  $f_1$  и  $f_2$  – частоты спектральных составляющих двухчастотного тестового сигнала.

**Коэффициент нуль-спектральных искажений** - отношение в отклике объекта значения параметра на частоте локального нуля спектра тестового сигнала к значению параметра на частоте максимума амплитудного спектра отклика объекта. Если локальных нулей в спектре тестового сигнала несколько, то коэффициенты нуль-спектральных искажений, определенные для каждого из нулей, в совокупности образуют нуль-спектральную характеристику нелинейности.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

Следует обратить особое внимание на соединение прибора с внешними устройствами – источниками сигналов. Если у них есть вторичный источник питания, необходимо проверить наличие общего заземления для этих устройств и компьютера, к которому подключается прибор Р4-И-01. Это заземление должно быть сделано заранее, до того момента, когда будет подано напряжение питания на все устройства.

Желательно, чтобы все устройства с сетевым питанием использовали одну и ту же фазу (или фазы при трехфазном питании) питающего напряжения. Это обеспечит одинаковый потенциал у земляного провода устройств, что устранит эффект уравнивания зарядов при присоединении кабелей устройств друг к другу. Этот эффект опасен кратковременным протеканием больших токов даже при отключенной аппаратуре из-за малого сопротивления земляной шины. Для предотвращения выхода из строя прибора на входные измерительные разъемы запрещено подавать сигналы с амплитудой в более 25 вольт.

Не допускается приложение физических нагрузок к внешним разъемам прибора, кроме аккуратного присоединения / отсоединения ответных частей этих разъемов с кабелем.

При работе устройства нельзя закрывать вентиляционное отверстие в корпусе.

## **4 ОПИСАНИЕ ПРИБОРА**

### **4.1 Назначение и особенности прибора**

Прибор предназначен для проведения измерений временных, частотных характеристик устройств, а также характеристик нелинейности преобразования сигнала устройством. Прибор работает под управлением компьютера с установленным программным обеспечением «ИмпульсМ». Программное обеспечение управляет процессами генерации зондирующего сигнала, регистрации откликов исследуемого устройства, а также выполняет необходимую обработку полученной информации и расчет семейства характеристик исследуемого устройства.

Особенностью данного прибора является использование сверхширокополосных тестовых сигналов (в том числе видеоимпульсных) для измерения всей совокупности характеристик. Это создает возможность подавления паразитных отражений сигнала стробированием (например, при измерении параметров антенн в помещении при наличии переотражений от стен). Такой подход имеет также преимущество перед классическим подходом (с использованием сигнала качающейся частоты) при исследовании характеристик объектов, параметры которых могли измениться за время изменения частоты генератора качающейся частоты. Особенности использования импульсных и сверхширокополосных сигналов имеет при наличии нелинейных искажений сигналов исследуемым объектом. В этом случае его характеристики зависят от параметров воздействующего на него сигнала, поэтому важным становится исследование характеристик систем по отношению к сигналам, с которыми они реально работают. Используемые в упомянутом ПО методы измерений защищены патентами РФ № 2227921 и № 2263929.

## 4.2 Устройство и работа прибора

Функциональная схема прибора приведена на рис. 4.1.

Прибор Р4-И-01 содержит следующие основные функциональные узлы: двухканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), генератор сигналов произвольной формы (ГСПФ), линию задержки (ЛЗ), согласующее устройство (СУ) и USB-концентратор.

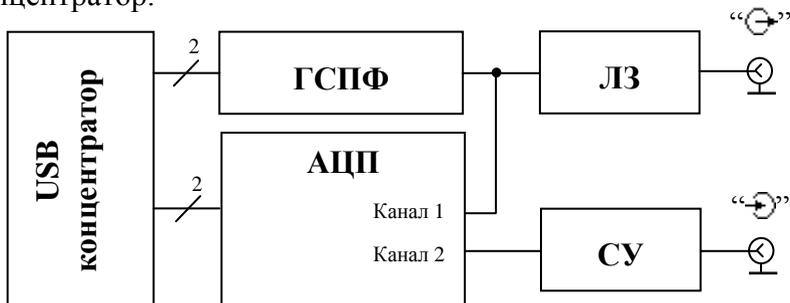


Рисунок 4.1 – Структурная схема прибора

Технические характеристики функциональных узлов в составе прибора приведены в табл. 4.1 – 4.3.

Таблица 4.1 – Технические характеристики модуля АЦП

Характеристика	Значение
Разрядность, бит	8
Перечень частот дискретизации, МГц	250, 125, 62.5, 31.25, 15.625, 7.8125, 3.90625, 1.953125
Максимальный размер буфера, точек	1048576

Таблица 4.2 – Технические характеристики модуля ГСПФ

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Разрядность, бит	14
Максимальный размер буфера, точек	200 000
Перечень частот дискретизации, МГц	100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125, 1.5625, 0.781250
Перечень амплитуд выходного сигнала регулируемых внутренним аттенюатором, В	5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625, 0.078125 , 0.03906252

Таблица 4.3 – Технические характеристики линии задержки

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Задержка, нс	100±2.5
Затухание на частоте 25 МГц, дБ, не более	1.8
Затухание на частоте 50 МГц, дБ, не более	2.5
Затухание на частоте 100 МГц, дБ, не более	3.5

### 4.3 Функциональные возможности

Прибор позволяет пользователю анализировать следующие характеристики и параметры:

- входной импеданс;
- коэффициент отражения;
- коэффициент стоячей волны;
- потери (прямые и обратные);
- фазочастотную характеристику;
- групповое время запаздывания;
- коэффициент гармоник;
- коэффициент интермодуляционных искажений;
- нелинейность преобразования сверхширокополосных и видеоимпульсных сигналов путем наблюдения за локальными нулями их спектра (нуль-спектральные искажения);
- рефлектограммы сигналов;
- нелинейные рефлектограммы.

## 4.4 Минимальные требования к ЭВМ

Технические требования к ЭВМ приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Требования к ЭВМ

Компонент	Технические требования
Операционная система	Microsoft Windows XP
Процессор	тактовая частота не менее 1.2 ГГц
Монитор	17 дюймов
Видео подсистема	видеокарта с аппаратной поддержкой OpenGL, разрешение экрана не менее 1280x1240 точек
Память	256 МБ, не менее
Интерфейс USB	USB 2.0

## 4.5 Технические характеристики

Таблица 4.5 – Технические характеристики при измерениях во временной области

Минимальная длительность тестового видеопульса по уровню его 0.1 амплитуды, нс, не более	17.3
Встроенная линия задержки, нс	100±2.5
Минимальный интервал дискретизации, нс	4
Отношение амплитуды видеопульса к среднеквадратическому значению шума в рефлектограмме при полном отражении сигнала, дБ	45 (без усреднения) 65 (с усреднением по 128 измерениям)

 При измерении характеристик устройств, которые связаны с необходимостью разделения падающей и отраженной волны на входе устройства нужно учитывать, что встроенная линия задержки позволяет работать с тестовым сигналом длительностью не более 180 нс. Если необходимо провести измерения с тестовым сигналом более 180 нс, то нужно использовать внешнюю линию задержки, позволяющую разделить падающую и отраженную волну.

Таблица 4.6 – Технические характеристики при измерениях в частотной области

Диапазон частот, МГц	0...25
Динамический диапазон измерения обратных потерь в диапазоне частот 0...25 МГц при усреднении по 128 измерениям, дБ	32
Динамический диапазон измерения прямых потерь в диапазоне частот 0...25 МГц при усреднении по 128 измерениям, дБ	62
Пределы допускаемой основной погрешности измерения модуля импеданса при усреднении по 128 измерениям, %	±4
Пределы допускаемой основной погрешности измерения КСВ при КСВ не более 2 при усреднении по 128 измерениям, %	±2.5
Пределы допускаемой основной погрешности измерения вносимого ослабления при усреднении по 128 измерениям, дБ	±1

Таблица 4.7 – Собственные нелинейные искажения прибора

Коэффициент гармоник (частота тестового сигнала 1 МГц, амплитуда 5 В, учитываются гармоники в диапазоне до 25 МГц), %, не более	0.8
Коэффициент интермодуляционных искажений 2-го порядка (тестовый сигнал: частоты 1 и 18.5 МГц, с амплитудами 4 и 1 В соответственно), %, не более	0.8
Коэффициент интермодуляционных искажений 3-го порядка (тестовый сигнал: частоты 1 и 18.5 МГц, с амплитудами 4 и 1 В соответственно), %, не более	1.5
Коэффициент нуль-спектральных искажений на проход (нуль спектра тестового сигнала расположен на частоте 14.285 МГц), %, не более	1
Коэффициент нуль-спектральных искажений на отражение (нуль спектра тестового сигнала расположен на частоте 14.285 МГц), %, не более	10
Нелинейность в режиме построения нелинейной рефлектограммы, %, не более	1



Собственные нелинейные искажения прибора обуславливают порог, начиная с которого становится возможным измерение нелинейности преобразования сигналов объектом.

Таблица 4.8 – Общие характеристики

Присоединительные разъемы	<i>N</i>
Импеданс измерительного тракта, Ом	50±5
Интерфейс передачи данных	USB 2.0
Питание	220 В, 0.8 А, 50...60 Гц
Потребляемая мощность не более, Вт	35
Габаритные размеры, мм	160×260×320
Масса не более, кг	3

## 4.6 Комплектность



Рисунок 4.2 –Комплектность поставки

- |  |        |
|--|--------|
| 1. Приборный кейс  | 1 шт.  |
| 2. Прибор Р4-И-01  | 1 шт.  |
| 3. Нагрузка с КСВН $\leq 1.05$                             | 1 шт.  |
| 4. Нагрузка с КСВН $= 2 \pm 0.05$                          | 1 шт.  |
| 5. Нагрузка КЗ (короткозамыкатель)                         | 1 шт.  |
| 6. Нагрузка Диод (диод Шотки ВАТ46)                        | 1 шт.  |
| 7. Коаксиальный кабель ( $Z = 50$ Ом) с разъемами <i>N</i> | 2 шт.  |
| 8. Носитель с программным обеспечением «ИмпульсМ»          | 1 шт.  |
| 9. Руководство по эксплуатации                             | 1 экз. |

## 4.7 Описание органов управления и присоединительных разъемов

На рис. 4.3, 4.4 приведен внешний вид лицевой и задней панелей прибора.



Рисунок 4.3 – Лицевая панель

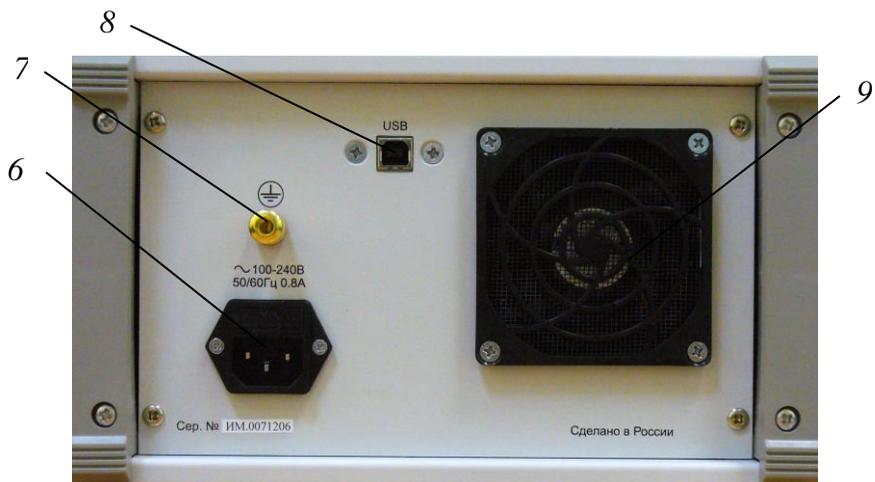


Рисунок 4.4 – Задняя панель

На рисунках обозначено:

1. индикатор готовности ЦАП;
2. индикатор готовности АЦП;
3. разъем для подключения входа тестируемого устройства;
4. разъем для подключения выхода тестируемого устройства;
5. выключатель и индикатор питания;
6. разъем сетевого питания;
7. разъем заземления;
8. порт USB для подключения к компьютеру;
9. вентилятор.

## **5 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ**

### **5.1 Включение прибора**

Подключать прибор к компьютеру необходимо в указанной последовательности:

- включить компьютер и дождаться окончания загрузки операционной системы;
- подключить прибор к USB-порту ЭВМ, предварительно убедившись, что питание прибора отключено;
- включить питание прибора.

### **5.2 Установка драйверов**

После подключения устройства операционная система автоматически определит, что подключено новое оборудование и выдаст приглашение к установке драйверов. Драйвера к прибору находятся на компакт-диске, входящем в комплект поставки, в каталоге Drivers. После того как «Мастер нового оборудования» Windows предложит варианты установки драйвера, следует выбрать пункт «Установка из указанного места», указать путь к каталогу Drivers на компакт-диске и нажать кнопку «Далее».

В результате успешной установки драйверов в «Диспетчере устройств» Windows появится вкладка «ImpulseM ADC/DAC Units», которая должна содержать два модуля: ImpulseM ADC Unit и ImpulseM DAC Unit (см. рис. 5.1).

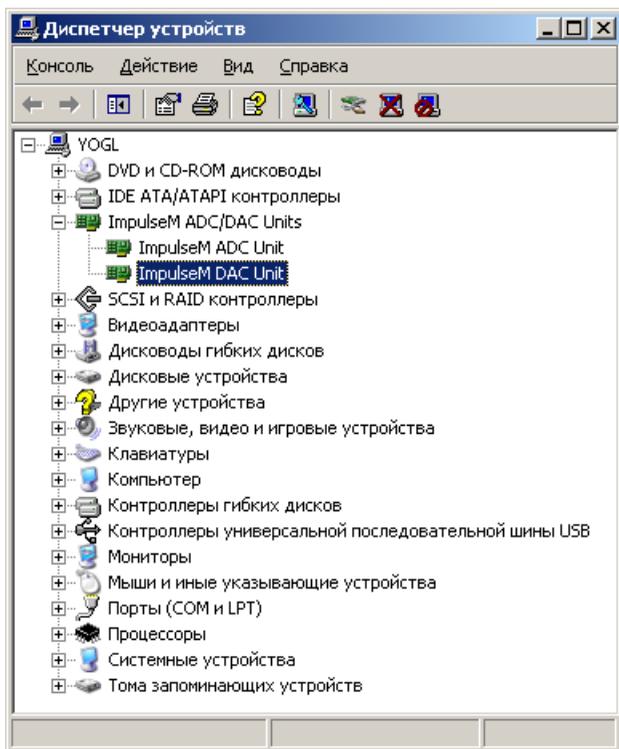


Рисунок 5.1 – Результат успешной установки драйверов

### 5.3 Установка программного обеспечения

1. Установите компакт-диск с программным обеспечением в дисковод персонального компьютера (ПК). Операционная система должна произвести автозапуск «Мастера установки программ».

2. Если по каким-либо причинам автозапуск не произошел, то запустите файл «Setup.exe» в корневой директории компакт-диска.

3. Следуйте указаниям «Мастера установки программ».

## 6 ПОРЯДОК РАБОТЫ

Методика работы с прибором состоит из следующих основных этапов:

- инициализация прибора;
- выбор измеряемых характеристик устройств (режима измерения);
- запуск процесса измерения;
- экспорт результатов измерений в файл (если требуется);

Для адекватного проведения измерений может потребоваться также настройка прибора, включающая:

- изменение вида и параметров тестового сигнала;
- настройку параметров стробирования сигналов во временной области;
- калибровку измерительного тракта.

### 6.1 Инициализация прибора

Инициализация прибора происходит автоматически при запуске программного обеспечения ИмпульсМ, если в этот момент прибор подключен к компьютеру и включено питание прибора. Окно инициализации прибора приведено на рис 6.1.

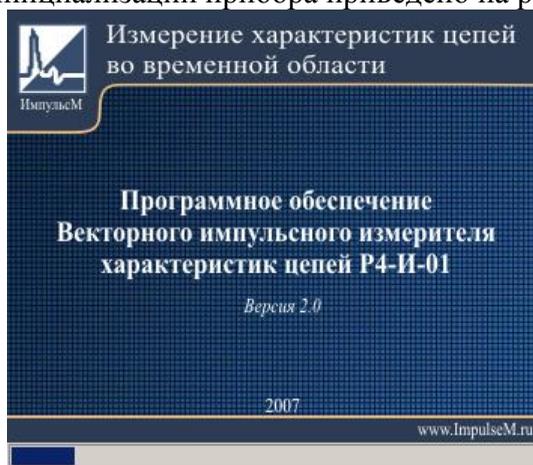


Рисунок 6.1 – Окно инициализации прибора

В случае неудачной инициализации выдается сообщение «Прибор не подключен!» (рис. 6.2).

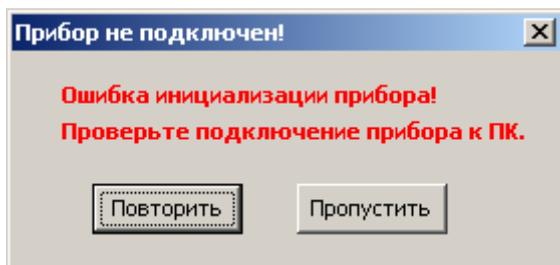


Рисунок 6.2 – Предупреждение о неудачной инициализации прибора

При получении такого сообщения следует проверить подключение прибора к компьютеру и наличие сетевого питания прибора. После этого следует нажать кнопку «Повторить». Нажатие кнопки «Пропустить» приводит к запуску приложения без инициализации прибора. Проведение измерений при этом невозможно, но можно познакомиться с интерфейсом программы.

## 6.2 Выбор режима измерения

При запуске приложения появляется главное окно, изображенное на рис. 6.3. При первом запуске программы она устанавливается в режим «Частотные характеристики». Если пользователь в процессе работы изменял режим измерения, то при следующем запуске программы она устанавливается в тот режим, который пользователь применял последним.

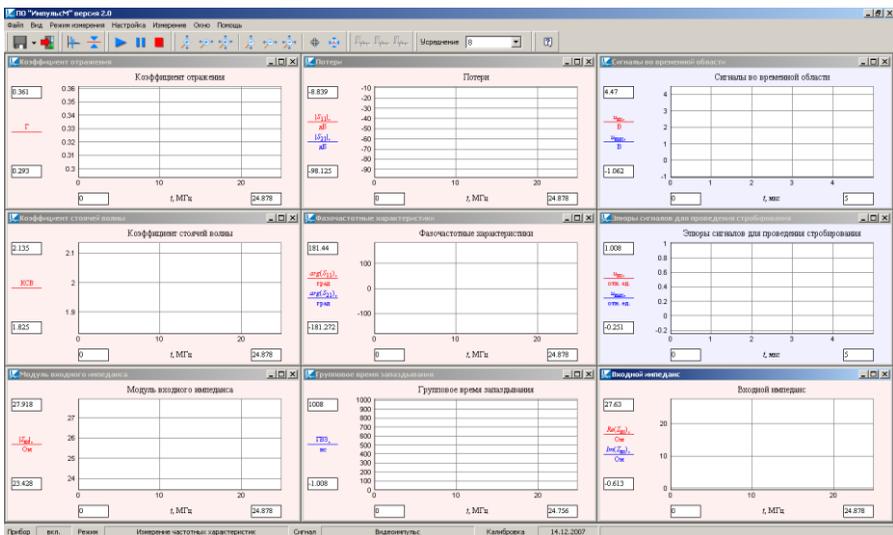


Рисунок 6.3 – Главное окно приложения

Выбор режима измерения осуществляется через пункт главного меню «Режим измерения» (рис. 6.4).

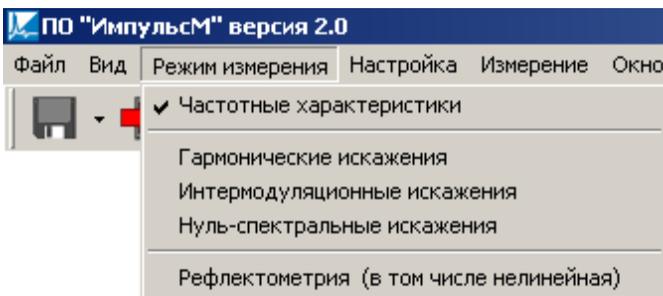


Рисунок 6.4 – Меню «Режим измерения»

Доступны следующие режимы измерения:

- измерение частотных характеристик;
- измерение гармонических искажений;
- измерение интермодуляционных искажений;
- измерение нуль-спектральных искажений;
- построение рефлектограмм (в том числе нелинейных).

## **6.2.1 Измерение частотных характеристик**

Режим позволяет измерять входной импеданс, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны, потери (прямые и обратные), фазочастотную характеристику, групповое время запаздывания. Кроме того, отображаются тестовые сигналы и отклики объекта во временной области, а также эпюры для проведения стробирования (см. п. 8.4.8). В качестве тестовых сигналов может использоваться видеоимпульс, функция Хевисайда (единичный скачек) и линейно частотно-модулированный сигнал. Линейно частотно-модулированный сигнал и функция Хевисайда предпочтительны с точки зрения точности измерения частотных характеристик.

При исследовании частотных характеристик активных и нелинейных устройств следует корректно устанавливать амплитуду тестового сигнала. Для этого перед проведением измерений частотных характеристик следует убедиться в отсутствии существенных нелинейных искажений тестового сигнала исследуемым устройством. Поскольку используются импульсные тестовые сигналы, для такой оценки отсутствия нелинейных искажений рекомендуется использовать режим построения нелинейных рефлектограмм (п. 6.2.5) или режим измерения нуль-спектральных искажений (п. 6.2.4).

Пример измерения частотных характеристик полосового фильтра приведен в приложении А.

## **6.2.2 Измерение гармонических искажений**

Режим предназначен для измерения коэффициента гармоник. Вначале следует выполнить измерение собственного коэффициента гармоник прибора. При этом рекомендуется зафиксировать полученный результат в виде опорного графика (п. 8.4.7), а также зарегистрировать полученный коэффициент гармоник. Далее в измерительный тракт включается объект исследования и, если наблюдаемые гармонические искажения существенно

превышают собственные искажения прибора, делается вывод о наличии и величине искажений объекта.

Пример измерения коэффициента гармоник приведен в приложении Б.

### **6.2.3 Измерение интермодуляционных искажений**

Режим предназначен для измерения коэффициента интермодуляционных искажений второго и третьего порядков. Вначале следует выполнить измерение собственного коэффициента интермодуляционных искажений. При этом рекомендуется зафиксировать полученный результат в виде опорного графика (п. 8.4.7), а также зарегистрировать полученный коэффициент интермодуляционных искажений. Далее в измерительный тракт включается объект исследования и, если наблюдаемые интермодуляционные искажения существенно превышают собственные искажения прибора, делается вывод о наличии и величине искажений объекта.

Пример измерения коэффициента интермодуляционных искажений приведен в приложении В.

### **6.2.4 Измерение нуль-спектральных искажений**

Режим предназначен для измерения коэффициента нуль-спектральных искажений. Вначале следует выполнить измерение собственного коэффициента нуль-спектральных искажений прибора. При этом рекомендуется зафиксировать полученный результат в виде опорного графика (п. 8.4.7), а также зарегистрировать полученный коэффициент нуль-спектральных искажений. Далее в измерительный тракт включается объект исследования и, если наблюдаемые нуль-спектральные искажения существенно превышают собственные искажения прибора, делается вывод о наличии и величине искажений объекта.

Пример измерения коэффициента нуль-спектральных искажений приведен в приложении Г.

## 6.2.5 Построение рефлектограмм (в том числе нелинейных)

Режим предназначен для построения линейных и нелинейных рефлектограмм исследуемого объекта.

Пример построения рефлектограмм приведен в приложении Д.

При исследовании линий передачи для сопоставления текущей рефлектограммы с рефлектограммой чистой линии можно использовать опорный график (п. 8.4.7).

## 6.3 Запуск и остановка процесса измерения

Если исследуемое устройство подключено, то можно запустить процесс измерения, нажав кнопку  в главном окне программы или выбрав в главном меню «Измерение» подменю «Пуск».

Пауза и прекращение измерений выполняется аналогично, с помощью кнопок ,  или с помощью элемента главного меню «Измерение» подменю «Пауза», «Стоп».

## 6.4 Экспорт результатов измерений в файл

Если требуется сохранить результаты измерения для их последующей обработки и документирования, то это можно сделать через элемент основного меню «Файл», подменю «Сохранить» (рис. 6.5).

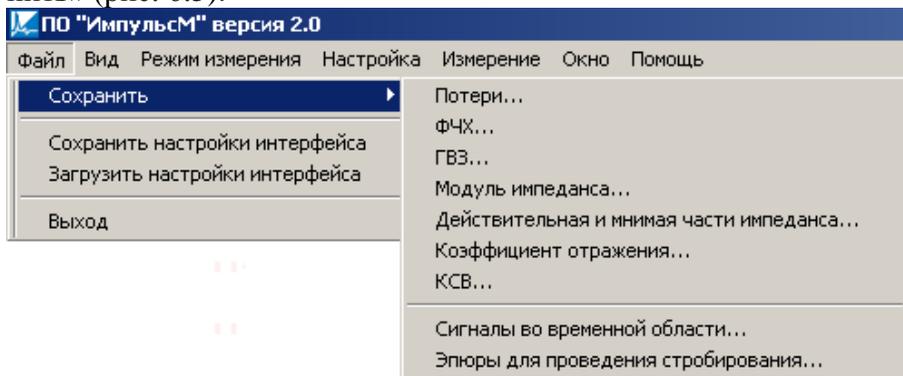


Рисунок 6.5 –Сохранение результатов измерений частотных и временных характеристик

 Перечень возможных характеристик для сохранения зависит от текущего профиля измерений.

## 6.6 Завершение работы программы

Выход из программы осуществляется путем нажатия кнопки  или через элемент основного меню «Файл», подменю «Выход». При этом все настройки приложения, включая режим измерения, параметры прибора и интерфейса будут сохранены в файл. При следующем запуске приложения они будут загружены в качестве установок по умолчанию.

## 7. НАСТРОЙКА ПРИБОРА

### 7.1 Выбор и настройка параметров тестового сигнала

По умолчанию установлены тестовые сигналы, обеспечивающие функциональные свойства и метрологические параметры прибора, приведенные в разделе 4. При изменении вида и параметров тестового сигнала следует точно представлять, для чего это нужно и к каким последствиям приведет.

Выбор и настройка тестового сигнала осуществляется в окне «Тестовый сигнал». Перейти к данному окну можно, нажав кнопку  на панели инструментов, или посредством меню «Настройка / Тестовый сигнал...». Графическая форма изображена на рис. 7.1.

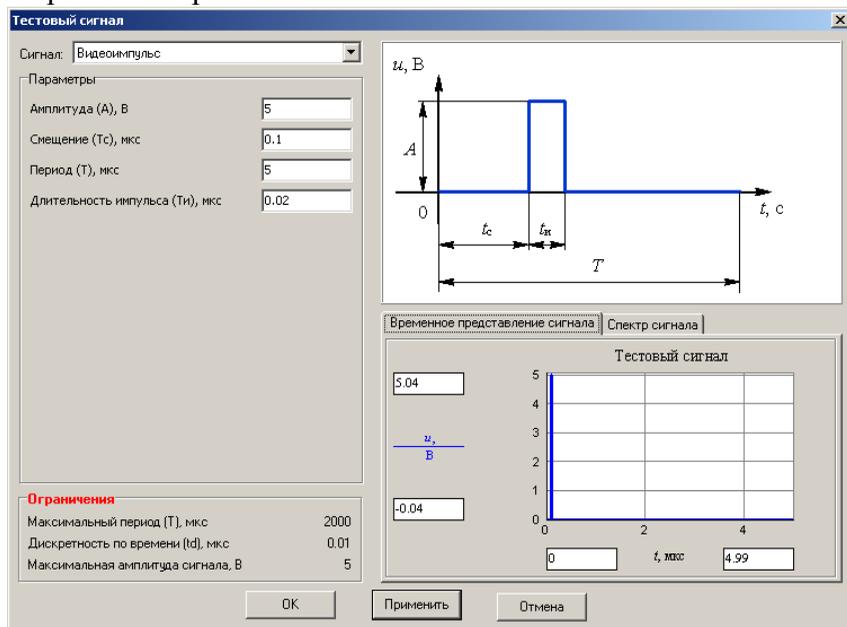


Рисунок 7.1 – Экранная форма «Тестовый сигнал»

Данная графическая форма позволяет пользователю выбрать тестовый сигнал и настроить его параметры во временной и частотной области. Список доступных тестовых сигналов можно увидеть, нажав на кнопку . В зависимости от выбранного режима измерения, перечень доступных зондирующих сигналов меняется. Так, для режима измерения частотных и временных характеристик, доступны сигналы: «Хевисайда функция», «Видеоимпульс», «ЛЧМ-импульс» и «Сигнал с нулем спектра» (см. рис. 7.2); для режима измерения гармонических искажений – только «Радиоимпульс»; для режима измерения интермодуляционных искажений – только «Двухчастотный импульс»; для режима измерения нуль-спектральных искажений – «Сигнал с нулем спектра»; для нелинейной рефлектометрии – «Сигнал для нелинейной рефлектометрии».

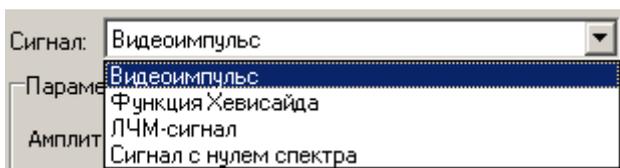


Рисунок 7.2 – Список доступных тестовых сигналов для режима измерения частотных и временных характеристик

В нижней части графической формы (рис. 7.3) указаны ограничения, которые накладываются на значения параметров тестового сигнала аппаратными возможностями прибора.

Ограничения	
Максимальный период (T), мкс	2000
Дискретность по времени (td), мкс	0.01
Максимальная амплитуда сигнала, В	5

Рисунок 7.3 – Ограничения

Сверху правой части формы представлено модель сигнала, с обозначенными параметрами (см. рис. 7.4).

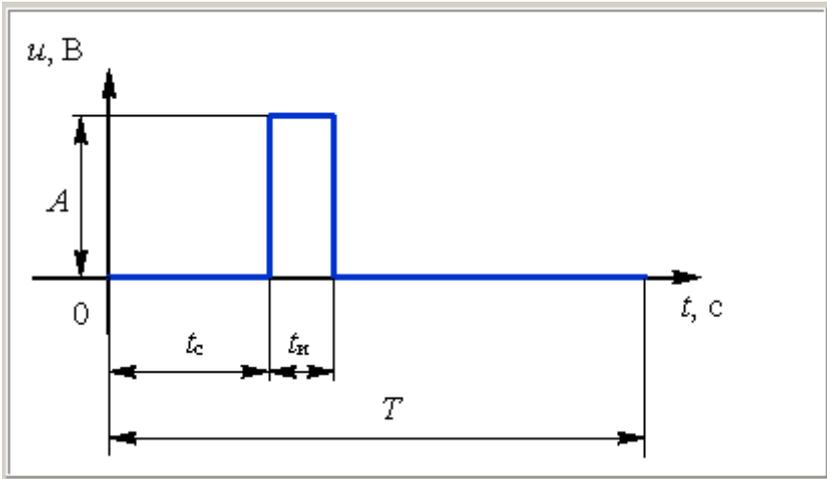


Рисунок 7.4 – Модель сигнала

Ниже, на форме, приведены графики временной формы и амплитудного спектра синтезированного тестового сигнала (см. рис. 7.5, 7.6).



Рисунок 7.5 – График временной формы синтезированного тестового сигнала

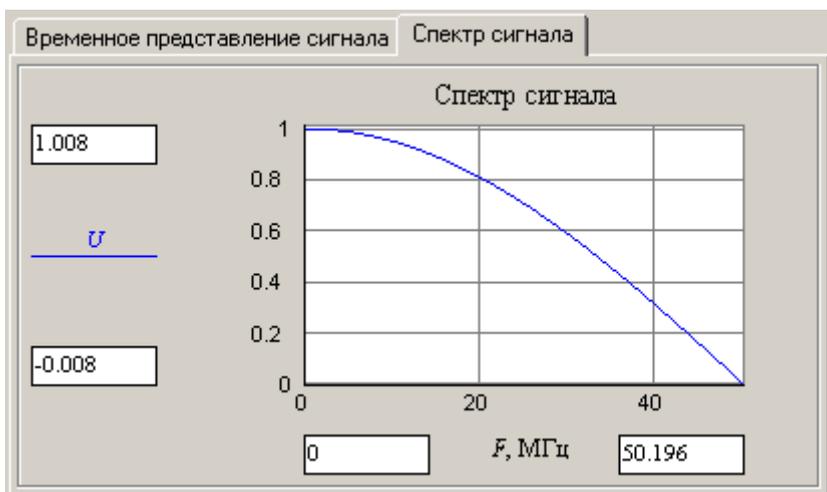


Рисунок 7.6 – График амплитудного спектра синтезированного тестового сигнала



Программное обеспечение построено таким образом, что при открытии экранной формы «Тестовый сигнал», на форме уже выбран тестовый сигнал, который был использован при последнем измерении.

## 7.1.1 Тестовый сигнал «Хевисайда функция»

Функция Хевисайда (единичный скачок) может использоваться для проведения рефлектометрических измерений. Кроме того, этот сигнал имеет непрерывный спектр и поэтому может использоваться для измерения частотных характеристик.

Графическая форма для настройки функции Хевисайда приведена на рис. 7.7.

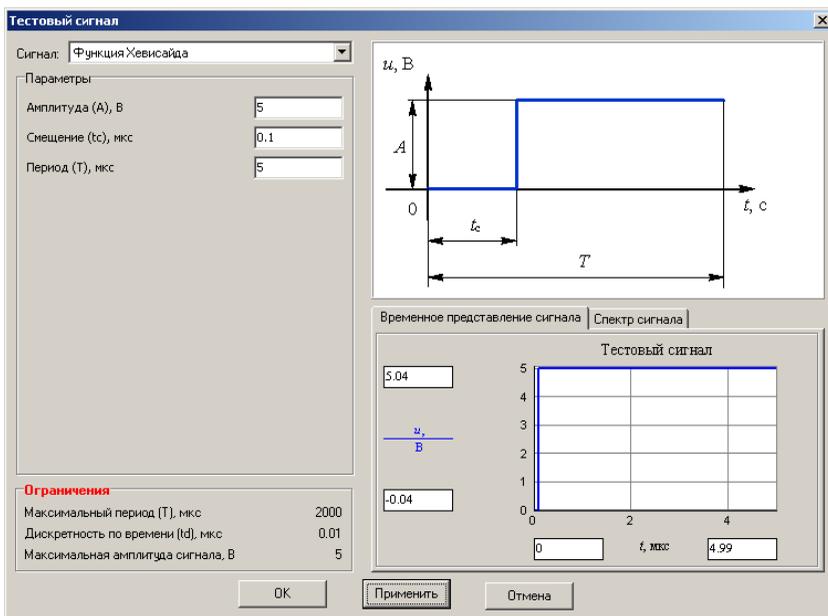


Рисунок 7.7 – Настройка параметров сигнала «Хевисайда функция»

Функция Хевисайда имеет три параметра:

- амплитуда, В – максимальное значение сигнала;
- смещение, мкс - время равное задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала.

## 7.1.2 Тестовый сигнал «Видеоимпульс»

Видеоимпульс может использоваться для проведения рефлектометрических измерений. Кроме того, при небольшой длительности импульса первый нуль его спектра располагается на высоких частотах и поэтому короткие видеоимпульсы могут использоваться для измерения частотных характеристик (этот сигнал используется для таких измерений по умолчанию).

На рис. 7.8 приведена графическая форма для настройки параметров видеоимпульса.

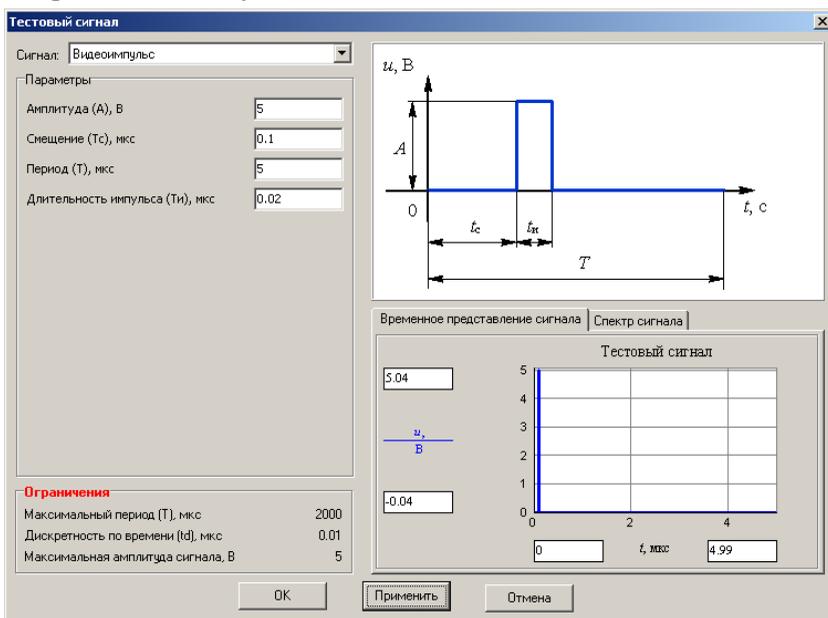


Рисунок 7.8 – Настройка параметров сигнала «Видеоимпульс»

Данный тип тестового сигнала имеет четыре параметра:

- амплитуда, В – максимальное значение сигнала;
- смещение, мкс - время равно задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала.
- длительность, мкс – длительность видеоимпульса.

### 7.1.3 Тестовый сигнал «ЛЧМ-импульс»

Линейно частотно-модулированный импульс (ЛЧМ-импульс) имеет относительно равномерный спектр с верхней граничной частотой, задаваемой пользователем. Поэтому данный сигнал может использоваться для измерения частотных характеристик. Сигнал имеет короткую корреляционную функцию, поэтому после согласованной фильтрации может использоваться для проведения рефлектометрических измерений. Кроме того, существует возможность задать форму высокочастотного ската спектра сигнала, что позволяет уменьшить уровень боковых лепестков корреляционной функции сигнала.

На рис. 7.9 приведена часть графической формы для настройки параметров ЛЧМ-импульса.

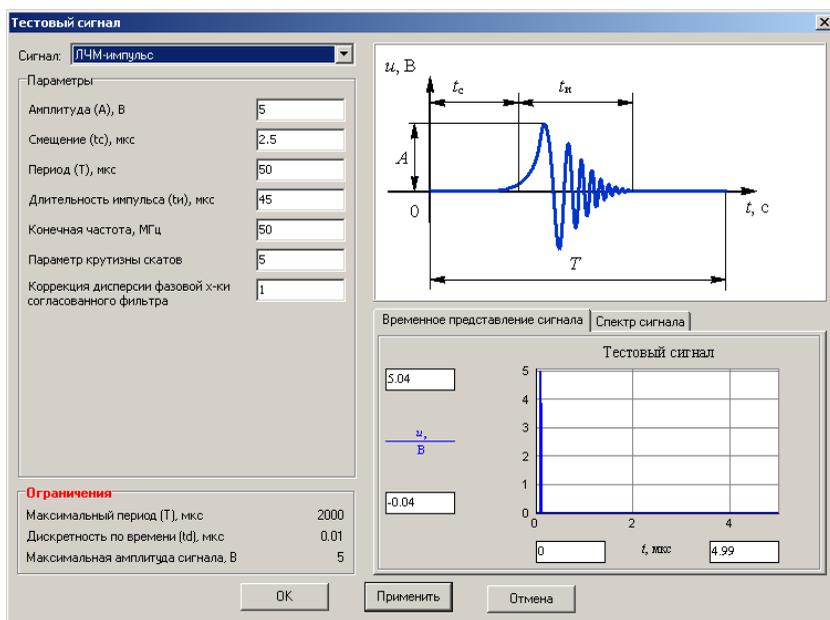


Рисунок 7.9 – Настройка параметров сигнала «ЛЧМ-импульс»

ЛЧМ-импульс имеет следующие основные параметры:

- амплитуда, В – максимальное значение сигнала;
- смещение, мкс - время равное задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала;
- длительность, мкс – длительность импульса
- конечная частота, МГц – максимальная частота в спектре сигнала;
- параметр крутизны высокочастотного ската - коэффициент функции Кайзера;
- коррекция – коррекция дисперсии фазовой характеристики согласованного фильтра.



Данный параметр является эмпирическим и позволяет настроить уровень боковых лепестков корреляционной функции принимаемого сигнала. Величина параметра коррекции лежит в диапазоне от 0.998 до 1.005 (в зависимости от длительности ЛЧМ-импульса).

## 7.1.4 Тестовый сигнал «Радиоимпульс»

Радиоимпульс имеет относительно узкий спектр с центральной частотой, равной частоте заполнения. Поэтому данный сигнал может использоваться для измерения коэффициента гармоник.

На рис. 7.10 приведена графическая форма для настройки параметров радиоимпульса.

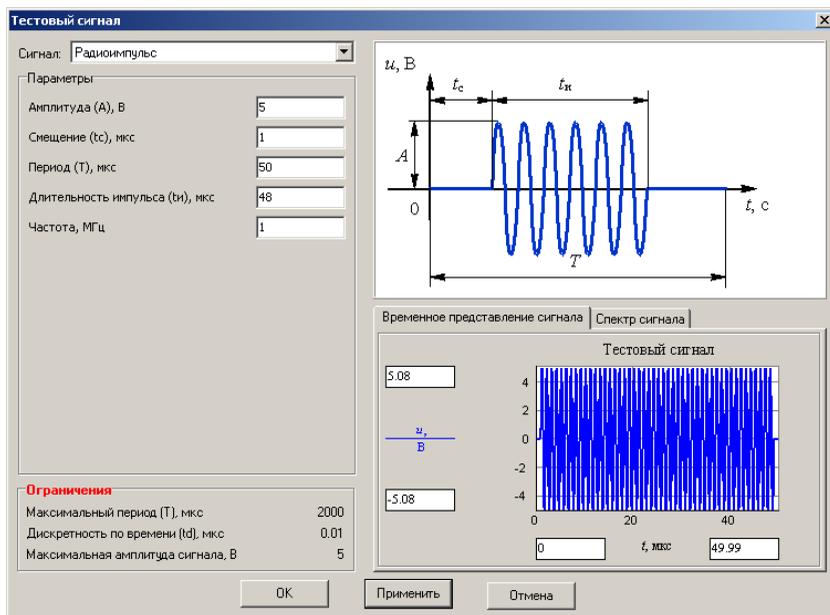


Рисунок 7.10 – Настройка параметров радиоимпульса

Для синтеза сигнала необходимо задать следующие параметры:

- смещение, мкс – время равное задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- длительность, мкс – длительность импульса;
- амплитуда, В – максимальное значение сигнала;
- частота, МГц – частота заполнения радиоимпульса;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала.

## 7.1.5 Тестовый сигнал «Двухчастотный импульс»

Двухчастотный импульс используется для измерения интермодуляционных искажений.

На рис. 7.11 приведена графическая форма для настройки параметров двухчастотного импульса.

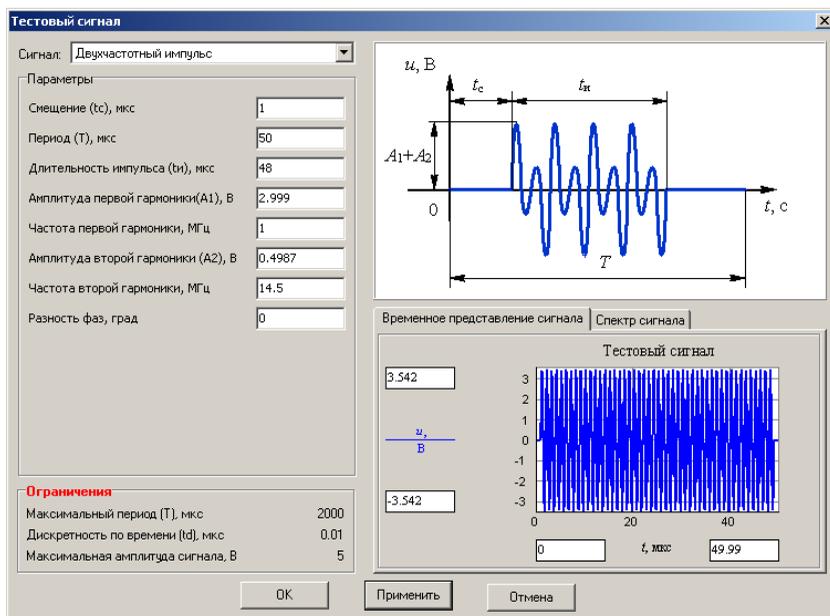


Рисунок 7.11 – Настройка параметров двухчастотного импульса

Параметры:

- смещение, мкс - время равно задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- длительность, мкс – длительность импульса;
- амплитуда 1, В – амплитуда первой гармонической составляющей;
- амплитуда 2, В – амплитуда второй гармонической составляющей;
- частота 1, МГц – частота первой гармонической составляющей;

- частота 2, МГц – частота второй гармонической составляющей;
- фазовый сдвиг, град – разность фаз между гармонической составляющей 1 и 2;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала.

### 7.1.6 Тестовый сигнал «Сигнал с нулем спектра»

Сигнал с нулем спектра используется для измерения нуль-спектральных искажений. Графическая форма для настроек данного сигнала приведена на рисунке 7.12.

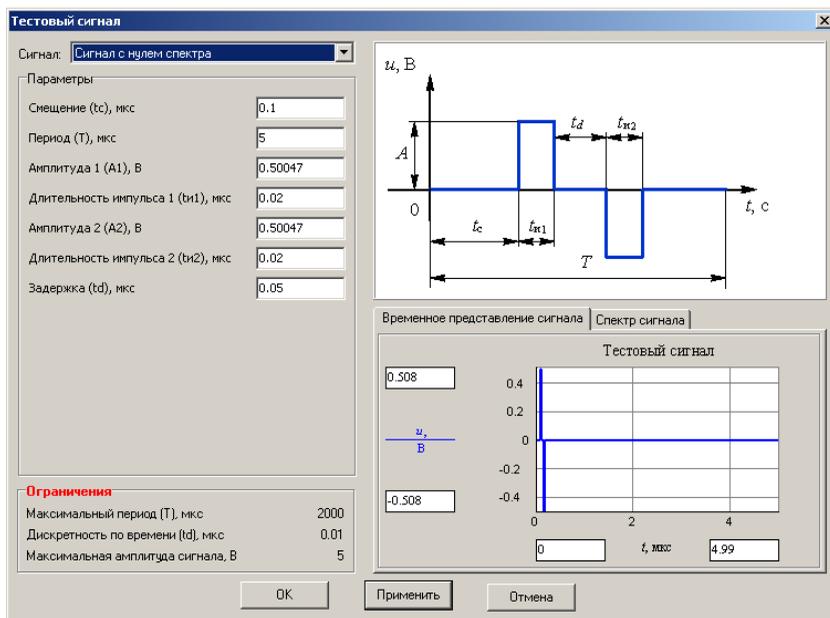


Рисунок 7.12 – Настройка параметров сигнала с нулем спектра

Параметры:

- смещение, мкс - время равно задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- длительность первого импульса, мкс – длительность видеоимпульса положительной полярности;

- длительность второго импульса, мкс – длительность видеоимпульса отрицательной полярности;
- длительность паузы между импульсами, мкс;
- амплитуда ( $A_1$ ), В – амплитуда видеоимпульса положительной полярности;
- амплитуда ( $A_2$ ), В – амплитуда видеоимпульса отрицательной полярности;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала.

## 7.1.7 Тестовый сигнал «Сигнал для нелинейной рефлектометрии»

Данный сигнал предназначен как для измерения линейной рефлектограммы при видеоимпульсном воздействии, так и для измерения нелинейной рефлектограммы, которая отражает реакции исключительно нелинейных цепей. Графическая форма для настроек данного сигнала приведена на рисунке 7.13.

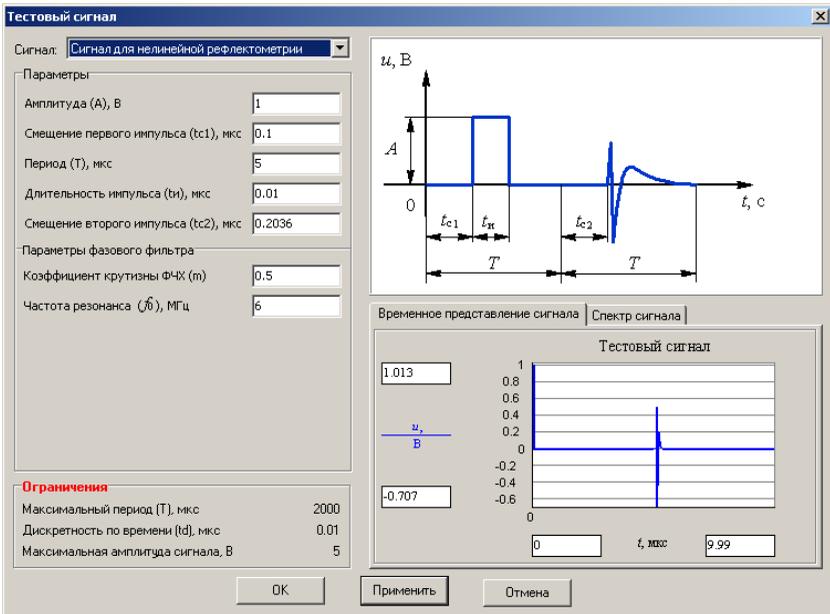


Рисунок 7.13– Настройка параметров сигнала для нелинейной рефлектометрии

Параметры:

- амплитуда, В – максимальное значение сигнала;
- сдвиг, мкс – время равное задержке появления сигнала относительно синхроимпульса генератора;
- период, мкс – период действия импульсного сигнала;
- длительность импульса, мкс;
- добротность фазового фильтра;
- частота среза фазового фильтра, МГц.

## 7.2 Калибровка измерительного тракта

Калибровка параметров измерительного тракта предназначена для учета неидеальности тракта и связанных с этим паразитных переотражений и затухания сигнала в тракте.

Вызвать окно калибровки можно, нажав кнопку  на панели инструментов, или посредством меню «Настройка / Калибровка...». Графическая форма изображена на рис. 7.14.

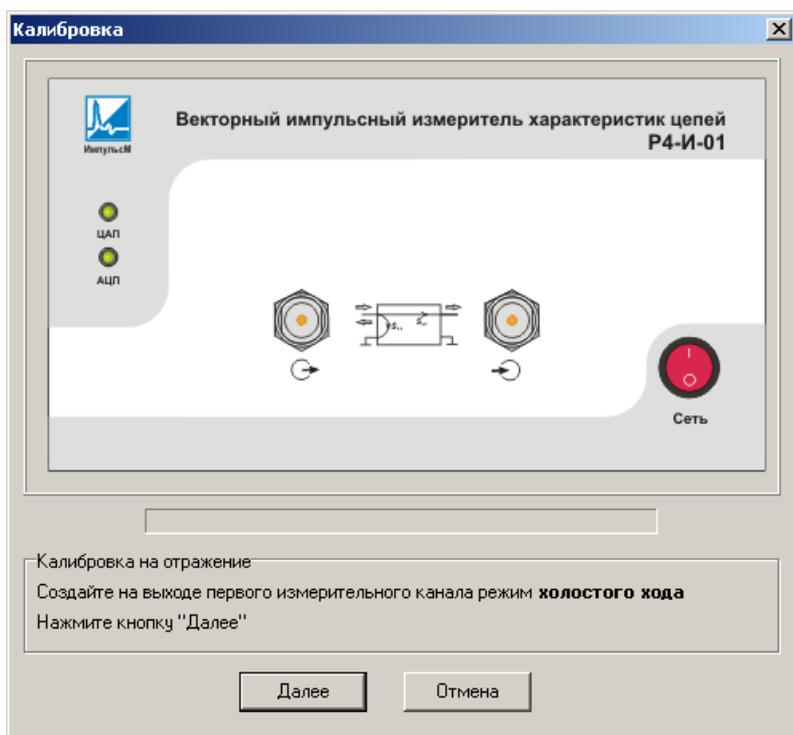


Рисунок 7.14 – Графическая форма «Калибровка»



Проводить калибровку желательно после каждого изменения тестового сигнала. После изменения **периода** тестового сигнала нужно **обязательно** выполнить калибровку.

Калибровка осуществляется в диалоговом режиме. Для ее выполнения необходимо последовательно создать ряд специфици-

ческих режимов на разъемах прибора. Это режимы холостого хода, короткого замыкания и согласованной нагрузки на разъеме для подключения входа тестируемого устройства, а также режим соединения разъемов для подключения входа и выхода тестируемого устройства. Уведомление пользователя о том, какой режим нужно создать на данном этапе, приводится в нижней части графической формы. После создания требуемого режима нужно нажать на кнопку «Далее». После того, как будет выполнен последний этап калибровки, станет активной кнопка «ОК». После ее нажатия результаты калибровки будут сохранены, и форма будет закрыта.

При производстве прибора калибровка уже выполнена, ее результаты представлены на компакт-диске, поставляемом с прибором, и автоматически применяются после установки и запуска программного обеспечения. Однако процедуру калибровки следует периодически повторять для учета изменившихся внешних условий и структуры измерительного тракта. А также при изменении параметров тестового сигнала.



### 7.3 Настройка усреднения

В процессе измерения можно изменять число измерений, по результатам усреднения которых отображаются графики характеристик. Это можно сделать, установив желаемое значение в поле «Усреднение» в главном окне программы (рис. 6.5).

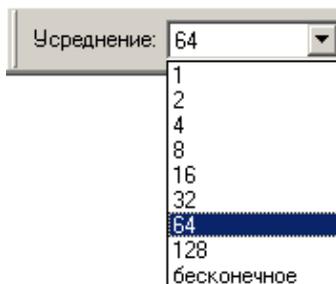


Рисунок 7.15 – Изменение установки усреднения

## 7.4 Расширенные настройки

В меню «Настройка / Расширенные настройки» можно осуществить настройку параметров, которые в изменении, как правило, не нуждаются, но в отдельных случаях их модификация может потребоваться. Форма для расширенных настроек приведена на рисунке 7.16.

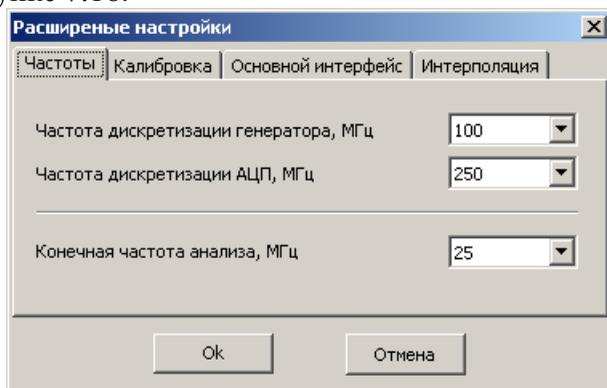


Рисунок 7.16 – Графическая форма «Расширенные настройки»

Форма «Расширенные настройки» содержит четыре вкладки: «Частоты», «Калибровка», «Основной интерфейс», «Интерполяция».

Вкладка «Частоты» (см. рис. 7.16) позволяет настроить частоты дискретизации генератора тестовых сигналов и АЦП, а также установить максимальную частоту анализа в частотной области.

Вкладка «Калибровка» (см. рис. 7.15) позволяет настроить число усреднений при калибровке прибора.

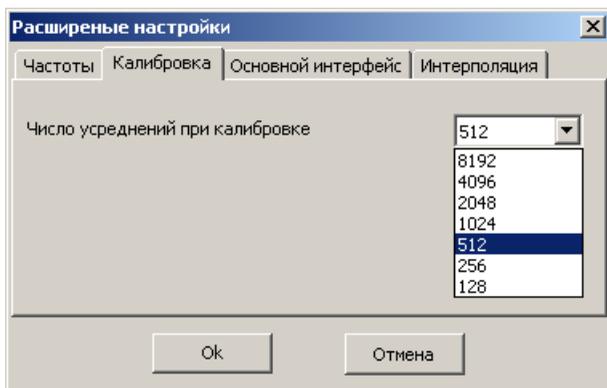


Рисунок 7.17 – Вкладка «Калибровка»



Использование для калибровки усреднения большого числа измерений повышает точность калибровки, но увеличивает время, необходимое для ее выполнения.

Вкладка «Основной интерфейс» (см. рис. 7.18) предназначена для настройки цветовой схемы интерфейса. позволяет настроить число усреднений при калибровке прибора.

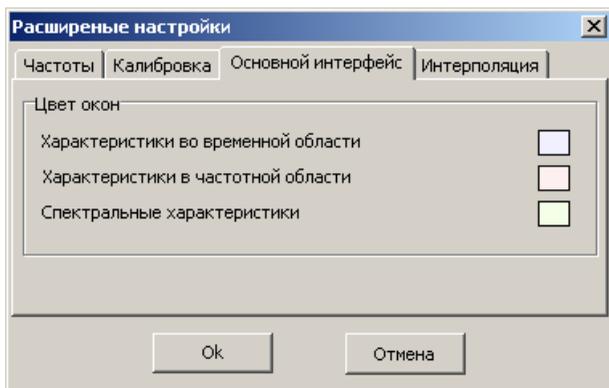


Рисунок 7.18 – Настройка цветовой схемы интерфейса

При нажатии на каждую из прямоугольных кнопок появится стандартное диалоговое окно «Цвет», позволяющее настроить

цвета окон для отображения временных и частотных характеристик устройств и окон для отображения спектров сигналов.

Вкладка «Интерполяция» (см. рис. 7.19) позволяет настроить число точек интерполяции временных форм сигналов.

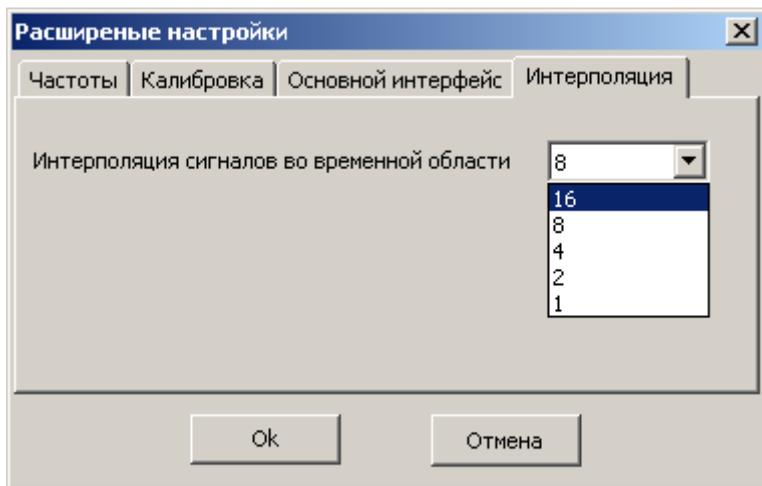


Рисунок 7.19 – Настройка интерполяции

## 8 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕРФЕЙСЕ

Приложение построено по принципу MDI (Multiple Document Interface – многодокументный интерфейс). Главная форма приложения является родительской формой по отношению к дочерним формам, на которых отображаются измеренные характеристики устройств. Вид главной формы приложения с примером измеренных характеристик приведен на рис. 6.3. Программное обеспечение позволяет наблюдать одновременно до девяти характеристик устройств. Основные элементы управления процессом измерения находятся в верхней части главной формы, это: «Главное меню» и «Панель управления». В нижней части главной формы находится «Панель состояния», позволяющая получить информацию о текущем состоянии процесса измерения.

### 8.1 Главное меню

Главное меню приложения содержит следующие выпадающие меню:

- «Файл»;
- «Вид»;
- «Режим измерения»;
- «Настройка»;
- «Измерение»
- «Окно»;
- «Помощь».

Внешний вид главного меню приведен на рис 8.1.

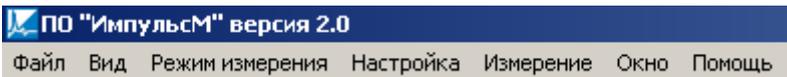


Рисунок 8.1 – Главное меню

Для сохранения результатов измерений, сохранения и загрузки настроек интерфейса предназначено подменю выпадающее меню «Файл». Внешний вид выпадающего меню «Файл» приведен на рис. 8.2.

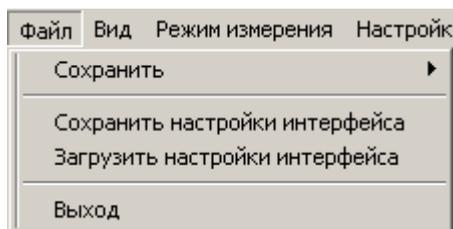


Рисунок 8.2 - Меню «Файл»



Используйте элемент меню «Сохранить настройки интерфейса» если Вам необходимо сохранить положение окон измерения, стиля отображения характеристик или другие настройки интерфейса. Сохраненные настройки будут автоматически загружены при следующем старте программы.

Выбор режима измерения осуществляется через пункт главного меню «Режим измерения» (рис. 8.3).

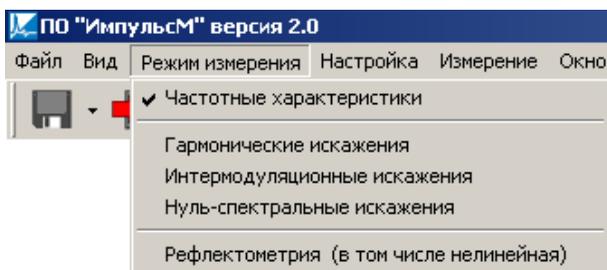


Рисунок 8.3 - Меню «Режим»

Настройка тестового сигнала, калибровка измерительного тракта, а также установки расширенных настроек приложения осуществляется с помощью меню «Настройка» (см. рис. 8.4)

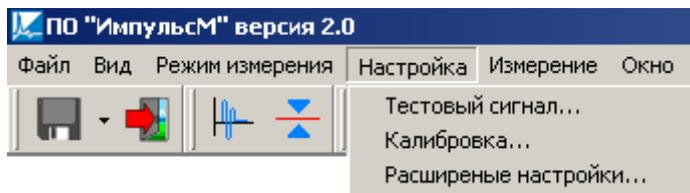


Рисунок 8.4 - Меню «Настройка»

Управление процессом измерения осуществляется посредством ниспадающего меню «Измерение» (см. рис.8.5).

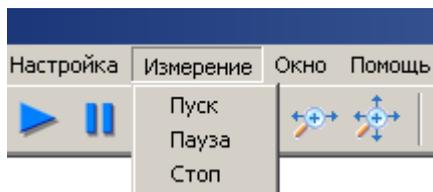


Рисунок 8.5 - Меню «Измерение»

Внешний вид ниспадающего меню «Окно» приведен на рис. 8.6. Меню позволяет упорядочить положение дочерних форм. Заложено три варианта упорядочивания: ступенькой, черепицей, упорядочить.

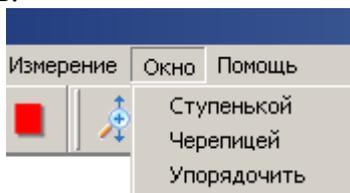


Рисунок 8.6 - Меню «Окно»

Внешний вид ниспадающего меню «Помощь» приведен на рис. 8.7. Меню позволяет вызвать файл справки и ознакомиться с информацией о программе.

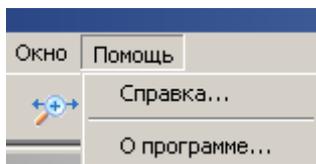


Рисунок 8.7 – Меню «Помощь»

## 8.2 Панель инструментов

Панель инструментов находится в верхней части главной формы. Внешний вид панели инструментов приведен на рис. 8.8.

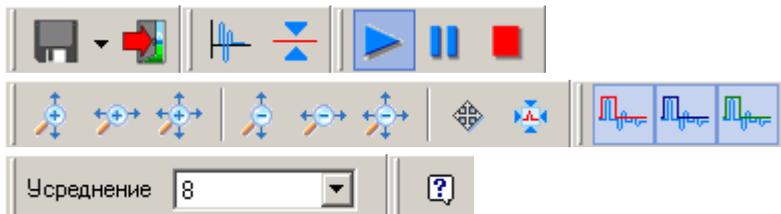
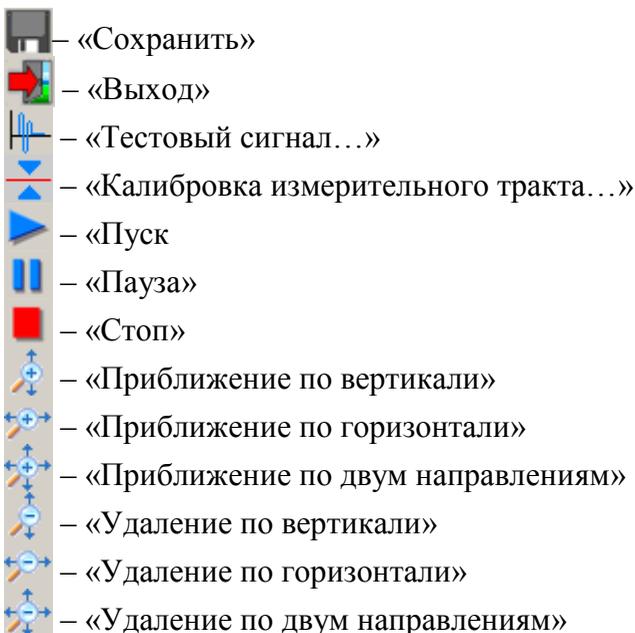


Рисунок 8.8 – Панель инструментов

На панели инструментов находятся кнопки, которые дублируют основные пункты главного меню и механизмы работы с графической формой. Ниже приведено назначение каждой из кнопок:





– «Перемещение характеристики»



– «Автомасштаб характеристики»



– «Показать/скрыть окно стробирования падающего сигнала»



– «Показать/скрыть окно стробирования отраженного сигнала»



– «Показать/скрыть окно стробирования прошедшего сигнала»



– «Справка...».



Управлять процессом измерения можно как путем выбора пунктов «Главного меню», так и путем нажатия кнопок на «Панели инструментов».

### 8.3 Панель состояния

Панель состояния находится внизу главной формы и отображает текущее состояние процесса измерения. Внешний вид панели состояния приведен на рис. 8.9.

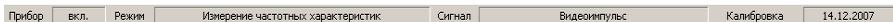


Рисунок 8.9 – Панель состояния

На панели состояния можно выделить 4 области:

- «Прибор »;
- «Режим»;
- «Сигнал»;
- «Калибровка».

На данных областях выводится текущее состояние прибора, режим измерения и дата последней калибровки.

## 8.4 Форма для отображения графиков

Данная форма является основной формой для отображения результатов измерений и дочерней по отношению к главной форме приложения. Кроме функции отображения данная форма содержит элементы управления, позволяющие произвести настройки масштаба отображения графиков, стилей характеристик и т.д. Внешний вид экранной формы приведен на рис. 8.6.

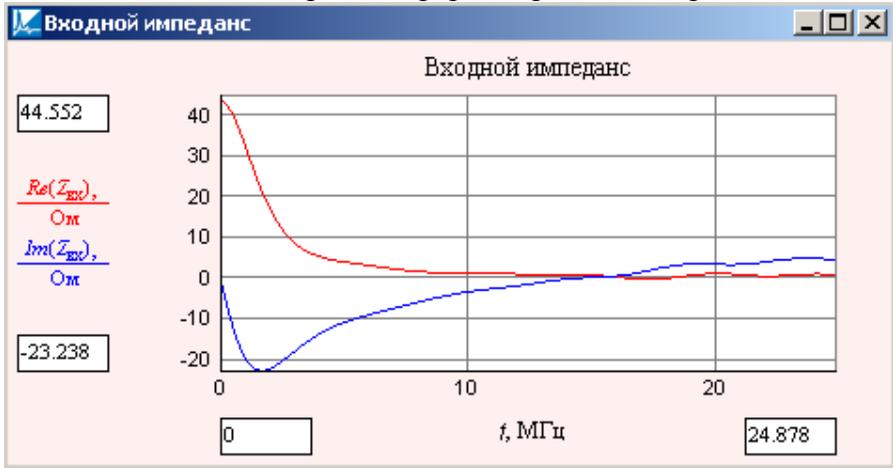


Рисунок 8.9 – Форма для отображения графиков

Графическая форма обладает следующими функциональными возможностями:

- отображение в единой системе координат (зависит от типа графика) одновременно до 5 графиков;
- отображение оконных функции для обеспечения стробирования сигналов во временной области в реальном масштабе времени;
- прокручивание и различные виды ручного масштабирования;
- автоматическое масштабирование;
- возможность просмотра графика в линейной и логарифмической шкалах;

- ручная установка численных значений границ отображаемой области графика;
- установка цвета, толщины и типа линий графика;
- индикация координат курсора мыши в единицах измерения графика;
- набор маркеров, позволяющий производить точное измерение выбранных элементов графика.

Кроме того, размеры формы могут произвольно изменяться, позволяя пользователю при желании увеличить размеры области отображения графика для более информативного и наглядного визуального восприятия. При этом минимальные возможные размеры формы имеют ограничения с расчетом, что даже при минимально допустимых размерах область отображения графика имеет минимально достаточные размеры для адекватного визуального восприятия отображаемой на ней информации. Цвет фона формы зависит от типа отображаемой информации, что позволяет легче ориентироваться в представленных формах при большом их количестве.

Пространство формы отображения графика состоит из следующих основных элементов:

- левое вертикальное поле, содержащее легенду и поля ручной установки пределов отображаемой области графика по вертикальной оси;
- центральное поле – область отображения графика;
- нижнее горизонтальное поле, с инструментами ручной установки пределов.

### **8.4.1 Контекстное меню**

При кратковременном нажатии и отпускании правой кнопки мыши над полем отображения графиков появляется контекстное меню. Внешний вид всплывающего меню приведен на рис. 8.7.

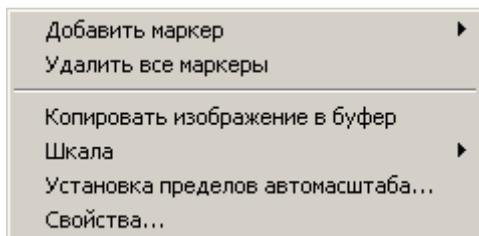


Рисунок 8.7 – Внешний вид контекстного меню

Выпадающее меню позволяет добавлять следующие измерительные маркеры: горизонтальный маркер, вертикальный маркер, либо маркер трассировки.

Используя всплывающее меню, пользователь может скопировать изображение измеряемых характеристик в буфер обмена.

Подменю «Шкала», позволяет выбрать шкалу отображения характеристик (см. рис. 8.8)

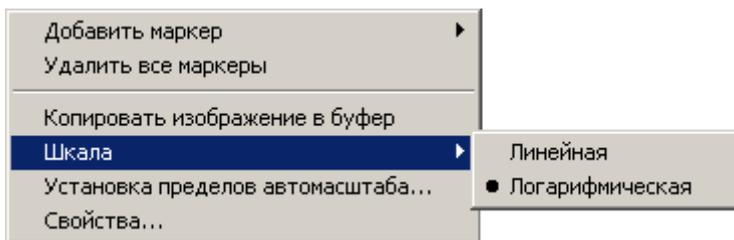


Рисунок 8.8 – Изменение шкалы отображения графиков

### 8.4.2 Установка пределов автомасштаба

Установить пределы автомасштаба можно выбрав во всплывающем меню графика пункт «Установка пределов автомасштаба...», при этом появится форма, показанная на рисунке 8.9. Если значения величины на графике выходят за пределы границ автомасштаба, установленных в данной форме, то масштабирование производится по этим значениям.

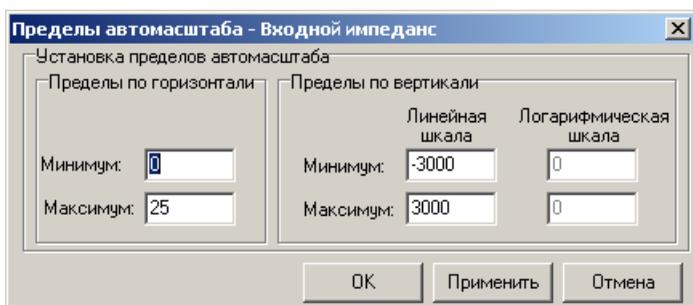


Рисунок 8.9 – Настройка пределов автомасштаба

### 8.4.3 Установка основных свойств графиков

При выборе подменю «Свойства...» всплывающего меню пользователю станет доступно окно настроек графической формы. На рисунках 8.10, 8.11 приведены вкладки окна настроек графической формы. На первой вкладке можно настроить вид сетки по осям, в том числе выбрать тип сетки: автосетка или задать ее размер вручную.

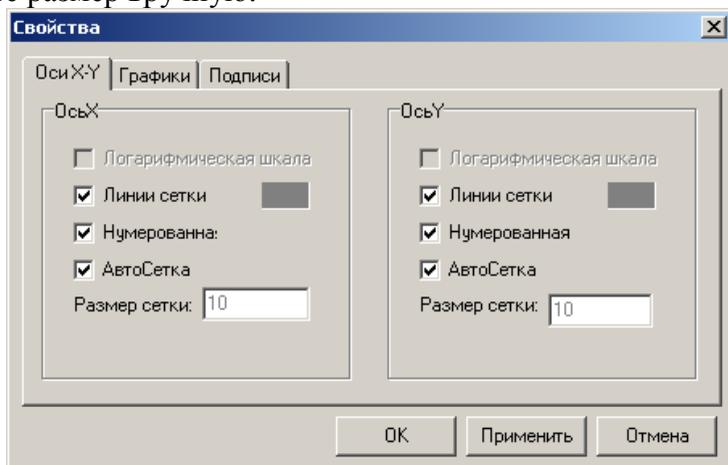


Рисунок 8.10 – Настройка осей

На второй вкладке можно настроить вид каждой характеристики (в поле метка, используя символы “[“ и ”]” можно задать подстрочное написание в подписи).

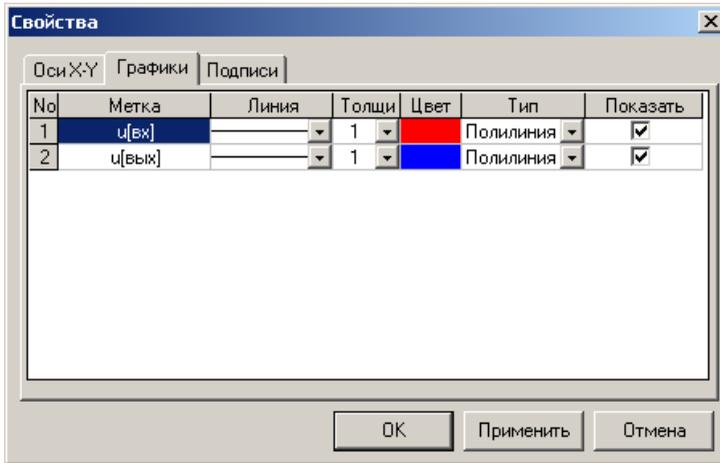


Рисунок 8.11 – Настройка графиков

Третья вкладка позволяет настроить подписи осей, а также единицы измерения по осям в линейном и логарифмическом масштабе отображения.

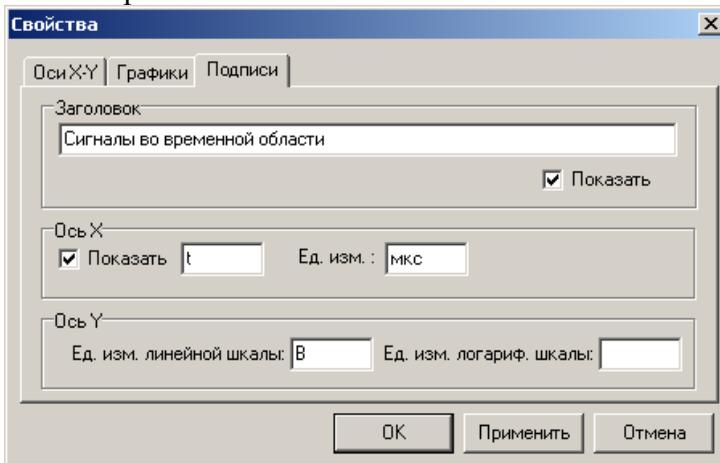


Рисунок 8.12 – Настройка подписей

#### **8.4.4 Ручная установка границ отображаемой области**

Для ручной установки значения соответствующей границы отображаемой области (левый нижний угол под графиком – значение начала горизонтальной оси, правый нижний угол под графиком – значение конца горизонтальной оси, слева снизу от графика – значение начала вертикальной оси, слева сверху от графика – значение конца вертикальной оси) поместите указатель мыши над соответствующим полем и нажмите левую кнопку. При этом с клавиатуры может быть введено произвольное численное значение с разделением дробной части числа от целой через точку. В случае некорректно введенного значения автоматически восстанавливается предыдущее значение. В случае, если введенное значение превышает текущее значение верхнего предела (для нижнего предела), либо меньше текущего значения нижнего предела (для верхнего предела), – после окончания ввода конфликтующие значения автоматически меняются местами для сохранения относительности. Окончание ввода подтверждается нажатием клавиши «Ввод».

#### **8.4.5 Управление масштабом отображения характеристик с помощью манипулятора «мышь» и «горячих клавиш»**

В программе реализованы алгоритмы быстрого управления масштабом отображения характеристик с помощью манипулятора «мышь» и «горячих клавиш»: *ctrl* и *shift*. Ниже перечислены способы изменения масштаба:

- перемещение курсора с нажатой левой кнопкой мыши – выделение области, которая затем отображается на все поле графика;
- перемещение курсора с нажатой правой кнопкой – «перетаскивание» графика без изменения масштаба;

- *ctrl* + перемещение курсора с нажатой левой кнопкой мыши – выделение отрезка на горизонтальной оси, график для которого затем будет отображен на все поле графика;
- *shift* + перемещение курсора с нажатой левой кнопкой мыши – выделение отрезка на вертикальной оси, график для которого затем будет отображен на все поле графика;
- *ctrl* + вращение колесика мыши – изменение масштаба по горизонтали;
- *shift* + вращение колесика мыши – изменение масштаба по вертикали;
- щелчок средней кнопкой мыши – автомасштаб (изменение масштаба так, чтобы имеющийся график отображался на поле графика целиком).

## 8.4.6 Маркерные измерения

Для проведения маркерных измерений в программе предусмотрены вертикальный и горизонтальный маркеры. Вертикальный маркер перемещается вдоль вертикальной оси и отображает свое текущее положение в единицах измерения по вертикальной оси. Горизонтальный маркер перемещается вдоль горизонтальной оси и отображает свое положение. Добавить маркер можно нажав на графике правой кнопкой «мыши» и выбрав в контекстном меню «Вертикальный маркер» или «Горизонтальный маркер». Вид контекстного меню для добавления маркеров приведен на рисунке 8.13.

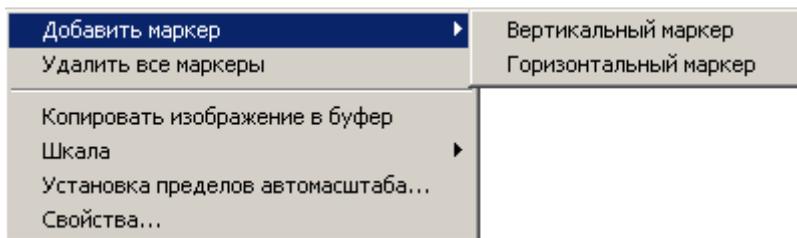


Рисунок 8.13 – Добавление измерительных маркеров

На рисунке 8.14 приведен пример работы с маркерами измерений.

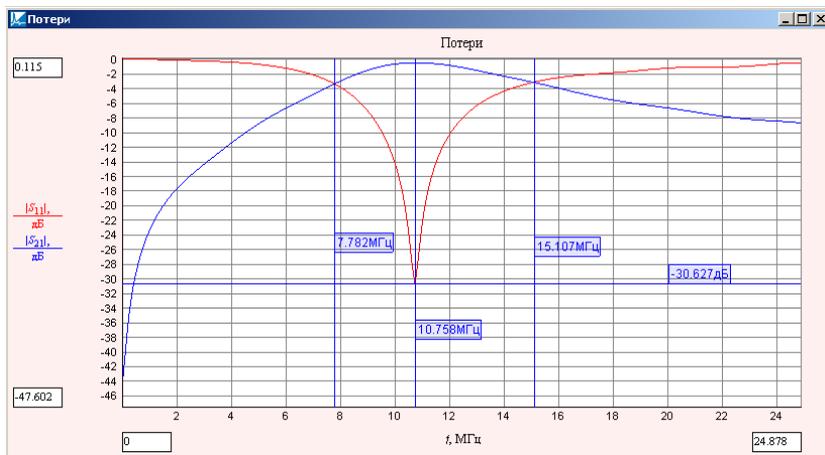


Рисунок 8.14 – Пример работы с маркерами измерений

## 8.4.7 Опорные графики и маркеры трассировки

Для проведения сопоставления результатов измерений разнесенных во времени в программе заложено два механизма: опорные графики и маркеры трассировки.

Опорные графики предназначены для сохранения образа текущей характеристики для сопоставления со следующими. Опорный график чертится тем же цветом что и измеряемая характеристика, но с меньшей яркостью. Включить опорный график можно, нажав правой кнопкой «мыши» на легенде интересующей характеристики. После этого появится контекстное меню (см. рис. 8.15)

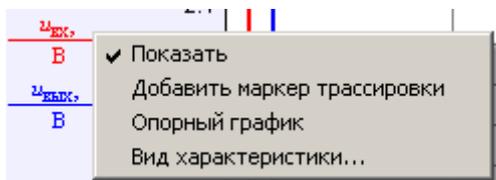


Рисунок 8.15 – Контекстное меню характеристики

Данное контекстное меню позволяет также разрешать/запрещать отображение характеристики, а также добавлять маркеры трассировки.

Маркеры трассировки предназначены для наблюдения за интересующим отсчетом характеристики. Маркер привязывается к определенному отсчету по горизонтальной оси и меняет свое положение по вертикальной координате вместе с характеристикой. Иллюстрация работы опорных графиков и маркеров трассировки приведена на рисунке 8.16.

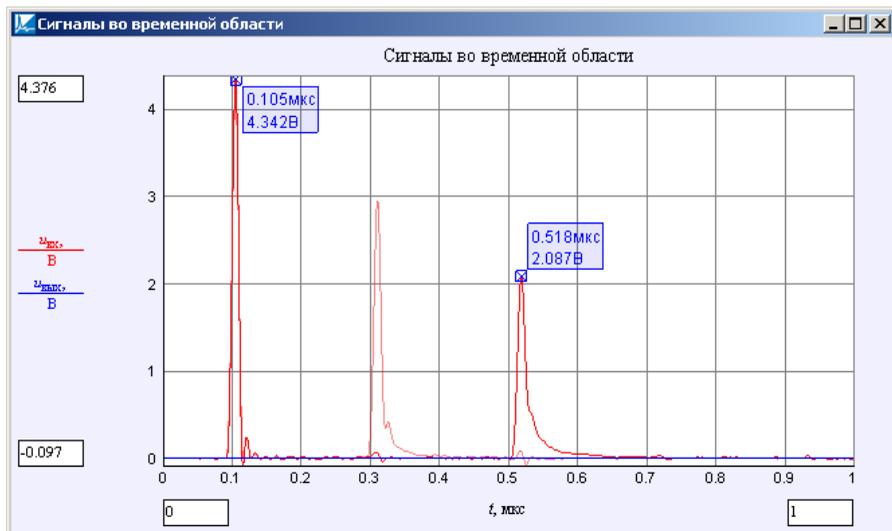


Рисунок 8.16 – Иллюстрация работы опорных графиков и маркеров трассировки

## 8.4.8 Окна стробирования

Окна стробирования являются ключевым элементом при проведении измерений частотных характеристик цепей и анализе спектра сигнала.

Окна стробирования предназначены для выделения в сигнале, измеренном прибором, временных интервалов, соответствующих падающему, отраженному и прошедшему сигналам. По установленным окнам стробирования из исходного сигнала выделяется полезный интервал и осуществляется расчет частотных характеристик. Пример использования окон стробирования приведен на рисунке 8.17.



Рисунок 8.17 – Пример использования окон стробирования

Управление положением окон стробирования осуществляется с помощью манипулятора «мышь». На каждом из окон стробирования присутствует по 6 прямоугольных маркеров, перемещением которых осуществляется изменение положение окна стробирования (см. рис. 8.18).

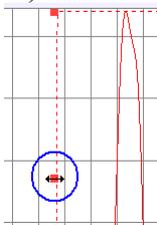


Рисунок 8.18 – Изменение размера окна стробирования

Изменение типа окна стробирования осуществляется с помощью контекстного меню. Для того чтобы активизировать контекстное меню необходимо навести курсор на один из маркеров окна стробирования, затем нажать правую кнопку «мыши». Вид контекстного меню окна стробирования приведен на рисунке 8.19.

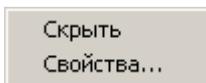


Рисунок 8.19 – Контекстное меню

При нажатии на кнопку «Свойства...» возникает диалоговое окно, позволяющее настроить параметры окна стробирования (см. рис. 8.20).

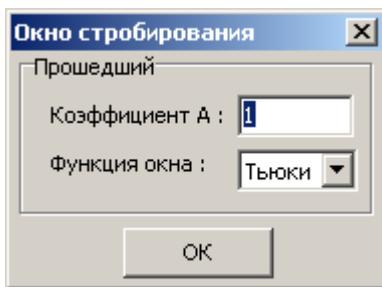


Рисунок 8.20 – Настройка окна стробирования

Пользователю доступно окно Тьюки для уменьшения влияния эффекта Гиббса при стробировании сигнала. Параметр А позволяет настроить форму окна: при  $A=1$  – окно вырождается в прямоугольное, при  $A=0$  в окно Ханна.

## 9. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

9.1. Прибор Р4-И-01 транспортируют в закрытых транспортных средствах любого вида.

9.2. При транспортировании самолетом Р4-И-01 должен быть размещен в отапливаемом герметизируемом отсеке.

9.3. Климатические условия транспортирования Р4-И-01 не должны выходить за пределы предельных условий, указанных в таблице 9.1. По механическим воздействиям предельные условия транспортирования должны соответствовать требованиям группы 3 согласно ГОСТ 22261-94.

Таблица 9.1 – Условия транспортировки и хранения

Температура окружающего воздуха	От минус 25 до плюс 55 °С
Относительная влажность воздуха	95% при 25°С
Атмосферное давление	70-106,7 кПа (537-800 мм рт. ст.)

9.4. Прибор Р4-И-01 до введения в эксплуатацию следует хранить на складах в упаковке предприятия изготовителя при температуре окружающего воздуха 5...40 °С и относительной влажности воздуха 80%.

9.5. В помещениях для хранения содержание пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию, не должно превышать содержание коррозионно-активных агентов для атмосферы типа 1 по ГОСТ 15150-69.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА

В данном разделе приведен пример измерений импульсных и частотных характеристик устройства. В качестве исследуемого четырехполюсника выбран фильтр, схема которого приведена на рисунке А.1.

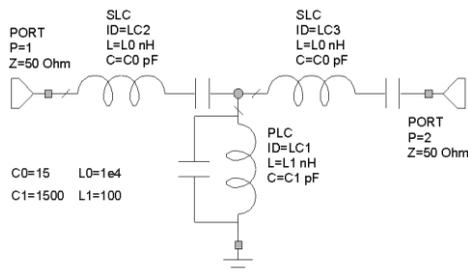


Рисунок А.1 – Схема фильтра

Измерения проведены в соответствии с методикой, изложенной в разделе 6. В качестве тестового сигнала использовался видеоимпульс длительностью 4 нс. На рис. А.2 приведена главная форма приложения с результатами измерений. По умолчанию на ней для режима измерения частотных и временных характеристик отображены следующие характеристики.

- коэффициент отражения;
- коэффициент стоячей волны;
- входной импеданс (вещественная часть, мнимая часть и модуль);
- потери (прямые и обратные);
- фазочастотная характеристика и фаза коэффициента отражения;
- групповое время запаздывания;
- сигналы во временной области (тестовый импульс; импульс на выходе четырехполюсника; импульс, отраженный от входа четырехполюсника).

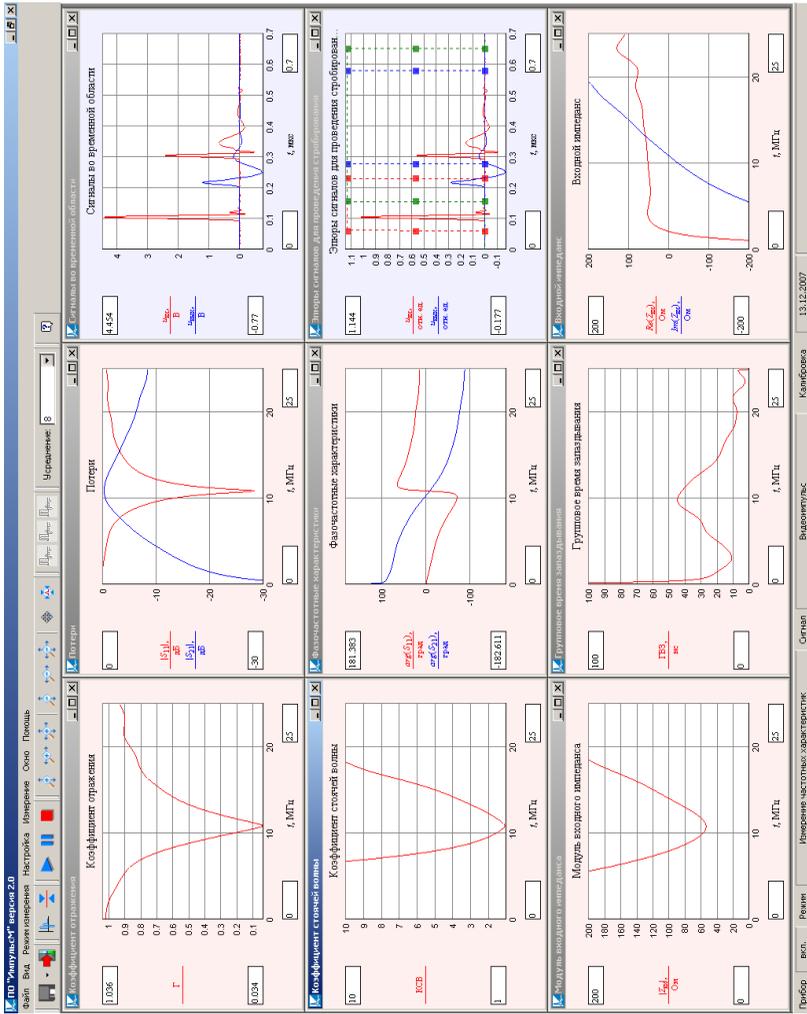


Рисунок А.2 – Главная форма приложения «ИмпульсМ» с результатами измерения импульсных и частотных характеристик фильтра, изображенного на рис. А.1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ

В данном разделе приведен пример измерения гармонических искажений. В качестве исследуемого объекта используется нелинейный элемент диод Шоттки ВАТ46. Схема включения приведена на рисунке Б.1.

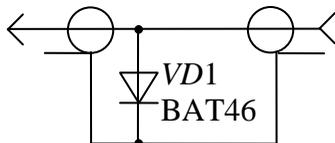


Рисунок Б.1 – Схема включения нелинейного элемента

Измерения проведены в соответствии с методикой, изложенной в разделе 6. В качестве тестового сигнала использовался радиоимпульс:

- амплитуда – 0.5 В;
- частота - 1 МГц
- длительность - 50 мкс;

На рис. Б.2 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерения собственных гармонических искажений прибора (без подключенного нелинейного элемента).

На рис. Б.3 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерения гармонических искажений, вызванных подключением нелинейного элемента

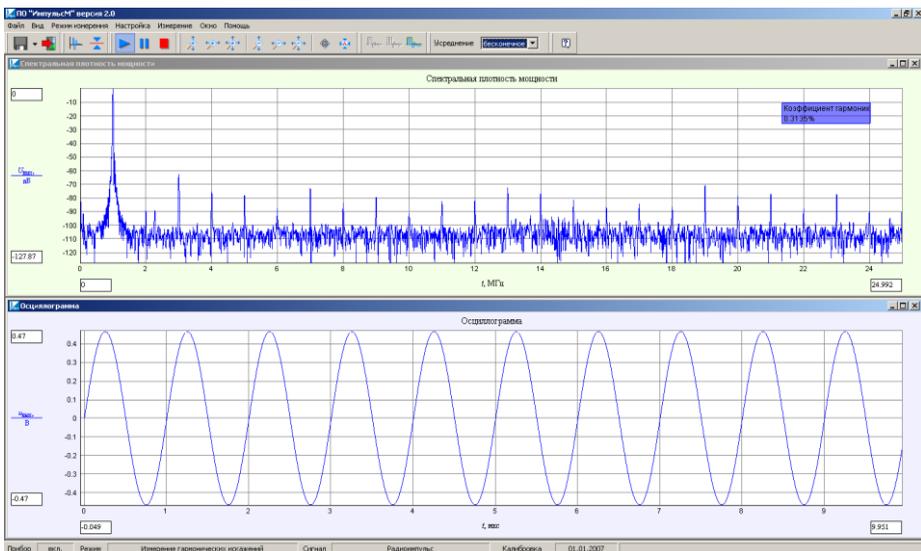


Рисунок Б.2 – Измерение собственных гармонических искажений

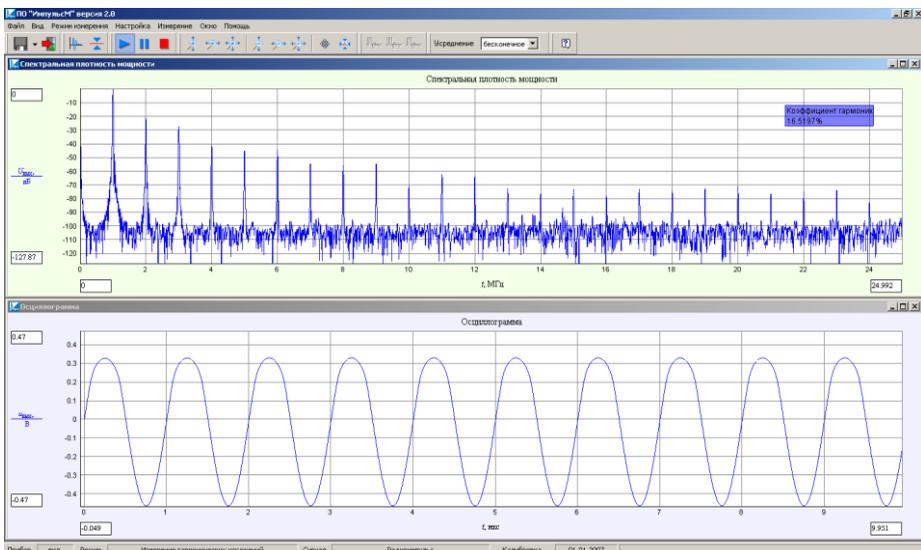


Рисунок Б.3 – Измерение гармонических искажений, вызванных включением нелинейного элемента

## ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ

В данном разделе приведен пример измерения интермодуляционных искажений. В качестве исследуемого объекта используется нелинейный элемент диод Шоттки ВАТ46. Схема включения приведена на рисунке В.1.

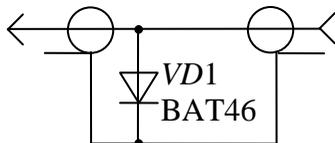


Рисунок В.1 – Схема включения нелинейного элемента

Измерения проведены в соответствии с методикой, изложенной в разделе 6. В качестве тестового сигнала использовался двухчастотный радиоимпульс:

амплитуда первой гармоники – 0.28 В;

частота первой - 1 МГц

амплитуда второй гармоники – 0.07 В;

частота первой – 18.5 МГц

длительность - 50 мкс;

На рис. В.2 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерений собственных интермодуляционных искажений прибора (без подключенного нелинейного элемента).

На рис. В.3 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерения интермодуляционных искажений, вызванных подключением нелинейного элемента

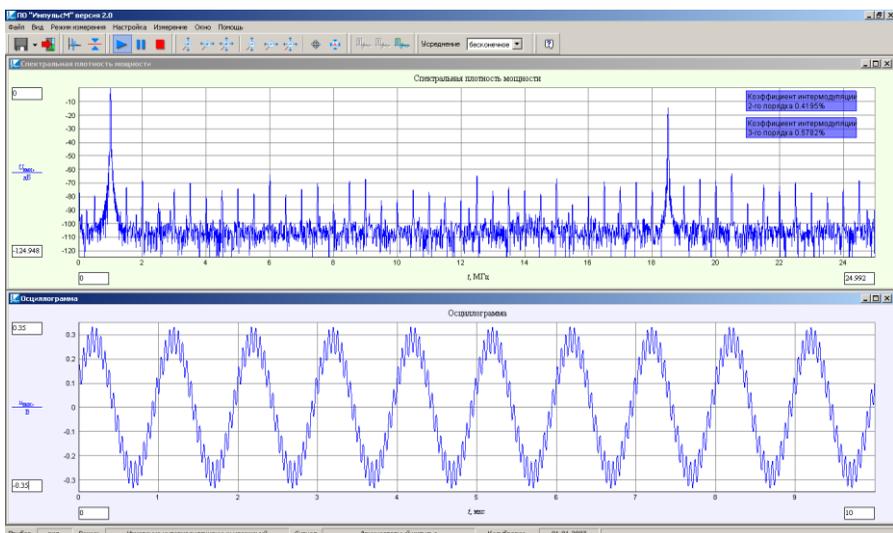


Рисунок В.2 – Измерение собственных интермодуляционных искажений

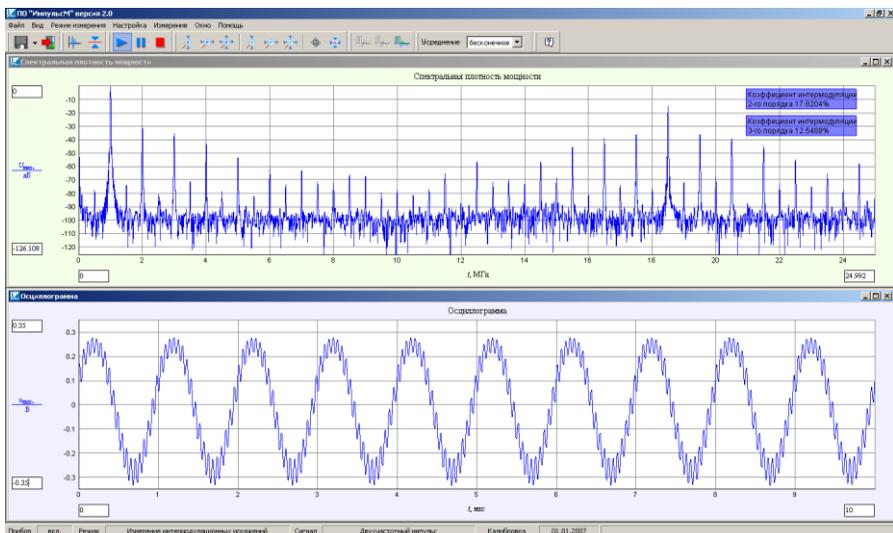


Рисунок В.3 – Измерение интермодуляционных искажений, вызванных включением нелинейного элемента

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЯ НУЛЬ-СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

В данном разделе приведен пример измерения нуль-спектральных искажений. В качестве исследуемого объекта используется нелинейный элемент диод Шоттки ВАТ46. Схема включения приведена на рисунке Г.1.

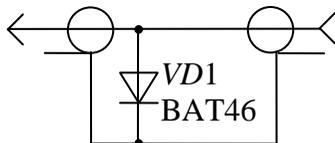


Рисунок Г.1 – Схема включения нелинейного элемента

Измерения проведены в соответствии с методикой изложенной в разделе 6. В качестве тестового сигнала использовался сигнал с нулем спектра:

- амплитуда первого импульса – 0.5 В;
- длительность первого импульса - 20 нс;
- амплитуда второго импульса – 0.5 В;
- длительность второго импульса - 20 нс
- задержка между импульсами – 50 нс.

На рис. Г.2 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерения собственных нуль-спектральных искажений прибора (без подключенного нелинейного элемента).

На рис. Г.3 приведена главная форма приложения, на которой отображены результаты измерения нуль-спектральных искажений, вызванных подключением нелинейного элемента

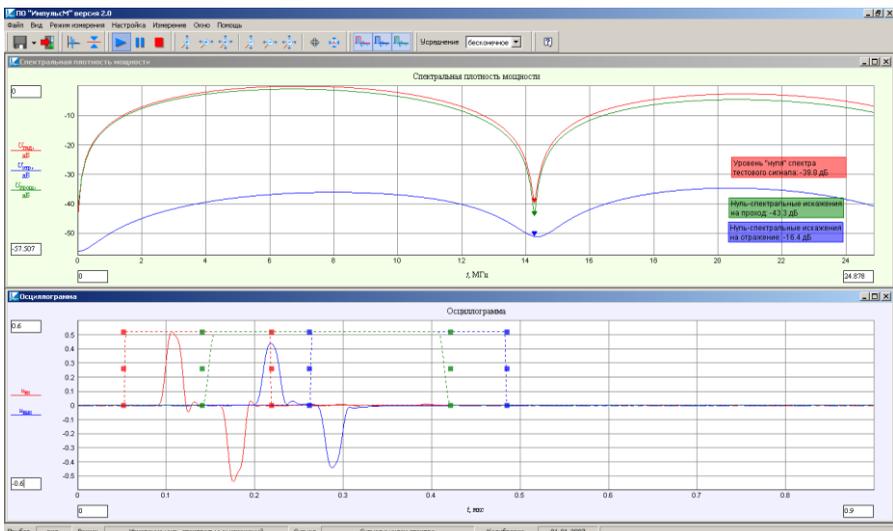


Рисунок Г.2 – Измерение собственных нуль-спектральных искажений

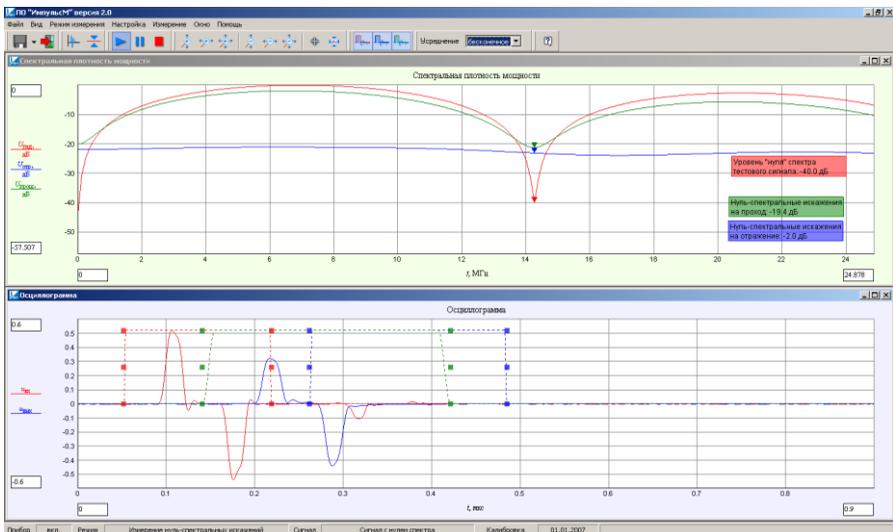


Рисунок Г.3 – Измерение нуль-спектральных искажений, вызванных включением нелинейного элемента

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ РЕФЛЕКТОГРАММ

В данном разделе приведен пример построения линейных и нелинейных рефлектограмм. В качестве исследуемого объекта используется линия передачи с линейной и нелинейной неоднородностями (рис. Д.1).

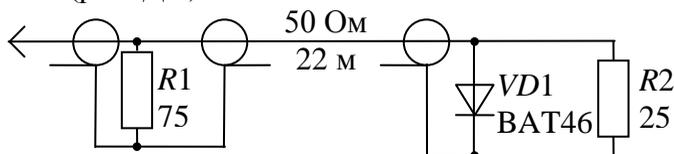


Рисунок Д.1 – Линия передачи с линейной ( $C1$ ) и нелинейной ( $VD1$ ) неоднородностями

Измерения проведены в соответствии с методикой, изложенной в разделе 6. В качестве тестового сигнала использовался видеоимпульс длительностью 10 нс. На рис. Д.2 приведена главная форма приложения с результатами измерений. Тонкой линией приведена «обычная» рефлектограмма для данной линии, жирной линией – нелинейная рефлектограмма. Отклики от обеих неоднородностей в «обычной» рефлектограмме неразличимо сходные. Экстремум в нелинейной рефлектограмме наблюдается только в позиции, соответствующей расположению нелинейной неоднородности.

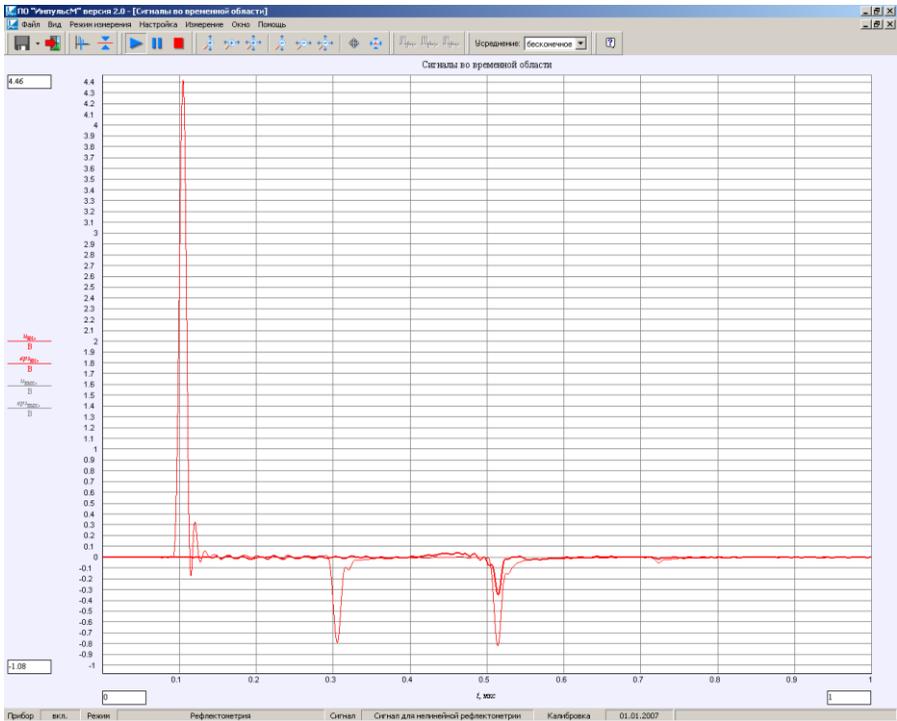


Рисунок Д.2 – Измерение рефлектограмм

**Приложение Е. Измеритель комплексных коэффициентов передачи «Обзор – 103». Руководство по эксплуатации РЭ 6687–028–21477812–2008 (отдельный файл)**