

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
“Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”
им. В.И. Ульянова (Ленина)” (СПбГЭТУ)

Кафедра теоретических основ радиотехники

А. А. Данилин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине

«Приборы и техника радиоизмерений»

(2 редакция, электронный вариант)

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Санкт-Петербург

2025 г.

6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В работе изучаются методы создания измерительных систем (ИС) с помощью стандартного последовательного интерфейса RS-232C. Исследуется протокол обмена данными между компьютером и измерительным прибором – цифровым мультиметром, измеряются параметры цифровых сигналов в интерфейсе. Изучаются методы управления измерительными приборами с помощью команд стандарта SCPI, режимы работы цифрового осциллографа при исследовании аналоговых и цифровых сигналов.

6.1. Последовательный интерфейс RS-232C

Для построения измерительных систем радиального типа часто применяют последовательный интерфейс RS-232C, который используется в последовательном СОМ-порте персональных компьютеров. Достоинства интерфейса – простота, минимальная стоимость, высокая помехоустойчивость, способность использовать телефонные двухпроводные сети, наличие его в персональных компьютерах. Недостатки – связь только двух устройств, малая скорость обмена, относительно сложные устройства управления передачей и приемом информации. Эти недостатки были устранены в более современных стандартах последовательных интерфейсов RS-422 и RS-485, в которых использован магистральный принцип построения ИС.

Изначально интерфейс RS-232C был задуман для связи по 25 линиям (разъем DB25) двух устройств на расстояние до 15 м. В измерительных системах обычно используют более простой вариант с 9 линиями (разъем DB9). Обозначение линий интерфейса на разъеме приведено на рис. 6.1.

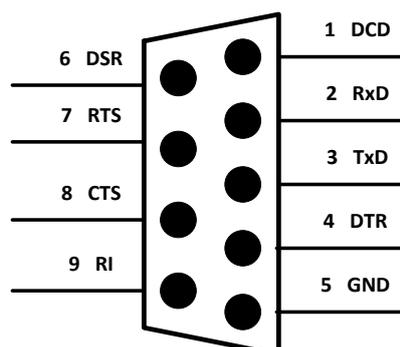


Рис. 6.1. 9-штырьковый разъем интерфейса RS-232C

Укажем назначение линий интерфейса, используемых для передачи информации между прибором и компьютером:

- TD или TxD («transmitted data») – передаваемые данные (выход передатчика);
- RD или RxD («received data») – принимаемые данные (вход приемника);
- RTS («request to send») – линия сигнала готовности передатчика;
- CTS («clear to send») – линия приемника для разрешения передачи данных;
- GND или SG («signal ground») – общий провод сигнальных линий;

Последовательность информационных битов передается по линиям приема данных RxD и передачи данных TxD, соединенных «крест-накрест». Подтверждение достоверности приема и передачи информации («квитирование») осуществляют сигналами RTS и CTS. Передающее устройство устанавливает сигнал RTS, принимающее (обнаружив сигнал RTS) - завершает текущую операцию и отвечает сигналом CTS. В простейшем случае обходятся даже без квитирования передачи и приема. Для связи по интерфейсу тогда достаточно трех линий («нуль-модемный» кабель RS-232C). Сигналы RTS и STS (а также неиспользуемые сигналы DCD, DTR, DSR) в разъемах замыкают перемычками. (рис.6.2).

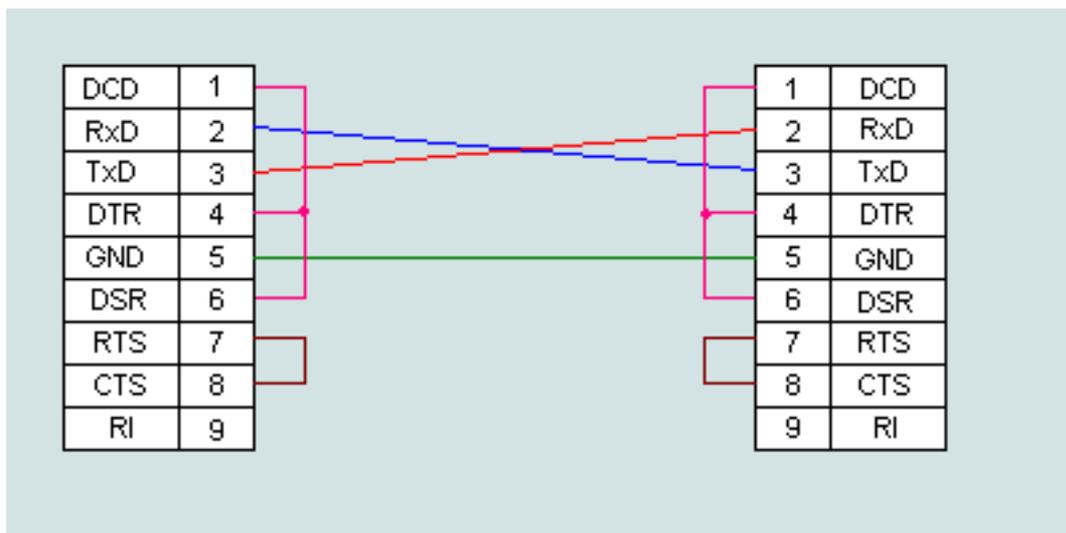


Рис. 6.2. Нуль-модемный кабель для связи компьютера и измерительного прибора

Логической единице передаваемой информации в интерфейсе RS-232C соответствует отрицательный уровень напряжения $-12...-3$ В. Логическому нулю соответствует диапазон положительных напряжений $+3...+12$ В. Между уровнями $-3...3$ В имеется зона «нечувствительности» порядка ± 3 В, в пределах которой распознавание сигнала приемником не производится. Это обеспечивает защиту информации от помех и наводок на интерфейс.

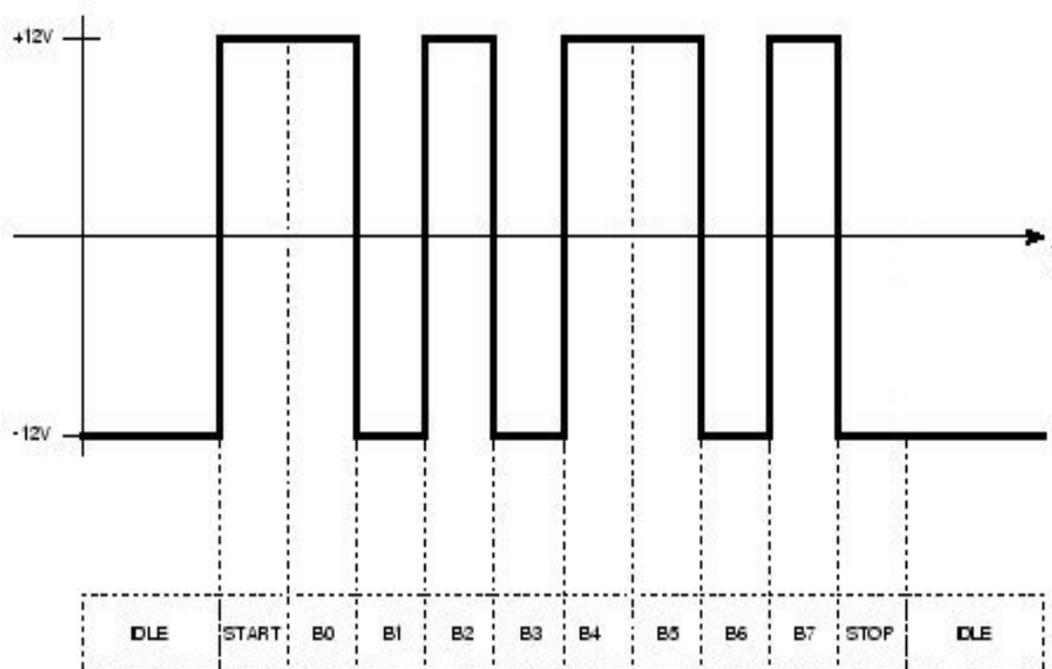


Рис. 6.3. Передача байта данных по шине интерфейса

Протокол обмена данными использует асинхронный метод передачи текстовых символов. Каждый символ цифровой информации передается в стандартном пакете битов. Формат данных на примере передачи символа «L» представлен на рис.6.3.

Когда данные не передаются (состояние *ожидания*), на сигнальной линии присутствует отрицательное напряжение, соответствующее логической единице. Передача символа начинается со *стартового бита* (логический нуль). Приемник начинает принимать *младший бит* передаваемых данных после завершения стартового бита. В пакете передаются *7 или 8 информационных битов* последовательно *от младшего к старшему* биту. Таким образом, на рис. 6.3 биты надо считывать справа-налево (01001010=4C hex). Для проверки правильности передачи информации в конце пакета можно включить *бит четно-*

сти. Его значение устанавливается из условия: сумма всех единиц данных (включая и сам бит четности) должна быть четным числом. Несовпадение означает ошибку по контролю четности. В этом случае обычно символ посылают повторно. В конце пакета передают один или два *стоп-бита* (логическая единица).

Формат пакета данных устанавливают одинаковым как в приборе, так и в компьютере. Скорость передачи данных определяется внутренними генераторами тактовых импульсов как передатчика, так и приемника. Она может быть одной из стандартного набора 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/сек (Бод). В формате пакета указывают количество бит в символе (7 или 8), наличие или отсутствие бита четности (E/N), количество стоп-бит (1 или 2). Например, формат 9600/8-N-1 означает установку скорости 9600, размер символа 8 бит, передачу без контроля четности с одним стоп-битом.

6.2. Программирование приборов через измерительные интерфейсы

Управление приборами в измерительных системах осуществляют путем посылок текстовых команд по интерфейсу, связывающему компьютер и приборы. В 1994 году был стандартизован универсальный язык программирования измерительных систем SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments). Он определяет набор команд для программируемых приборов любого вида для различных интерфейсов. Все приборы стандарта SCPI должны иметь возможность посылать и принимать данные, запрашивать обслуживание и отвечать на сообщения сброса и очистки устройства. Для этого задан формат команд, посылаемых в приборы компьютером, и формат ответов на запросы, выдаваемых прибором.

Команды стандарта SCPI имеют вид текстовых строки формата ASCII. Приборы должны уметь правильно интерпретировать команды и их сокращенную форму записи. Например, при запросе «FREQ?» прибор возвратит значение текущей частоты независимо от типа прибора. Результат измерения передается по интерфейсу в виде текстовых строк.

Команда управления прибором стандарта SCPI состоит из следующих элементов: заголовок команды, параметр (если он необходим), разделитель (двоеточие). Команды SCPI организованы в виде древовидных структур (рис.6.4).

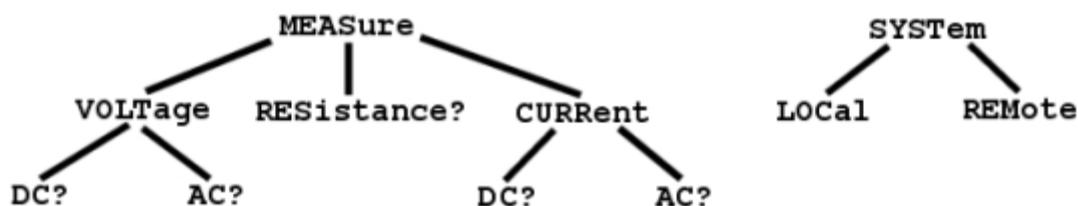


Рис. 6.4. Структура команды стандарта SCPI

Каждая древовидная структура образует функциональную систему. Начало функциональной системы называется «корень» (например, "MEASure" и "SYSTEM"). Каждая функциональная система может иметь подсистемы нижнего уровня. Конечные узлы называются «листья». Полная последовательность всех узлов от корня до листа плюс сам лист образует команду.

Заголовок команды состоит из ключевого слова и окончания. Например, «SYSTEM:AUTO:STATE». Прописными буквами выделяется обязательная часть слова команды, строчными – необязательная, опускаемая в сокращенной форме. Для отделения ключевого слова команды от слова более низкого уровня используют разделитель - двоеточие. Параметр команды отделяют пробелом. Параметры команды могут быть булевскими (0 или 1), целыми, дробными, числами с плавающей запятой (+1.0E+1), строками символов. Пример команды для установки цифрового мультиметра в режим измерения постоянного напряжения на пределе 1 вольт: «CONF:VOLT:DC 1». При использовании более чем одного параметра, между ними вставляют запятую. Можно в пределах одной строки сообщения прибору посылать две и более команды - в этом случае их разделяют точкой с запятой.

6.3. Цифровой мультиметр GDM-78251A

В лабораторной работе использован универсальный цифровой вольтметр-мультиметр GDM-78251A, связанный с компьютером последовательным интерфейсом RS-232C. Вольтметр предназначен для измерения постоянного и

переменного напряжения, силы постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току по 2-х и 4-х проводной схеме, частоты и периода сигналов, температуры (с внешним датчиком), испытания р-п переходов полупроводниковых приборов, прозвона цепей. Вольтметр GDM-78251A обеспечивает измерение среднеквадратического значения переменного напряжения и тока произвольной формы («True RMS»), измерение переменного напряжения и тока со смещением по постоянному току («True RMS AC+DC»).

Вольтметр имеют дисплей с двумя цифровыми шкалами, соответствующим двум измерительным каналам прибора. Дисплей позволяет одновременно отображать два измеряемых параметра (например, напряжение и частоту и пр.), а также используемый диапазон измерения. Основная 6-ти разрядная шкала имеет максимальное индицируемое значение 50000, дополнительная – 4 разряда. Вольтметр при измерении постоянного и переменного напряжения, тока и сопротивления обеспечивает регистрацию максимальных и минимальных значений, относительные измерения (в дБ и в дБм), автоудержание показаний, допусковой контроль (сравнение с образцом).

Краткие технические данные вольтметра-мультиметра GDM-78251A:

- максимально индицируемое число на основной шкале составляет 120000 (5 ½ десятичных разряда) при медленном режиме S (10 измерений/сек);
- обеспечивается измерение напряжения в диапазонах 100 мВ...1000 В, минимальное разрешение 1 мкВ;
- верхняя граница рабочей полосы частот при измерении переменного напряжения - 100 кГц, входной импеданс - сопротивление 1 МОм при параллельной емкости 100 пФ.
- базовая погрешность при измерении постоянного напряжения составляет $\pm 0.012\%$, для переменного напряжения - $\pm 0.2\%$;
- измерение тока возможно в диапазонах 10 мА...10 А, минимальное разрешающая способность 0.1 мкА;
- базовая погрешность при измерении постоянного тока составляет $\pm 0.05\%$, для переменного тока - $\pm 0.5\%$;
- обеспечивается измерение сопротивления в диапазонах 100 Ом...120 МОм, минимальное разрешающая способность 1 мОм, базовая погрешность для 4-х проводной схемы подключения резистора 0.05%;
- измерение частоты в диапазоне 10 Гц... 800 кГц с базовой погрешностью 0.05%, измерение периода в диапазоне 1.25 мкс ... 0.1 с.

- измерение относительного уровня по напряжению (dB) и мощности (dBm);

Прибор имеет следующие режимы работы:

- автоматический и ручной выбор диапазона измерения;
- регистрация максимальных и минимальных значений (MAX\MIN), удержание показаний (HOLD), допусковый контроль (сравнение с допуском), относительные измерения;
- Математическая обработка результатов. Возможен выбор одной из 3-х математических функций: линейная $MX+B$, инверсия $1/X$, вычисление процента $((X-X_{ref})/ X_{ref}) * 100$, где X – измеряемое значение, X_{ref} – опорное значение.
- сохранение результатов измерения во внутренней памяти прибора (от 1 до 9999 значений)
- сохранение параметров профиля настройки прибора после выключения питания.

Вольтметр обеспечивает связь с внешними устройствами через интерфейсы USB и RS-232C. Он поддерживает обязательные команды SCPI (таблица 6.1).

Таблица 6.1.

Мнемоника	Группа	Описание
*IDN?	Данные прибора	Запрос идентификации
*RST	Управление прибором	Сброс
*CLS	Статус прибора	Очистить статус

В таблице 6.2 приведены некоторые команды SCPI (только обязательная часть слова команды), используемые для программирования и управления вольтметром GDM-78251A.

Таблица 6.2

SYS:REM [LOC]	Перевод мультиметра в дистанционный режим [возврат в локальный режим]
SENS:DET:RATE S [M F]	Установка скорости измерений [S- slow, M- medium, F-fast]
TRIG:AUTO 1	Режим автоизмерений включен [0 – ручной запуск]
CONF:VOLT:AC	Выбор режима измерения среднеквадратическо-

	го значения переменного напряжения (основной дисплей)
CONF:VOLT:DC	Выбор режима измерения постоянного напряжения (основной дисплей)
CONF:VOLT:DCAC	Выбор режима измерения напряжения с учетом постоянной составляющей
CONF:FREQ [CONF:PER]	Включение режима измерения частоты [или периода] (основной дисплей)
CONF2:FREQ [CONF2:PER]	Включение режима измерения частоты [или периода] (дополнительный дисплей)
CONF:AUTO 1	Автоматический выбор диапазона измерений по первому дисплею
CONF2:AUTO 1	Автоматический выбор диапазона измерений по второму дисплею
VAL1?	Чтение результата с основного дисплея
VAL2?	Чтение результата с дополнительного дисплея
READ?	Чтение данных основного и дополнительного дисплеев одновременно

6.4. Принцип действия и структурная схема цифрового осциллографа

Для наблюдения сигналов в последовательных интерфейсах наиболее подходят цифровые осциллографы. Напомним принцип работы таких приборов.

В традиционном электронно-лучевом осциллографе (ЭЛО) применяют аналоговый способ создания изображения исследуемого сигнала на экране ЭЛТ. Запоминать сигнал и его осциллограмму такой осциллограф не может. Поэтому ЭЛО пригоден для наблюдения только повторяющихся сигналов. Наблюдать сигналы асинхронных измерительных систем таким осциллографом затруднительно; для этого используют цифровые *запоминающие осциллографы* (ЦО). Принцип их работы основан на преобразовании аналогового сигнала в поток цифровых данных, запоминаемый в ОЗУ и отображаемый на экране в виде массива светящихся точек. Особенностью построения ЦО является разделение блоков оцифровки входного сигнала и блоков построения осциллограммы («развертка» изображения).

Преобразование мгновенных значений сигнала в цифровые коды и сохранение их в блоке памяти позволяет решить ряд задач, недоступных аналоговым осциллографам:

- Возможность работы ЦО с одиночными и случайными сигналами, которые запоминаются в виде массива мгновенных значений и затем выводятся на экран.
- Достижение высокой точности измерения напряжения и временных интервалов, характерной для цифровых приборов;
- Увеличение полосы пропускания путем использования быстродействующих аналого-цифровых преобразователей (АЦП);
- Расширение возможностей синхронизации и запуска;
- Проведение косвенных измерений (например, спектрального анализа сигнала) с индикацией результатов на экране;
- Возможность подключения к измерительным системам.

Обобщенная структурная схема цифрового осциллографа представлена на рис.6.5.

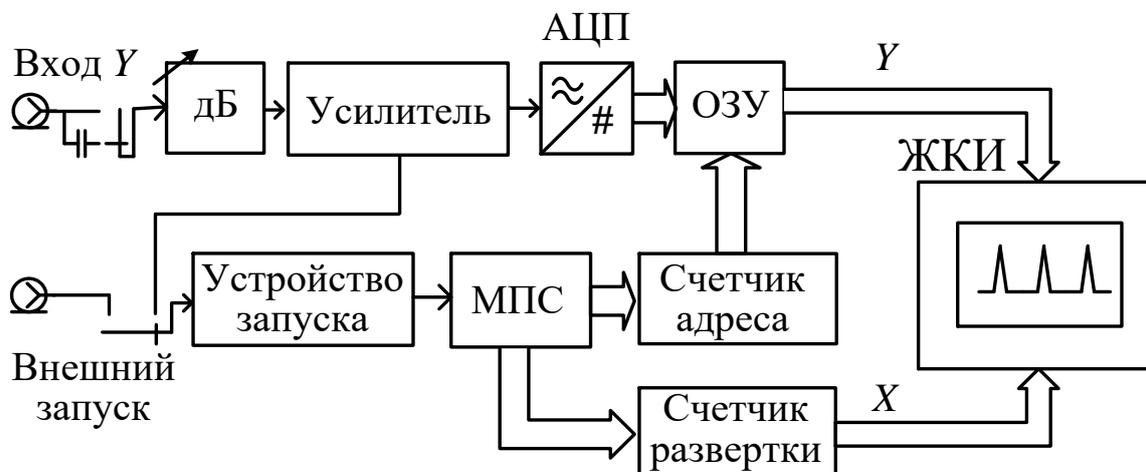


Рис. 6.5. Структурная схема цифрового осциллографа

Входной блок канала Y (входной коммутатор, аттенюатор, усилитель) выполняет обычные для любого осциллографа функции – регулировку коэффициента отклонения, усиление сигнала, переключение «открытый - закрытый» вход. Усиленный сигнал поступает на быстродействующий АЦП. Точность квантования сигнала по уровню задается выбором разрядности АЦП. Разность между соседними дискретными уровнями называется *интервалом квантования* – он определяет *разрешающую способность* ЦО по напряжению.

Количество выборок сигнала в единицу времени определяется тактовой частотой АЦП (дискретизация по времени). Мгновенные отсчеты сигнала измеряются через равные отрезки времени (*интервалы дискретизации*). Значение минимального интервала дискретизации определяет быстродействие осциллографа и его рабочую полосу частот.

Массив цифровых данных сигнала поступает в быстрое оперативное запоминающее устройство (БОЗУ). Оно построено по принципу FIFO («первым вошел – первым вышел»), то есть при записи нового отсчета исчезает самый «старый». Объем БОЗУ («глубина памяти» ЦО) определяет максимальное количество отсчетов, которыми может быть представлен исследуемый сигнал. Требуемая глубина памяти связана с установленным на осциллографе коэффициентом развертки K_p (временным масштабом изображения) и частотой дискретизации f_d . При размере шкалы осциллографа 10 делений требуемая глубина памяти равна $K_p \cdot 10 \cdot f_d$. При больших коэффициентах развертки и высокой частоте дискретизации глубина памяти может быть недостаточной. В этих случаях приходится уменьшать частоту дискретизации АЦП.

Рассмотрим основные режимы работы программного блока развертки ЦО. Он формирует коды, указывающие номер столбца экрана дисплея (координату X), соответствующего отображаемой точке осциллограммы. Номер строки дисплея (координата Y) определяется кодом преобразованного значения сигнала. Для наблюдения неповторяющихся и одиночных сигналов используют *одиночный режим* развертки (single shot mode). В нем отсутствует непрерывный вывод отсчетов на экран. Один кадр изображения строится последовательно (в реальном времени) по отсчетам входного сигнала с момента возникновения *события запуска* (например, нажатия кнопки ПУСК, подачи внешнего сигнала запуска) (рис.б.б).

Для наблюдения периодических или повторяющихся сигналов используют *непрерывный режим развертки* (refresh mode). Этот режим аналогичен автоколебательному или ждущему режимам аналогового осциллографа. В *автоколебательном режиме* запуска кадры изображения непрерывно строятся даже в отсутствие события запуска. В *ждущем режиме* кадр строится только при появлении события запуска.

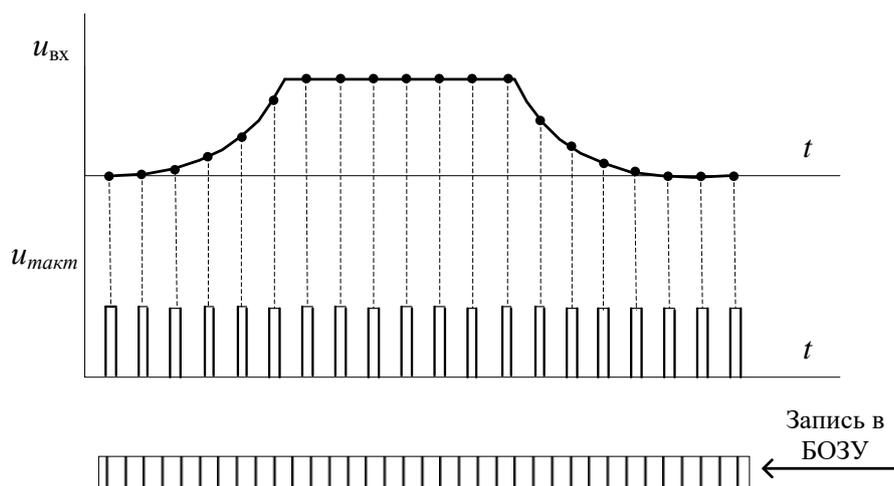


Рис. 6.6. Построение осциллограммы сигнала в режиме реального времени

Цифровые осциллографы имеют широкий выбор режимов *синхронизации и запуска*. Событие запуска в ЦО — это начало построения осциллограммы. Запуск и синхронизация ЦО может быть по фронту, срезу, по определенной длительности сигнала, по заданному численно уровню сигнала и пр. Для исследования цифровых сигналов применяют запуск по заданному количеству импульсов на входе, по приходу кодового слова в потоке данных, по сигналам шин интерфейсов (например, RS-232C, USB, CAN, I2C и др.).

При построении изображения сигнала чаще всего используется небольшая часть БОЗУ. Это позволяет реализовать в ЦО режимы *«предзапуска»* и *«послезапуска»*. Напомним, что аналоговый ЭЛО воспроизводит на экране входной сигнал только после импульса запуска. Информация о сигнале до запуска на экране отсутствует. В ЦО событие запуска (например, фронт входного сигнала, приход внешнего импульса запуска) делит содержимое БОЗУ на две части — буфер предпусковых данных (*предзапись*) и буфер послепусковых данных (*послезапись*). Если при построении изображения осуществить сдвиг адресов БОЗУ (например, считывать данные, предшествующие событию запуска), то на экране воспроизводится форма фрагмента сигнала, предшествующего запуску. Сдвиг адресов в другую сторону позволяет получить на экране задержанный относительно события запуска сигнал. Таким образом, режим *предзапуска* позволяет «заглянуть в прошлое» и построить ту часть сигнала, которая предшествовала запускающему импульсу. Режим *послезапуска* обеспечивает задержку изображения относительно момента запуска. Регулировку режимов запуска осуществляют ручкой смещения осциллограммы по горизон-

тали (\leftrightarrow). Стандартный режим запуска ЦО – 50% предзапись, 50% послезапись. При этом точка запуска находится в центре экрана индикатора (рис. 6.7).

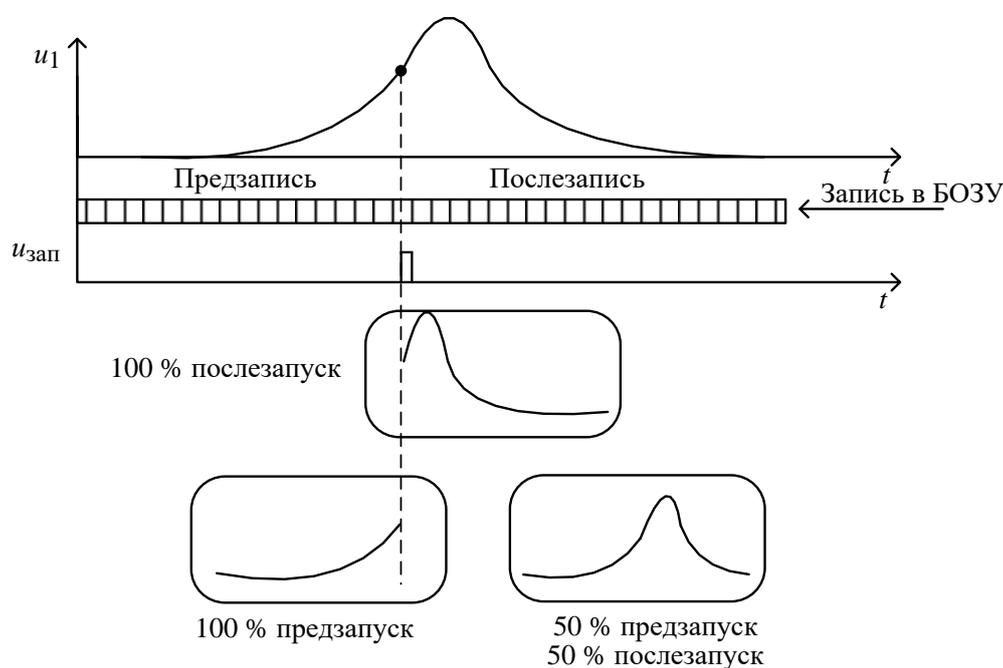


Рис. 6.7. Режимы предзапуска и послезапуска ЦО

Цифровые осциллографы имеют режимы автоматических и курсорных измерений. *Автоматические измерения* параметров сигналов позволяют определить период и частоту сигнала, длительность импульса и время его нарастания, максимальное и минимальное значение сигнала, его размах, среднее и среднеквадратическое значения и пр. путем обработки данных сигнала, представленном на экране. *Курсорные измерения* позволяют индицировать численные значения напряжения и длительности в точках расположения курсоров. Обычно курсоры имеют вид вертикальных и горизонтальных линий, которые вручную перемещают по экрану. Результат курсорных измерений выводится как в абсолютных единицах для каждого курсора, так и в виде разности значений напряжения или времени между курсорами (*дельта-курсор*).

6.5. Технические характеристики цифрового осциллографа MSO-X 2022A

Цифровой двухканальный запоминающий осциллограф Keysight MSO-X 2022A, используемый в лабораторной работе, предназначен для наблюдения сигналов в полосе частот 200 МГц. Также у него предусмотрен блок логиче-

ского анализатора потоков цифровых сигналов (поэтому его называют осциллограф смешанных сигналов - Mixed signal oscilloscopes, MSO). Осциллограф имеет следующие технические параметры (таблица 6.3).

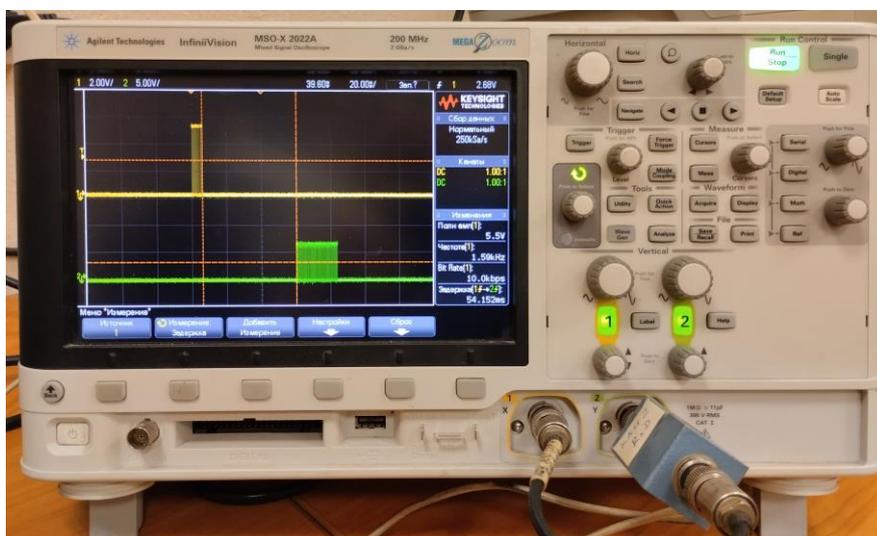


Рис. 6.8. Цифровой запоминающий осциллограф MSO-X 2022A

Таблица 6.3.

Характеристика	Значение
Количество каналов	2
Частота дискретизации АЦП, разрядность	1 ГГц, 8 бит
Полоса пропускания по уровню -3 дБ	200 МГц
Время нарастания переходной характеристики	1.75 нс
Скорость обновления осциллограмм	200 000/с
Разрешающая способность экрана	800x480 (диагональ 21см)
Максимальная длина записи (глубина памяти БОЗУ)	14 Мбайт
Диапазон коэффициентов отклонения K_o	2 мВ/дел...50В/дел
Погрешность установки K_o	$\pm 3\%$
Диапазон коэффициентов развертки K_p	2 нс/дел...50с/дел
Погрешность установки K_p	$\pm 0.0025\%$
Входной импеданс	1 МОм, 23 пФ или 50 Ом

Осциллограф обеспечивает следующие режимы работы: стандартная выборка, пиковый детектор, усреднение, растяжка, режим ХУ, линейная интерполяция и интерполяция типа $\sin(x)/x$. Предусмотрены автоматические измерения различных параметров сигнала (период, частота, время нарастания, время спада, длительность положительного и отрицательного импульса, скважность, сдвиг фаз между каналами, скорость передачи двоичных данных). Есть режимы курсорных измерений, математических преобразований данных - сложение и вычитание, умножение и деление, производная, интеграл, корень квадратный, частотный анализ сигналов (БПФ). Опционально доступны дополнительные аппаратные и программные блоки: функциональный генератор с прямым цифровым синтезом сигналов сложной формы до 25 МГц, программный декодер последовательных протоколов цифровой связи и 8-канальный логический анализатор.

Осциллограф управляется с передней панели (рис.6.8) кнопками и ручками. Переключение режимов прибора осуществляют с помощью функционального экранного меню, управляемого шестью кнопками под экраном. Для перехода вверх между уровнями экранного меню предусмотрена кнопка возврата [UP]. Плавная регулировка параметров (например, яркости сетки и яркости луча) осуществляется ручкой  [Установка], выбор нужного значения – нажатием этой ручки (кнопка [Выбор]). Для сохранения данных и скриншотов экрана используется USB разъем на передней панели.

6.6. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входит персональный компьютер, связанный последовательным интерфейсом RS-232C с цифровым вольтметром GDM-78251A. В качестве источника измеряемых сигналов в работе используется функциональный генератор GFG-8219A с некалиброванным уровнем выходных сигналов и цифровой шкалой частоты. Наблюдение сигналов интерфейса и измерение их параметров производят в каналах 1 и 2 осциллографа, подключенного к линиям интерфейса TxD и RxD с помощью разветвителя-переходника (рис.6.9).

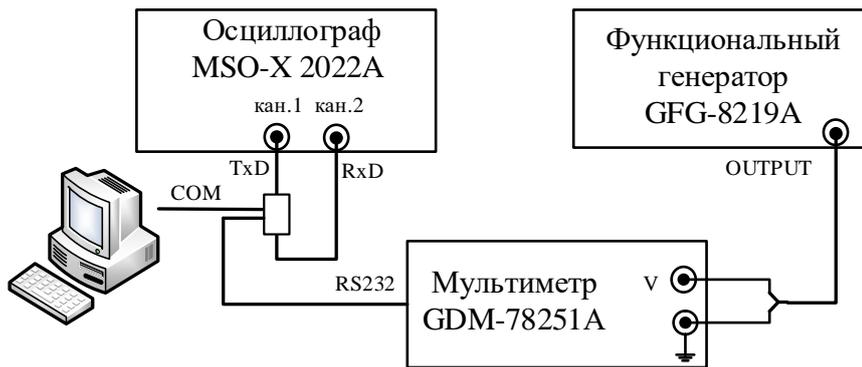


Рис. 6.9. Структурная схема лабораторной установки

В работе используется передача и прием данных в режиме 9600/8-N-1 по интерфейсу RS232C между мультиметром и COM-портом компьютера (скорость передачи порта 9600, число битов – 8, проверка на четность – отсутствует, 1 стоп-бит, контроль потока – отключен). Если параметры порта в компьютере выставлены неверно, то их надо исправить в диспетчере устройств компьютера.

Для управления последовательным интерфейсом компьютера в работе используется программа «Advanced Serial Port Monitor» (ASPM). Она позволяет посылать на прибор строки команд управления и принимать текстовые сообщения с результатами измерения от прибора через интерфейс RS-232C. Исходный режим работы программы:

- COM порт COM4;
- Скорость 9600;
- Бит данных 8;
- Тип четности None;
- Бит останова 1;
- Задержка отключена;
- Опции => Автоопределение порта включено;
- Исходные данные => Строка ввода (Ctrl+T);
- Режим => Ручное управление включено.

Если режим работы отличается от указанного, надо запустить программу с указанием файла скриптов script.txt, который позволяет установить заданный начальный режим. Команда запуска программы ASPM в этом случае:

```
aspmon.exe -f script.txt
```

Ее можно вызвать, нажав ярлык aspmon на рабочем столе компьютера.

Протокол обмена данными между мультиметром и компьютером выводится в окно программы ASPM с указанием времени послыки и приема команд и сообщений. Формат команд – текстовая строка с автоматическим добавлением символа завершения «LF». В окне протокола посылаемая команда выводится в следующем виде:

Время послыки команды <час: мин: сек>

<строка команды> <LF> [длина посылаемой команды].

Формат принимаемых сообщений:

Время приема строки информации <час: мин: сек>

<принятая строка сообщения> <LF>.

Окно протокола можно скопировать в буфер или в файл на внешний USB-накопитель (выпадающее меню по правой кнопке мыши). При переполнении экрана монитора его можно очистить нижней кнопкой «Очистить».

6.7. Задание и указания к выполнению работы

6.7.1. Наблюдение сигналов интерфейса и измерение их параметров

Включите приборы лабораторной установки. Для упрощения настройки осциллографа используйте предварительно выбранный режим работы прибора, записанный в его энергонезависимую память под именем **setup1**. Загрузку режима из памяти произведите нажатием кнопок передней панели и функциональной клавиатуры (под экраном), выполняя цепочку команд: [Save/Recall] => [Восстановить] => [Загрузить из setup]. Далее из выпадающего меню ручкой регулировки  выбрать файл **setup1** и нажать на ручку .

Режим **setup1** предусматривает:

- Два канала для наблюдения сигналов интерфейса TxD и RxD с коэффициентами отклонения 2V/div и 5V/div;
- Режим развертки ЦО: [Horiz]=> [Режим нормальный (Ждущий)], запуск: [Trigger] => [Тип запуска Фронт], [Источник 1], вид запуска: [Перепад] => возрастание, коэффициент развертки: [Horizontal]=> 5 ms/div.

Запустите программу ASPM и выберите порт COM порт компьютера, обозначенный как «COM_ (Prolifik USB-toSerialComm Port)». Номер порта обычно 4 или 5. Откройте порт, нажав кнопку [Открыть]). Пошлите на мультиметр команду идентификации, для чего в поле ввода программы введите строку *IDN?. Мультиметр в ответ на эту команду должен выдать строку идентификации, содержащую название фирмы-изготовителя, марку прибора, номер прошивки программного обеспечения. На экране ЦО появится пачка импульсов строки, передаваемой по линии TxD команды (канал 1) и ответный пакет по линии RxD (канал 2). Просмотрите сигналы на линиях TxD и RxD.

Сфотографируйте экран или сделайте его скриншот. Для этого вставьте внешний флеш-накопитель в USB- разъем и выполните цепочку команд: [Save/Recall] => [Сохранить] => [Формат *bmp], [Сохранить на usb], [Нажать для Сохранить]. В выпадающем меню выберите имя файла и повторно нажмите [Press To Save]. В дальнейшем используйте указанную методику сохранения скриншотов.

Включите ручной режим измерения ([Cursors] => [Режим ручной], [Источник 1]). Регулировку положения курсоров осуществляйте ручкой [Cursors], переключение между первым X1 и вторым X2 курсорами – нажатием этой

ручки. Поочередно перемещая курсоры, установите их на начало пакета TxD и конец пакета RxD. Запишите ΔX - время передачи команды и приема отклика прибора. Сравните его с разностью времен посылки команды и приема сообщения в протоколе программы ASPM.

Измерьте длительность одного бита сигнала TxD. Для этого переместите изображение сигнала в канале 1 в центр экрана ручкой \leftrightarrow . Подбором коэффициента развертки ручкой [Horizontal] растяните осциллограмму так, чтобы получить удобный для измерения изображение нескольких битов сигнала.

С помощью курсоров измерьте длительность одного бита команды $\Delta X = T_{\text{бит}}[\text{mks}]$. Это длительность самого короткого импульса в пакете команды. Рассчитайте скорость передачи в интерфейсе (она обратна длительности бита). Сравните полученное значение с установленной скоростью передачи 9600 бит/с.

Измерьте значения напряжения сигнала $Y1=U_{\text{min}}$ и $Y2=U_{\text{max}}$, соответствующие логическим уровням «1» и «0», а также их разность $\Delta Y = U_{\text{p-p}}$. Для этого используйте горизонтальные курсоры ([Cursors] => [Курсоры Y1/Y2]). Результаты курсорных измерений длительности и уровней занесите в таблицу 6.4.

Таблица 6.4

Параметр пакета	Курсорные измерения	Автоматические измерения
U_{max} , В		
U_{min} , В		
$U_{\text{p-p}}$, В		
$T_{\text{бит}}$, мкс		

Включите автоматический режим измерений кнопкой [Meas] и запишите параметры сигнала, измеренные встроенным вольтметром и частотомером ЦО. Сравните их с результатами курсорных измерений.

Проведите декодирование сообщения, передаваемого по линии TxD. Установите коэффициент развертки 500 ms/div. В окне программы ASPM введите один произвольный текстовый символ (цифру или букву, по указанию преподавателя). Пошлите этот символ на прибор и сделайте скриншот экрана. Зарисуйте цифровой сигнал на линии TxD. В соответствии с протоколом передачи информации интерфейса (см. рис.6.3) запишите последовательность

передаваемых информационных битов, группируя их по 10 бит (например, в виде <0-0000 1100 -1>, <0-0101 0000-1>). Удобно это сделать, используя режим «связанных курсоров». По очереди установите курсоры X1 и X2 так, чтобы расстояние между ними соответствовало бы 1 биту сообщения (самый короткий импульс). Далее ручкой [Cursors] выберите пункт [Связанные X1 и X2]. Передвигая пару курсоров, можно легко считывать последовательность битов в передаваемом пакете.

Каждая группа в пакете содержит стартовый бит символа – это первый бит в группе слева, имеющий логический уровень 0 (высокий уровень сигнала). Далее идут 8 битов передаваемого байта (ASCII код символа), причем сначала передаются *младшие биты*! Поэтому байт символа надо читать справа налево. Далее идет стоповый бит группы, равный 1. Следующая группа из 10 битов в случае посылки одного символа должна содержать символ завершения строки «LF» (0A hex=0000 0101).

Произведите декодирование посланного символа и сравните его с табличным ASCII кодом (табл 6.5). Запишите полученные результаты.

Таблица 6.5

ASCII коды																
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	.A	.B	.C	.D	.E	.F
0.	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	HT	LF	VT	FF	CR	SO	SI
1.	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
2.	_	!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/
3.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4.	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5.	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[\]	^	_
6.	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7.	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	 	}	~	DEL

6.7.2. Программирование мультиметра через интерфейс

В данном пункте лабораторной работы исследуется алгоритм управления мультиметром через последовательный интерфейс RS232C по стандарту команд SCPI.

Подключите сигнал с генератора GFG-8255A на вход канала 1 осциллографа, канал 2 отключите. Установите форму сигнала – синус, частоту сигнала- около 1 кГц, регулятор амплитуды – в среднее положение.

На осциллографе установите режим работы, записанный в файле состояния **setup2** (выполните цепочку команд [Save/Recall] => [Восстановить] => [Загрузить из setup]=>[нажать для Восстановить]). Режим **setup2** предусматривает:

- Коэффициент отклонения 1 канала 500 mV/div;
- Режим развертки ЦО: [Horiz]=>[Режим Нормальный (автоколебательный)], запуск: [Trigger] => [Тип запуска Фронт], [Источник 1], вид запуска: [Перепад] =>возрастание, коэффициент развертки: [Horizontal]=> 200 mks/div.

Подайте на вход мультиметра сигнал от функционального генератора. Установите исходный режим работы мультиметра, подав команду сброса и очистки прибора *RST. Мультиметр должен находиться в режимах измерения среднеквадратического значения переменного напряжения на первом дисплее (соответствует команде CONF:VOLT:AC) и измерения частоты на втором дисплее (соответствует команде CONF2:FREQ) (см. табл. 6.2).

С помощью команды READ? получите с мультиметра значения частоты F и среднеквадратического значения сигнала U. Повторите измерения для режима периода второго дисплея. Для этого введите команду CONF2:PER.

Повторите измерения напряжения, частоты и периода для сигналов треугольной и прямоугольной форм. Занесите полученные результаты в таблицу 6.6.

Таблица 6.6

Форма	Мультиметр			Курсорные измерения ЦО		Автоматические измерения ЦО			
	U, В	F, кГц	T,мс	V p-p, В	T,мс	V p-p, V	AC RMS, V	Freq, KHz	T,мс
Синус.									
Треуг.									
Me-									

андр									
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Используя режим курсорных измерений ЦО, измерьте размах сигнала генератора V_p -р и его период T . Для этого включите курсоры ЦО кнопкой [Cursors]=>[Режим Ручной]. Курсоры $Y1$ и $Y2$ используйте для измерения размаха напряжения, курсоры $X1$ и $X2$ - для измерения периода. Выбор курсоров и регулировку их положения производите ручкой [Cursors]. Занесите разницы значений курсоров ΔY и ΔX (размах и период сигнала) в таблицу 6.6.

Включите в ЦО режим автоматического измерения частоты и напряжения сигнала в канале 1 ([Meas => [Источник 1])). Предварительно в ЦО установлены следующие виды измерений: [Полн.амп(1)], [Частота(1)], [AC RMS (1)], [Период(1)]. При необходимости можно добавить список видов измерений, выбрав пункт меню [Добавить измерение]. Выбор вида измерения производите ручкой , ввод вида - ее нажатием. Измеренные значения выводятся в правом нижнем углу экрана для текущего кадра осциллограммы. Для удобства считывания результатов временно остановите развертку ЦО кнопкой [Run/Stop]. Занесите полученные результаты в таблицу 6.6.

Включите развертку кнопкой [Run/Stop] и повторите аналогичные измерения значений напряжения, периода и частоты для треугольного и прямоугольного сигналов генератора. Результаты измерения занесите в таблицу 6.6. Выключите режим автоматических измерений кнопкой [Meas].

6.8. Содержание отчета

Отчет должен содержать структурную схему лабораторной работы, таблицы результатов измерений, графики сигналов интерфейса, краткие выводы.

6.9. Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия цифрового осциллографа (ЦО). В чем его отличие от аналогового электронно-лучевого осциллографа?
2. Какие измерительные задачи, недоступные аналоговому ЭЛО, можно решать с помощью цифрового осциллографа?
3. В чем отличие структурной схемы цифрового осциллографа от аналогового ЭЛО?
4. Какие режимы развертки используют в ЦО?

5. Как выполняют блок памяти в ЦО? Что такое глубина памяти ЦО? Как требуемый размер памяти связан с частотой дискретизации АЦП и максимальным коэффициентом развертки осциллографа?
6. Как реализуют в ЦО режимы «предзапуска» и «послезапуска», какие дополнительные возможности они дают?
7. Каковы условия неискаженного воспроизведения формы сигнала цифровым осциллографом? Как выбрать частоту дискретизации АЦП?
8. Какова структура пакета битов последовательного интерфейса RS232C?
9. Для чего при передаче сигналов по интерфейсу не используется диапазон уровней -3...+3 В?
10. Каким образом реализуют операцию квитирования передачи и приема пакета в последовательном интерфейсе?

Оглавление

6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	2
6.1. Последовательный интерфейс RS-232C	2
6.2. Программирование приборов через измерительные интерфейсы.....	5
6.3. Цифровой мультиметр GDM-78251A.....	6
6.4. Принцип действия и структурная схема цифрового осциллографа	9
6.5. Технические характеристики цифрового осциллографа MSO-X 2022A	13
6.6. Описание лабораторной установки.....	15
6.7. Задание и указания к выполнению работы	18
6.7.1. Наблюдение сигналов интерфейса и измерение их параметров	18
6.7.2. Программирование мультиметра через интерфейс	20
6.8. Содержание отчета	22
6.9. Контрольные вопросы	22
Оглавление	23