

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”

ПРИБОРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС GPIB

Санкт-Петербург

2023 г.

В работе изучается приборный интерфейс GPIB (IEEE 488), используемый для создания измерительных систем приборно-модульного типа. Исследуется протокол обмена данными по интерфейсу между компьютером и измерительным прибором – цифровым мультиметром. Изучаются методы декодирования цифровых сигналов в интерфейсной шине, осваиваются методы управления измерительными приборами с помощью команд SCPI. В работе анализируются особенности работы цифрового осциллографа смешанных сигналов при исследовании аналоговых и цифровых сигналов в режиме логического анализатора.

1. Приборный интерфейс GPIB (ANSI/IEEE 488.1)

Широкое применение в измерительной технике нашёл интерфейс HP-IB, предложенный фирмой Hewlett-Packard (HP) в 1965 г. В процессе стандартизации интерфейса в 1975 году он был переименован в GPIB (General Purpose Interface Bus) и в 1987 году стал стандартом ANSI/IEEE 488.1. В дальнейшем стандарт был расширен в области программного обеспечения до версии 488.2. Интерфейс GPIB рекомендован к использованию Международной электротехнической комиссией МЭК 625.1 (International Electrotechnical Commission IEC 625.1). Аналогичный российский стандарт ГОСТ 26.003-80 использует для интерфейса GPIB название «канал общего пользования» (КОП). Часто его называют просто «приборный интерфейс».

Цели, которые ставили перед собой разработчики интерфейса - связать программируемую контрольно-измерительную аппаратуру с компьютером многопроводным магистральным каналом передачи информации, который имеет:

- Сравнительно высокую скорость передачи (до 1 Мбайт/с);
- Параллельный обмен байтами данных;
- Магистральный принцип построения ИС;
- Приборно-модульный принцип агрегатирования ИС;
- Простота конструкции и лёгкость сборки ИС;
- Умеренные требования по дальности передачи данных (единицы метров);
- Лабораторные условия применения;

Согласно стандарту 488.1 приборный интерфейс GPIB должен обеспечивать следующие технические параметры:

- общая длина интерфейса - до 20 м;
- число подключаемых модулей, определяемое нагрузочной способностью шины. не более 15;
- общее число адресуемых модулей = не более 30;
- максимальная скорость передачи - 1 Мбайт/сек. (реальные скорости составляют порядка 250...500 Кбайт/сек.).

Измерительная система на основе интерфейса GPIB собирается соединением приборов и компьютера (контроллера) интерфейсными кабелями. Топология магистрали при этом может быть радиальной (звезда) (рис. 1.а) или каскадной (рис. 1 б). Длина интерфейсных кабелей – не более 4 метров (реально не более 2-3 м) при общей длине магистрали до 20 м.

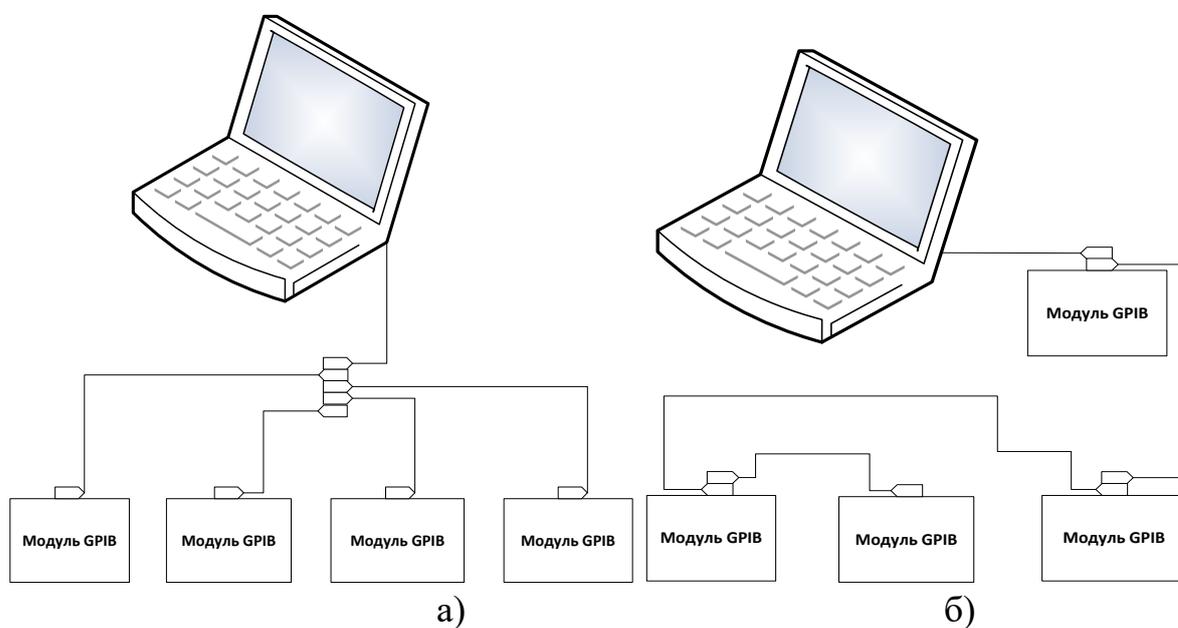


Рис. 1. Конфигурация системы GPIB:
а- радиальная, б – каскадная

GPIB-магистраль состоит из 16 сигнальных линий, разбитых на три шины (рис. 2).

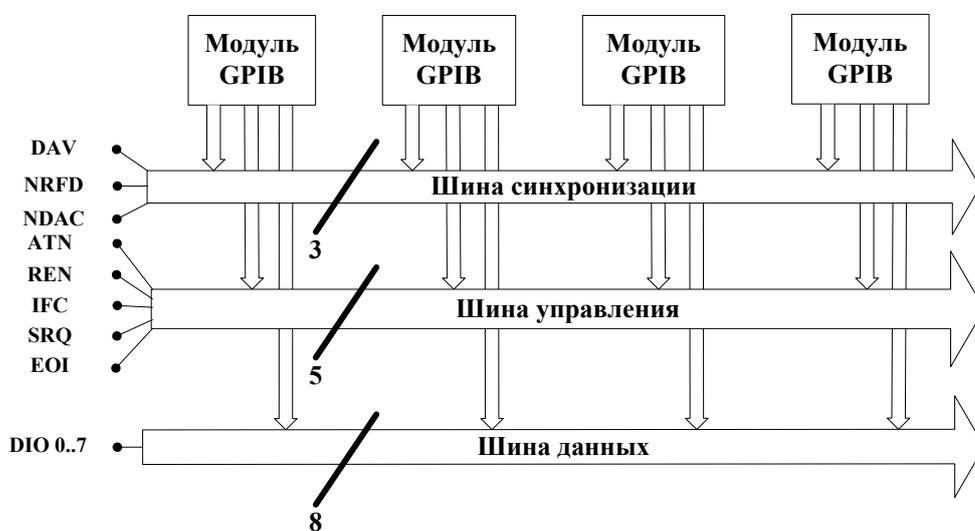


Рис. 2. Магистраль интерфейса GPIB

8 линий входят в шину данных (Data Bus), 3 линии – в шину синхронизации (Handshake Bus) и 5 линий – в шину управления интерфейсом (Control Bus). Шина данных (DI0-DIO7) предназначена для передачи байтов информации (байты данных или байты команд интерфейса) в асинхронном режиме. Шина синхронизации содержит 3 линии (DAV, NRFD, NDAC), используемые для квитирования передачи информации. Шина управления содержит 5 линий (ATN, REN, IFC, SRQ, EOI), назначение которых будет разъяснено ниже.

Сигналы на всех линиях имеют отрицательную TTL логику (нулю соответствует напряжение > 2.5 В, единице < 0.8 В). В интерфейсных кабелях используют 24-контактные разъёмы ленточного типа IEEE-488 (РПМ7-24). На концах кабеля устанавливают сразу два разъёма (гнездо и вилку), что позволяет легко наращивать систему.

Магистраль GPIB одновременно может обслуживать до 15 модулей с адресами от 0 до 30 включительно. Стандарт GPIB определяет три различных типа модулей, которые могут быть подключены к шине. Это "listener" (слушатель, приёмник), "talker" (передатчик, источник) и "controller" (контроллер, компьютер). Модуль в состоянии "listener" считывает сообщения с шины; модуль в состоянии "talker" посылает сообщения на шину. В каждый момент времени в состоянии "talker" может быть только одно устройство, в то время как в состоянии "listener" может быть несколько модулей. Контроллер выполняет функции арбитра и определяет, какие из модулей в данный момент находятся в состоянии "talker" или "listener".

Кроме магистрали, в аппаратную часть интерфейса входят аппаратно-программные блоки, расположенные в приборах – *интерфейсные карты* (ИКАР). Программирование интерфейсных карт позволяет реализовать *интерфейсные функции* измерительной системы. Под интерфейсной функцией в стандарте GPIB принято понимать совокупность операций при обмене данными (алгоритмы передачи и управления). Реализацию интерфейсных функций осуществляют как путем передачи команд по шине данных, так и с использованием сигналов шин управления и синхронизации.

Рассмотрим назначение линий шины управления интерфейса:

- ATN – Attention (УП - управление) применяется для кодирования типа передаваемой информации. Контроллер устанавливает линию ATN в логическую 1 при посылке команд, и в логический 0, когда передаются данные.
- IFC – Interface Clear (ОИ – очистка интерфейса) используется контроллером для инициализации шины (установка всех интерфейсных карт в исходное состояние).
- REN – Remote Enable (ВУ – дистанционное управление) переводит приборы в режим выполнения команд с шины (а не с передней панели прибо-

ра) и обратно. Используется в интерфейсной функции RL.

- SRQ – Service Request (ЗО – запрос на обслуживание) используется в функции SR для асинхронного запроса на обслуживание прибора контроллером. Эта функция будет рассмотрена далее.
- EOI – End of Identify (КП –конец передачи) используется передатчиком для указания на последний байт составного сообщения.

Назначение сигналов шины синхронизации:

- DAV – Data Valid (СД –сопровождение данных)- выдается передатчиком при передаче данных;
- NRFD – Not Ready for Data (ГП –готовность к приёму) выдаётся приёмником при его неготовности;
- NDAC - Not Data Accepted (ДП – данные приняты) – устанавливается приёмником при отсутствии завершения приёма данных.

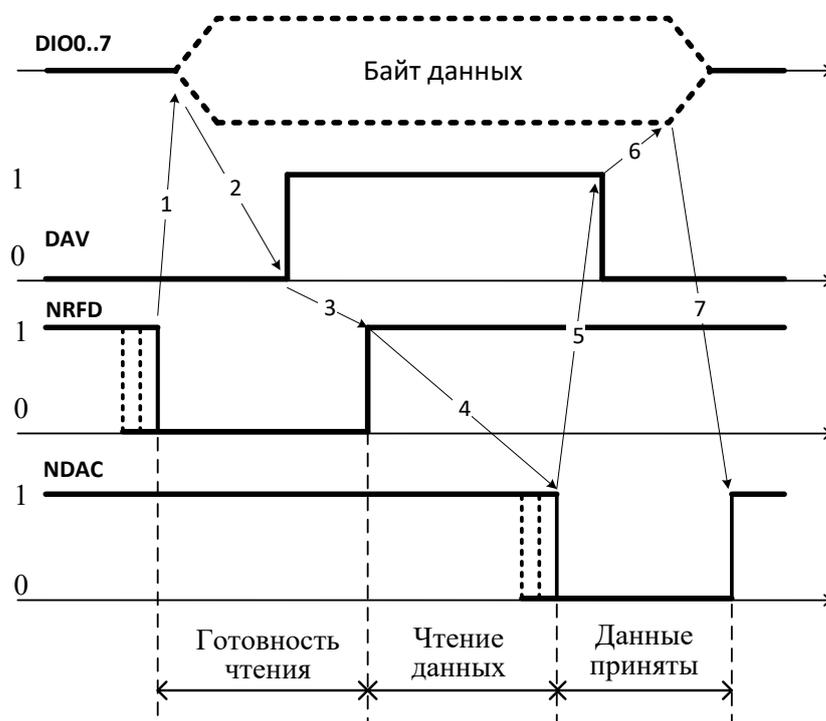


Рис. 3. Передача байта по шине GPIB

Алгоритм передачи байта по шине данных с использованием этих сигналов иллюстрируется на рис. 3. Исходное положение при передаче данных – все приёмники выставляют нулевой сигнал NRFD (1). После этого передатчик устанавливает байт на шине данных и подтверждает его достоверность сигналом DAV=1 (2). Далее идёт процесс приёма данных, при этом устанавливается сигнал NRFD =1 (неготовность к новому приёму) (3). Конец приёма данных приёмник обозначает установкой сигнала NDAC=0 (4). После получения этого сигнала от всех

приёмников передатчик сбрасывает сигнал достоверности данных $DAV = 0$ (5) и снимает байт данных. Завершение передачи – восстановление приёмником сигнала $NDAC=1$. Система приходит в исходное состояние.

Управление передачей информации осуществляет контроллер (обычно компьютер с интерфейсной картой GPIB). Операция назначения передатчика и приёмников называется *адресацией модулей* (приборов). В одно и то же время может быть адресован один передатчик и несколько приёмников. Для выполнения адресации каждому приборе в системе интерфейса GPIB предварительно присваивают свой уникальный номер N от 0 до 30. Его вводят в блоке переключателей на задней панели или заносят в флэш-память прибора. Адресация производится путём передачи по шине данных байта специальных команд адресации (при $ATN=1$):

- команда адресации прибора с номером N приёмником MLA (My Listener Address). Код команды $20h+N$ ($32+N$);
- команда адресации прибора с номером N передатчиком MTA (My Talker Address). Код команды $40h+N$ ($64+N$);
- команда отмены адресации всех приемников UNL ($3Fh$);
- команда отмены адресации передатчика UNT ($5Fh$).

Для реализации других интерфейсных функций используют стандартные команды интерфейса. Приведём наиболее важные:

- GET ($08h$) - Запуск предварительно адресованного на приём прибора;
- SDS ($04h$) - Сброс адресованного прибора;
- GTL ($01h$) – переход адресованного прибора на местное управление.
- DCL ($14h$) - Сброс всех приборов (без адресации);
- LLO ($11h$) - Запирание местного управления у всех приборов;

Кроме байтов команд, по шине данных передаётся измерительная и управляющая информация (сообщения) в виде текстовых строк в формате ASCII. Сообщение -это последовательность байтов данных, передаваемых при сигнале $ATN =0$. Внутри сообщения допускаются разделители (знаки запятой и точки с запятой). Сообщение завершается ограничителем строки (EOS -End of String). Обычно это код LF ($0Ah$) или CR ($0Dh$) или оба сразу. Концом сообщения или цепочки сообщений является сигнал EOI , устанавливаемый передатчиком на соответствующей линии шины управления. Этот сигнал появляется одновременно с последним передаваемым байтом.

2. Программирование приборов в измерительных системах

Управление приборами в измерительных системах чаще всего осуществляют путём посылок команд в виде текстовых строк. В 1990 году был стандартизован универсальный язык программирования измерительных систем $SCPI$

(Standard Commands for Programmable Instruments) для приборов и измерительных устройств любого вида. Приборы, удовлетворяющие стандарту SCPI, должны уметь правильно интерпретировать команды и их допустимые вариации (например, сокращённую форму записи). Все приборы стандарта SCPI должны иметь возможность посылать и принимать данные, запрашивать обслуживание и отвечать на сообщение очистки устройства.

В лабораторной работе использован цифровой мультиметр GDM-8246, который поддерживает стандарт SCPI и выполняет обязательные интерфейсные команды SCPI (табл. 1).

Таблица 1

Мнемоника	Группа	Описание
*IDN?	Данные прибора	Запрос идентификации
*RST	Управление прибором	Сброс
*CLS	Статус прибора	Очистить статус
*WAI	Синхронизация	Ожидание завершения
*OPC	Синхронизация	Завершение операции
*OPC?	Синхронизация	Запрос завершения
*TST	Управление прибором	Самотестирование

Команда управления прибором стандарта SCPI состоит из следующих элементов: заголовок команды, параметр (если он необходим), разделитель (рис. 4).

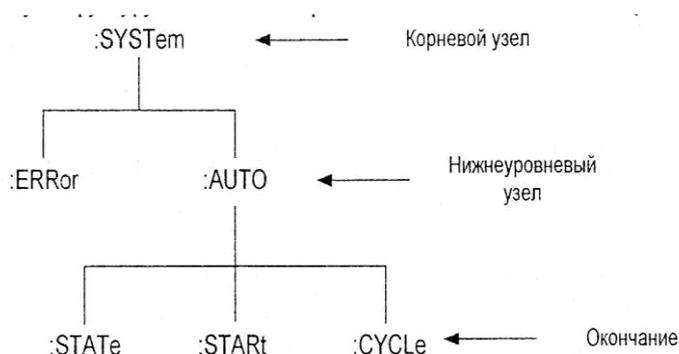


Рис. 4. Структура команды стандарта SCPI

Заголовок команды состоит из ключевого слова (включающего корневой узел) и окончания (например, ":SYSTem:AUTO:STATe"). Прописными буквами выделяется обязательная часть слова команды, строчными – необязательная. Для разделения ключевого слова команды от слова более низкого уровня используют двоеточие, для разделения параметра от команды используют пробел. При наличии более чем одного параметра, между ними вставляют запятую. Параметры могут быть булевскими (0 или 1), целыми и дробными числами, числами с плавающей запятой (+1.0E+1), строками символов. Можно в пределах одной строки со-

общения прибору посылать две и более команды - в этом случае их разделяют точкой с запятой. Пример сокращённой формы команды для установки цифрового мультиметра в режим измерения постоянного напряжения на пределе 10 В : «CONF:VOLT:DC 10». В табл. 2 приведены основные команды программирования мультиметра GDM-8246, используемые в лабораторной работе.

Таблица 2

:CONFigure:VOLTage:AC 0	Выбор режима измерения переменного напряжения
:CONFigure:VOLTage:DC 0	Выбор режима измерения постоянного напряжения
:CONFigure:VOLTage:ACDC 0	Выбор режима измерения полного среднеквадратического значения напряжения (с учетом постоянной составляющей)
:CONFigure:SFRequency	Режим измерения частоты
:CONFigure:FUNCTion?	Чтение установленного режима измерения
:VALue?	Чтение результата с основного дисплея (напряжение, ток, сопротивление пр.)
:SVALue?	Чтение результата с дополнительного дисплея (частота)
:READ?	Чтение данных основного и дополнительного дисплеев
:SYSTem:ERRor?	Вывод кода ошибки

Для выбора диапазона измерения в командах установки режима используется числовой параметр 0 (автовывбор диапазона).

3. Логический анализатор осциллографа смешанных сигналов

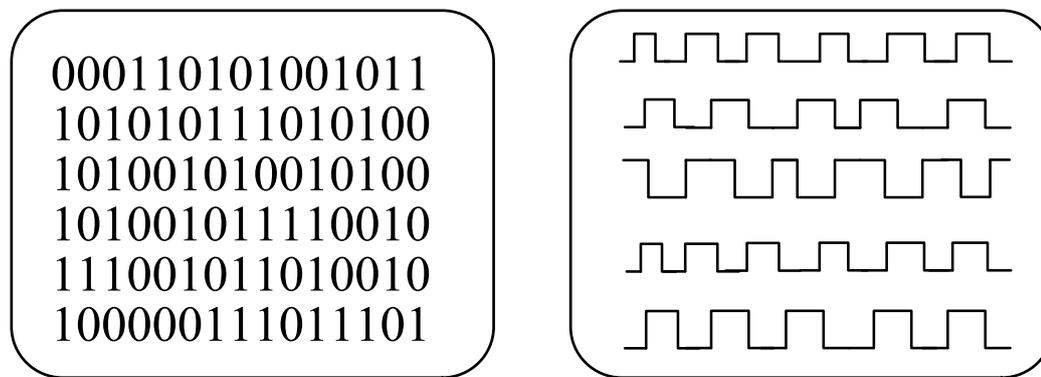
Задачи, которые выполняют электронно-лучевой или цифровой осциллографа, - исследование формы одного или нескольких сигналов и измерение их параметров с заданной точностью. Но, при анализе цифровых систем связи, интерфейсов измерительных и микропроцессорных систем и других устройств с дискретными сигналами необходимо одновременно наблюдать и сравнивать между собой большое количество процессов (до 32 и более). Обычные осциллографы позволяют наблюдать не более 4 сигналов одновременно. Вторая

проблема - цифровые сигналы часто бывают непериодическими, что затрудняет синхронизацию и запуск обычного осциллографа.

Вместе с тем детальное исследование формы цифрового сигнала и измерение его уровня и длительности часто оказывается излишним. Достаточно фиксировать уровень сигнала в определенные моменты времени, задаваемые сигналом тактовой частоты (контроль на «логическом» уровне). Поэтому для тестирования таких цифровых устройств более подходят специализированные средства измерения, называемые *логическими анализаторами (Logic Analyzers)*.

Логический анализатор (ЛА) – это специализированный многоканальный прибор, показывающий логические состояния исследуемых сигналов в момент прихода тактовых импульсов. Последние поступают либо от исследуемого устройства (например, тактовые импульсы микропроцессорной системы), либо вырабатываются встроенным генератором тактовых импульсов самого логического анализатора. Соответственно, логические анализаторы имеют два режима работы: в первом случае они называются *анализаторами логических состояний* (АЛС или State Analyser)), во втором – *анализаторы временных диаграмм* (АВД или Timing Analyser).

Анализаторы логических состояний позволяют записать во внутреннюю память и затем воспроизвести на индикаторе последовательность логических уровней входных сигналов с частотой, соответствующей тактовой частоте исследуемого устройства (синхронный режим сбора данных). То есть за период тактовой частоты АЛС определяет только один уровень входного сигнала («0» или «1»). При выводе информации на экран АЛС используют упрощенные графические изображения битовой последовательности (обычно в виде прямоугольных импульсов) или матрицы, состоящей из нулей и единиц (рис. 5 а).



а)

б)

Рис. 5. Вывод информации на дисплей ЛА:
 а) таблица логических состояний, б) временная диаграмма

Анализаторы временных диаграмм реализуют асинхронный способ сбора данных. Оцифровка входных сигналов происходит с частотой, в несколько раз превышающей частоту тактирования потока входных данных. Это позволяет построить «квазивременные» диаграммы входных сигналов, напоминающие осциллограммы дискретизированного сигнала ЦО, но с фиксированным двоичным уровнем по вертикали (рис. 5 б). Иными словами, АД представляет собой многоканальный цифровой осциллограф с разрешением по вертикали 1 бит. АД позволяют отслеживать связь между сигналами по положению фронтов импульсов, могут измерять абсолютные значения временных сдвигов между сигналами. Они помогают выявлять ошибки и сбои в работе цифровых устройств из-за неправильно рассчитанных задержек, из-за ёмкостных эффектов и т.д.

Логические анализаторы позволяют решить основные измерительные задачи для цифровых устройств :

- тестирование и отладку работы цифровых систем передачи информации;
- одновременное отображение большого количества цифровых сигналов и исследование их взаимосвязи;
- обнаружение сбоев и рассогласований цифровых сигналов, фиксация помех;
- отладка выполняемых цифровыми устройствами программ.

Для подключения ЛА к объекту измерения используют многоканальные выносные пробники. Такие пробники должны обладать высоким входным сопротивлением (например, порядка 1 МОм) и малой входной ёмкостью (10...25 пФ и менее), чтобы снизить влияние прибора на испытуемое устройство. Логические анализаторы снабжаются многопроводными специальными щупами и зажимами (клипсами) с гибкими выводами. Они предназначены для анализа в отдель-

ных точках устройства. Специализированные пробники ЛА представляют собой многоканальные пробники-соединители, для которых предусматривают соответствующие разъёмы на платах исследуемого устройства.

Цифровые осциллографы и логические анализаторы имеют много общего (типы дисплеев, память, микропроцессорная система и пр.). Поэтому оправданным выглядит использование приборов, объединяющих возможности ЦО и ЛА – осциллографов *смешанных сигналов* (MSO – Mixed Storage Oscilloscopes). Такие осциллографы имеют, как правило, 2 (иногда 4) канала аналоговых сигналов, и 8...16 (реже 32) канала ввода цифровых сигналов.

Осциллограф смешанных сигналов можно использовать как автономный ЦО или логический анализатор с относительно небольшим количеством входных каналов. Однако наиболее интересен режим совместного использования этих блоков прибора – например, анализ логических диаграмм сигналов с запуском от ЦО, просмотр формы сигнала на аналоговых входах ЦО при запуске от ЛА по кодовому слову, по помехе, по длительности импульса или глитча и пр. Вывод полученных осциллограмм и диаграмм при этом производят на один экран, что позволяет сравнить форму сигналов с их логической структурой (рис. 6).

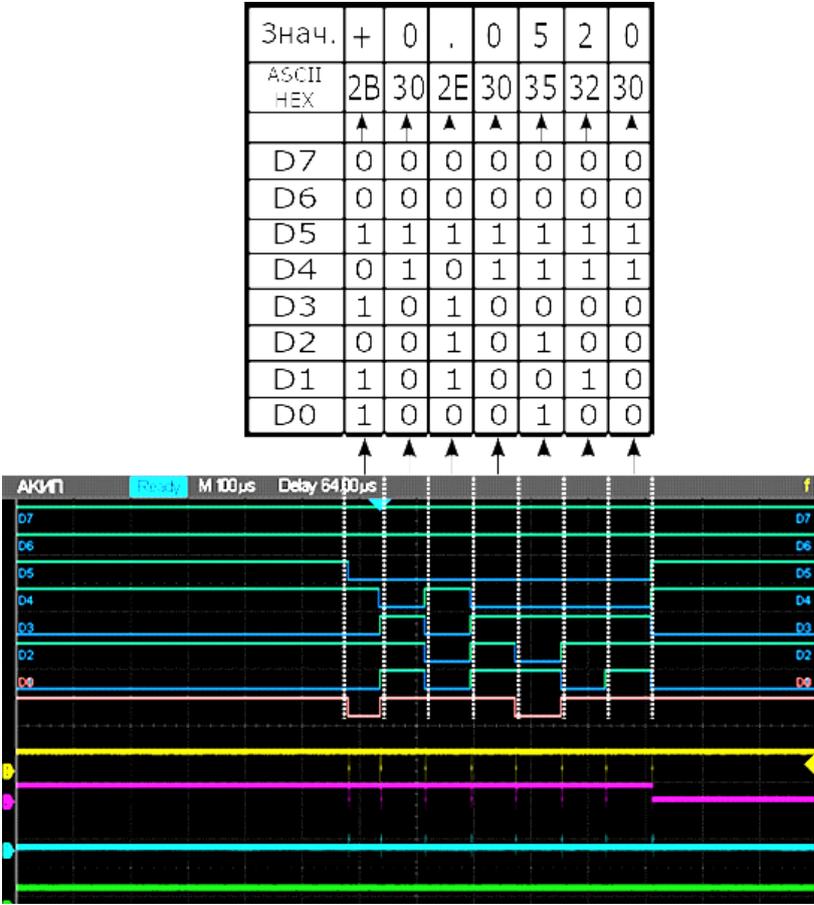


Рис. 6. Вид экрана осциллографа смешанных сигналов

На рисунке представлен вид логической диаграммы цифровой 8-битной шины с инверсной логикой и способ побайтного декодирования ее содержания.

Ниже логической диаграммы находятся осциллограммы 4 физических сигналов в КАН1...КАН4 .

4. Технические характеристики цифрового осциллографа смешанных сигналов АКИП 4126/1А (SIGLENT SDS2074)

Цифровой запоминающий осциллограф АКИП-4126/1, используемый в лабораторной работе, имеет следующие технические параметры (табл. 3).

Таблица 3.

Характеристика	Значение
Количество каналов	4
Частота дискретизации АЦП	1 ГГц
Полоса пропускания по уровню -3 дБ	70 МГц
Время нарастания переходной характеристики	5 нс
Скорость обновления осциллограмм	110 000/с
Разрешающая способность экрана	800x480 (диагональ 20см)
Максимальная длина записи (глубина памяти)	14 Мбайт
Диапазон коэффициентов отклонения. Ко	2 мВ/дел.10В/дел
Погрешность установки. Ко	±3%
Диапазон коэффициентов развертки Кр	1 нс/дел...50с/дел
Погрешность установки Кр	±0.0025%
Входной импеданс	1 Мом, 23 пФ или 50 Ом

Осциллограф обеспечивает следующие режимы работы: выборка, пиковый детектор, усреднение, растяжка, режим ХУ, линейная интерполяция и интерполяция типа $\sin(x)/x$. Предусмотрены автоизмерения 32 параметров сигнала, курсорные измерения, математические функции: сложение и вычитание, умножение и деление, производная, интеграл, корень квадратный, частотный БПФ-анализ сигналов. Опционально доступны: функциональный генератор с прямым цифровым синтезом сигналов разной формы до 25 МГц, программный декодер последовательных протоколов цифровой связи и 8-канальный логический анализатор.

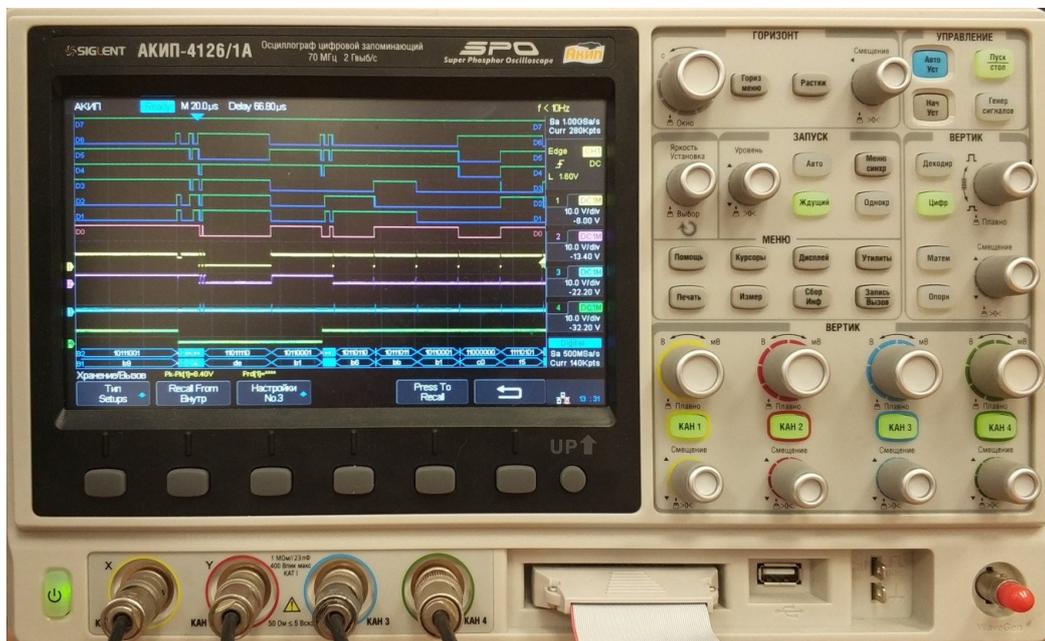


Рис. 7. Цифровой запоминающий осциллограф АКИП 4126/1А

Осциллограф управляется с передней панели (рис. 7) кнопками и ручками, причём некоторые ручки имеют функцию нажатия (например, для установки нулевого значения позиции осциллограммы). Переключение режимов прибора осуществляют с помощью функционального экранного меню, управляемого шестью кнопками под экраном. Для перехода вверх между уровнями меню предусмотрена кнопка возврата UP. Плавная регулировка параметров осуществляется ручкой УПРАВЛЕНИЕ (Adjust), выбор нужного значения – нажатием этой кнопки. Для сохранения данных и скриншотов используется USB разъем на передней панели.

5. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входит персональный компьютер, связанный с цифровым мультиметром GDM-8246 по интерфейсу GPIB через коммутационный блок (рис. 7).

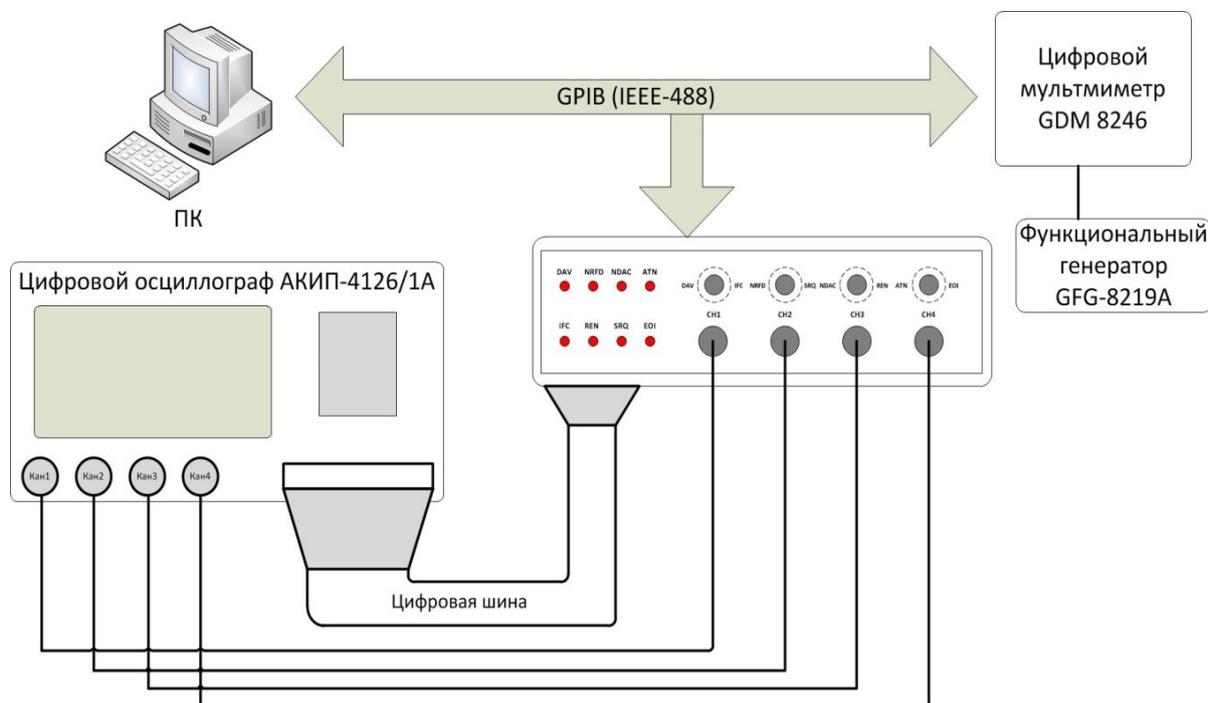


Рис. 7. Структурная схема лабораторной установки

Коммутационный блок обеспечивает подачу сигналов с шины данных на вход логического анализатора осциллографа с помощью гибкого шлейфа. Кроме того, он позволяет подключить 4 аналоговых входа цифрового осциллографа АКИП 4126/1А к выбранным (с помощью тумблеров) линиям шин управления и синхронизации интерфейса (рис. 8).



Рис. 8. Коммутационный блок лабораторной установки

В блоке предусмотрена светодиодная индикация логических состояний линий шин управления и синхронизации интерфейса. Горящий светодиод соответствует высокому уровню напряжения, то есть НУЛЕВОМУ логическому уровню линии.

В качестве источника сигнала, параметры которого измеряет мультиметр, используется функциональный генератор GFG-8219A с некалиброванным уровнем выхода и цифровой шкалой частоты.

Для управления мультиметром в лабораторной работе используется программа **GPIB monitor.exe**, написанная в среде LabVIEW 2015. (рис. 9). Для ее работы на компьютере должен быть установлен NI Labview 2015 Run-Time модуль (LVRTE2015) фирмы NI.

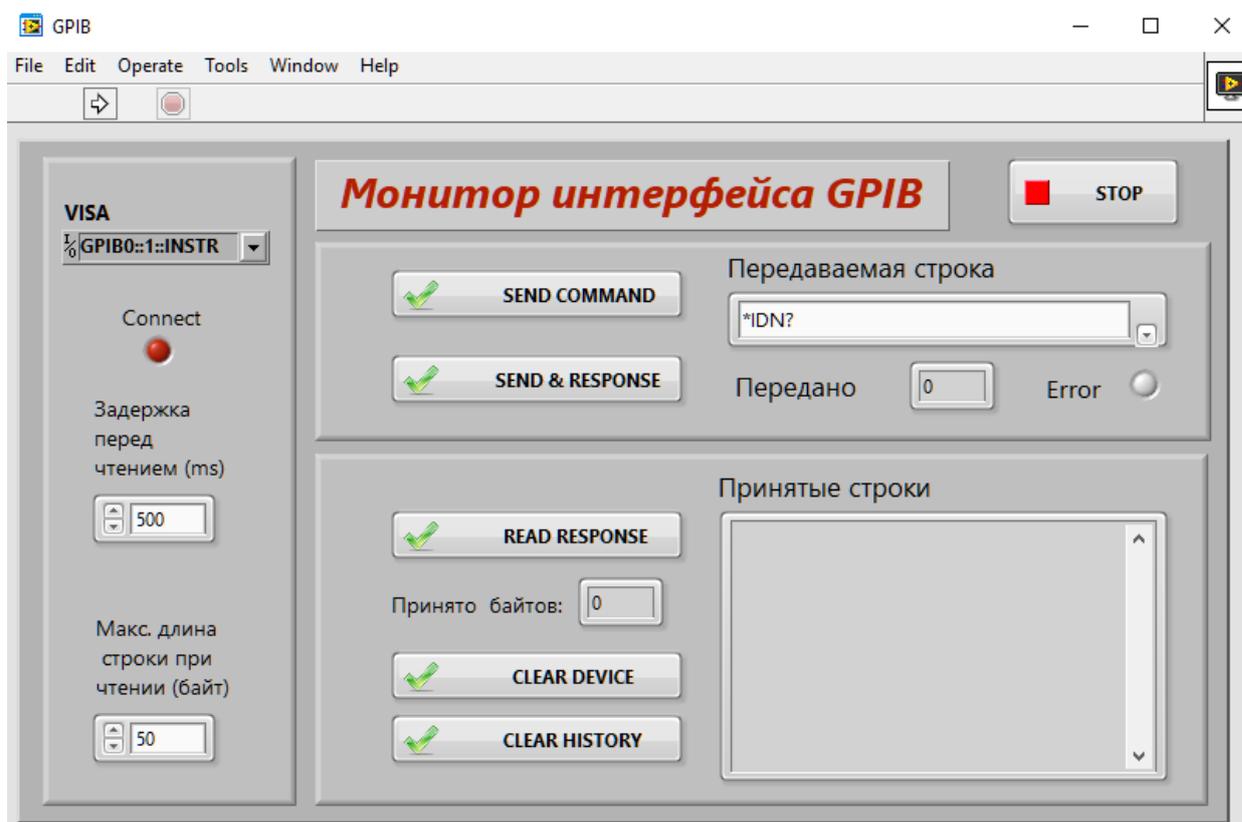


Рис. 9. Окно монитора GPIB

Монитор GPIB позволяет установить связь с прибором, послать строку сообщения (команду) на прибор (SEND COMMAND) и принять ответ с прибора (READ RESPONSE). Можно объединить режимы «посылка-приём», нажав клавишу SEND & RESPONSE. При необходимости очистить окно принятых сообщений надо нажать клавишу CLEAR HISTORY. Очистка окна произойдет на следующем нажатии любой клавиши. При зависании прибора его можно сбросить в исходное состояние кнопкой CLEAR DEVICE. Если ответа от прибора все равно нет, повторно инициализируйте мультиметр в измерительной системе GPIB, нажав последовательно кнопки **SHIFT => SET => GPIB => SET**. В крайнем случае выключите и включите мультиметр («горячий» сброс).

В мониторе предусмотрена возможность выбора наиболее важных SCPI команд мультиметра (выпадающее меню ввода команды). Если прибор не отвечает на команду (например, при запросе данных, когда они ещё не получены, при неверном формате команды и пр.), то загорается красный индикатор **Error**. Он сбросится при посылке следующей команды.

6. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

6.1. Установка режима работы осциллографа

Соберите установку согласно рис. 7. Включите приборы и установите частоту генератора GFG-8219A около 1 кГц. Выберите синусоидальную форму выходного сигнала, нажав кнопку \sim . Ручку уровня AMPL переведите в крайнее правое положение (максимальная амплитуда сигнала). Проверьте установку тумблеров на коммутационном блоке согласно рис. 8., при которой на **КАН1** осциллографа подается сигнал DAV, на **КАН2** – NRFD, на **КАН3** – NDAC, на **КАН4** – сигнал ATN.

Для упрощения настройки осциллографа используйте режим работы прибора, записанный в энергонезависимую память под №5. Загрузку режима произведите, выполняя цепочку команд **Запись/Вызов => Вызов =>Настройки №5 =>Press To Recall**.

Этот режим предусматривает:

- Одновременное наблюдение 4 аналоговых сигналов (из 8 на линиях шин управления и синхронизации), выбранных на коммутационном модуле;
- Коэффициент отклонения всех каналов 5 V/div;
- Вывод на экран цифровых сигналов на 8 линиях шины данных (режим **Цифр**);
- Режим запуска ЦО: **Ждущий**;
- Запуск: **Меню синхр. => Источник КАН4**. Запуск идёт по спаду сигнала ATN; коэффициент развертки 50 us/div (50 мкс/дел).
- Программный декодер шины D0...D7 включен.

При появлении сигналов на линиях интерфейса в верхней части экрана осциллографа выводится временная диаграмма логических состояний шины данных D0...D7. Ниже размещаются осциллограммы напряжений сигналов на выбранных 4 линиях интерфейса (DAV, NRFD, NDAC, ATN). В нижней строке экрана выводится результат работы программного декодера логического анализатора, отображающего в шестнадцатеричной форме содержимое шины данных интерфейса.

Запустите программу GPIB monitor.exe. Зелёный цвет индикатора CONNECT указывает на правильное сопряжение прибора с компьютером. Для

проверки работы интерфейса отправьте на мультиметр команду идентификации *IDN? кнопкой SEND & RESPONSE. Прибор по этой команде должен ответить строкой идентификации, содержащей название фирмы-изготовителя, марку прибора, номер прошивки программного обеспечения.

6.2. Программирование мультиметра через интерфейс GPIB

Установите с монитора GPIB режим мультиметра «Измерение напряжения переменного тока» с автоматическим выбором диапазона измерения. Для этого кнопкой SEND COMMAND подайте команду :CONFigure:VOLTage:AC 0. Проверьте установку режима измерения по данным табло мультиметра а также, подав команду :CONFigure:FUNCTion? кнопкой монитора SEND & RESPONSE.

Получите результаты измерения напряжения, подав кнопкой SEND & RESPONSE команду :VALue?. Переключите мультиметр в режим измерения частоты командой :CONFigure:SFRequency и получите результат командой :SVALue?. Проверьте установку режима командой :CONFigure:FUNCTion? Сравните полученные данные с показаниями индикатора мультиметра. В заключение включите режим одновременного получения значений напряжения и частоты по команде :READ?. Проверьте установку режима командой :CONFigure:FUNCTion?. Запишите установленные на генераторе и измеренные значения напряжения и частоты.

6.3. Наблюдение и декодирование команд интерфейса GPIB

Отправьте на мультиметр команду *IDN? кнопкой SEND COMMAND. Отрегулируйте положение осциллограммы так, чтобы на экран попали бы все байты команды, попадающие на отрицательный уровень напряжения на линии ATN (рис. 10).

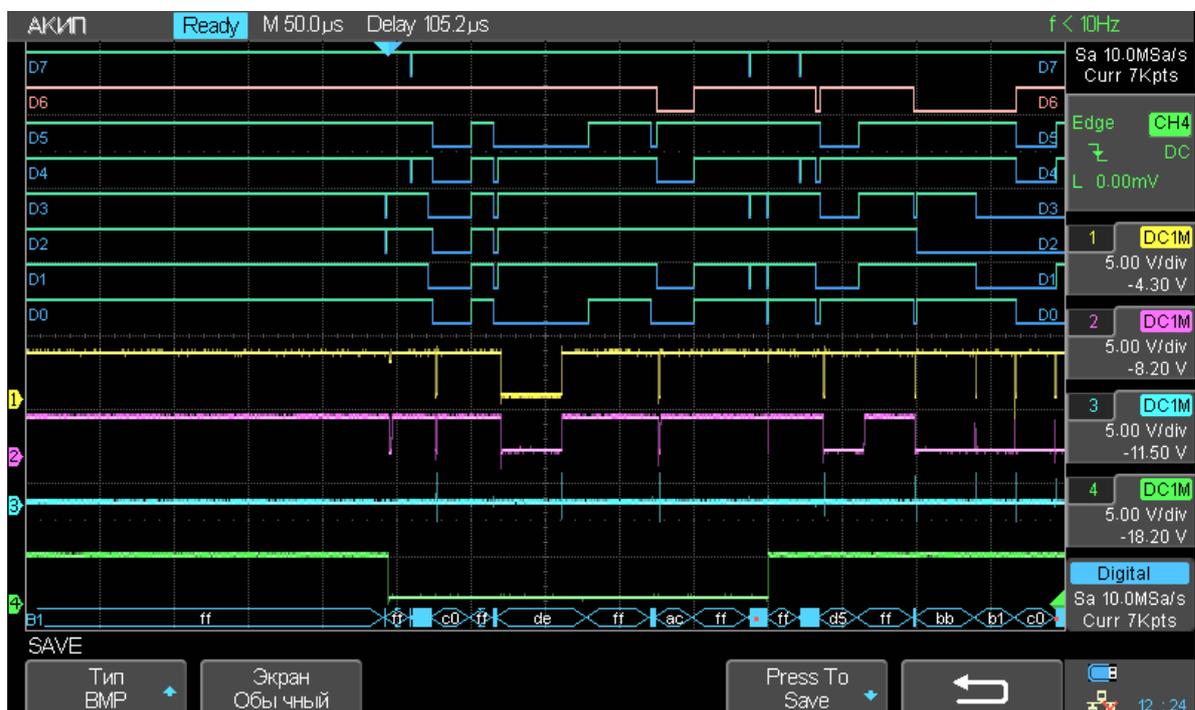


Рис. 10. Осциллограмма сигналов команд интерфейса GPIB

Каждый байт команды заканчивается сигналом подтверждения его достоверности (отрицательный уровень сигнала на линии DAV (КАН1)).

Сохраните вид экрана (скриншот). Для этого вставьте внешний флэш-накопитель в USB-разъем осциллографа и выполните цепочку команд: **Запись/Вызов => Сохранить => Тип BMP => Экран обычный => Press To Save.** В выпадающем меню выберите имя файла и повторно нажмите **Press To Save.** В дальнейшем используйте указанную методику сохранения скриншотов.

Проведите ручное декодирование первых трех команд, которые отмечены отрицательным импульсом на линии DAV. Для этого удобно использовать режим растяжки осциллографа (кнопка **Растяж**). На экране появится темная полоса, показывающая положение растянутого изображения, выводимого в центре экрана (рис. 11). Менять ширину полосы растяжки и ее положение можно ручками коэффициента развертки и смещения по горизонтали. Установите растяжку на первый импульс на линии DAV.



Рис. 11. Осциллограмма сигнала первой команды в режиме растяжки

Обратите внимание на вид сигналов шины синхронизации DAV, NRFD и NDAC. Сравните их с рис. 3. Сохраните вид экрана (скриншот).

Запишите логические уровни на линиях цифровых линиях, учитывая, что логика интерфейса отрицательная. Высокому уровню сигнала соответствует логический ноль (зеленый цвет линии), низкому – единица (синий цвет) Младший бит байта команды находится внизу (D0), старший бит (D7) – вверху логической диаграммы (см. пример декодировки на рис. 6). Первая команда должна быть коман-

дой GPIB разадресации всех приемников UNL. На экране считывается бинарное представление числа 0011.1111, что соответствует шестнадцатеричному коду 3Fh этой команды (табл. 4). Запишите полученный результат.

Таблица 4.

Двоичный код полубайта	Шестнадцатеричный код	Десятичный код
0000	0h	0
0001	1h	1
0010	2h	2
0011	3h	3
0100	4h	4
0101	5h	5
0110	6h	6
0111	7h	7
1000	8h	8
1001	9h	9
1010	Ah	10
1011	Bh	11
1100	Ch	12
1101	Dh	13
1110	Eh	14
1111	Fh	15

Переведите полосу растяжки на байт следующей команды – это должна быть команда MLA адресации мультиметра на приём с адресом GPIB = 1. Код команды 20h+1=21h. Третья команда – команда MTA адресации передатчика (компьютера) с адресом 0 (MTA 40h+0=40h). После декодировки отключите режим растяжки осциллографа.

Проверьте правильность полученного результата, сравнив его с данными программного декодирования, выводимого в нижней строке экрана. Информация там даётся в инверсной форме. (с0, de, bf). Для ее преобразования используйте данные таблицы перекодировки (табл. 5). Для сигналов малой длительности декодировка может быть неудачной (в строке появятся синие прямоугольники). В этом случае надо уменьшить коэффициент развертки (расширить сигнал) и повторить посылку команды.

Таблица 5

Прямой код	F	E	D	C	B	A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Инверсный код	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Проведите аналогичную операцию декодировки цепочки команд адресации мультиметра на передачу, для чего пошлите на мультиметр команду ***IDN?** кнопкой SEND & RESPONSE. При этом на мультиметр посылаются два блока команд интерфейса на прием и на передачу. На экране осциллографа появится вторая последовательность байтов программирования мультиметра на передачу. Сохраните скриншот экрана.

Декодируйте строку команд, которая должна содержать три байта, соответствующих командам: разадресации приёмников UNL ($3Fh$), адресации приёмником компьютера с адресом 0 ($MLA\ 20h+0=20h$) и адресации передатчика (мультиметра) с адресом 1 ($MTA\ 40h+1=41h$). Запишите результаты ручного и программного декодирования. Отключите режим растяжки.

6.4. Наблюдение и декодирование байтов данных, передаваемых по интерфейсу GPIB

Установите коэффициент развертки 20 мкс/дел и повторите посылку команды ***IDN?** кнопкой SEND COMMAND. Сместите осциллограмму влево так, чтобы на экране появились все байты строки сообщения от компьютера к мультиметру. Они соответствуют логическому нулю сигнала ATN (максимальный уровень сигнала **КАН4**) (рис. 12).

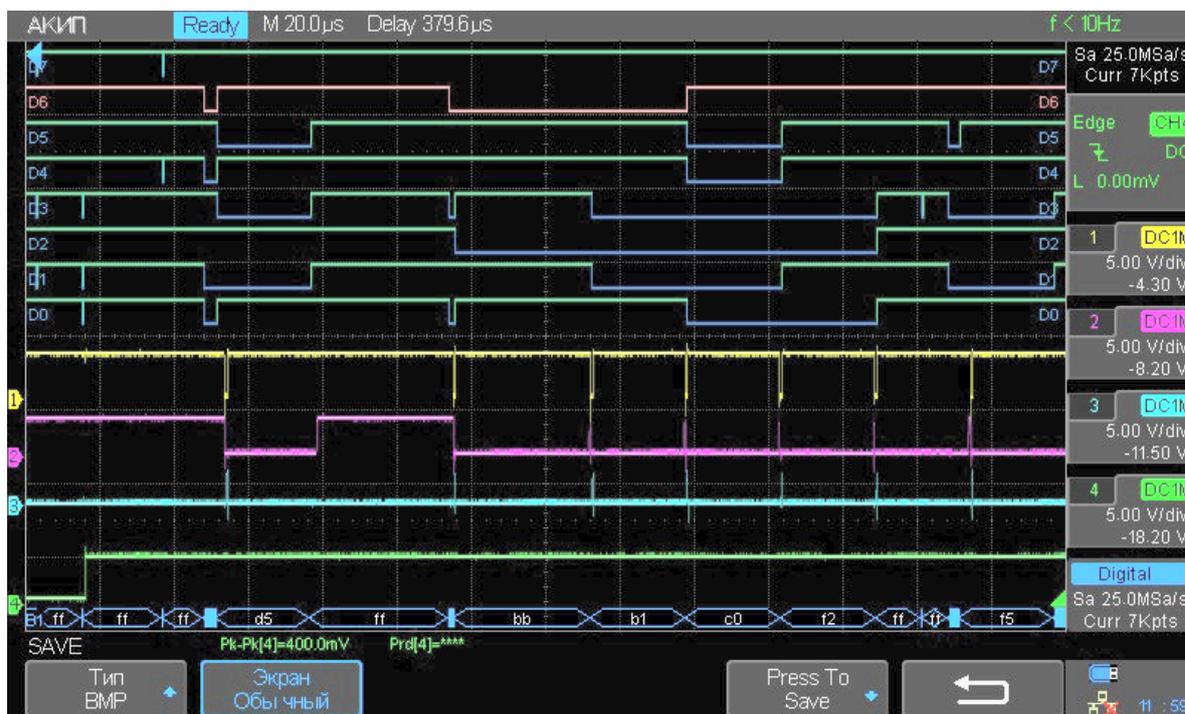


Рис. 12. Осциллограмма сигналов строки сообщения

Сохраните вид экрана (скриншот). Декодируйте в ручном режиме все байты сообщения (команды управления SCPI), передаваемого на мультиметр. Используйте методику, использованную в п. 6.3. Запишите побитное и шестнадцатеричное представление данных. Переведите коды в текстовые символы согласно коди-

ровке ASCII (табл. 6). Сравните результат с посланной строкой сообщения. Обратите внимание на наличие или отсутствие кодов завершения сообщения LF и CR в двух последних байтах.

Запишите результаты декодирования программным декодером осциллографа. Преобразуйте коды из инверсного в прямой код и сравните с полученными данными в ручном режиме.

Таблица 6

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

Проведите аналогичную операцию декодирования, послав на мультиметр кнопкой SEND COMMAND произвольную строку символов (например, собственное имя в латинской транскрипции).

Содержание отчёта по лабораторной работе

Отчёт должен содержать структурную схему лабораторной установки, таблицы результатов измерений, скриншоты экрана осциллографа, краткие выводы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Приборный интерфейс GPIB (ANSI/IEEE 488.1).....	2
2. Программирование приборов в измерительных системах	6
3. Логический анализатор осциллографа смешанных сигналов	8
4. Технические характеристики цифрового осциллографа смешанных сигналов АКИП 4126/1А (SIGLENT SDS2074).....	12
5. Описание лабораторной установки	14
6. Задание и указания к выполнению лабораторной работы.....	16
6.1. Установка режима работы осциллографа	16
6.2. Программирование мультиметра через интерфейс GPIB	17
6.3. Наблюдение и декодирование команд интерфейса GPIB.....	17
6.4. Наблюдение и декодирование байтов данных, передаваемых по интерфейсу GPIB	20
Содержание отчёта по лабораторной работе	21