

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

Кафедра метрологии и стандартизации

## ***ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ***

Учебное пособие  
по практическим занятиям  
для студентов метрологических  
и радиотехнических специальностей  
всех форм обучения

В 2-х частях  
Часть 1

Минск 2003

УДК 006.91 (075.8)  
ББК 30.10 я 7  
И 74

**Р е ц е н з е н т :**

доцент кафедры электроники БГУИР, канд. техн. наук А.Я. Бельский

**А в т о р ы :**

А.В. Гусинский, А.М. Кострикин, В.А. Ворошень,  
В.Г. Басов, О.В. Руховец

**Информационно-измерительные системы:** Учеб. пособие по И 74 практ. занятиям для студ. метролог. и радиотехн. спец. всех форм обучения. В 2 ч. Ч. 1 / А.В. Гусинский, А.М. Кострикин, В.А. Ворошень и др. – Мн.: БГУИР, 2003. – 40 с.

ISBN 985-444-526-7 (ч. 1).

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов специальностей 54 01 01-02 «Метрология, стандартизация и сертификация», а также для всех специальностей в рамках разделов учебных программ «Автоматизация измерений» и «Информационно-измерительные системы». Материал изложен на примере измерительно-вычислительного комплекса для измерения комплексных параметров отражения и передачи СВЧ-устройств. Поэтому данное пособие может быть полезно при изучении радиотехнических специальностей, раздел «СВЧ-измерения».

УДК 006. 91 (075.8)  
ББК 30.10 я 7

ISBN 985-444-526-7 (ч. 1)  
ISBN 985-444-527-5

© Коллектив авторов, 2003  
© БГУИР, 2003

## Содержание

### Введение

### Тема 1 Структуры и составные части информационно-измерительных систем

- 1 Основные разновидности структур ИИС
- 2 Основные разновидности стандартных интерфейсов
  - 2.1 Интерфейс RS-232
  - 2.2 Интерфейс USB
  - 2.3 Интерфейс GPIB (КОП)
  - 2.4 Интерфейс КАМАК

#### Контрольные вопросы

### Тема 2 Измерительно-вычислительный комплекс для измерения комплексных параметров, коэффициентов отражения и передачи

- 1 Краткие сведения из теории
- 2 Измерительная система VNA 2-8
  - 2.1 Назначение
  - 2.2 Основные технические характеристики
  - 2.3 Принцип работы измерительной системы
  - 2.4 Блок векторного анализа
  - 2.5 Измерительный СВЧ-тракт
  - 2.6 Устройство обработки измерительной информации
  - 2.7 Генератор модулирующего напряжения

#### Контрольные вопросы

#### Литература

## Введение

Широкое и все возрастающее внедрение автоматизации практически во все сферы деятельности привело к коренной перестройке измерительной техники: теперь в ее задачу наряду с измерениями входит также информационное обслуживание исследуемого (контролируемого) объекта, которое включает автоматический сбор, представление, доставку, запоминание, регистрацию, отображение, обработку и анализ информации, полученной в результате отдельных измерений. Зачастую приходится сталкиваться с целыми потоками измерительной информации. Если выполнение всего объема измерительной информации возложить на человека, вооруженного лишь простейшими измерительными и вычислительными устройствами, из-за ограниченности физиологических возможностей он не сможет выполнить эту работу. Разрешение этой проблемы путем увеличения обслуживающего персонала в большинстве случаев экономически невыгодно, а иногда и невозможно. Поэтому основой современной измерительной техники является не отдельный, пусть даже автоматический прибор, а информационно-измерительная система (ИИС), которая и решает поставленную задачу.

Применение ИИС, образуемых совокупностью различных средств измерений, получает в настоящее время все большее развитие, а их изучение в дисциплинах измерений становится все более актуальным.

Особенно важным является использование ИИС в области СВЧ-измерений. В первую очередь это связано с потенциальной возможностью уменьшения случайных погрешностей измерений благодаря автоматическому процессу подключения, калибровки и проведения самого процесса измерения.

Основной задачей раздела курсов измерений ИИС является изучение принципов их построения и функционирования, а также других разделов курса измерений. С другой стороны, излагаемый материал в значительной степени является новым и самостоятельным и далее должен использоваться при изучении профилирующих дисциплин, особенно для специальностей 54 01 01-02 «Метрология, стандартизация и сертификация», 39 01 03 «Радиотехника», 39 01 02 «Радиоэлектронные системы», 39 01 03 «Радиоинформатика».

## **Тема 1 Структуры и составные части информационно-измерительных систем**

Цель работы: изучение основных типов и структурных схем информационно-измерительных систем (ИИС); изучение наиболее распространенных типов интерфейсов, используемых в информационно-измерительных системах.

### **1 Основные разновидности структур ИИС**

Как следует из теории построения ИИС [1, 2], все реальные ИИС могут быть представлены в виде совокупности связанных между собой функциональных блоков (ФБ). Особенно отчетливо это видно в системах, созданных методом проектной компоновки из выпускаемых промышленностью функциональных блоков. Под ФБ будем далее подразумевать части системы на уровне структурных единиц агрегатных средств ИИС, выполняющие информационные и управляющие функции и нуждающиеся в организации совместной и согласованной работы. При этом подразумевается, что ФБ выполняют свои функции в законченном виде, и для организации взаимодействия с другими ФБ не требуется знания их внутренних структур и особенностей функционирования.

Измерительная система (ИС) – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначена для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в различных системах управления [3]. ИС являются одной из наиболее распространенных разновидностей информационно-измерительных систем (ИИС).

Под ИИС понимается совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования и обработки с целью представления в удобном потребителю виде либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации [4] (рисунок 1.1).

Основу любой ИИС образует измерительно-вычислительный комплекс (ИВК). ИВК является автоматизированным средством измерений (СИ), имеющем в своем составе процессор с необходимыми периферийными устройствами, измерительные и вспомогательные устройства, управляемые от процессора, и программное обеспечение комплекса. Номенклатура этих компонентов определяет конкретную область применения ИВК. Однако независимо от области применения ИВК должны выполнять функции измерений электрических величин, управления процессом измерений и воздействия на объект измерений, а также представления оператору результатов измерений в заданной форме. Для выполнения этих функций ИВК должны обеспечивать восприятие, преобразование и обработку сигналов от первичных измери-

тельных преобразователей (ИП), управление СИ и другими компонентами, входящими в состав ИВК, выработку нормированных сигналов для средств воздействия на объект измерений и, наконец, оценку точности измерений и представление результатов измерений в формах, установленных МИ 1317-86.

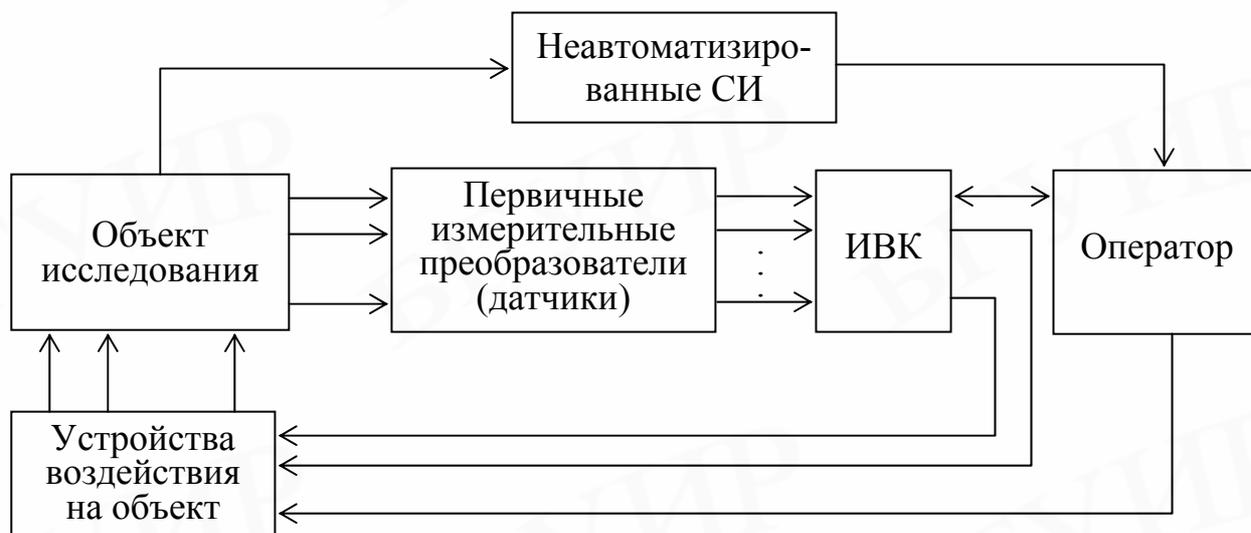


Рисунок 1.1 – Структурная схема ИИС

Существующие виды ИВК принято классифицировать прежде всего по назначению. В соответствии с ГОСТ 26.203-81 они подразделяются на типовые, проблемные и специализированные. Типовые ИВК предназначаются для решения широкого круга типовых задач автоматизации измерений, испытаний или исследований, независимо от конкретной области применения. Проблемные ИВК, наоборот, служат для решения широко распространенной, но специфической для конкретной области применения задачи автоматизации измерений, испытаний или исследований. С помощью специализированных ИВК решаются уникальные задачи автоматизации измерений, испытаний или исследований.

В состав любого ИВК входят технические и программные компоненты. Технические компоненты подразделяются на основные и вспомогательные, а программные компоненты, образующие в совокупности математическое обеспечение ИВК, включают системное программное обеспечение и общее прикладное программное обеспечение. К основным техническим компонентам относятся измерительные компоненты, средства вычислительной техники, меры текущего времени и интервалов времени, а также средства ввода-вывода цифровых и релейных сигналов. Вспомогательными техническими компонентами являются средства обеспечения совместной работы основных технических компонентов, непосредственно не участвующие в процессе измерений: блоки электрического сопряжения измерительных компонентов между собой и измерительных компонентов с вычислительными (блоки интерфейсного сопряжения, адаптеры), коммутационные устройства и др.

Для современных ИВК характерен очень широкий диапазон технических требований. В одних случаях достаточна система с несколькими каналами преобразования и обработки измерительной информации (измерительными каналами) и частотой их опроса не более 1 кГц. В других случаях требуются уже тысячи измерительных каналов, а частота опроса может достигать 10 МГц. Довольно часто приходится также сталкиваться с необходимостью проведения измерений на объектах, рассредоточенных в пространстве. Это приводит к необходимости проектирования одноуровневых и многоуровневых ИВК. В одноуровневых ИВК вся измерительная периферия соединена непосредственно с интерфейсом используемой ЭВМ. Для многоуровневых ИВК характерна иерархическая структура, в которой вычислительная мощность распределяется между различными уровнями.

В соответствии с ГОСТ 22317-77 [5] при построении ИИС должны применяться следующие структуры соединения ФБ между собой:

- цепочное соединение, при котором единственный выход предшествующего блока соединен с единственным входом последующего блока так, что соединяемые блоки образуют цепь;
- радиальное соединение, при котором один блок соединен одновременно с несколькими блоками, причем с каждым из них отдельно независимой линией;
- магистральное соединение, при котором входы и (или) выходы сопрягаемых блоков соединены одной общей линией.

Общие структуры соединений для передачи информационного и управляющего потоков могут иметь сложную древовидную конфигурацию. Более того, структуры соединения ФБ для передачи сообщений информационного и управляющего потоков могут не совпадать друг с другом.

Примеры соединений ФБ в одноступенчатой структуре (рисунок 1.2):

а – цепочная структура, в которой управление работой последующего ФБ производится после окончания преобразования в предыдущем ФБ. На этом рисунке выделены цепочная схема управления, включающая интерфейсные устройства (ИФУ) и шину управления. При жестком соединении блоков схема управления практически может отсутствовать;

б – радиальная структура, в которой управление работой ФБ ведется централизованно от одного устройства управления (УУ);

в – магистральная структура с централизованным управлением;

г – магистральная структура с децентрализованным управлением;

д – магистральная петлевая структура с централизованным управлением;

е – радиально-магистральная структура с централизованным управлением.

Кроме показанных на рисунке 1.2 простейших структур, можно создать многопетлевую магистральную структуру, структуру со сложными связями между ФБ и т.п.

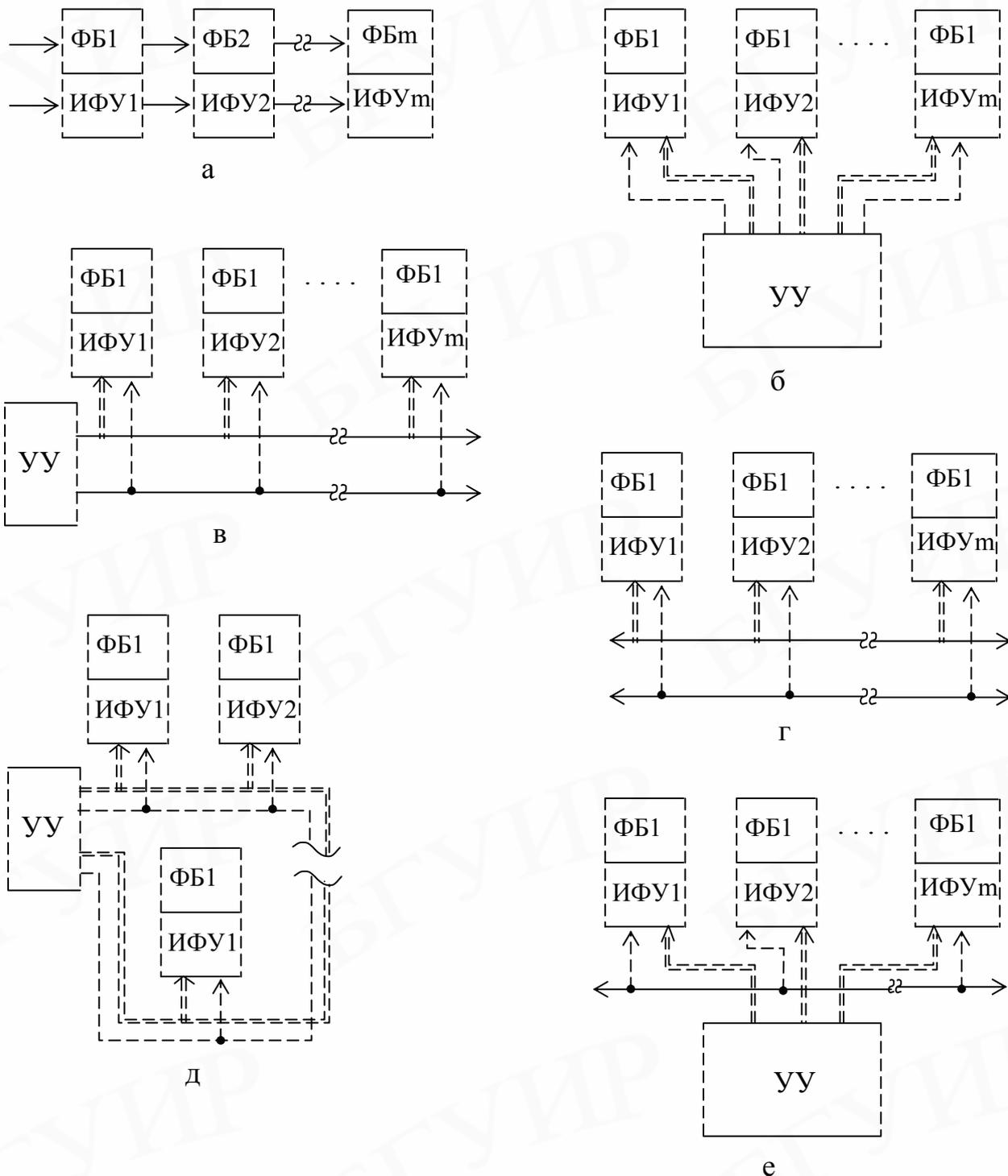


Рисунок 1.2 – Типовые основные одноступенчатые структуры ИИС:

- а – цепочная; б – радиальная; в-д – магистральная; е – радиально-магистральная; б, в, д, е – с централизованным управлением;
- а, г – с децентрализованным управлением

Так, например, при большом количестве ФБ целесообразно организовать объединенную работу нескольких одноступенчатых подсистем (рисунок 1.3). Подсистемы могут быть реализованы и объединены с помощью любого из вариантов, показанных на рисунке 1.2. ЭВМ второй степени (часто мини-ЭВМ) выполняет в двухступенчатой структуре функции не только управления, но и обработки и выдачи информации. Двухступенчатые магистральные

структуры с распределенными микропроцессорными средствами находят все большее применение.

Для работы ИИС необходимо организовать взаимодействие между всеми ее ФБ.

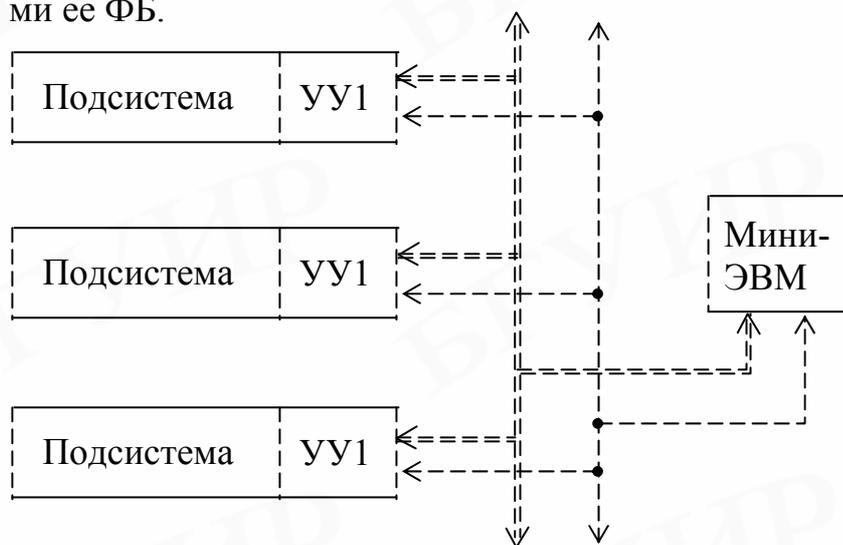


Рисунок 1.3 – Типовая двухступенчатая структура ИИС

В ИИС, имеющих жесткую, неизменяемую структуру ФБ, как правило, совместная работа ФБ обеспечивается индивидуальным сопряжением блоков друг с другом. Когда же необходимо в процессе эксплуатации изменить структуру или алгоритмы действия системы, унифицировать управление ФБ и обмен информации между ними, целесообразно использовать так называемые стандартные интерфейсы (ИФ). Кроме того, не вызывает сомнения, что такая унификация сопряжения и управления ФБ позволяет существенно уменьшить трудоемкость проектирования, затраты на эксплуатацию, облегчит кооперацию работы многих изготовителей ФБ систем.

## 2 Основные разновидности стандартных интерфейсов

Под ИФ ИИС подразумевается совокупность правил (протоколов) и программного обеспечения процесса обмена информацией между ФБ, а также соответствующих технических средств сопряжения ФБ в системе.

Любая ИИС представляет объединение аналоговых, цифровых и аналого-цифровых ФБ. Следовательно, для ИИС нужно было бы иметь ИФ, обеспечивающие совместное действие всех названных ФБ. Однако достаточно полно разработаны лишь цифровые ИФ, обеспечивающие совместную работу цифровых ФБ и аналоговых частей аналоговых и аналого-цифровых ФБ. Остановимся на некоторых причинах такого положения.

В современных ИИС большая доля служебной информации, необходимой для управления функционированием блоков системы, представляется в цифровом виде. Цифровые измерительная и вычислительная части занимают существенную долю в ИИС, и имеется тенденция к их увеличению. Это определяется во многом тем, что промышленность выпускает относительно дешевые АЦП, в том числе в микроминиатюрном исполнении, обладающие

неплохими метрологическими характеристиками, ЗУ, микропроцессоры и другие средства цифровой информационной техники. Использование таких средств позволяет приблизить аналого-цифровое преобразование и цифровую первичную обработку информации к измерительным цепям с датчиками и наделять ИИС рядом существенных положительных качеств.

Сказанное определяет то, что далее рассматриваются в основном цифровые программируемые интерфейсы. Для краткости именно этот тип интерфейсов обозначается сокращенно ИФ.

В работе [6] приведены основные признаки классификации ИФ. Заметим, что в работе [7] производится выделение основных признаков, главным образом, так называемого информационного ИФ, который должен обеспечить информационную совместимость ФБ в системе.

В качестве примера рассмотрим интерфейс по одному из классификационных признаков.

В соответствии с принятой классификацией ИФ интерфейс с последовательным выполнением операций обмена информацией, который далее будет называться последовательным ИФ, имеет магистральную систему шин, состоящую из одно-, двунаправленной или двух однонаправленных линий сигналов, по которым передаются и информационные, и управляющие потоки. Далее рассмотрим их на нескольких примерах.

Наличие небольшого количества линий связи в последовательном ИФ позволяет выполнить их с улучшенной защитой от влияния помех. В частности, использование скрученных и экранированных проводов, коаксиального кабеля и других мер позволяет, как известно, обеспечить достаточную для многих случаев практики защиту линий связи от поперечных помех (помех наводки). Для уменьшения влияния продольных помех (определяемых разностью потенциалов точек заземления) могут быть применены известные методы гальванического разделения цепей с помощью, например, импульсных трансформаторов, разделенных конденсаторов, оптронов. Для улучшения помехоустойчивости в таких ИФ целесообразно повышать до допустимого предела уровень используемых сигналов.

Последовательные ИФ могут быть выполнены с разомкнутой или замкнутой (петлевой) магистралью, с одноступенчатой или многоступенчатой адресацией объединяемых ФБ. Петлевая структура магистрали (см. рисунок 1.2, б) позволяет повысить надежность работы систем, а многоступенчатая адресация – сосредоточить в определенных местах значительное количество ФБ.

Следует подчеркнуть, что последовательные ИФ целесообразно использовать главным образом при необходимости обеспечить обмен информацией между ФБ при воздействии сильных помех, а также при передаче информации на большие расстояния при невысоких требованиях к скорости обмена информацией.

Основные типы современных интерфейсов, наиболее широко используемые при проектировании ИИС, будут рассмотрены далее. К ним относятся интерфейс типа RS-232, USB, GPIB или КОП (канал общего пользования), а также система «КАМАК».

## 2.1 Интерфейс RS-232

Интерфейс RS-232 [6] предназначен для подключения к компьютеру стандартных внешних устройств (принтера, модема, мыши), а также для связи компьютеров между собой по схеме точка – точка. Однако благодаря своей простой аппаратной и программной реализации RS-232 получил широкое распространение среди измерительной техники и аппаратуры контроля и управления. Основными его преимуществами по сравнению с параллельным портом (IEEE-1284) являются возможность передачи на значительно большие расстояния, более простой соединительный кабель и при использовании опторазвязанных приемников и передатчиков – прекрасная защита от электрических помех. Однако максимальная скорость передачи по данному интерфейсу составляет порядка 10 Кбайт/с.

Данные в RS-232 передаются в последовательном коде побайтно. Каждый байт сопровождается стартовым и стоповыми битами. Данные могут передаваться как в одну, так и в другую сторону (дуплексный режим).

Компьютер имеет 9-контактный (DP9P) или 25-контактный (DB25P) разъемы для подключения RS-232. Назначение контактов разъема приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Назначение контактов разъемов интерфейса RS-232 (I – входной сигнал компьютера, O – выходной сигнал)

Цепь	Контакт (DP9P)	Контакт (DB25P)	I/O
FG	-	1	–
–TxD	3	2	O
–RxD	2	3	I
RTS	7	4	O
CTS	8	5	I
DSR	6	6	I
SG	5	7	–
DCR	1	8	I
DTR	4	20	O
RI	9	22	I

Назначение сигналов:

FG – защитное заземление (экран);

–TxD – данные, передаваемые компьютером в последовательном коде (инвертированные логические уровни);

–RxD – данные, принимаемые компьютером в последовательном коде (инвертированные логические уровни);

RTS – сигнал запроса передачи. Активен во время передачи;

CTS – сигнал сброса для передачи. Активен во время передачи. Говорит о готовности приемника;

DSR – готовность данных. Используется для задания режима модема;  
 SG – сигнальное заземление, нулевой провод;  
 DCR – обнаружение несущей данных (детектирование принимаемого сигнала);  
 DTR – готовность выходных данных;  
 RI – индикатор вызова. Говорит о приеме модемом сигнала вызова телефонной сети.

Наиболее часто используется трех- или четырехпроводная связь (для двунаправленной передачи). Схема соединения для четырехпроводной линии связи показана на рисунке 1.4.

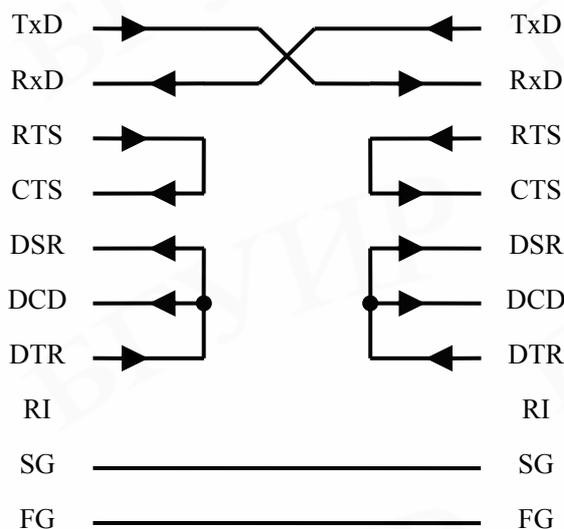


Рисунок 1.4 – Схема четырехпроводной связи для RS-232

Для двухпроводной линии связи в случае только передачи из компьютера во внешнее устройство используются сигналы SG и TxD. Все 10 сигналов интерфейса задействуются только при соединении компьютера с модемом.

Формат передаваемых данных показан на рисунке 1.5. Собственно данные (5-9 бит) сопровождаются стартовым битом, битом четности и одним или двумя стоповыми битами. Получив стартовый бит, приемник выбирает из линии биты данных через определенные интервалы времени. Очень важно, чтобы тактовые частоты приемника и передатчика были одинаковыми (допустимое расхождение – не более 2%). Скорость передачи по RS-232 может выбираться из ряда: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/с.

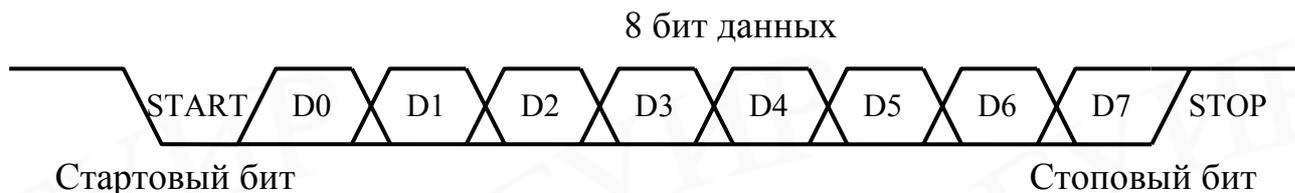


Рисунок 1.5 – Формат данных RS-232 на примере передачи 8 бит данных, без бита четности и с одним стоповым битом

Все сигналы RS-232 передаются специально выбранными уровнями, обеспечивающими высокую помехоустойчивость связи (рисунок 1.6). Данные передаются в инверсном коде (логической единице соответствует низкий уровень, логическому нулю – высокий уровень).

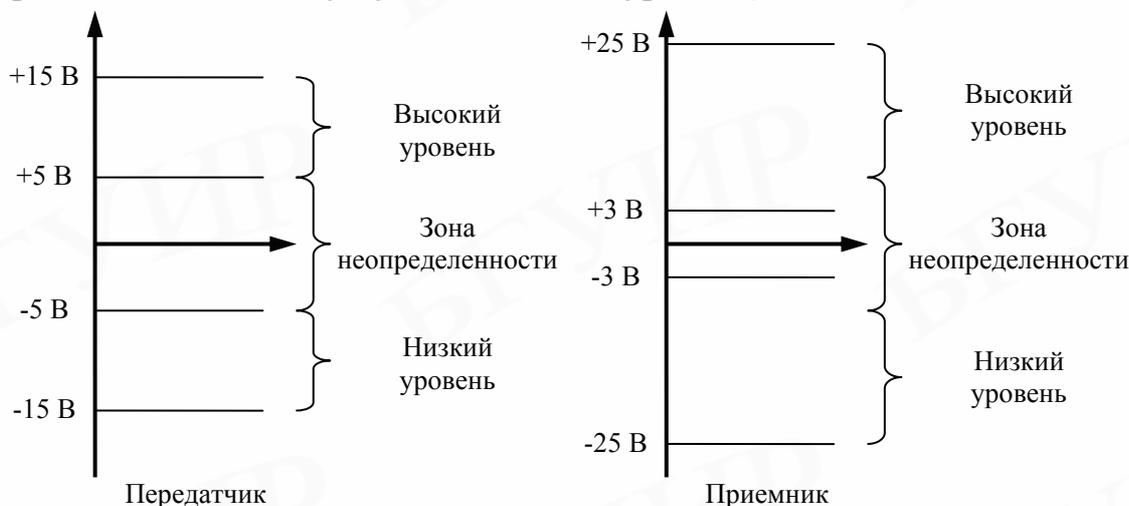


Рисунок 1.6 – Уровни сигналов RS-232 на передающем и принимающем концах линии связи

Обмен по RS-232 осуществляется с помощью обращений по специально выделенным для этого портам COM1 (адреса 3F8h...3FFh, прерывание IRQ4), COM2 (адреса 2F8h...2FFh, прерывание IRQ3), что позволяет связываться с двумя устройствами. Дополнительно в компьютер или ФБ могут быть установлены карты расширения портов, в таком случае появляются дополнительные порты COM3 и COM4 и т.д.

## 2.2 Интерфейс USB

Интерфейс USB (Universal Serial Bus) [7] получил широкое распространение в последнее время. Каждый современный компьютер имеет от двух портов USB 1.1 до четырех USB 2.0, что позволяет подключать к нему всю необходимую периферию. Ведущие производители выпускают широкий спектр микроконтроллеров со встроенными контроллерами USB, концентраторов и самих контроллеров USB, что позволяет встраивать поддержку USB практически во все измерительные устройства.

USB, в зависимости от версии, позволяет передавать данные между компьютером и подключенными устройствами с максимальной скоростью до 40 Мбайт/с (см. таблицу 1.2). Эти скорости работают на одной шине благодаря динамическому переключению скоростей. Режим низкоскоростной передачи предназначен для поддержки ограниченного числа медленных устройств, таких как мышь. Включение большого числа таких устройств значительно снижает пропускную способность шины. Версия 2.0 шины позволила подключать высокоскоростные устройства, такие как цифровые видеокамеры, устройства записи DVD-дисков и другой аппаратуры, для которой скорость 1 Мбайт/с являлась недостаточной.

Таблица 1.2 – Зависимость скорости передачи данных от версии USB

Версия	Максимальная скорость передачи данных	
v.1.0	1.5 Мбит/с	~ 125 Кбайт/с
v.1.1	12 Мбит/с	~ 1 Мбайт/с
v.2.0	480 Мбит/с	~ 40 Мбайт/с

Шина USB предоставляет передачу данных и питание по четырем проводам. Передача информации ведется по двум проводам на каждом отрезке точка – точка. Схематическое изображение соединительного шнура в разрезе показано на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Изображение кабеля USB в разрезе

Определение скоростных характеристик устройства и самого факта включения его на шину производится благодаря имеющимся в устройстве pullup-резисторам, подключенным к сигналу D+ или D-. Подключение к линии D+ сигнализирует о подключении полноскоростного устройства (12 Мбит/с), к D- – низкоскоростного.

Кабель USB также имеет провода Vbus и GND, несущие напряжение питания к устройствам. Vbus имеет номинальное значение +5 В на источнике. Сегменты кабеля могут быть различной длины с различным материалом проводника, в зависимости от необходимого падения напряжения и прочих атрибутов, таких как энергопотребление устройства и гибкость кабеля. В плане обеспечения гарантированного входного напряжения и согласования волновых сопротивлений на каждой стороне кабеля используются согласующие цепи. С помощью этих цепей также определяются подключение устройства и его скоростные характеристики.

Все устройства в системе имеют восходящие и нисходящие соединители, механически не взаимозаменяемые. Разъемы имеют два контакта от витой пары сигнальных проводов и два контакта питания (рисунок 1.8).

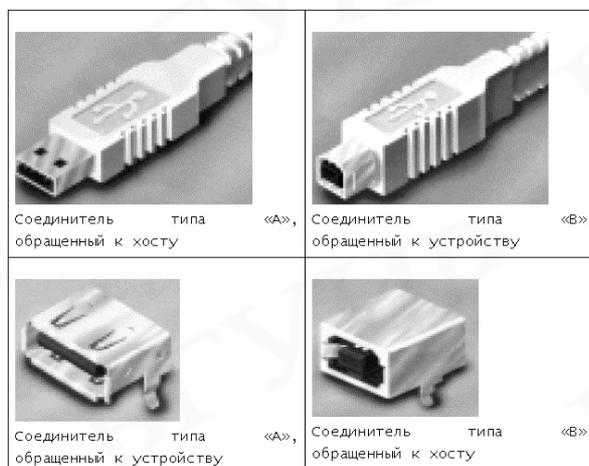


Рисунок 1.8 – Изображение соединителей

Любое подключенное к компьютеру или концентратору устройство может получать питание от него или использовать свое питание. Первые называются bus-powered (устройства, питаемые от USB, могут потреблять до 500 мА), вторые – self-powered.

Системное программное обеспечение контроллера USB руководит энергосбережением в сети, посылая устройствам команды войти или выйти из режима энергосбережения. Это особенно актуально для портативных компьютеров.

Логически шина и устройства USB образуют звезду, основной точкой которой является контроллер USB. Это показано на рисунке 1.9. К ней может быть подключено до 127 устройств (включая концентраторы).

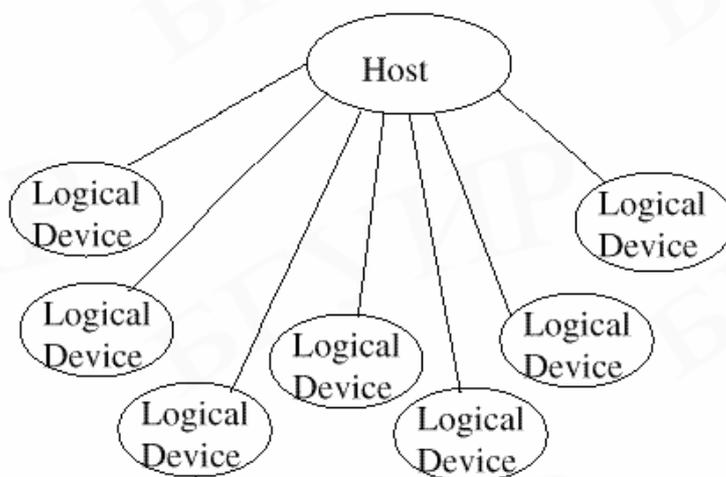


Рисунок 1.9 – Подключение USB клиентов к компьютеру

Устройства USB могут подключаться непосредственно к хосту, т. е. к компьютеру, управляющему USB, но так как количество устройств может быть велико, предусмотрено подключение через специальные концентраторы – хабы. Хост имеет свой встроенный хаб, так называемый корневой. Так же могут использоваться составные устройства, содержащие несколько конечных устройств. В качестве такого устройства может выступать контроллер мыши и клавиатуры в одном корпусе, где информация с двух различных источников постоянно подключена к локальному концентратору.

USB является полностью контролируемой компьютером шиной. В системе интерфейса USB может быть только один управляющий элемент – мастер. Любая транзакция в ней осуществляется передачей до трех пакетов. Хост в соответствии с определенной временной диаграммой генерирует признаки, руководящие передачей по шине. В таком пакете признака содержится информация о типе передачи, ее направлении, адресе получателя и номере канала (конечной точки в получателе). Устройство на шине определяет, что пакет предназначен ему, декодируя соответствующие адресные поля.

Устройства USB только отвечают на запросы хоста и не могут передавать информацию друг другу.

Фактически может быть только один случай, когда устройство может инициировать передачу без активности хоста. После помещения хостом устройства в режим пониженного энергопотребления устройство может сигналами

лизировать свое пробуждение. Это единственный способ прервать цепочку, ведомую хостом. Все остальное на шине происходит только благодаря тому, что хост делает запросы устройствам и устройства отвечают на эти запросы.

Каждое устройство на шине USB имеет несколько так называемых конечных точек – endpoints. Эти пронумерованные точки являются концами логических каналов данных между хостом и устройством. Таким образом, между хостом и устройством реализуется многоканальная передача данных. Каналы симплексны.

Идентификационный номер устройства дается ему хостом при подключении устройства к шине, номера же конечных точек задаются при изготовлении устройства.

Любое устройство должно поддерживать endpoint 0, так как это средство конфигурирования устройства по умолчанию в USB (Default Control Pipe) после включения или получения сигнала сброса по шине. Все остальные endpoint и каналы появляются после конфигурирования устройства хостом. DCP может также использоваться специфичным клиентским программным обеспечением (ПО) хоста. В этом случае системное ПО хоста USB является посредником между клиентским ПО и DCP устройства.

Конечные точки имеют собственные характеристики, их необходимо знать клиентскому ПО для определения типа соединения:

- частота передачи;
- требования к пропускной способности канала;
- номер endpoint;
- требования к обработке ошибок;
- максимальный размер пакета, который может отправлять/принимать endpoint;
- тип передачи (режим);
- направление передачи.

Виртуальные каналы между конечными точками устройства и ПО хоста гипотетически могут реализовывать два типа передачи:

- 1) поток (stream) не имеет определенной структуры в системе USB;
- 2) сообщение (message) имеет определенную в USB структуру.

Передача по шине USB состоит из пакетов данных, идентифицированных специальными кодами, называемыми Packet ID (идентификаторами пакетов). PID показывает, какого типа пакет был передан. Существует четыре типа PID, показанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Типы идентификаторов пакетов

№	Тип	Имя
1	Token	IN, OUT, SOF, SETUP
2	Data	DATA0, DATA1
3	Handshake	ACK, NAK, STALL
4	Special	PRE

Вид передаваемых сообщений по шине USB от хоста к устройству показан на рисунке 1.10.

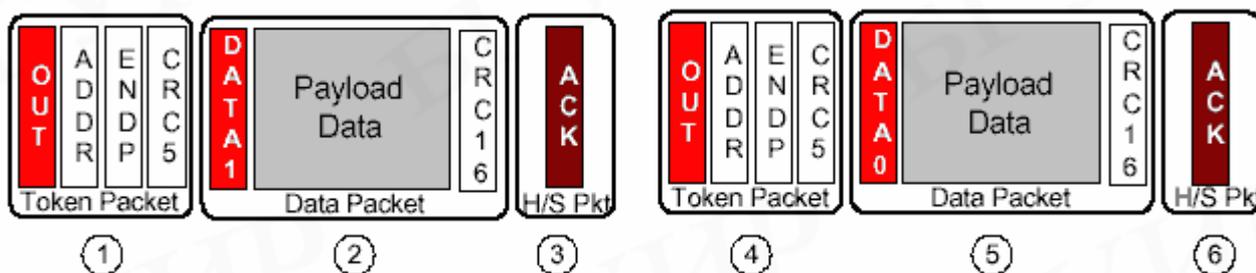


Рисунок 1.10 – Передача по шине USB от хоста к устройству

Пакет 1 – признак передачи, индицируемый OUT PID. Признак отображает, что данные от хоста будут переданы по шине. Пакет 2 содержит данные, о чем говорит сопровождающее сообщение PID DATA1. Пакет 3 – handshake, отправляется устройством с использованием ACK PID для подтверждения хосту, что устройство получило данные без ошибок. Вторая передача начинается с еще одного признака OUT 4, далее следуют данные 5, на этот раз предваряемые PID DATA0. В конце передачи устройство опять подтверждает успешную передачу, передавая ACK PID.

Наличие DATA1 и DATA0 обусловлено коррекцией ошибок. Как описано выше, ACK – это сигнал хосту, что периферия получила данные без ошибки (поля CRC в пакетах используются для определения ошибок). Но что произойдет, если пакет повредится во время передачи? Для определения этого каждая сторона устанавливает data toggle bit, переключаемый между передачами пакетов данных. Состояние этого флажка сравнивается с PID, приходящим с данными, с каждым DATA0 или DATA1. При передаче данных хост или устройство посылает перемежающиеся DATA0-DATA1 идентификаторы пакетов. Путем сравнения идентификатора DATA с состоянием внутреннего переключаемого флажка хост или устройство может определить поврежденный handshake packet.

Признак SETUP предназначен только для передач типа CONTROL. Они предваряют 8 байт данных, из которых периферия определяет запросы хоста.

Признак SOF приходит каждую миллисекунду, обозначая границы сообщения USB.

Существуют три PID согласования: ACK, NAK и STALL.

ACK означает, что данные были приняты без ошибок.

NAK означает: занято, передайте еще раз. Это не означает ошибки, так как ошибка – это отсутствие ответа.

STALL означает, что произошло нечто непредвиденное (возможно, как результат потери связи или несогласования программного обеспечения разных уровней). Устройство посылает STALL, показывая, что не поняло запрос.

PID PRE предшествует передаче на малой скорости (1,5 Мбит). Мы его игнорируем.

При включении нового устройства в шину хост производит последовательность переписи устройств:

- хост посылает запрос «Get\_Descriptor/Device» на адрес 0 (впервые подключенные устройства отвечают по адресу 0);
- устройство обязательно отвечает на запрос, посылая обратно хосту байты идентификатора, говорящие, какое устройство подключено;
- хост посылает устройству запрос «Set\_Address», дающий устройству уникальный адрес, позволяющий отличить это устройство от других, подключенных к шине;
- хост посылает еще запросы «Get\_Descriptor», запрашивая остальную информацию об устройстве. Из этих ответов хост узнает, как много каналов имеет устройство, его требования к питанию, необходимую пропускную способность канала и какой драйвер нужно загрузить.

Этот процесс «переписи» называется Enumeration (нумерация).

### 2.3 Интерфейс GPIB (КОП)

Родившийся более 30 лет назад и получивший большую популярность в области автоматизации измерений стандарт General Purpose Interface Bus (GPIB) и ныне широко используется в измерительной технике. Все больше возрастает количество пользователей этого интерфейса, с каждым годом появляются новые приборы с GPIB, растут номенклатура и число фирм-производителей, расширяется программная поддержка существующих решений.

Технические идеи, положенные в основу GPIB, оказались удачно сбалансированными. При маркетинговой поддержке гиганта приборостроения Hewlett-Packard (HP) стандарт GPIB оказал мощное влияние на рынок автоматизации. Достаточно назвать стандарты VXI, SCPI, VISA, PXI, IVI.

В 1965 г. фирма Hewlett-Packard (HP) разработала интерфейс Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB), в будущем получивший название GPIB, для связи приборов этой фирмы с компьютерами, а в следующем году выпустила свой первый компьютер. Он был разработан как многоцелевой приборный контроллер для растущего семейства программируемой контрольно-измерительной аппаратуры HP. Эта комбинация измерительной техники и компьютера дала пользователям принципиально новое качество работы с измерительными системами.

В HP-IB были заложены прогрессивные технические принципы: достаточно высокая скорость передачи, приемлемое число приборов на шине, гибкость топологии системы, достаточно большие расстояния между приборами. Несомненно, сказался большой опыт фирмы в данной области. Нововведение было хорошо воспринято промышленностью, и по прошествии ряда лет встал вопрос о принятии HP-IB как стандарта (таблица 1.4).

Обеспечение надежной и хорошо описанной связи измерительной техники и компьютера было первым шагом в построении открытых измерительных систем. В конце 60-х – начале 70-х годов был популярен другой недорогой интерфейс связи оборудования и компьютеров типа BCD (Binary-Coded Decimal). Интерфейс HP-IB получил большее распространение ввиду его полной открытости и документированности. В 1975 г. он был переименован в

GPIB и официально одобрен Институтом инженеров электротехников и электроников (IEEE) как стандарт IEEE 488-1975, который позднее стал стандартом ANSI/IEEE 488.1. Этот стандарт зафиксировал электрические и механические соединения между компьютерами и приборами. А в 1980 г. был утвержден ГОСТ 26.003-80 [8], описывающий протокол КОП, который совместим с IEEE-488.1.

Таблица 1.4 – Развитие GPIB

Год	Принятие стандарта	Примечания
1965	HP-IB	Hewlett-Packard Interface Bus
1975	GPIB, IEEE-488	HP-IB меняет название на GPIB и становится стандартом
1980, 1985	ГОСТ 26.003-80	КОП (Канал общего пользования) ГОСТ СССР
1987	IEEE-488.1, 488.2	Принят стандарт IEEE-488.2, 488-1978 становится IEEE-488.1
1990	SCPI	
1992	Ревизия IEEE-488.2	Изменения в спецификации IEEE-488.2
1993	Ревизия IEEE-488.1	Ревизия с увеличенным быстродействием IEEE-488.1

Помимо HP аппаратуру GPIB начали производить для рабочих станций, а затем и для IBM-совместимых персональных компьютеров (ПК) фирмы National Instruments (NI) и др.

Компании Hewlett-Packard, Tektronix, National Instruments – лидеры в производстве приборов, соответствующих более новым стандартам, например, VXI и PXI, расширяют номенклатуру GPIB и различных средств сопряжения GPIB с более новыми интерфейсами (таблица 1.5).

Тенденцию роста пользователей интерфейса GPIB можно проследить по увеличению количества драйверов в инструментальных средах LabView для измерительных приборов, выполненных в разных стандартах по каталогам National Instruments.

Таблица 1.5 – Рост пользователей интерфейса

Год	Интерфейс прибора		
	VXI	GPIB	последовательный
1993	75	159	6
1999	109	411	40

Топология сети GPIB может быть линейной и звездообразной (рисунок 1.11). В сети должно быть не более 15 приборов, расстояние между ними

не должно превышать 4 м при полной длине кабеля до 20 м. Возможно расширение сети с помощью специальных расширителей. Стандартная скорость передачи по GPIB составляет 1 Мбайт/с. IEEE-488HS поддерживает скорость до 8 Мбайт/с.

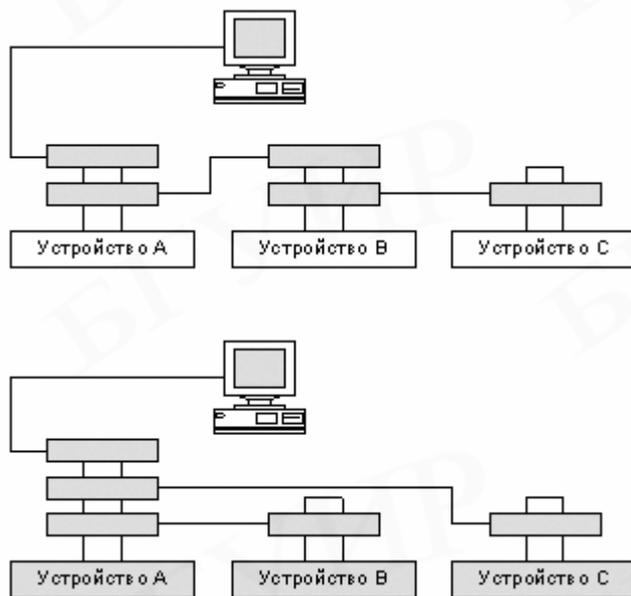


Рисунок 1.11 – Топология сети GPIB

Приборы GPIB обмениваются информацией, передавая сообщения интерфейса и сообщения, зависящие от прибора, через интерфейс системы.

Сообщения, зависящие от прибора, – это данные, которые содержат информацию для прибора, такую, как инструкции программ, результаты измерений, статус, файлы данных.

Команды сообщения интерфейса управляют шиной. Они выполняют функции инициализации, адресации, установки приборов в локальный или удаленный режим работы.

Приборы GPIB могут выполнять функции Приемника, Передатчика или Контроллера. Передатчик посылает данные одному или более Приемникам. Контроллер управляет шиной, посылая команды всем приборам.

Система GPIB обладает характеристиками и компьютера, и сети с централизованным управлением. Функции Контроллера подобны функциям коммутатора телефонной сети. Контроллер следит за состоянием шины и при обнаружении запроса на передачу сообщения соединяет Передатчик с Приемником. Такое управление требуется не всегда, а в основном при смене Передатчиков и Приемников.

В системе GPIB может быть только один Системный контроллер. Он может передать функцию управления другому Контроллеру, сделав его Текущим контроллером.

Интерфейс состоит из 16 сигнальных линий и 8 линий заземления или возврата сигнала. Сигнальные линии группируются следующим образом: 8 линий данных, 3 линии протокола и 5 линий управления интерфейсом. Назначение контактов разъема GPIB приведено в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Назначение контактов разъема GPIB

Обозначение		Наименование шин и линии	
		ГОСТ 26.003-80	Международное
ШД		Шина данных	Data bus
ЛД0	DIO 1	Линия данных 0	Data input output 1
ЛД1	DIO 2	Линия данных 0	Data input output 2
ЛД2	DIO 3	Линия данных 0	Data input output 3
ЛД3	DIO 4	Линия данных 0	Data input output 4
ЛД4	DIO 5	Линия данных 0	Data input output 5
ЛД5	DIO 6	Линия данных 0	Data input output 6
ЛД6	DIO 7	Линия данных 0	Data input output 7
ЛД7	DIO 8	Линия данных 0	Data input output 8
ШС		Шина синхронизации	Data byte transfer control bus
ГП	NRFD	Линия «Готов к приему»	Not ready for data
ДП	NDAC	Линия «Данные приняты»	Not data accepted
СД	DAV	Линия «Сопровождение данных»	Data valid
ШУ		Шина управления	General Interface Management bus
УП	ATN	Линия «Управление»	Attention
КП	EOI	Линия «Конец передачи»	End
ЗО	SRQ	Линия «Запрос на обслуживание»	Service request
ОИ	IFC	Линия «Очистить интерфейс»	Interface clear
ДУ	REN	Линия «Дистанционное управление»	Remote enable

Все линии (кроме ГП и ДП в стандарте КОП) имеют активный уровень – низкий (т.е. логическая 1 – низкий уровень, 0 – высокий уровень). Линии ЗО, ГП, ДП должны иметь выход с открытым коллектором. Остальные могут иметь выход с тремя состояниями или с открытым коллектором. Физически напряжение менее 0,8 В считается низким уровнем, более 2 В – высоким.

Нумерация контактов на соединительных разъемах в стандартах GPIB и КОП совпадает, и их расположение эквивалентно.

Линии данных предназначены для передачи данных и команд. Все команды и большинство данных используют 7-битный набор ASCII, в котором 8-й бит не используется или используется для четности.

Линии протокола управляют асинхронным образом передачей байт между приборами. Используемый способ называется 3-проводным соединением со взаимной блокировкой (interlocked handshake). Он гарантирует передачу данных по линиям данных без ошибок.

NRFD – ГП (not ready for data) отображает, готов ли прибор к приему байта сообщения. Линия устанавливается всеми приборами при приеме команд и Приемниками при приеме данных.

NDAC – ДП (not data accepted) означает, приняты ли данные. Линия устанавливается всеми приборами при приеме команд и Приемниками при приеме данных.

DAV – СД (data valid) сообщает, что линии сигналов и данных стабильны (правильны) и могут быть правильно восприняты приборами. Контроллер устанавливает линии DAV при посылке команд, а Передатчик устанавливает эти линии при посылке данных.

ATN – УП (attention). Контроллер устанавливает линию ATN в логическую единицу (низкое состояние) при посылке команд и в логический ноль (высокое состояние), когда Спикер может посылать данные.

IFC – ОИ (interface clear). Системный контроллер устанавливает линию IFC для инициализации шины, с тем чтобы стать Текущим контроллером и сбросить все активные устройства.

REN – ДУ (remote enable). При установлении линии ДУ в низкое состояние устройство получает разрешение на переключение управления с «местного» на «дистанционное».

SQR – ЗО (service request). Любой прибор может осуществить команду ЗО для асинхронного запроса на обслуживание Контроллером.

EOI – КП (end or identify) устанавливается Передатчиком в низкое состояние, параллельно с передачей последнего байта данных, сигнализируя, что данных больше нет. Она может устанавливаться также в низкое состояние устройством управления для реализации им параллельного опроса.

На рисунке 1.12 изображен процесс передачи байт по КОП, состоящий из семи фаз:

- 1 Передатчик устанавливает байт на шину данных.
- 2 Приемники устанавливают линию ГП (готов к приему), и так как все выходы ГП являются выходами с открытым коллектором, то линия окажется в высоком состоянии только после того, как последний Приемник установит ее.
- 3 Передатчик устанавливает линию СД (синхронизация данных) для того, чтобы сообщить Приемникам, что данные действительны.
- 4 Приемники освобождают линию ГП и забирают байт с шины данных.
- 5 После приема байта они устанавливают линию ДП (данные приняты), аналогично с линией ГП, она окажется в высоком состоянии только тогда, когда все Приемники примут байт.
- 6 Передатчик убирает сигнал СД – данные не готовы.
- 7 Приемники освобождают линию ДП.

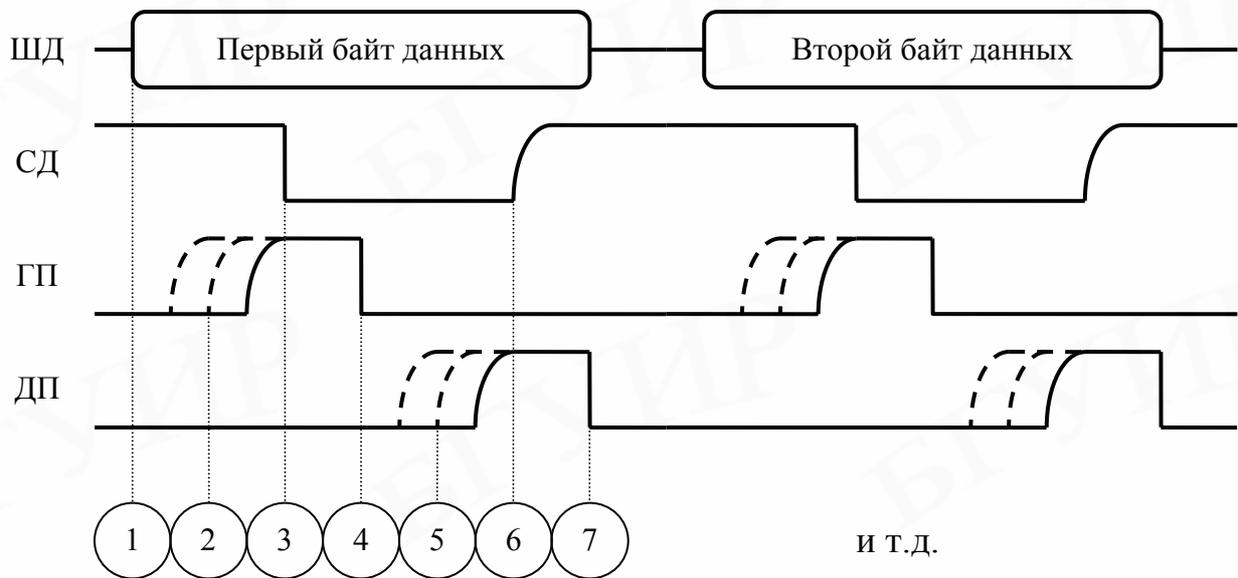


Рисунок 1.12 – Формат передачи байта данных по КОП (GPIB) по фазам выполнения

Одновременно с принятием стандарта 488.1 фирмы HP, Tektronix и другие начали работать в рамках IEEE над первым уровнем программной стандартизации, получившей имя IEEE-488.2 Standard Codes and Formats (Стандартные коды и форматы, принят в 1987 г.). Такая стандартизация была существенным шагом вперед, обеспечивая надежный способ общения по шине в смысле механизма доставки команд, однако относительно самих команд попытки стандартизации сделано не было. В качестве аналогии для этой ситуации можно привести пример телефонной системы, в которой получено хорошее качество связи, но с абонентами, говорящими на разных языках.

Разработка стандарта шла поэтапно. В 1987 году был выпущен проект нового стандарта, а старое название 488 преобразовано в 488.1. В 1990 году был принят стандарт SCPI для приборов с интерфейсом 488. В 1992 году была принята новая версия стандарта 488.2.

Цель стандарта 488.2 – преодоление различных ограничений исходного стандарта 488. Первичный стандарт не определял форматы данных, общие команды конфигурации, протокол обмена сообщениями и команды, специфичные для приборов. Стандарт 488.2 не затрагивает аппаратной части, основываясь на 488.1.

Основной концепцией 488.2 является высококачественная передача команд и невысокое требование к приемникам. Стандарт определяет требования к Контроллеру и приборам, с тем чтобы получить высоконадежную и эффективную систему. Приборы, удовлетворяющие 488.2, должны уметь правильно интерпретировать команды и их небольшие вариации. В частности, они должны производить анализ содержимого регистров и правильно интерпретировать полную и краткую форму команд. Последнее обстоятельство существенно упрощает пользование системой.

По сравнению со стандартом 488.1 спецификация 488.2 требует серьезной поддержки встроенного программного обеспечения приборов, а в некоторых случаях расширения аппаратной части. Однако для конечного пользо-

вателя программирование становится существенно проще, поскольку приборы поддерживают стандартный набор команд и запросов predetermined способом, используя стандартный протокол обмена сообщениями и форматы данных. Протокол обмена сообщениями 488.2 является базой для стандарта SCPI языка управления приборами.

Стандарт 488.2 определяет минимальный набор возможностей интерфейса 488.1 для приборов. Все приборы должны иметь возможность посылать и принимать данные, запрашивать обслуживание и отвечать на сообщение очистки устройства. Также определен формат команд, посылаемых в приборы, и формат ответов на запросы, выдаваемых приборами. Поскольку эти команды и запросы одинаковы для всех устройств, они стандартизованы. Стандартизована также и статусная информация.

Прояснив вопросы доступа к приборным интерфейсам, можно перейти собственно к вопросам программирования приборов. Классическим способом здесь является программирование с помощью посылок строк ASCII. В 60-80-х годах разработчики ориентировались на способ программирования приборов, подобный тому, который использовался в современных им средствах разработки в условиях дороговизны устройств памяти. Например, программные функции вызывались как F1, F2 и т.д., диапазоны измерений – как R1, R2, и т.д. При этом возникали трудности в охвате функциональности из-за недостатка алфавита. Даже в одной и той же фирме для разных изделий использовались разные команды для одинаковых функций. Подобный стиль получил на Западе название R2D2.

В 1990 г. был предложен язык SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) как открытый стандарт, который определяет общий набор команд для программируемых устройств.

Этот стандарт состоит из нескольких частей. Основные из них следующие: Синтаксис; Стандартные команды; Форматы данных.

На сегодняшний день интерфейс GPIB является самым оптимальным, развивающимся приборным интерфейсом для измерительной техники. Но, как и каждый интерфейс, он имеет свои недостатки, из которых наиболее очевидные: низкая скорость передачи данных; относительно высокая стоимость интерфейса; необходимость поддержки встроенного программного обеспечения 488.x.

Наиболее очевидные недостатки SCPI: очень громоздкий стандарт; необходимость поддержки встроенного программного обеспечения, требующего лексического интерпретатора; медленная скорость передачи. В связи с этим он не получил широкого распространения в приборах, разрабатываемых на территории стран СНГ.

## 2.4 Интерфейс КАМАК

Система КАМАК [9, 10] (CAMAC – Computer Applications for Measurement and Control) рекомендована к использованию Международной электротехнической комиссией. Она разрабатывалась примерно с начала 60-х годов под руководством Комитета ESONE «Евратома», объединившего для этой це-

ли усилия около трех десятков научно-исследовательских учреждений ядерной физики. Совершенствование интерфейсов системы КАМАК непрерывно продолжается: в течение нескольких лет кроме начального основного варианта появились интерфейсы быстрого КАМАК, последовательного КАМАК, КАМАК с микропроцессорными контроллерами и узлами сопряжения.

Далее рассматривается интерфейс КАМАК, соответствующий ГОСТ 26.201-80. Кроме того, описывается магистраль ветви и последовательная магистраль КАМАК.

Интерфейс КАМАК устанавливает требования к конструкции входящих элементов, форме представления и порядку обмена информацией, энергетическим характеристикам источников питания и используемых электрических сигналов. Этот интерфейс предназначен для построения систем, состоящих из преобразователей аналоговых сигналов, цифровых управляющих устройств и ЭВМ (рисунок 1.13).

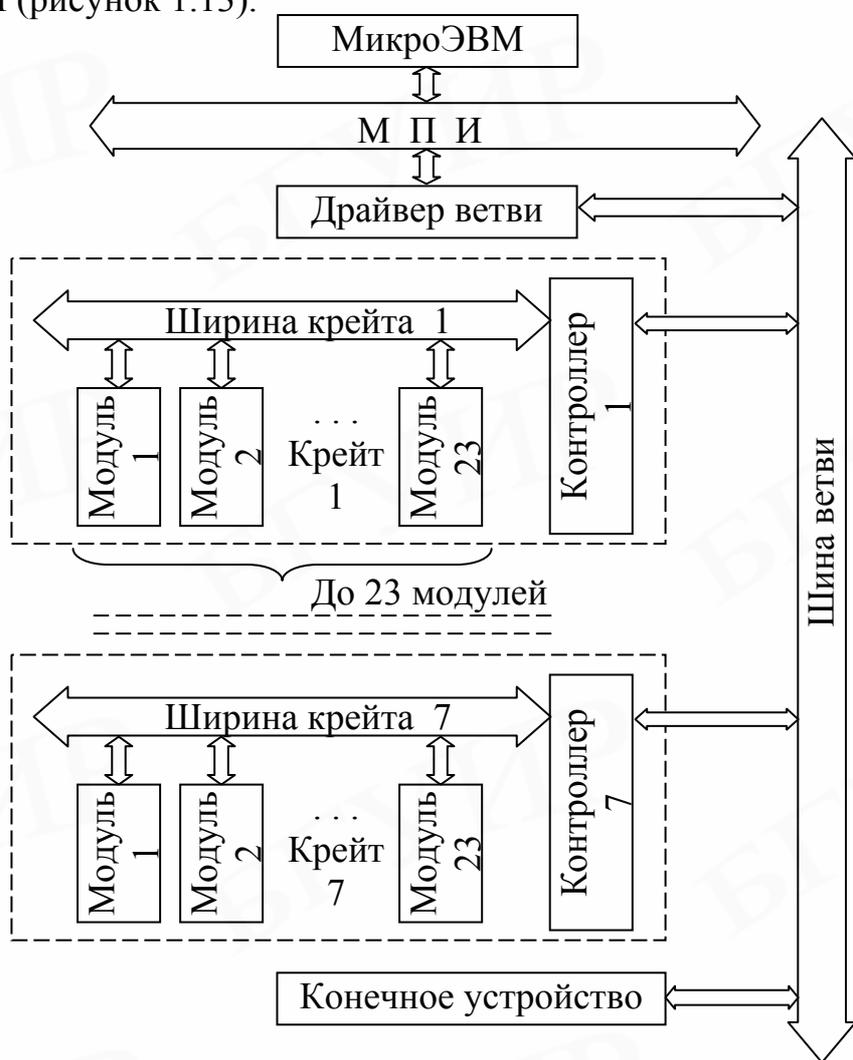


Рисунок 1.13 – Типовая структурная схема интерфейса КАМАК

Функциональные элементы, связанные с интерфейсом, изготовлены в виде модулей. В каждом модуле может быть до 16 и более функциональных элементов, выполненных из интегральных микросхем ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) и ДТЛ (диодно-транзисторная логика). Модули представляют собой вставные блоки, размещаемые в специальном конструктиве –

крейте. Крейт имеет 25 станций для присоединения модулей. В правой части крейта устанавливается управляющее устройство – контроллер крейта, которое занимает две станции. Остальные 23 станции заняты модулями.

Контроллер крейта обеспечивает управление работой модулей, обмен информацией между ними по шине крейта, а также связь с шиной ветви, которая объединяет крейты и устройство, управляющее всей системой. К шине ветви может быть присоединено до семи крейтов. Таким образом, ветвь может обслужить до 161 модуля. К шине ветви кроме контроллеров присоединены драйвер ветви и конечное устройство. Драйвер ветви согласовывает интерфейс микроЭВМ с интерфейсом КАМАК и конечным устройством, а отдельные линии шины ветви создают необходимое смещение напряжения.

Шина крейта состоит из 86 линий (таблица 1.14).

Таблица 1.14 – Состав шины крейта

Название линий и сигналов из них	Обозначение сигнала	Число линий	Назначение линий
1	2	3	4
Команды: «Номер станции»	N	1	Выбор модуля (индивидуальная линия, идущая от контроллера к конкретному модулю) Выбор части модуля Операция, выполняемая модулем
«Субадрес»	A1, A2, A4, A8	4	
«Код операции»	F1, F2, F4, F8, F16	5	
Временные соотношения: «Строб 1»	S1	1	Управление первой фазой операции, во время которой сигналы на линии не изменяются Управление второй фазой операции, во время которой сигналы на линии могут изменяться
«Строб 1»	S2	1	
Данные: «Запись»	W1...W24	24	Передача информации в модуль Прием информации из модуля
«Чтение»	R1...R24	24	
Состояния: «Запрос»	L	1	Необходимость обслуживания (индивидуальная линия, идущая к контроллеру) Состояние части модуля, выбранной командой Выполнение операции Возможность выполнения модулем команды
«Ответ»	Q	1	
«Занято»	B	1	
«Команда принята»	X	1	

Продолжение таблицы 1.14

1	2	3	4
Общие команды управления:			Действие команд на все модули, присоединенные к шинам
«Запуск»	Z	1	Установка модулей в определенное состояние (подача сигнала в сопровождении S2 и B)
«Запрет»	I	1	Запрет на выполнение различных функций на время действия сигнала
«Сброс»	C	1	Сброс регистров (подача сигнала в сопровождении S2 и B)
Нестандартные соединения:			
свободные	P1, P2	2	Произвольное
сквозные шины			
дополнительные линии	P3...P5	3	Для произвольных соединений на линии связи
Обязательные линии питания:			
+24, +6, -24, -6 В	+24	1	Для обязательных и дополнительных источников питания
	+6	1	
	-24	1	
	-6	1	
	0	2	
Дополнительные линии питания:			
+200, +12, -12, ~117 В	+200	1	Для индикации (малая нагрузка)
	+12	1	Резервные линии для развития питания
	-12	1	
	АС	2	
«Чистая земля»	E	1	Для токов, требующих «чистой земли»
Резерв	1, 2	2	Для дальнейшего расширения возможностей интерфейса
Итого	—	86	—

По линиям могут передаваться команды, стробирующие сигналы, коды данных, сигналы состояний и другая информация. Часть линий отведена для питания и подачи потенциала земли. Пять линий резервные. Соединения линий с разъемами, а также электрические сигналы, используемые в системе КАМАК, стандартизованы. В линиях связи для передачи цифровых сигналов применяются отрицательная логика и уровни напряжения, принятые в интегральных схемах ДТЛ и ТТЛ. При этом более высокий положительный уровень взят за логический ноль, а низкий уровень, близкий к нулю напряжения, — за логическую единицу.

Работой системы управляют команды. Код команды образуется сигналами на линиях N, A, F и B. Команду можно разделить на три части: адрес, обозначение команды и признак ее выполнения. Команда может выполняться

одновременно несколькими модулями. Адрес обеспечивает выбор нужных модулей, а также части модуля, непосредственно занятой выполнением операции. Модули выбираются сигналами, поступающими на индивидуальные линии N, а любая из 16 частей модуля – четырехразрядным кодом субадреса, выдаваемым на линии A.

Сигналы на линиях N, F, A, W и B вырабатывает контроллер, а принимает управляемый блок (модуль). Сигналы L, R, X и Q вырабатывает модуль, а принимает контроллер. Каждый крейт имеет источник питания мощностью 300 Вт. Обязательные уровни стабилизированного питания: +24, +6, -6, -24 В. В обратной цепи тока предусмотрены две линии. Кроме того, имеется специальная линия «Чистая земля» для слаботочных устройств.

К типовым модулям системы КАМАК, серийно выпускаемым промышленностью, относится интегрирующий аналого-цифровой преобразователь (АЦП) типа 701А, состоящий из блока преобразования, занимающего в крейте две станции, и блока питания преобразователя, соединенных между собой кабелем с разъемом CANNON. АЦП работает по принципу двойного интегрирования, обеспечивающего подавление помех нормального вида промышленной частоты 50 Гц путем усреднения этих помех в первом такте интегрирования. Преобразователь имеет схему синхронизации времени преобразования с периодом напряжения электрической сети, которая обеспечивает малую зависимость результата от изменения частоты в сети 50 Гц. Возможна работа преобразователя с постоянным периодом преобразования. Гальваническая изоляция аналоговой части преобразователя обеспечивает подавление помех общего вида и защиту измерительной системы от синфазных сигналов высокого уровня.

#### Технические данные АЦП

Пределы преобразуемого напряжения.....	$\pm 50$ мВ; $\pm 100$ мВ; $\pm 500$ мВ; $\pm 1$ В; $\pm 5$ В; $\pm 10$ В
Выбор диапазона .....	программный посредством шин W
Разрешающая способность.....	11 двоичных разрядов (2048 уровней) и 12-й разряд знака
Интегральная нелинейность.....	не более $\pm 0,05\%$
Входное сопротивление.....	более 100 МОм
Подавление помех частотой 50 Гц .....	более 60 дБ
Максимальная длительность преобразования .....	40 нс

В преобразователе предусмотрены возможность программного включения фильтра и задержки запуска преобразования, введение корректировки погрешности за счет изменения частоты в сети, а также световая сигнализация занятости блока и блокировка результата при превышении предела.

## Контрольные вопросы

- 1 Какие основные структурные схемы используются при проектировании ИИС?
- 2 Приведите структурные схемы ИИС с централизованным управлением.
- 3 Приведите структурные схемы ИИС с децентрализованным управлением и поясните принципы их работы.
- 4 Приведите определения ИИС и ИВК. В чем их различие?
- 5 Приведите пример основных видов интерфейсов, используемых в ИИС.
- 6 Что лежит в основе классификационных признаков основных видов интерфейсов?
- 7 Приведите описание и назначение интерфейса типа RS-232.
- 8 Приведите схему соединений интерфейса RS-232.
- 9 Приведите описание и назначение интерфейса типа USB.
- 10 Приведите пример соединения и связей интерфейса USB.
- 11 Приведите пример протокола передачи информации по интерфейсу USB.
- 12 Приведите описание и назначение интерфейса типа GIPB (КОП).
- 13 Приведите пример протокола передачи информации по интерфейсу GIPB (КОП).
- 14 Приведите описание и назначение интерфейса типа КАМАК.
- 15 Приведите пример протокола передачи информации по интерфейсу типа КАМАК.

## Тема 2 Измерительно-вычислительный комплекс для измерения комплексных параметров, коэффициентов отражения и передачи

Целью работы является изучение:

- основных принципов измерения комплексных параметров отражения и передачи на СВЧ;
- основных метрологических характеристик ИВК для измерения комплексных параметров отражения и передачи;
- структурной схемы и принципа построения ИВК для измерения комплексных параметров отражения и передачи.

### 1 Краткие сведения из теории

Для передачи высокочастотной энергии электромагнитной волны на небольшие расстояния применяются тракты с распределенными постоянными (коаксиальные и волноводные линии передачи). Для характеристики качества согласования сопротивлений в них пользуются коэффициентом отражения и коэффициентом стоячей волны.

Под коэффициентом отражения [3, 11] понимается отношение комплексных амплитуд отраженной волны  $E_{отр}$  и падающей волны  $E_{пад}$ :

$$\Gamma = \frac{E_{отр}}{E_{пад}} \cdot e^{j\varphi},$$

где  $\varphi$  – разность фаз между  $E_{отр}$  и  $E_{пад}$ .

Коэффициент стоячей волны (КСВ) определяется отношением максимального значения напряжения (или тока) к минимальному значению напряжения (или тока) установившейся вдоль однородной линии стоячей волны:

$$K_{СТУ} = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}}.$$

Коэффициенты отражения  $\Gamma$  и стоячей волны  $K_{СТУ}$  связаны между собой следующими соотношениями:

$$|\Gamma| = \frac{K_{СТУ} - 1}{K_{СТУ} + 1}; \quad K_{СТУ} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|},$$

где  $|\Gamma|$  – модуль коэффициента отражения.

Пределами изменения  $|\Gamma|$  являются 0 и 1, а пределами изменения  $K_{СТУ}$  – 1 и  $\infty$ . Полному отражению от нагрузки соответствует бесконечно большой КСВ, режим согласования линии с нагрузкой характеризуется КСВ, равным 1.

Действие четырехполюсников [1, 12] (отрезки линий передачи, соединители, переходы, аттенюаторы, элементы связи, ферритовые приборы и другие узлы), применяемых на СВЧ, может быть описано с помощью матриц, устанавливающих связь между входными и выходными параметрами. На рисунке 2.1 представлена схема четырехполюсника с характеризующими его параметрами. Коэффициенты передачи четырехполюсника соответственно в прямом и обратном направлениях при отсутствии отражений в тракте выражаются следующим образом:

$$S_{21} = \frac{U_2}{U_1} \Big|_{U_4=0} = |S_{21}| \cdot e^{j\varphi_{21}} ;$$

$$S_{12} = \frac{U_1}{U_4} \Big|_{U_3=0} = |S_{12}| \cdot e^{j\varphi_{12}} .$$

Коэффициенты отражения четырехполюсников со стороны входов и выходов будут соответственно равны

$$S_{11} = \frac{U_1}{U_3} \Big|_{U_4=0} = |S_{11}| \cdot e^{j\varphi_{11}} ;$$

$$S_{22} = \frac{U}{U} \Big|_{U_3=0} = |S_{22}| \cdot e^{j\varphi_{22}} .$$

Коэффициенты  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  называются S-параметрами;  $\varphi_{12}$  и  $\varphi_{21}$  – фазовыми сдвигами, вносимыми четырехполюсниками в прямом и обратном направлениях,  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{22}$  – фазовыми сдвигами коэффициентов отражения входов и выходов соответственно.

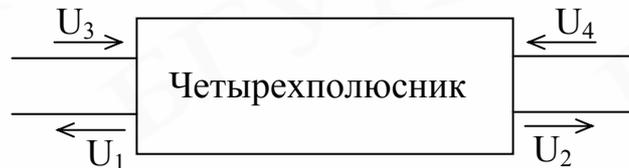


Рисунок 2.1 – Исследуемый четырехполюсник с характеризующими его параметрами

Для измерения параметров трактов [13] с распределенными постоянными применяются измерительные линии, приборы вида P1 (для измерения стоячих волн в линиях передачи), измерители полных сопротивлений P3 (для измерения модуля и фазы коэффициента отражения), измерители коэффициента стоячей волны или модуля коэффициента отражения вида P2, измерители комплексных коэффициентов передачи вида P4 (для измерения модуля и фазы коэффициента передачи четырехполюсников), измерительные установки и измерительные системы.

Типичным примером ИС является прибор VNA 2-8, представляющий собой сопряженный с ЭВМ измеритель комплексных коэффициентов передачи. По аналогии с зарубежными приборами их принято называть векторными анализаторами цепей. Обобщенная структурная схема такого анализатора приведена на рисунке 2.2.

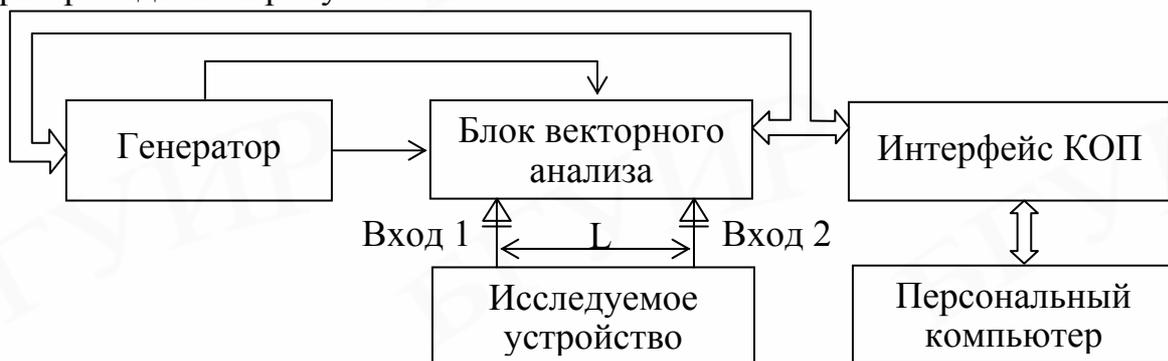


Рисунок 2.2 – Структурная схема VNA 2-8

Как видно из рисунка 2.2, в состав ИС VNA 2-8 входят:

генератор качающейся частоты, обеспечивающий формирование СВЧ-измерительного сигнала и качание его частоты в заданном частотном диапазоне;

блок векторного анализа, обеспечивающий распространение СВЧ-измерительного сигнала через исследуемое устройство в прямом и обратном направлениях, выделение сигналов измерительной информации об отраженной и прошедшей через него волнах и ее аналого-цифровое преобразование;

персональный компьютер с интерфейсом канала общего пользования (КОП), обеспечивающий считывание цифровой измерительной информации, ее обработку и представление на экране дисплея в виде амплитудно- и фазо-частотных характеристик измеряемых параметров в декартовых или полярных координатах (диаграмма Вольперта – Смита), а также управление работой генератора качающейся частоты и блока векторного анализа по КОП. Предусматривается вывод измерительной информации в виде графиков или таблиц на печатающее устройство (принтер).

## 2 Измерительная система VNA 2-8

### 2.1 Назначение

2.1.1 Измерительная система VNA 2-8 (далее ИС) предназначена для автоматического измерения в лабораторных условиях S-параметров СВЧ-устройств оконечного (двухполюсники) и проходного (четырёх- и многополюсники) типов, имеющих стандартные коаксиальные соединители 7/3. Объекты измерений могут быть пассивными и активными, взаимными и невзаимными.

2.1.2 Результаты измерений параметров  $S_{11}$  и  $S_{22}$  представляются на дисплее персонального компьютера, входящего в состав ИС, как в полярных (диаграмма Вольперта–Смита), так и в декартовых координатах. Результаты измерений параметров  $S_{21}$  и  $S_{12}$  представляются только в декартовых координатах. С помощью курсора значения S-параметров могут быть отсчитаны на любой частоте измерения с указанием значения самой частоты.

2.1.3 В основу конструкции ИС положен блочный принцип. Это позволяет гибко использовать ГКЧ и персональный компьютер, применяя их не только в составе ИС, но и самостоятельно. Кроме того, обеспечивается возможность подключения ИС к каналу общего пользования (КОП) и работы его в составе информационно-измерительных систем.

2.1.4 Отличительной особенностью ИС является возможность работы его в двух различных режимах: настройки и измерения. Режим настройки предназначен для регулировки объекта измерения по одному из S-параметров, частотная характеристика которого воспроизводится на дисплее в декартовых координатах с максимально возможной скоростью и позволяет оперативно настраивать объект, размещая изображения АЧХ и ФЧХ S-параметра в требуемой зоне.

## 2.2 Основные технические характеристики

2.2.1 Диапазон рабочих частот ИС 2,14-8,10 ГГц.

2.2.2 Измерение S-параметров может осуществляться только в режиме качания частоты ГКЧ с периодом 1 с. Максимальная полоса качания частоты равна диапазону рабочих частот ИС, а минимальная – не менее 0,2 ГГц. Количество частотных точек, в которых производятся измерения, фиксировано и равно 256.

2.2.3 Основная погрешность измерения частоты с помощью курсора находится в пределах  $\pm 1\%$ .

2.2.4 Пределы измерения  $|S_{11}|$  и  $|S_{22}|$  от 0,05 до 1,0.

2.2.5 Пределы измерения  $|S_{21}|$  и  $|S_{12}|$  от +20 до -50 дБ.

2.2.6 Пределы измерения аргументов всех S-параметров от 0 до  $360^\circ$  или от  $-180$  до  $+180^\circ$ .

2.2.7 Основная погрешность измерения  $|\Gamma_x|$ ,  $|S_{11}|$  и  $|S_{22}|$  определяется в относительных единицах (процентах) и находится в пределах

$$\delta = \pm \left( 0,03 + 0,05 \cdot |S_{11(22)}| \right), \%$$

2.2.8 Основная погрешность измерения  $|S_{21}|$  и  $|S_{12}|$  определяется в децибелах (дБ) и находится в пределах

$$\Delta = \pm \left( 0,3 + 0,015 \cdot |S_{21(12)}| \right), \text{ дБ.}$$

2.2.9 Основная погрешность измерения  $\arg |S_{11}|$  и  $\arg |S_{22}|$  определяется в градусах и находится в пределах

$$\Delta = \pm \left[ 2 + 3 \cdot |S_{11(22)}| + 0,5 / |S_{11(22)}| \right], \text{ град.}$$

2.2.10 Основная погрешность измерения  $\arg |S_{21}|$  и  $\arg |S_{12}|$  определяется в градусах и находится в пределах

$$\Delta = \pm \left( 1,5 + 0,08 \cdot |S_{21(12)}| \right), \text{ град.}$$

2.2.11 В ИС предусмотрена возможность измерения S-параметров с повышенной точностью за счет введения режима усреднения, при котором осуществляются N-кратный съем исходной измерительной информации и последующее ее усреднение.

## 2.3 Принцип работы измерительной системы

По принципу действия ИС VNA 2-8 представляет собой прибор гомодинного типа с балансной амплитудной модуляцией измерительного сигнала. Модуляция сигнала осуществляется с помощью балансного СВЧ модулятора. При балансной модуляции измерительного сигнала в спектре протектированного интерференционного сигнала, на выходе балансного смесителя окажется составляющая [14]

$$U_1 = \mu \cdot |S_{ij}| \cdot \cos(\varphi_x + \varphi_n) \cdot \cos(\Omega \cdot t), \quad (2.1)$$

где  $S_{ij}$  и  $\varphi_x$  – модуль и аргумент измеряемого S-параметра;

- $\mu$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий амплитудные характеристики опорного и измерительного каналов анализатора;
- $\varphi_n$  – фазовый сдвиг, учитывающий неидентичность фазочастотных характеристик опорного и измерительного каналов;
- $\Omega$  – соответствует частоте  $F$  модуляции измерительного сигнала.

Как видно из (2.1), в протектированном интерференционном сигнале отсутствует составляющая, пропорциональная мощности опорного сигнала, и, как следствие, нелинейный член, пропорциональный  $|S_{ij}|^2$ . Этим ИС VNA 2-8 принципиально отличается от других модификаций приборов гомодинного типа. Все это позволяет реализовать максимально возможный динамический диапазон анализатора при измерении  $|S_{ij}|$ , приближающий его по этому параметру к приборам гетеродинного типа.

Второй принципиальной особенностью ИС VNA 2-8 является не аппаратное (как это имеет место в других приборах гомодинного типа), а программное формирование интерференционного сигнала, квадратурного к (2.1). Оно реализуется в персональном компьютере с помощью специальной подпрограммы, базирующейся на преобразовании Гильберта. Разработан специальный алгоритм, основанный на прямом решении интеграла Гильберта при дискретизации исходного сигнала (2.1) с учетом требований теоремы Котельникова. Это решение может быть реализовано с различной точностью, существенно влияющей на скорость обработки измерительной информации. В режиме настройки, используемом для регулировки объектов измерения, применяется приближенное решение интеграла Гильберта, обеспечивающее максимальную скорость воспроизведения на дисплее персонального компьютера АЧХ и ФЧХ контролируемого  $S$ -параметра. В режиме измерения  $S$ -параметров с погрешностями, нормированными в пп. 3.2.2.7-3.2.2.10, используется более точное решение интеграла Гильберта, требующее соответственно и большего времени. Наконец, если возникает необходимость в измерении  $S$ -параметров с повышенной точностью, то, помимо 4-кратного съема и усреднения сигнала (2.1), интеграл Гильберта вычисляется с максимально возможной точностью.

Итак, исходными сигналами измерительной информации в ИС VNA 2-8 являются усиленный, протектированный и преобразованный в цифровой код сигнал (2.1)

$$U_1 = \mu \cdot |S_x| \cdot \cos(\varphi_x + \varphi_n) \quad (2.2)$$

и сформированный программным путем сигнал

$$U_2 = \mu \cdot |S_x| \cdot \sin(\varphi_x + \varphi_n), \quad (2.3)$$

где значение  $\mu$  учитывает амплитудные характеристики анализатора в целом.

Если значения  $\mu$  и  $\varphi_n$  определить в процессе калибровки анализатора, предшествующем процессу измерения  $S_{ij}$ , то  $U_1$  и  $U_2$ , соответствующие  $\text{Re}(S_{ij})$  и  $\text{Im}(S_{ij})$ , позволят прямо представить результаты измерения  $S_{ij}$  в полярных координатах. Эти координаты используются для представления толь-

ко результатов измерений  $|S_{11}|$  и  $|S_{22}|$ , причем формой представления выбрана диаграмма Смита.

Общим случаем является представление результатов измерений любого S-параметра в декартовых координатах с помощью АЧХ и ФЧХ. Для этого к результатам измерений  $\text{Re}(S_{ij})$  и  $\text{Im}(S_{ij})$  необходимо применить подпрограмму преобразования координат. В режиме измерения S-параметров эта подпрограмма реализует общеизвестный алгоритм

$$|S_x| = \sqrt{\text{Re}_{S_x}^2 + \text{Im}_{S_x}^2},$$
$$\varphi_x = \text{arctg} \frac{\text{Im}_{S_x}}{\text{Re}_{S_x}},$$

а для режима настройки разработан специальный упрощенный алгоритм, также ориентированный на максимальную скорость воспроизведения АЧХ и ФЧХ контролируемого S-параметра.

Дополнительными возможностями при измерении S-параметров являются вычисление КСВН

$$K_{\text{КСВН}} = (1 + |S_x|) / (1 - |S_x|),$$

отражения двухполюсника  $\Gamma_x$ ,  $S_{11}$  или  $S_{22}$ , а также вычисление

$$K_{21(12)} = 20 \cdot \lg |S_{21(12)}|, \text{ дБ},$$

позволяющее оценить затухание пассивных и усиление активных четырехполюсников в децибелах.

Значения S-параметров могут быть отсчитаны на любой частоте в пределах диапазона рабочих частот ИС с помощью курсора. Одновременно указывается и значение частоты измерения, устанавливаемой с погрешностью, регламентируемой подразд. 2.2. Кроме того, с помощью клавиатуры персонального компьютера может быть введен желаемый частотный интервал, создающий дополнительную координатную сетку при распечатке графиков или позволяющий распечатать результаты измерений в форме таблицы.

Для режима настройки предусматривается возможность введения максимального и минимального значений контролируемого S-параметра (либо только одного из них в соответствии с требованиями к объекту измерения). Они воспроизводятся на дисплее в виде горизонтальных линий и образуют зоны, в которых должны размещаться по окончании регулировки изображения АЧХ и ФЧХ контролируемого S-параметра. Дополнительной особенностью этого режима является автоматическое воспроизведение АЧХ и ФЧХ синхронно с качанием частоты ГКЧ. Все это облегчает процесс регулировки объекта измерения. Количественных измерений с помощью курсора в этом режиме не производится.

#### 2.4 Блок векторного анализа

Блок векторного анализа конструктивно объединяет измерительный СВЧ-тракт, генератор модулирующих напряжений (ГМН), устройство обработки измерительной информации (УОИИ) и блок питания (ЕЛ) (рисунок 2.4).

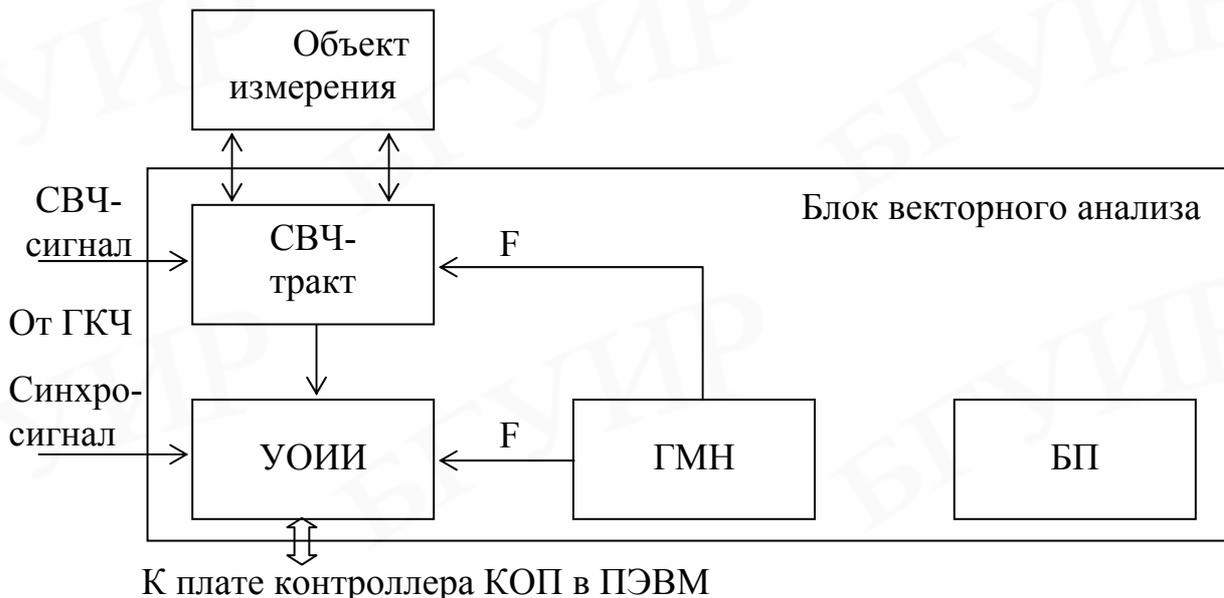


Рисунок 2.4 – Структурная схема блока векторного анализатора

Внешние связи блока осуществляются с помощью интерфейсного кабеля (информационный и управляющий сигналы от ПЭВМ) и кабеля, по которому синхросигнал подается от ГКЧ в УОИИ. Внешний вид передней панели блока векторного анализа приведен на рисунке 2.5.

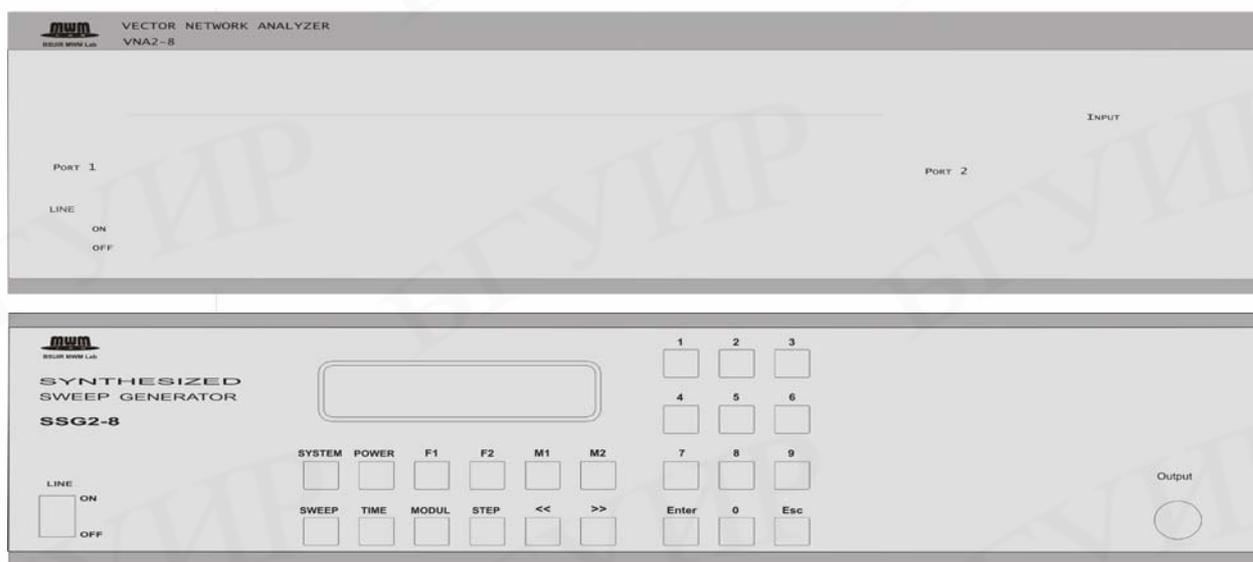


Рисунок 2.5 – Внешний вид панели VNA2-8

## 2.5 Измерительный СВЧ-тракт

Обеспечение автоматизации измерения всех  $S$ -параметров без переориентации объекта измерения обеспечивается кольцевой структурой СВЧ-тракта, позволяющей наиболее просто организовать распространение измерительных СВЧ-сигналов во взаимоположенных направлениях.

Кольцевая структура измерительного СВЧ-тракта при измерении параметров двухполюсников позволяет организовать одновременное измерение коэффициентов отражения двух двухполюсников, а при измерении параметров четырехполюсников обеспечивается автоматическое измерение всех че-

тырех его  $S$ -параметров: коэффициентов отражения входа  $|S_{11}|$  и выхода  $|S_{22}|$  и коэффициентов передачи в прямом  $|S_{21}|$  и обратном  $|S_{12}|$  направлениях.

Структурная схема кольцевого измерительного СВЧ-тракта с объектом измерения  $S_x$  показана на рисунке 2.6.

Как видно из рисунка 2.6, выходной сигнал ГКЧ с помощью измерительного моста МЗ делится на опорный и измерительный сигналы, которые распространяются соответственно по опорному и измерительному каналам.

Измерительный канал является кольцевым и начинается СВЧ-усилителем, который одновременно производит увеличение уровня измерительного сигнала и исключает взаимное проникновение паразитных сигналов из опорного канала в измерительный и обратно.

Выходной сигнал СВЧ-усилителя модулируется балансным модулятором (БМ) и поступает на СВЧ-переключатель П2 с двумя позиционными состояниями (1 и 2). Положение 1 переключателя П2 соответствует режиму измерения  $S_{11}$  и  $S_{21}$ , а положение 2 – режиму измерения  $S_{22}$  и  $S_{12}$ .

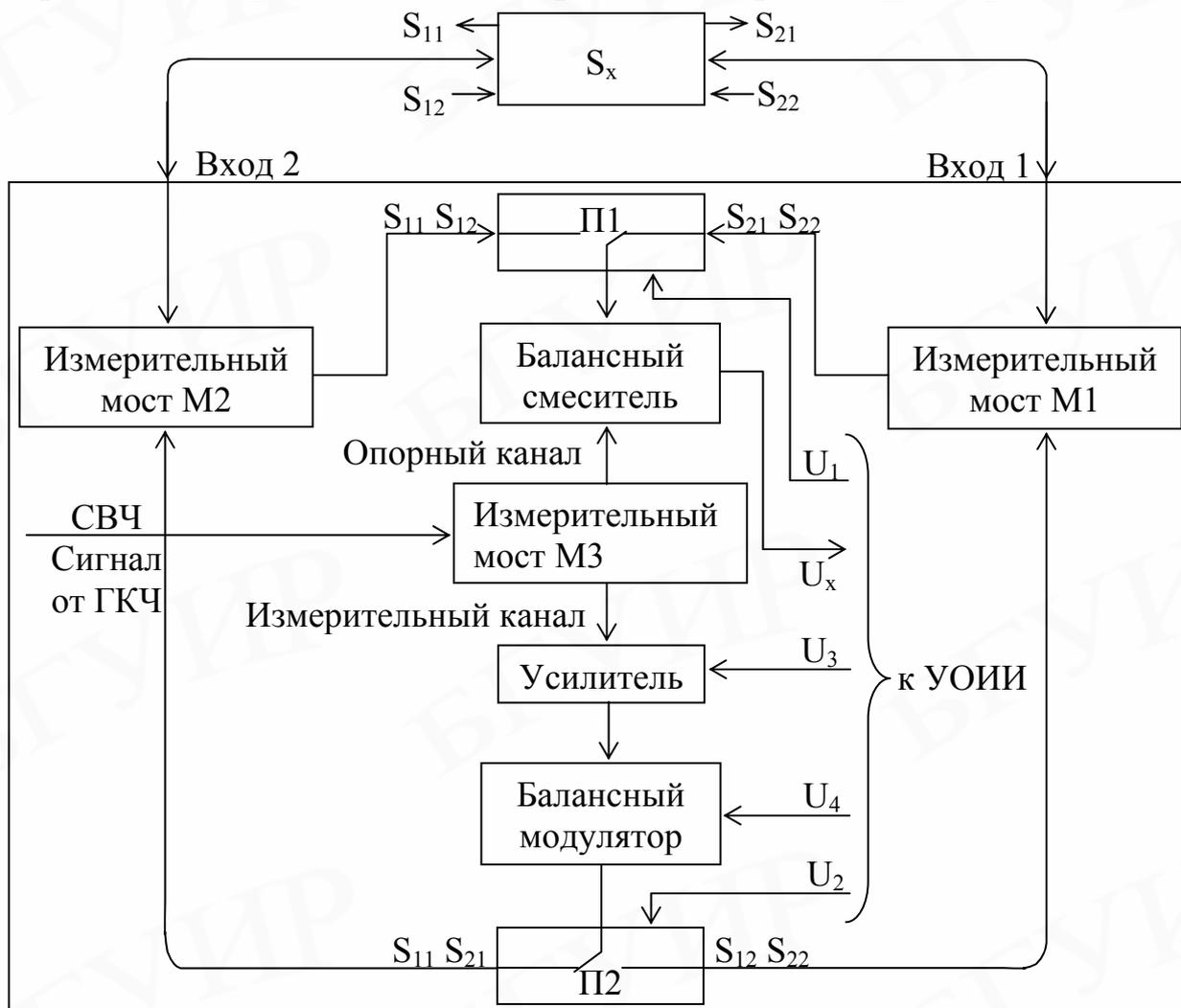


Рисунок 2.6 – Структурная схема измерительного СВЧ-тракта

В зависимости от положения переключателя П2 СВЧ-сигнал через измерительный СВЧ-мост М1 или М2 поступает на входной разъем объекта измерения. (Выходы каналов М1 и М2 являются входами 1 и 2 блока векторного анализа и служат для подключения объектов измерения).

Прошедший через объект измерения или отраженный от него сигнал измерительной информации поступает в зависимости от положения переключателя П2 на входы измерительных мостов М1 или М2. С выходов измерительных СВЧ-мостов сигналы измерительной информации поступают на СВЧ-переключатель П1, который по аналогии с переключателем П2 также имеет два положения. Положение 1 соответствует режиму измерения параметров  $S_{11}$  и  $S_{12}$ , а положение 2 –  $S_{21}$  и  $S_{22}$ .

Один из сигналов измерительной информации, соответствующий  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ , с выхода переключателя П1 поступает на измерительный вход балансного смесителя (БСМ). На гетеродинный вход балансного смесителя поступает СВЧ-сигнал опорного канала, промодулированный балансным модулятором (БМ).

Низкочастотный измерительный сигнал с выхода БСМ ( $U_x$ ) поступает в УОИИ, которое осуществляет выработку следующих управляющих сигналов:

- U1 – для управления работой переключателя П1;
- U2 – для управления работой переключателя П2;
- U3 – напряжение питания СВЧ-усилителя;
- U4 – напряжение частоты F для балансного модулятора.

## 2.6 Устройство обработки измерительной информации

Структурная схема устройства обработки измерительной информации приведена на рисунке 2.7. Низкочастотный сигнал с выхода БСМ поступает на вход предварительного усилителя (ПУ), который осуществляет согласование БСМ с УОИИ и первичное усиление сигнала измерительной информации. После ПУ сигнал поступает на активный полосовой фильтр (ПФ), служащий для избирательного усиления полезного измерительного сигнала частоты F. Полоса пропускания ПФ равна 3 кГц. Усилитель логарифмический (УЛ) служит для компрессии входного напряжения детектора (Д) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Компрессия необходима для обеспечения функционирования Д и АЦП в пределах большого динамического диапазона изменения измерительного сигнала (100 дБ по напряжению).

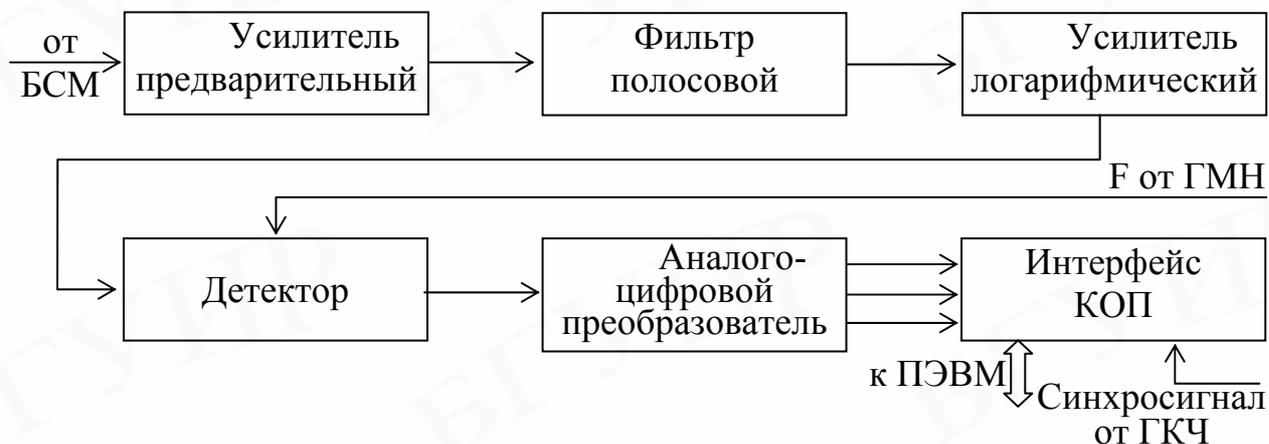


Рисунок 2.7 – Структурная схема устройства обработки измерительной информации (УОИИ)

Детектор выполняет преобразование измерительного сигнала в напряжение постоянного тока с учетом его знака.

Аналого-цифровой преобразователь представляет собой двенадцатиразрядное устройство интегрирующего типа. Время преобразования АЦП – 80 мкс.

Интерфейс канала общего пользования (КОП) является специализированным устройством, предназначенным для обработки и посылки в ЭВМ 256 посылок, состоящих из 9 слов. Количество посылок (256) определяется типом используемого ГКЧ.

## 2.7 Генератор модулирующего напряжения

Генератор модулирующего напряжения (ГМН) представляет собой задающий кварцевый генератор (24 МГц) и делитель частоты с коэффициентом деления, равным 240. Частота  $F$  выходного сигнала 100 кГц.

ГМН содержит выходной формирующий усилитель управляющих напряжений для БМ и согласующие устройства.

### Контрольные вопросы

1 Какими параметрами характеризуются измеряемые СВЧ-двухполюсники? Дайте им определение и поясните их физический смысл.

2 Какими параметрами характеризуются измеряемые СВЧ-четырёхполюсники? Дайте им определение и поясните их физический смысл.

3 Приведите матрицу  $S$ -параметров и охарактеризуйте каждый ее элемент.

4 Дайте определение измерительной системы и поясните ее устройство и принцип действия.

5 Дайте определение информационно-измерительной системы и поясните ее устройство и принцип действия.

6 Дайте определение измерительно-вычислительного комплекса и поясните его устройство и принцип действия.

7 На чем основан принцип действия измерительной системы VNA2-8?

8 Опишите методику калибровки векторного анализатора цепей на примере измерительной системы VNA2-8.

9 Опишите методику выполнения измерений параметров двухполюсников.

10 Опишите методику выполнения измерений параметров четырехполюсников.

11 Опишите методику выполнения настройки двухполюсников и ее отличие от методики выполнения измерений.

12 Приведите структурную схему и опишите принцип действия блока векторного анализа ИС VNA2-8.

13 Приведите структурную схему и опишите принцип действия СВЧ-измерительного тракта ИС VNA2-8.

14 Приведите структурную схему и опишите принцип действия устройства обработки измерительной информации (УСИИ) блока векторного анализа ИС VNA2-8.

## Литература

- 1 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001.
- 2 Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: структуры и алгоритмы, схемотехническое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 439 с.: ил.
- 3 Харт Х. Введение в измерительную технику. – М.: Мир, 1999. – 383 с.: ил.
- 4 Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Измерительная техника: Учеб. пособие для техн. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.: ил.
- 5 ГОСТ 22317-77. Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие требования к комплексам нормируемых характеристик.
- 6 Науман Г., Майлинг В., Щербина А. Стандартные интерфейсы для измерительной техники / Пер. с нем. – М., 1982.
- 7 Интерфейс для программируемых приборов в системах автоматизации эксперимента / Н.И. Гореликов, А.Н. Домарацкий, С.Н. Домарацкий и др. – М.: Наука, 1981. – 262 с.
- 8 ГОСТ 26.003-80. Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информации.
- 9 СТ СЭВ 4919-84. Система КАМАК. Требования к крейту и вставным блокам. 1986. Введ. 01.07.86.
- 10 Титаренко С.П., Черепашук Г.А. Применение технических средств КАМАК для реализации АСУ ТП и АСК: Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990.
- 11 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения: Учеб. для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1986. – 320 с.: ил.
- 12 Мирский В.Я. Электронные измерения. – М., 1986.
- 13 Измерение в электронике: Справ. / Под ред. проф. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 14 Гришукевич И.Е., Гусинский А.В., Ляльков С.В. Информационно-измерительные системы: структуры и алгоритмы, схемотехническое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 439 с.: ил.

Учебное издание

**Гусинский Александр Владимирович,  
Кострикин Анатолий Михайлович,  
Ворошень Алексей Владимирович и др.**

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

Учебное пособие

по практическим занятиям  
для студентов метрологических  
и радиотехнических специальностей  
всех форм обучения

В 2-х частях  
Часть 1

Редактор Т.А. Лейко  
Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 2.12.2003.  
Печать ризографическая.  
Уч.-изд. л. 2,2.

Формат 60x84 1/16.  
Гарнитура «Таймс».  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 2,56.  
Заказ 223.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.  
220013, Минск, П. Бровки, 6.