

Министерство науки и высшего образования российской федерации

Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина

А.А. МИХЕЕВ

**МНОГОКАНАЛЬНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ**

Учебное пособие

*РЕКОМЕНДОВАНО
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ СОВЕТОМ ФГБОУ ВО
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Ф. УТКИНА»
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ОЧНОЙ, ОЧНО-ЗАОЧНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
09.03.02 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»,
И СПЕЦИАЛЬНОСТИ
24.05.06 «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ»,
СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ
«ПРИБОРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»*

Рязань 2023

УДК 621.398 (075.8)

Многоканальные информационно-измерительные системы. Принципы построения: учеб. пособие /А.А. Михеев. Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2023. 100 с.

ISBN: 978-5-7722-xxxx-x

Изложены вопросы, связанные с построением многоканальных информационно-измерительных систем, рациональной организацией опроса измерительных каналов, реализацией отдельных блоков, осуществляющих преобразование измерительных сигналов в процессе их сбора, передачи и приема. Предназначено для изучения дисциплины «Информационно-измерительные системы» студентами очной, очно-заочной и заочной форм обучения по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» и специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами», специализация «Приборы систем управления летательных аппаратов».

Табл. 2. Ил. 40. Библиогр.: 26 назв.

Информационно-измерительная система, дискретизация, теорема В. А. Котельникова, период опроса, коммутатор каналов, амплитудно-импульсная модуляция, широтно-импульсная модуляция, кадровая синхронизация, поток отсчетов, пропускная способность, относительный период, подмножества чисел, линейная интерполяция, фильтр нижних частот, ключевое устройство

Печатается по решению научно-методического совета Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры основ радиотехники ФБГОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ» Т.В. Истомина, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем управления Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина В.В. Карасев.

ISBN: 978-5-7722-xxxx-x

© Рязанский государственный
радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Основные термины и определения.	6
Контрольные вопросы	9
2. Принципы разделения измерительных каналов	9
2.1. Обобщенная структурная схема многоканальной информационно-измерительной системы	9
2.2. Линейное разделение каналов	14
2.3. Принцип частотного разделения каналов.	16
2.4. Принцип временного разделения каналов	20
2.4.1. Теорема В.А. Котельникова	20
2.4.2. Обобщенная структурная схема многоканальной системы с временным разделением каналов	21
2.4.3. Необходимость синхронизации передающей и приемной сторон многоканальной информационно-измерительной системы ...	23
2.4.4. Дополнительные преобразования дискретных отсчетов	25
Контрольные вопросы	28
3. Сравнение многоканальных информационно-измерительных систем с частотным и временным разделением каналов	29
3.1. Информационно-измерительные системы с частотным разделением каналов	29
3.2. Информационно-измерительные системы с временным разделением каналов	33
Контрольные вопросы	36
4. Информационное обслуживание объектов контроля и исследования	36
4.1. Режимы информационного обслуживания.	37
4.2. Коммутация измерительных каналов с разными частотами опроса .	41
4.2.1. Запараллеливание коммутируемых цепей	43
4.2.2. Изменение графика работы распределителя импульсов	44
4.2.3. Программная реализация сигналов опроса	46
4.3. Многоступенчатая коммутация измерительных цепей	47
4.3.1. Последовательный опрос локальных коммутаторов каналов ...	51
4.3.2. Поочередный опрос локальных коммутаторов каналов	52
4.4. Организация опроса датчиков с разными периодами опроса	54
4.4.1. Достижимое число разных периодов опроса	55
4.4.2. Условие совместной реализуемости разных периодов опроса ..	60

4.4.3. Число разных периодов опроса, реализуемых совместно с заданным периодом опроса	64
4.4.4. Рациональная организация структуры кадра многоканальной информационно-измерительной системы.	66
Контрольные вопросы	70
5. Ключевые устройства коммутаторов каналов	71
5.1. Типы ключевых устройств	71
5.2. Схемотехническая реализация ключевых устройств	73
Контрольные вопросы	76
6. Погрешности информационно-измерительных систем	76
6.1. Погрешности, вносимые ключевыми устройствами	77
6.2. Погрешности восстановления непрерывных сигналов	82
Контрольные вопросы	84
7. Погрешности информационно-измерительных систем	84
7.1. Погрешности, вносимые ключевыми устройствами	87
7.2. Погрешности восстановления непрерывных сигналов по дискретным отсчетам интерполяционным способом	91
7.3. Шумовые погрешности	93
7.3.1. Амплитудно-импульсная модуляция	94
7.3.2. Широтно-импульсная модуляция	95
7.3.3. Широтно-импульсная модуляция	96
7.3.4. Кодово-импульсная модуляция	97
Контрольные вопросы	99
Библиографический список	99

Введение

Развитие производства, научные открытия, разработка и эксплуатация современных технических объектов невозможны без измерения большого числа физических величин: электрических, механических, химических и т.п. Ни одно экспериментальное исследование, ни один процесс производства не могут обойтись без соответствующих измерений, без того, что называется измерительной информацией (см. определение ниже). Усложнение технических объектов (авиационная и космическая техника) приводит к необходимости получения при их испытаниях информации о сотнях измеряемых величин. Эти величины могут быть как однородные (например, температурные поля или напряженно-деформируемые состояния элементов конструкции объекта), так и разнородные (совокупность названных выше физических величин, пространственные отклонения летательного аппарата от заданного курса, давление в топливных баках и т.п.) [1, 2, 3].

Использование для измерения большого количества параметров отдельных измерительных приборов ограничивается следующими обстоятельствами:

- не всегда возможно разместить большое число измерительных приборов на объекте контроля (например, на летательном аппарате) из-за жестких ограничений на габариты и массу измерительной аппаратуры;
- показаниями множества измерительных приборов трудно будет пользоваться, так как получение всего объема измерительной информации необходимо выполнить за ограниченное время, и человек-оператор в силу физиологических ограничений не сможет это сделать.

Современная измерительная техника, предназначенная для использования в описанных выше случаях, наряду с измерениями должна обеспечивать информационное обслуживание исследуемого объекта. **Информационное обслуживание предполагает** автоматический сбор, представление, доставку, запоминание, регистрацию, отображение, обработку и анализ полученной в результате отдельных измерений измерительной информации. Необходимость решения этих задач потребовала создания нового класса средств измерения – многоканальных информационно-измерительная система (ИИС), предназначенных для автоматического сбора и обработки измерительной информации [1].

В ряде случаев исследуемый объект и аппаратура обработки измерительной информации могут быть разделены значительными расстояниями, например при летных испытаниях авиационной техники, при

космических исследованиях. Возможны ситуации, когда из-за опасных условий проведения эксперимента или вредности технологического процесса участие человека-оператора становится недопустимым. В таких случаях информационно-измерительные системы являются телеизмерительными системами. Используется также термин телеметрические системы, телеметрия. Последнее понятие более широкое. Стандарт [4] раскрывает понятие «телеметрия» следующим образом: **телеметрия** – область науки и техники, занимающаяся вопросами разработки и эксплуатации комплекса автоматизированных средств, обеспечивающих получение, преобразование, передачу по каналу связи, прием, обработку и регистрацию измерительной информации о событиях с целью контроля на расстоянии состояния и функционирования технических и биологических систем различных объектов и изучения явлений природы. Если в качестве канала связи используют радиоканал, то телеметрию называют радиотелеметрией.

Помимо упомянутых выше отраслей промышленности информационно-измерительные системы используются в настоящее время практически во всех отраслях народного хозяйства: в газовой, атомной и химической промышленности, в метеорологии и геофизике, в медицине и т.п. У каждой области применения ИИС имеется своя специфика, которая должна быть учтена при разработке конкретных информационно-измерительных систем.

В данном учебном пособии рассмотрены общие принципы построения многоканальных информационно-измерительных систем.

1. Основные термины и определения

Государственный стандарт [5] дает следующее определение информационно-измерительной системе (ИИС): **измерительная информационная система** — совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях представления потребителю (в том числе ввода в АСУ) в требуемом виде либо автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностирования, идентификации (распознавания образцов).

Это определение ИИС соответствует всем признакам философского понятия «система», не зависящего от ее физической природы:

СИСТЕМА (от греч. σύστημα – целое, составленное из частей, соединение) – совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определенную целостность, единство для выполнения заданной функции.

Приведенное выше определение ИИС является обобщающим понятием, объединяющим системы измерения, контроля, диагностики, идентификации.

В данном учебном пособии будем рассматривать ИИС как **измерительные системы**.

В соответствии с государственным стандартом [6] **измерительная система** – это совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих измерительные каналы, и вспомогательных устройств (компонентов измерительной системы), функционирующих как единое целое, предназначенная для:

- получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований **в общем случае множества** изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин, характеризующих это состояние;
- машинной обработки результатов измерений;
- регистрации и индикации результатов измерений и результатов их машинной обработки;
- преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях.

Измерительные системы (ИС) обладают основными признаками средств измерений и являются их разновидностью. В соответствии со стандартом [7] **средства измерения** – это технические средства, применяемые для измерений и имеющие нормированные метрологические характеристики. Этот же стандарт [7] определяет **измерение** как **нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств**.

Развитие понятия «измерение» приведено в руководящих материалах[8]: **измерение (величины) – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине**.

Метрологические характеристики средства измерений – характеристики свойств средства измерений, оказывающих влияние на результаты и погрешности измерений, предназначенные для оценки технического уровня и качества средства измерений, для определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений [9].

Измерительная система устанавливает соответствие между измеряемой физической величиной и мерой [10].

В соответствии с [7] **значение физической величины** - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц; **мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера; **измерительная информация** – это информация о значениях измеряемых физических величин, которая может быть представлена совокупностью масштабированных чисел, сопоставимых с единицами измерений определенных физических величин;

сигнал измерительной информации – сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной.

Основные термины и определения, связанные с измерительными системами приведены в [6].

Измерительный канал измерительной системы – это конструктивно или функционально выделяемая часть ИС, выполняющая законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата ее измерений, выражаемого числом или соответствующим ему кодом, или до получения аналогового сигнала, один из параметров которого — функция измеряемой величины.

Компонент измерительной системы – это входящее в состав ИС техническое устройство, выполняющее одну из функций, предусмотренных процессом измерений.

В соответствии с этими функциями компоненты подразделяют на измерительные, связующие, вычислительные, комплексные и вспомогательные.

Измерительный компонент измерительной системы – это средство измерений, для которого отдельно нормированы метрологические характеристики, например измерительный прибор, измерительный преобразователь, мера.

Связующий компонент измерительной системы - это техническое устройство или часть окружающей среды, предназначенное или используемое для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента ИС к другому (проводная линия связи, радиоканал, телефонная линия связи, высоковольтная линия электропередачи с соответствующей каналообразующей аппаратурой, а также переходные устройства – клеммные колодки, кабельные разъемы и т. п.).

Вычислительный компонент измерительной системы – это цифровое вычислительное устройство (или его часть) с программным обеспечением,

выполняющее вычисления результатов измерений (выражаемых числом или соответствующим ему кодом) по результатам первичных измерительных преобразований в ИС, а также логические операции и управление работой ИС.

Вспомогательный компонент измерительной системы – это техническое устройство (блок питания, система вентиляции устройства, обеспечивающие удобство управления и эксплуатации ИС и т. п.), обеспечивающее нормальное функционирование ИС, но не участвующее непосредственно в измерительных преобразованиях.

Контрольные вопросы

1. Каковы причины необходимости многоканальных информационно-измерительных систем (ИИС)?
2. В каких случаях информационно-измерительные системы являются телеизмерительными системами?
3. Дайте определение информационно-измерительной системе.
4. Какие функции выполняет информационно-измерительная система?
5. Что такое измерительный канал многоканальной информационно-измерительной системы?
6. Перечислите компоненты информационно-измерительной системы и поясните их назначение.

2. Принципы разделения измерительных каналов

Выше было отмечено, что в дальнейшем будем рассматривать одну из разновидностей информационно-измерительных систем – многоканальные измерительные системы.

2.1. Обобщенная структурная схема многоканальной ИС

Исходя из приведенных выше определений измерительных систем и выполняемых ими функций, упрощенную структурную схему многоканальной ИС можно представить в виде (рис. 2.1):

Датчики $D_1, D_2, \dots, D_N$, (N – число точек, в которых проводят измерения) размещаются на объекте контроля или исследования.

Датчик – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Под воздействием неэлектрических измеряемых величин изменяется какой-либо параметр датчика, называемый **информативным параметром**. Благодаря изменению информативного параметра возможно преобразование изменения неэлектрической величины в электрический сигнал. Приведем несколько примеров датчиков, принцип действия которых основан на изменении активного сопротивления. Такие датчики называются резистивными.

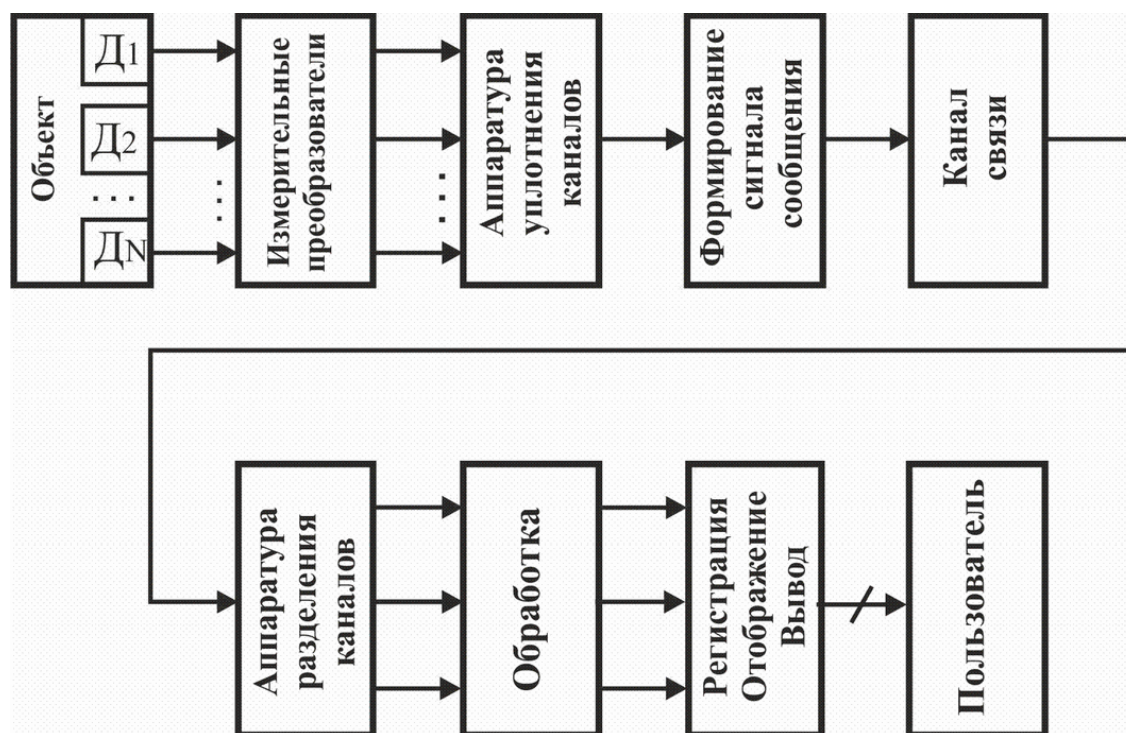


Рис. 2.1. Обобщенная структурная схема многоканальной измерительной

Тензорезистор

Тензорезистор представляет собой проволоку малого диаметра из высокоомного материала (например, константана), закрепленную соответствующим образом на диэлектрической подложке. Тензорезисторы используются для измерения механических напряжений в элементах конструкции технического устройства, например лопатки турбины, лопасти авиационных винтов, стенки сосуда, находящегося под высоким давлением. Тензорезистор жестко закрепляется (приклеивается) в точке конструктивного элемента, подлежащей контролю. Информативным параметром тензорезистора является его сопротивление. При растяжении или сжатии элемента конструкции происходит такое же растяжение или сжатие проволоки тензорезистора. В соответствии с известным соотношением, связывающим значение сопротивления отрезка проволоки с длиной этого отрезка, площадью

поперечного сечения и удельным сопротивлением материала проволоки, сопротивление тензорезистора при растяжении увеличивается, а при сжатии уменьшается. Если через тензорезистор пропустить ток, то в соответствии с законом Ома изменения сопротивления тензорезистора можно преобразовать в электрический сигнал, а именно в изменение падения напряжения на тензорезисторе. Тензорезистор также может использоваться в качестве чувствительного элемента в манометрах.

Терморезистор

Если терморезисторы используются для измерения температуры поверхностей элементов конструкции технических устройств, то по виду они похожи на тензорезисторы, но выполняются из проволоки, материал которой имеет по возможности большой температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Например, для никеля $TKC = 5,39 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, для меди $TKC = 4,28 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. При нагревании или охлаждении терморезистора вместе с элементом конструкции его сопротивление увеличивается или уменьшается. Процесс преобразования изменения сопротивления в изменение падения напряжения на нем происходит так же, как и для тензорезистора.

Тензорезисторы и терморезисторы относятся к резистивным датчикам, представляющими собой активное сопротивление.

Измерительные преобразователи

В измерительных преобразователях (ИП) (рис. 2.1) происходит преобразование значения измеряемой физической величины в сигнал измерительной информации в форме, удобной для дальнейшего преобразования, обработки, передачи, хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем [7]. Такой формой измерительного сигнала является электрический сигнал.

На рис. 2.2 показан возможный вариант схемы измерительного преобразователя, частью которого является тензорезистор.

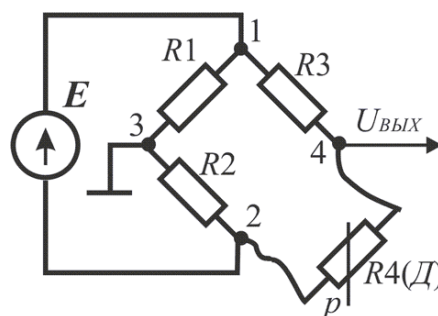


Рис. 2.2. Измерительный преобразователь с резистивным датчиком

Схема выполнена на основе моста Уитстона. Датчиком (D) является резистор R_4 , включенный в одно из плеч моста. Линия, пересекающая резистор, в соответствии со стандартом [11] означает функциональную зависимость его сопротивления от какой-либо физической величины. На рис. 2.2 показано условное графическое обозначение тензорезистора (символ p означает давление). Для обозначения терморезистора возле косой черты ставится символ t^0 .

К точкам 1 и 2, образующими диагональ питания, подключается источник питания (на рис. 2 это источник ЭДС E). Диагональ между точками 3 и 4 является измерительной. Если точка 3 подключена к общему проводу, то с точки 4 снимается измерительный сигнал. Если $R_1=R_2$ и $R_3=R_4$, где R_4 – тензорезистор или терморезистор, то мост будет сбалансирован, т.е. разность потенциалов между точками 4 и 3 $U_{ВЫХ}=0$. При изменении сопротивления R_4 баланс моста нарушается, на выходе измерительного преобразователя (точка 4) появляется сигнал $U_{ВЫХ} = \frac{E}{4} \frac{\Delta R_4}{R_4}$, где ΔR_4 – изменение сопротивления датчика, пропорциональное изменению значения измеряемой физической величины.

Возможны и другие варианты измерительных преобразователей для резистивных датчиков, в которых процесс преобразования изменения значения физической величины в электрический сигнал совмещен с процессом уплотнения измерительных каналов [12].

Аппаратура уплотнения

Для обеспечения возможности одновременной передачи измерительных сигналов от многих измерительных преобразователей по одному каналу связи к центрам обработки измерительных сигналов и принятия соответствующих решений в многоканальных измерительных системах должно быть аппаратура уплотнения каналов. В литературе используется также термин «разделение каналов».

Электрические сигналы с выходов ИП преобразуются в групповой сигнал. Это позволяет, кроме передачи всех измерительных сигналов по одному общему каналу связи, осуществлять дальнейшие преобразования всех измерительных сигналов одним устройством (например, кодирование измерительных сигналов).

Формирование сигнала сообщения

Аппаратура формирования сигнала сообщения предназначена для представления этого сигнала в виде, обеспечивающим передачу по имеющемуся каналу связи. Помимо этого возможно преобразование сигнала, направленное на повышение его помехоустойчивости при передаче к приемной аппаратуре.

Описанные выше блоки часто объединяют понятием «передающая часть многоканальной ИИС». Используется также термин «бортовая аппаратура».

Канал связи

Канал связи представляет собой совокупность технических средств служащих для передачи сообщения от передающей (бортовой) аппаратуры к приемной аппаратуре. К таким средствам относятся передающее устройство (относится к бортовой аппаратуре), приемное устройство (относится к приемной аппаратуре) и линия связи. В зависимости от взаимного расположения передающей и приемной частей ИИС и их удаления друг от друга линия связи может быть проводная (витая пара, кабельная, оптоволоконная) или бесконтактная. В последнем случае линия связи может быть выполнена как радиолиния или как близкорасположенные индуктивно связанные контуры, например, для передачи информации с вращающихся узлов и механизмов [12].

В состав приемной части входят также следующие блоки.

Аппаратура разделения каналов

Принятый по общему каналу связи групповой сигнал необходимо разделить на сигналы отдельных измерительных каналов для их дальнейшей обработки.

Обработка

Выделенные из группового сигнала каналные измерительные сигналы поступают в аппаратуру обработки, где могут быть выполнены следующие операции:

- приведение (восстановление) принятых сигналов к исходному непрерывному виду (как на выходах измерительных преобразователей). В системах с частотным разделением каналов эта операция осуществляется путем демодуляции, в системах с временным разделением каналов путем интерполяции или низкочастотной фильтрации;
- ослабление помех, присутствующих в принятом канальном сигнале;
- математическая обработка с целью определения характерных особенностей принятых сигналов, компенсации нелинейности и изменения коэффициента передачи группового тракта многоканальной системы;
- анализ соответствия состояния объекта контроля заданным характеристикам.

Регистрация, отображение, вывод

Обработанные каналные измерительные сигналы регистрируются на каком-либо носителе, поступают на устройства отображения индивидуального

и (или) коллективного пользования, используются для формирования управляющих воздействий в случае применения ИИС в качестве звена обратной связи в информационно-управляющих системах.

Пользователь

В соответствии с функциями измерительной системы результаты измерений преобразуются, в конце концов, в выходные сигналы системы, используемые в разных целях. Если пользователь человек (оператор), то результаты измерений представляются в таком виде, чтобы человек мог на основании полученных результатов принять соответствующее адекватное решение. Если пользователь – техническое устройство, например информационно-управляющая система, то результаты измерений обеспечивают формирование сигналов управления параметрами объекта контроля для удержания их в заданных пределах (например, обеспечение полета летательного аппарата по заданной траектории).

2.2. Линейное разделение каналов

Для обеспечения линейного разделение измерительных каналов в качестве канальных сигналов, переносчиков информации, следует использовать линейно независимые неортогональные функции или линейно независимые ортогональные функции [13].

Линейная независимость функций определяются теоремой Грама: «Чтобы функции $f_1(t)$, $f_2(t)$, . . . , $f_n(t)$, заданные на отрезке $0 \leq t \leq T$, были линейно независимыми, необходимо и достаточно, чтобы был отличен от нуля определитель матрицы, элементы a_{ij} которой вычислены с помощью выражения

$$a_{ij} = \int_0^T f_i(t) f_j(t) dt. \quad (2.1)$$

Это условие можно записать в виде определителя Грама

$$G[f_1(t), f_2(t), \dots, f_N(t)] = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{vmatrix} \neq 0. \quad (2.2)$$

Условие линейной независимости функций также выполняется, если равенство

$$c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) + \dots + c_N f_N(t) = 0 \quad (2.3)$$

возможно лишь при $c_1 = c_2 = \dots = c_N = 0$.

Рассмотрим примеры линейно независимых функций, удовлетворяющих теореме Грама.

Линейно независимые неортогональные функции

Линейно независимыми неортогональными функциями являются экспоненциальные функции $e^{-\frac{t}{\tau_1}}, e^{-\frac{t}{\tau_2}}, \dots, e^{-\frac{t}{\tau_N}}$ при $\tau_1 \neq \tau_2 \neq \dots \neq \tau_N$, где τ_i – постоянные времени экспонент.

Рассмотрим две экспоненциальные функции: $e^{-\frac{t}{\tau_1}}, e^{-\frac{t}{\tau_2}}$, $\tau_2 > \tau_1$. Из законов электротехники следует, что экспоненциальный процесс можно считать практически завершенным через время $T = 5\tau$. Подставим описание экспоненциальных функций в (2.3)

$$c_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + c_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} = 0. \quad (2.4)$$

Равенство (2.4) для всех значений $0 \leq t \leq T$ может быть выполнено только при $c_1 = 0$ и $c_2 = 0$, следовательно экспоненты с разными постоянными времени являются линейно независимыми функциями.

Линейно независимые ортогональные функции

Чтобы функции были ортогональными на отрезке длиной T , необходимо выполнение следующего условия:

$$\int_0^T f_i(t) f_j(t) dt = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ E, & i = j \end{cases}. \quad (2.5)$$

Величина E физически соответствует энергии сигнала.

Гармонические колебания

Линейно независимыми ортогональными функциями являются синусоидальные и косинусоидальные тригонометрические функции.

Рассмотрим два косинусоидальных колебаний: $\cos(2\pi F_i t)$ и $\cos(2\pi F_j t)$, где $F_i < F_j$. Проверим выполнение условия (2.5), проинтегрировав произведение функций на интервале времени, равном периоду самой низкочастотной функции $T = 1/F_i$.

Воспользуемся справочным значением неопределенного интеграла от произведения тригонометрических функций [14]:

$$\int \cos(mx) \cos(nx) dx = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin[(m+n)x]}{m+n} + \frac{\sin[(m-n)x]}{m-n} \right\}.$$

Применительно к рассматриваемым электрическим колебаниям косинусоидальной формы $n=2\pi F_i$, $m=2\pi F_j$, $x=t$. Чтобы данный интеграл был равен нулю на интервале от 0 до T , необходимо выполнение условий:

$$2\pi(F_i + F_j) \frac{1}{F_i} = 2k\pi \text{ и } 2\pi(F_j - F_i) \frac{1}{F_i} = 2k\pi, \text{ где } k=1, 2, \dots$$

Учитывая, что $F_j > F_i$ и $T=1/F_i$, из второго условия определим соотношение частот, при которых косинусоидальные колебания будут ортогональными,

$$F_k = F_i(k+1). \quad (2.6)$$

При выполнении условия (2.6) будут также ортогональны и синусоидальные колебания.

Импульсные колебания, неперекрывающиеся по времени

Рассмотрим две последовательности прямоугольных импульсов, следующих с периодом T и сдвинутых относительно друг друга на интервал времени, равный длительности импульса τ (рис. 2.3).

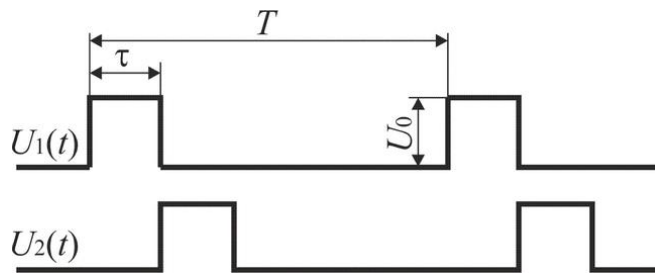


Рис. 2.3. Последовательности прямоугольных импульсов

Очевидно, что результат перемножения не перекрывающихся по времени импульсных сигналов будет равен нулю, и условие (2.5) будет выполняться. Таким образом, такие сигналы можно использовать в качестве канальных переносчиков измерительной информации в многоканальных измерительных системах.

2.3. Принцип частотного разделения каналов

При частотном разделении каналов каждому сигналу сообщения отводится своя полоса частот на оси частот, такая, что бы спектры разных канальных сигналов не пересекались. Перенос спектров $S_i(f)$ сигналов сообщений (рис. 2.4,а) в более высокочастотную область (рис. 2.4,б) осуществляется при модуляции сигналом сообщения более высокочастотного сигнала (сигнала-

переносчика сообщений), называемого поднесущим колебанием или поднесущей.

В качестве поднесущих используются гармонические колебания вида

$$U_i(t) = U_{0i} \cos(2\pi F_{0i}t + \varphi_{0i}), \quad (2.7)$$

где $i=1, 2, \dots, N$, N – число каналов, подлежащих уплотнению;

U_{0i} – амплитуда немодулированного колебания;

F_{0i} – частота поднесущего колебания;

φ_{0i} – начальная фаза поднесущего колебания.

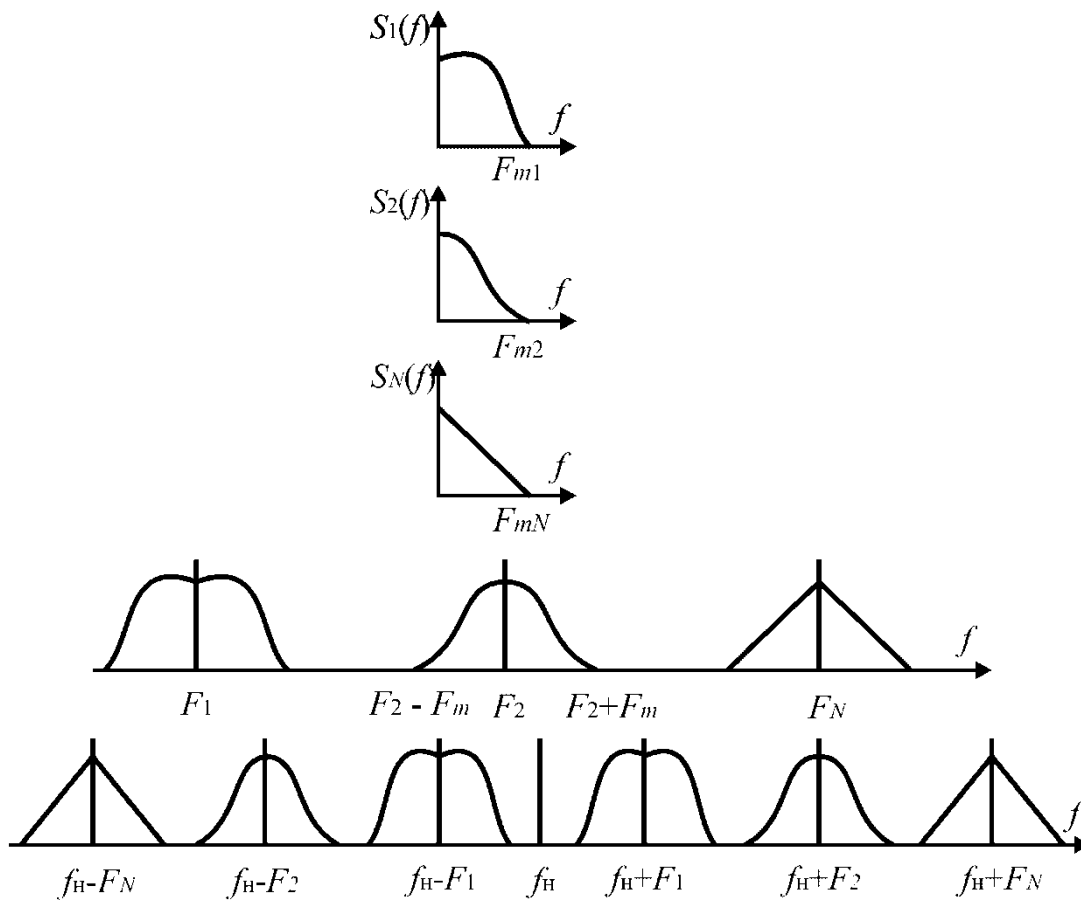


Рис. 2.4. Перенесение спектров сигналов сообщений в высокочастотные области

На рис. 2.4,б, частоты поднесущих колебаний обозначены $F_1, F_2, \dots, F_N$. Спектры сигналов сообщений (измерительных сигналов) могут занимать полосу частот от 0 до F_{mi} , где F_{mi} – максимальная частота в спектре сигнала сообщения. Частоты поднесущих колебаний должны существенно превышать максимальные частоты в спектре соответствующих сигналов сообщений, т.е. $F_i \gg F_{mi}$.

После разнесения спектров сигналов сообщений по частотной оси на частоты $F_1 > F_2 > \dots > F_N$ сигналы-переносчики можно во временной области складывать и суммарный сигнал передавать по одной, общей для всех

измерительных каналов линии связи. Если линией связи является радиолиния, то суммарным сигналом модулируют высокочастотное колебание, называемое также несущей. Частота несущей f_H должна существенно превышать максимальную частоту в спектре суммарного сигнала. Спектральный состав модулированной несущей показан на рис. 2.4,в. Приведенные на рис. 2.4,б и рис. 2.4,в спектры соответствуют амплитудной модуляции поднесущих и несущей.

Чтобы с помощью сигнала-переносчика передать сообщение, необходимо один из параметров сигнала изменять по закону изменения передаваемого сообщения. Как отмечалось выше, такой параметр называется информативным параметром.

У гармонического переносчика, представленного выражением (2.7) информативными параметрами могут быть: **амплитуда U_0 , частота F_0 , фаза φ_0** . Каждый из этих параметров можно модулировать и получить соответственно амплитудную модуляцию (АМ), частотную модуляцию (ЧМ) и фазовую модуляцию (ФМ). При этом соответствующий параметр переносчика имеет приращение, пропорциональное передаваемому сообщению $c(t)$:

$$\text{при АМ} \quad U(t) = U_0 + \Delta U c(t), \quad (2.8)$$

$$\text{при ЧМ} \quad F(t) = F_0 + \Delta F c(t), \quad (2.9)$$

$$\text{при ФМ} \quad \varphi(t) = \varphi_0 + \Delta \varphi c(t). \quad (2.10)$$

Коэффициенты ΔU , ΔF и $\Delta \varphi$ можно рассматривать как амплитуды изменения соответствующего информативного параметра сигнала переносчика под действием модулирующего сигнала сообщения $c(t)$.

Структурную схему многоканальной измерительной системы с частотным разделением каналов (ЧРК) можно представить в виде (рис. 2.5). На рис. 2.5 показан вариант, когда в качестве линии связи между передающей и приемной частями ИИС используется радиолиния.

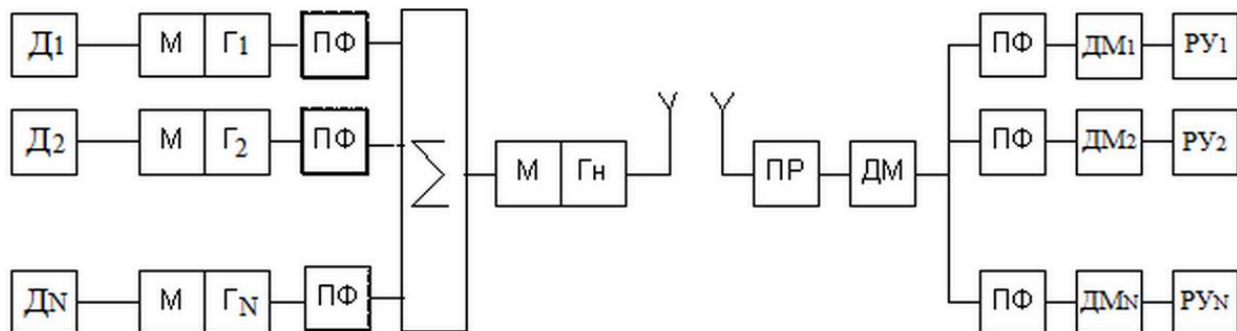


Рис. 2.5. Структурная схема многоканальной ИИС с ЧРК

Обозначения на рис. 2.5:

Д – датчики (с измерительным преобразователем),

М – модулятор,

Г – генератор,

Σ – сумматор,

Г_н – генератор несущей,

ПР – приемник,

ПФ – полосовой фильтр,

ДМ – демодулятор,

РУ – регистрирующее устройство.

Генераторы поднесущих $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$ вырабатывают колебания (2.7) поднесущих с частотами $F_1 > F_2 > \dots > F_N$. Один из информативных параметров колебания модулируется сигналом сообщения, поступающим на модулятор **М** от датчика **Д**. Спектры модулированных поднесущих показаны на рис. 2.4,б. Полосовые фильтры **ПФ** на передающей стороне предназначены для предотвращения влияния соседних $(i-1)$ -го и $(i+1)$ -го каналов на спектральный состав i -го канала. Суммарный сигнал поднесущих с выхода сумматора Σ модулирует один из информативных параметров несущего колебания, вырабатываемого генератором **Г_н** несущей. Спектр несущего модулированного колебания приведен на рис. 2.4,в.

На приемной стороне выполняются операции, обратные операциям на передающей стороне. Приемник **ПР** усиливает принятые колебания до значений, достаточных для последующих преобразований. Сигнал на выходе демодулятора несущей **ДМ** имеет спектр, аналогичный спектру на выходе сумматора на передающей стороне (рис. 2.4,б). Полосовые фильтры **ПФ** на приемной стороне имеют полосы пропускания, соответствующие полосам частот, занимаемым каждым каналом на оси частот. Таким образом, на выход **ПФ** каждого канала проходит только модулированный сигнал поднесущей соответствующего канала. Демодуляторы поднесущих **ДМ₁, ДМ₂, ..., ДМ_N** восстанавливают спектральный состав исходных сигналов сообщений (рис. 4,а), т.е. с выходов демодуляторов снимаются сигналы сообщений, которые регистрируются канальными регистрирующими устройствами **РУ₁, РУ₂, ..., РУ_N**.

Из обобщенной структурной схемы ИИС с ЧРК можно выделить один измерительный канал (рис. 2.6). Он содержит как устройства, принадлежащие измерительному каналу индивидуально (отмечены индексом i), так и общие для всех каналов устройства.

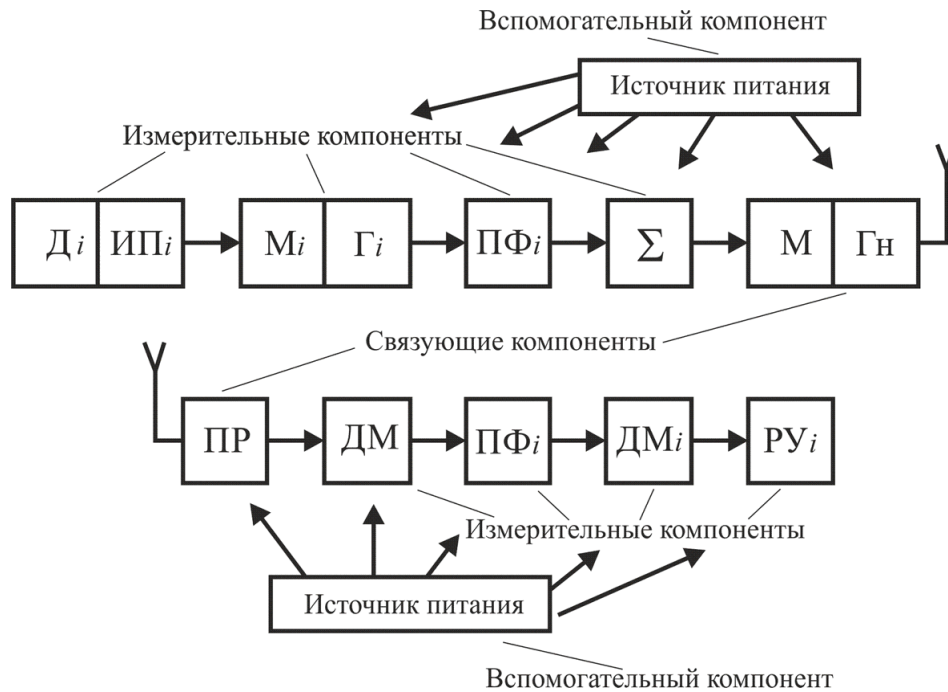


Рис. 2.6. Измерительный канал многоканальной ИИС с ЧРК

В регистрирующие устройства РУ могут быть включены устройства обработки полученных измерительных сигналов, выполненные на основе средств вычислительной техники, т.е. вычислительные компоненты.

2.4. Принцип временного разделения каналов

2.4.1. Теорема В.А. Котельникова

В основе принципа временного разделения каналов (ВРК) лежит теорема В.А. Котельникова [15] о том, что непрерывный сигнал, спектр которого ограничен максимальной частотой $F_{\text{Смакс}}$ полностью определяется его дискретными отсчетами, взятыми через интервалы времени

$$\Delta t = \frac{1}{2F_{\text{Смакс}}} . \quad (2.11)$$

При этом в промежутках между отсчетами одного канала можно передать отсчеты сигналов других каналов. Таким образом, сигналы от разных источников подключаются к общей линии поочередно, не перекрываясь друг с другом. Такие сигналы удовлетворяют условиям линейной независимости и ортогональности.

Соотношение (2.11) является предельным. В реальных многоканальных измерительных системах расстояние между отсчетами выбирают меньше теоретического значения Δt . В этом случае в литературе расстояние между дискретными отсчетами обозначают как период дискретизации $T_{\text{д}}$ или период опроса $T_{\text{опр}}$.

Принцип временного разделения каналов иллюстрируется рис. 2.7.

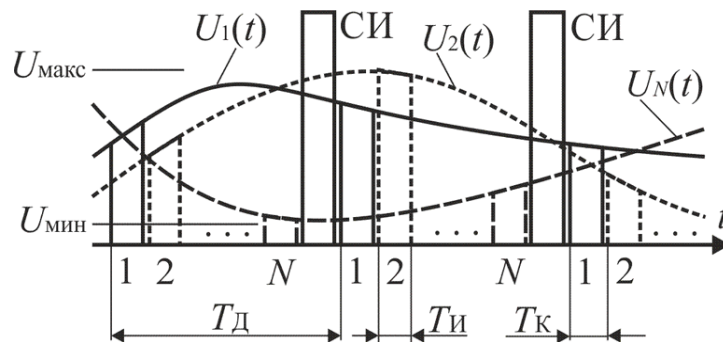


Рис. 2.7. Иллюстрация временного разделения каналов

Сигналы от каждого источника информации (датчика), изображенные на рис. 2.7 кривыми линиями с указанием их принадлежности, $U_1(t)$, $U_2(t)$, ..., $U_N(t)$, подключается к групповому тракту многоканальной измерительной системы на время T_k , называемое каналным интервалом. Если все N датчиков опрашиваются с одинаковым периодом T_d , то $T_k = T_d / (N+1)$. Чтобы на приемной стороне определить, в какой последовательности следуют отсчеты измерительных сигналов, к N измерительным каналам добавляется один (как минимум) дополнительный канал, по которому передается служебный сигнал, называемый синхронизирующим импульсом (СИ).

На рис. 2.7 часть каналного интервала отведена для паузы между дискретными отсчетами соседних каналов, поэтому длительности информативного отсчета $T_{и} < T_k$. Также указаны границы $U_{мин}$ и $U_{макс}$ диапазона изменения амплитуды дискретных отсчетов. Назначение всего этого будет пояснено ниже в подразделе 2.4.3.

Как видно из рис. 2.7 амплитуды дискретных отсчетов каждого канала изменяются по закону изменения соответствующего измерительного сигнала, т.е. имеет место амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) [13].

Кадром называют периодически повторяющийся набор отсчетов всех измерительных каналов и дополнительных каналов. На рис. 2.7 длительность кадра равна периоду дискретизации T_d . Синхронизирующий импульс передается один раз за кадр.

2.4.2. Обобщенная структурная схема измерительной системы с временным разделением каналов

На рис. 2.8 показана структурная схема многоканальной измерительной системы с временным разделением каналов и линией связи в виде радиолинии. Вместо радиолинии в ряде случаев может быть использована проводная линия связи.

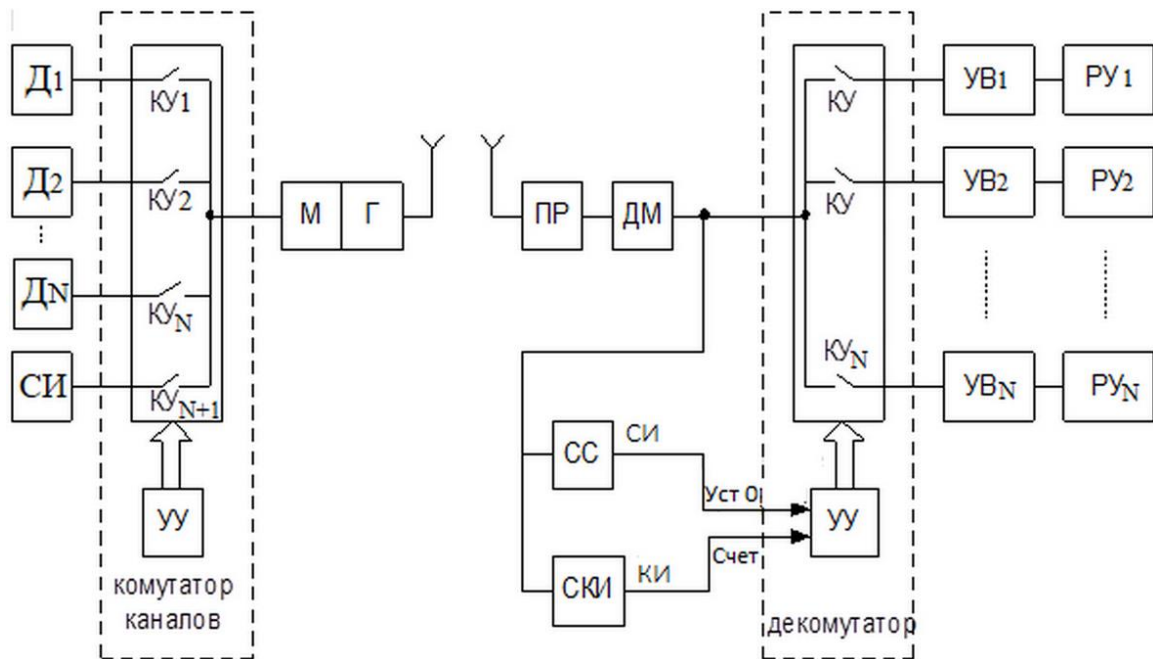


Рис. 2.8. Структурная схема многоканальной ИИС с ВРК

Обозначения на рис. 2.8:

Д – датчики (с измерительным преобразователем),
 КУ – ключевое устройство коммутатора каналов и декоммутатора каналов,
 УУ – устройство управления коммутатора каналов и декоммутатора каналов,
 М – модулятор несущей,
 Г – генератор несущей,
 ПР – приемник,
 ДМ – демодулятор несущей,
 СС – селектор синхроимпульса,
 СИ – синхроимпульс (импульс кадровой синхронизации),
 СКИ – селектор канальных импульсов,
 КИ – канальный импульс (импульс канальной синхронизации),
 УВ – устройство восстановления,
 РУ – регистрирующее устройство.

Основным блоком, обеспечивающим реализацию разделения измерительных каналов по времени, является коммутатор каналов.

Устройство управления **УУ** коммутатора каналов обеспечивает поочередное замыкание ключевых устройств **КУ**. При этом датчики **Д** поочередно подключаются к групповому тракту ИИС (рис. 2.7) и осуществляется преобразование непрерывных сигналов датчиков в дискретные отсчеты этих сигналов.

Модулятор **М**, генератор несущей **Г**, приемник **ПР**, демодулятор несущей **ДМ** выполняют те же функции, что и в ИИС с ЧРК. Устройство управления **УУ**

декоммутатора каналов обеспечивает поочередное замыкание ключевых устройств **КУ**, распределяя дискретные отсчеты каждого измерительного канала по своим линиям обработки и регистрации. Обработка заключается, во-первых, в восстановлении непрерывного сигнала по дискретным отсчетам устройствами восстановления **УВ**, во-вторых, может осуществляться низкочастотная фильтрация с целью снижения уровня помех в восстановленном измерительном сигнале перед его регистрацией в регистрирующем устройстве **РУ**.

Для учета возможного изменения коэффициента передачи группового тракта несколько каналов выделяют для передачи образцовых сигналов [3], например, «0» – уровень нуля, «100%» – максимальное значение диапазона изменения информативного сигнала, «50%» – половина диапазона изменения информативного сигнала и т.п. Изменение амплитуды принятого образцового сигнала свидетельствует об изменении коэффициента передачи группового тракта. Поэтому принятые значения измерительных сигналов каждого i -го канала $U_{\text{ПР}i}$ необходимо скорректировать, используя принятое значение образцового сигнала $U_{\text{ПР ОБР}}$ и истинное значение образцового сигнала $U_{\text{ОБР}}$:

$$U_i = U_{\text{ОБР}} \frac{U_{\text{ПР}i}}{U_{\text{ПР ОБР}}}. \quad (2.12)$$

При этом необходимо, чтобы коэффициенты передачи всех ключевых устройств коммутатора каналов были одинаковые. Нарушение идентичности коэффициентов передачи КУ разных каналов приводит к появлению погрешности неидентичности каналов. Оценка этой погрешности рассмотрена в разделе 7.1.

2.4.3. Необходимость синхронизации передающей и приемной сторон многоканальной измерительной системы

Для того, чтобы обеспечить соответствие разделенных на приемной стороне измерительных каналов уплотненным на передающей стороне измерительным каналам, декоммутатор каналов и коммутатор каналов должны работать синхронно и синфазно.

Синфазность означает, что когда на передающей стороне в коммутаторе каналов замкнуто ключевое устройство i -го канала **КУ i** , на приемной стороне в декоммутаторе каналов должно быть замкнуто ключевое устройство тоже i -го канала **КУ i** .

Синхронность означает, что переключение каналов на передающей и приемной сторонах должны происходить в одни и те же моменты времени.

Синфазность и синхронность работы передающей и приемной сторон обеспечиваются включением в групповой сигнал на передающей стороне сигналов **кадровой и канальной синхронизации**, соответственно.

Синфазность реализуется за счет передачи сигнала **кадровой синхронизации** (синхроимпульса). Синхроимпульс (**СИ**) должен по какому-либо параметру (амплитуда или длительность) существенно отличаться от дискретных отсчетов измерительных сигналов. Если для передачи **СИ** отводится один из каналов коммутатора каналов, то амплитуда **СИ** должна быть больше максимально возможной амплитуды $U_{\text{макс}}$ отсчета измерительного сигнала. Этот вариант показан на рис. 2.7. Если **СИ** отличается от отсчетов измерительных сигналов длительностью, то на его передачу отводится несколько каналов.

Сигнал на выходе демодулятора **Д** (групповой сигнал) на приемной стороне (рис. 2.8) идентичен сигналу на выходе коммутатора каналов (групповой сигнал) на передающей стороне и представляет собой последовательность неперекрывающихся по времени дискретных отсчетов измерительных сигналов и синхроимпульса **СИ** (рис. 2.7). Селектор синхросигнала (**СС**) (рис. 2.8) выделяет из группового сигнала импульс кадровой синхронизации **СИ**. Этот импульс устанавливает счетчик каналов в УУ декоммутатора в такое же состояние, в котором находился счетчик каналов коммутатора при формировании **СИ**. Обычно это начальное состояние двоичного счетчика 00...0. Этим обеспечивается в пределах кадра синфазная работа коммутатора каналов и декоммутатора каналов.

Синхронность работы счетчиков каналов устройств управления коммутатора каналов и декоммутатора каналов может быть обеспечена за счет формирования импульсов **канальной синхронизации** (канальных импульсов **КИ**) из приходящего группового сигнала. Для этого на передающей стороне сигналы управления ключевыми устройствами **КУ** формируются с паузой между соседними импульсами (рис. 2.7), и измерительные преобразователи, обеспечивающие преобразование сигналов датчиков в электрические сигналы выполняются с возможностью смещать измерительные сигналы на некоторый отличный от нулевого уровень $U_{\text{мин}}$ (например, на 0.5 – 1 В), что и отражено на рис. 2.7. В этом случае, даже когда отсчеты всех измерительных сигналов будут равны нулю, групповой сигнал будет иметь вид последовательности прямоугольных импульсов, период повторения которых равен длительности одного канального интервала T_k . Из этой последовательности на приемной стороне селектор канальных импульсов (**СКИ**) формирует канальные импульсы

КИ, следующие с периодом T_K . Эти импульсы поступают на счетный вход «Счет» счетчика каналов, обеспечивая его переключение. При этом переключение счетчика каналов устройства управления декоммутатора будет происходить синхронно с переключением счетчика каналов устройства управления коммутатора.

Для повышения помехоустойчивости канальной синхронизации на приемной стороне может быть использовано устройство фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [3, 16]. На приемной стороне используется управляемый генератор, частота которого подстраивается под частоту следования принимаемых дискретных отсчетов группового сигнала.

2.4.4. Дополнительные преобразования дискретных отсчетов

Как следует из описания принципа временного разделения каналов (подраздел 2.4.1), формирование дискретных отсчетов измерительных сигналов представляет собой преобразование непрерывных сигналов в дискретные отсчеты $U(kT_D)$, модулированные по амплитуде, т. е. в сигналы с АИМ, которые описываются выражением [13]:

$$U(kT_D) = U_0 \left[1 + m_{\text{АИМ}} S(kT_D) \right], \quad (2.13)$$

где $0 < m_{\text{АИМ}} \leq 1$ – коэффициент амплитудной импульсной модуляции,

U_0 – амплитуда немодулированных импульсов,

$k=0, 1, 2, \dots$ – номера дискретных отсчетов,

kT_D – дискретные моменты времени, разделенные интервалами T_D ,

$S(kT_D)$ – значения измерительного сигнала в дискретные моменты времени kT_D .

В зависимости от формы вершины дискретного отсчета различают амплитудно-импульсную модуляцию первого рода (АИМ-1) и амплитудно-импульсную модуляцию второго рода (АИМ-2) [13].

При АИМ-1 амплитуда импульса меняется, следуя за изменением амплитуды измерительного сигнала, их которого берутся дискретные отсчеты, т.е. вершина дискретного отсчета повторяет форму измерительного сигнала в момент взятия отсчета (рис. 2.7).

При АИМ-2 амплитуда импульса равна амплитуде измерительного сигнала в момент начала дискретного отсчета и не меняется за время его существования, т.е. дискретные отсчеты имеют форму прямоугольных импульсов. При большом числе каналов N , когда длительность отсчета $T_{\text{И}} \ll T_D$, различие между АИМ-1 и АИМ-2 становится несущественным.

В силу простоты технической реализации на передающей стороне при дискретизации сигналов сообщений осуществляется, как правило, АИМ-1. На

приемной стороне при восстановлении по принятым дискретным отсчетам непрерывного измерительного сигнала с помощью фильтров нижних частот для увеличения амплитуды восстановленного сигнала применяется преобразование АИМ-1 в АИМ-2 путем запоминания амплитуды очередного отсчета на период дискретизации T_d до прихода следующего отсчета.

Групповой сигнал с выхода коммутатора каналов, имеющий вид последовательности отсчетов всех измерительных сигналов с АИМ-1 (рис. 2.9,а), может подвергаться вторичному преобразованию.

Целью этих преобразований являются повышение помехоустойчивости передаваемых сообщений, снижение мощности, затрачиваемой на передачу сигналов сообщений в линии связи. Устройство вторичного преобразования является общим для всех N измерительных каналов многоканальной измерительной системы.

Преобразование АИМ-сигнала в сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) заключается в сравнении текущего значения амплитуды дискретного отсчета с сигналом сравнения, имеющим вид пилообразного напряжения (рис. 2.9,а). Сигнал сравнения формируется в каждом канальном интервале T_k . Начало ШИМ-сигнала соответствует началу очередного канального интервала, а окончание – моменту пересечения сигналом сравнения верхней части АИМ-сигнала (рис. 2.9,б). Таким образом, ширина импульса ШИМ-сигнала пропорциональна амплитуде АИМ-сигнала. Информация при ШИМ заложена в изменении длительности (ширины) импульса τ_i , т.е. в положении заднего фронта импульса относительно переднего фронта.

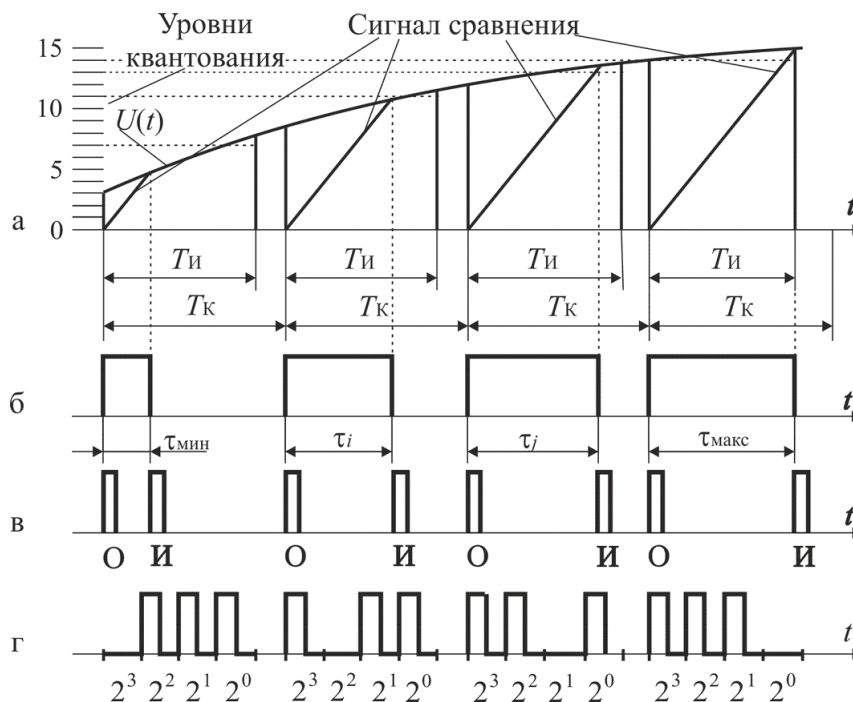


Рис. 2.9. Методы вторичного преобразования АИМ-сигналов

Так как в линию связи передается вся ширина импульса, то в средней его части энергия передающего устройства расходуется бесполезно. Этот недостаток устраняется при время-импульсной модуляции.

Сигнал с время-импульсной модуляцией (ВИМ) можно получить, формируя короткие импульсы в моменты переднего и заднего фронтов импульсов ШИМ-сигнала (рис. 2.9,в). Опорные импульсы **О** располагаются в начале каждого канального интервала T_K , информативные импульсы **И** могут перемещаться в диапазоне от $\tau_{\min}$ до $\tau_{\max}$. Длительность каждого импульса $\tau_{\text{и}}$. Информация, как и при ШИМ, заложена в изменении расстояния между передним фронтом опорного импульса **О** и передним фронтом информативного импульса **И**.

Сигнал с выхода коммутатора каналов также может быть преобразован в цифровой сигнал путем замены амплитуды дискретного отсчета одним из конечного числа уровней квантования (рис. 9,а), ближайшего или ближайшего меньшего. Выбранный уровень квантования представляется в виде двоичного кода (рис. 2.9,г). В специальной литературе по многоканальным измерительным системам такой вид преобразования еще называют кодово-импульсной модуляцией (КИМ).

Какой конкретно вид представления измерительных сигналов применить при разработке многоканальной ИИС зависит от конкретных условий применения, технических требований к характеристикам ИИС, экономических аспектов и т.п.

Из обобщенной структурной схемы ИИС с ВРК можно выделить один измерительный канал (рис. 2.10). Он содержит как устройства, принадлежащие измерительному каналу индивидуально (отмечены индексом i), так и общие для всех каналов устройства. Общих устройств, участвующих в работе всех измерительных каналов, в ИИС с ВРК больше, чем в ИИС с ЧКР. В регистрирующие устройства **РУ** могут быть включены устройства обработки полученных измерительных сигналов, выполненные на основе средств вычислительной техники, т.е. вычислительные компоненты.

Измерительный канал на рис. 2.10 включает на передающей стороне вторичный преобразователь АИМ-КИМ (аналого-цифровой преобразователь АЦП). На приемной стороне в измерительном канале в качестве устройства восстановления используется цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Связующие компоненты содержат передающее устройство **П**, приемное устройство **ПР** и линию связи **ЛС**.

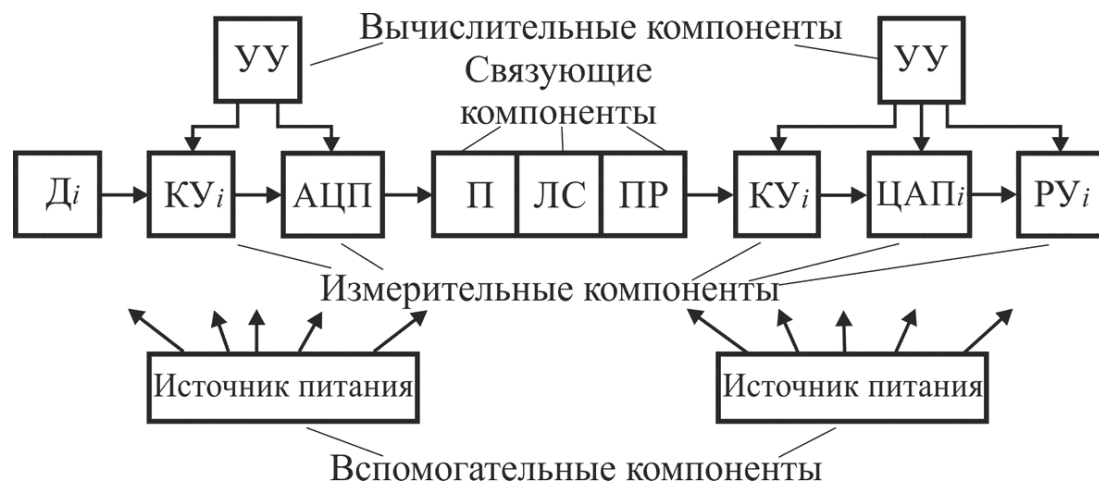


Рис. 2.10. Измерительный канал многоканальной ИИС с ВРК

Если ЛС является проводной, то передающее устройство П представляет собой усилитель мощности, Если ЛС радиолиния, то передающее устройство – генератор несущей с модулятором. Вычислительные компоненты в соответствии с определением (см. раздел 1) кроме операций вычисления выполняют еще логические операции и управление работой ИИС. Работу всех компонентов ИИС обеспечивают источники питания, являющиеся вспомогательными компонентами.

Контрольные вопросы

1. Приведите обобщенную структурную схему ИИС и опишите назначение основных ее блоков.
2. Опишите принцип линейного разделения каналов многоканальной ИИС.
3. Поясните принцип частотного разделения каналов ИИС.
4. Приведите структурную схему многоканальной ИИС с частотным разделением каналов.
5. Приведите структурную схему измерительного канала многоканальной ИИС с частотным разделением каналов.
6. Поясните принцип временного разделения каналов ИИС. Сформулируйте теорему В.А. Котельникова.
7. Приведите структурную схему многоканальной ИИС с временным разделением каналов.
8. Приведите структурную схему измерительного канала многоканальной ИИС с временным разделением каналов.
9. Зачем необходимо обеспечивать синфазную и синхронную работу передающей и приемной частей многоканальной ИИС с временным разделением каналов?
10. Что такое дополнительное преобразование дискретных отсчетов измерительного сигнала? Каково назначение этого преобразования?

3. Сравнение многоканальных измерительных систем с частотным и временным разделением каналов

Рассмотрим некоторые из достоинств и недостатков многоканальных измерительных систем. Анализ и учет этих достоинств и недостатков может быть использован при разработке конкретных многоканальных измерительных систем, предназначенных для решения конкретной задачи или ряда задач.

3.1. Измерительные системы с частотным разделением каналов

Достоинства

1) Одновременная (параллельная) передача сигналов от каждого датчика, независимо друг от друга. Благодаря этому практически отсутствует задержка получения измерительных сигналов на приемной стороне (если не учитывать время распространения сигнала в линии связи, которое увеличивается при увеличении дальности передачи).

2) «Живучесть» системы, которая обеспечивается опять же независимой передачей сигналов по каждому измерительному каналу. Отказ всей системы может произойти только при отказе общих для всех каналов блоков: генератор несущей, модулятор несущей, приемник, демодулятор несущей, источник питания.

Недостатки

1) Ограниченное число измерительных каналов.

2) Неэффективное использование пропускной способности канала связи.

Ограничение числа каналов в системах с ЧРК связано с возникновением перекрестных искажений из-за нелинейности характеристик общих для всех каналов модулятора несущей на передающей стороне и демодулятора на приемной стороне [16]. Наличие нелинейности модулятора необходимо, так как только при нелинейном преобразовании возможна генерация новых комбинационных составляющих, которые и образуют модулированное колебание [17].