

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Владимирский государственный университет

имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича

Столетовых»

(ВлГУ)

Кафедра “АТБ”

**МАТЕРИАЛ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ»**

Составитель:

П.С. Сабуров

Владимир 2016

2.1. Обобщенная структура ИИС

В литературе [19, 45] рассматриваются различные виды структуры ИИС в зависимости от организации взаимодействия функциональных блоков: цепочечная, радиальная, магистральная с централизованным и децентрализованным управлением, радиально-магистральная. Эти варианты структур отличаются в основном организацией передачи информации. В зависимости от организации сбора измерительной информации выделяются структуры: одноканальная, многоканальная, мультиплицированная, многоточечная, сканирующая. Мы не будем останавливаться на рассмотрении этих структур, поскольку при современном уровне цифровой вычислительной техники все эти структуры с функциональной точки можно рассматривать как частный случай обобщенной структуры, приведенной на рис. 2.1.

ИО описывается физическими величинами x_1, \dots, x_n . Номенклатура измеряемых величин определяется заказчиком

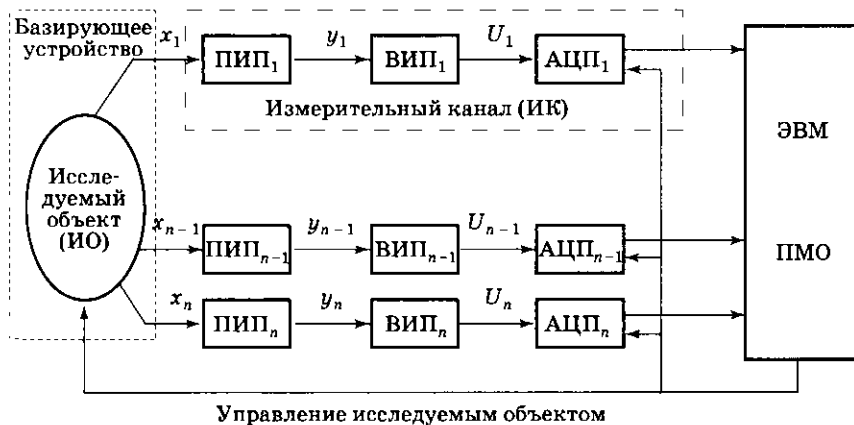


Рис. 2.1

(пользователем) ИИС, исходя из физических представлений об объекте. Эти величины могут быть одинаковыми, например пространственные координаты. Среди них могут быть однотипные, например электрические (напряжение, сила тока, сопротивление и др.). Эти величины могут быть существенно различными, например метеорологические показатели при мониторинге окружающей среды (температура воздуха, атмосферное давление, влажность, направление и скорость ветра). Даже при четко выраженной области применения ИИС измеряемые физические величины могут быть различными. Например, при контроле размеров деталей в машиностроении в число измеряемых величин кроме координат может входить температура, знание которой необходимо для введения температурных поправок в результаты измерения размеров.

Первичные измерительные преобразователи (ПИП), или датчики, преобразуют величины x_i в электрические величины y_i (напряжение, ток, сопротивление, емкость, индуктивность и др.). Датчики являются обязательными компонентами ИИС. Вид датчика в первую очередь определяется видом преобразуемой величины. Однако, как мы увидим ниже, для измерения одной и той же физической величины могут использоваться различные первичные преобразователи, отличающиеся принципом действия и своими характеристиками. Поэтому в рамках одной ИИС, если даже преобразуемые величины одинаковы по физическому смыслу, первичные преобразователи могут быть различными, в частности, в зависимости от требуемого диапазона измерения. Например, шунты, являющиеся первичными преобразователями силы тока в напряжения, будут иметь разное сопротивление для разных диапазонов измерения. Диапазоны измерения силы тока могут отличаться на порядки. В силу этого конструкция шунтов в различных каналах также будет различной. Для измерения координат, изменяющихся в пределах десятков миллиметров и больше, целесообразно использовать растровые фотоэлектрические датчики, а для измерения в диапазоне нескольких миллиметров и менее — индуктивные.

Вспомогательным устройством в ИИС является базирующее устройство, с которым могут быть связаны ИО и первичные преобразователи. Вид базирующего устройства определяется видом ИО и необходимыми воздействиями на него в процессе измерения. Базирующее устройство может быть простым механическим приспособлением для установки датчиков. Такими простейшими устройствами являются, например, метеорологическая будка, элементы крепления измерительных микрофонов или датчиков ионизирующих излучений и др.

В других случаях оно может быть сложным устройством, обеспечивающим относительное перемещение датчиков и объекта, подачу на объект необходимых воздействий: нагрев объекта, воздействие на него различными полями, подача входных испытательных сигналов и т. п.

Величины y_i , выдаваемые первичными преобразователями, подаются на вторичные измерительные преобразователи (ВИП), которые преобразуют их в напряжения U_i . Вторичные преобразователи в некоторых каналах могут отсутствовать, если выходной величиной датчика является напряжение, уровень которого достаточен для аналого-цифрового преобразования. В ряде случаев вторичный преобразователь, каждый из которых на рис. 2.1 обозначен как единое целое, может представлять собой каскадное соединение нескольких вторичных преобразователей, например моста переменного тока, усилителя и фазового детектора. Вид вторичного преобразователя определяется только видом величины y_i . Поэтому в каналах измерения физически различных величин могут использоваться одинаковые вторичные преобразователи, если выходные величины датчиков одинаковы.

В принципе один и тот же экземпляр вторичного преобразователя может использоваться для преобразования выходной величины разных датчиков. Однако практически это не очень удобно.

Конструктивно вторичные преобразователи могут быть совмещены с первичными преобразователями или выполнены в виде отдельных плат (устройств). В состав вторичных преобразователей могут входить простейшие вычислительные устройства, например для введения поправок или для линеаризации характеристик (так называемые интеллектуальные датчики).

Напряжения U_i поступают на аналого-цифровые преобразователи (АЦП), где преобразуются в цифровые коды C_i , подаваемые на ЭВМ. По выполняемым функциям АЦП в принципе можно отнести к вторичным преобразователям, что, как мы увидим ниже, реализуется иногда конструктивно. Однако они выделены в отдельные функциональные блоки в силу следующих обстоятельств:

- АЦП, как это отражено на рис. 2.1, в отличие от других преобразователей, работают под управлением ЭВМ, обеспечивающей необходимый алгоритм сбора первичной информации;
- АЦП, как и датчики, в отличие от других вторичных преобразователей, являются обязательными компонентами каждого канала.

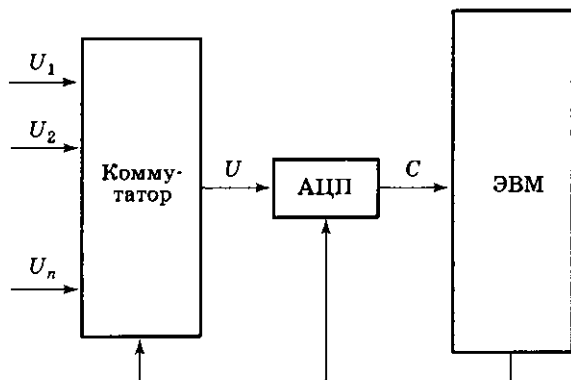


Рис. 2.2

АЦП могут быть индивидуальными для каждого канала, однако чаще один АЦП используется для всех или нескольких каналов, работая в мультиплексном режиме (рис. 2.2).

При реализации этой схемы коммутатор по командам ЭВМ подает на АЦП сигнал соответствующего канала, и с АЦП, также по запросу ЭВМ, выдается код. В этом случае аппаратно присутствует только один АЦП, однако для анализа выполняемых функций, оценки погрешностей и т. д. по-прежнему удобнее пользоваться обобщенной схемой. Единственный момент, который следует учитывать при переходе к мультиплексной схеме, — это время передачи информации на ЭВМ. Однако, учитывая быстродействие современных АЦП и ЭВМ, этот момент в подавляющем большинстве случаев не имеет существенного значения.

Для некоторых измерительных преобразователей, например кодовых или импульсных, функции АЦП выполняют сами первичные или вторичные преобразователи. Это не нарушает общего характера рассматриваемой структурной схемы, поскольку она носит функциональный характер, и входящие в нее элементы могут быть конструктивно объединены. АЦП является в этом отношении самым ярким примером. Он может быть самостоятельным элементом, может входить в состав первичных или вторичных преобразователей, а также в виде отдельных плат конструктивно может быть размещен в составе ЭВМ.

Каналы связи между элементами ИИС могут иметь различный характер. В простейшем случае для локально сосредоточенной ИИС это проводная связь, в том числе внутри стойки или конструктива (крейта), где размещены сами элементы. Для ИИС, распределенных в пространстве, могут ис-

пользоваться радиоканалы или волоконно-оптическая связь. В этих случаях один канал связи может служить для передачи информации от разных первичных преобразователей, если они локально сосредоточены, то есть каналы связи, как и АЦП, могут функционировать в мультиплексном режиме.

Последовательность преобразователей (ПИП, ВИП, если они есть, и АЦП) и каналов связи, обеспечивающая преобразование измеряемой физической величины в цифровой код, называется измерительным каналом (ИК). Другими словами, измерительный канал — это вся совокупность технических средств, преобразующих измеряемую величину в код, поступающий в ЭВМ. Как видно из вышесказанного, общим для разных ИК могут быть АЦП, каналы связи и иногда вторичные преобразователи.

Понятие ИК отражает сущность выполнения измерений в ИИС. Оно необходимо для анализа погрешностей измерения и организации метрологического обеспечения. Однако конструктивно различные элементы канала могут быть объединены в единое устройство. Например, измерительным каналом является кодовый датчик угла, преобразующий измеряемый угол в параллельный код. В качестве измерительных каналов могут использоваться электронные измерительные приборы, имеющие цифровой выход (цифровые вольтметры, частотомеры, весы и др.).

Коды, выдаваемые АЦП, подаются для обработки на вход ЭВМ, в качестве которой может использоваться персональный компьютер (ПК) или специализированное микропроцессорное вычислительное устройство. Цель обработки определяется функциональным назначением ИИС. Обработка первичной информации производится в соответствии с заложенным в ЭВМ программно-математическим обеспечением (ПМО). ПМО является не менее важным функциональным компонентом ИИС, чем аппаратные составляющие. При этом ПМО и базисное устройство являются наиболее специфичными, наиболее «индивидуальными» элементами каждой ИИС.

Функции ЭВМ могут заключаться не только в обработке первичной измерительной информации, но и в управлении самим процессом измерения. Один из аспектов этого управления — сбор данных с АЦП — уже упоминался. Второй аспект, также отраженный на рис. 2.1, заключается в управлении путем подачи воздействий на ИО. Эти воздействия, как уже отмечалось, могут иметь различный характер в зависимости от цели измерения и характера объекта. В ряде случаев требуется перемещение объекта относительно датчиков, например при измерении линейных и угловых размеров де-

талей в машиностроении или при измерении поля температур. При изучении операторов линейных или нелинейных исследуемых систем на их вход необходимо подавать тестовые воздействия (тестовые сигналы). При изучении свойств материалов их необходимо нагревать, подвергать воздействию различных полей, изменять другие внешние факторы. Для реализации этих воздействий в состав базирующего устройства могут входить специальные исполнительные устройства (приводы, нагреватели, формователи тестовых сигналов, источник магнитных или электрических полей и др.), работающие под управлением ЭВМ.

В некоторых ИИС, рассмотренных в качестве примеров в параграфе 1.4, имеются дискретные битовые входы, которые не отражены на рис. 2.1. Причина в том, что эти входы не используются непосредственно в измерительном процессе, а являются элементами электроавтоматики, обеспечивающей бесперебойную работу ИИС, контроль исправности отдельных элементов и др. Поэтому, хотя такие каналы имеются во многих ИИС и выполняют важные функции, можно считать, что они присутствуют в канале связи ЭВМ и базирующего устройства. Однако для дальнейшего изложения они нам не понадобятся.

При описании структуры ИИС иногда используется понятие «измерительно-вычислительный комплекс» (ИВК), которое включает все элементы ИИС, кроме первичных преобразователей. В свое время ИВК выпускались как самостоятельные изделия с целью унификации аппаратной части ИИС. Однако сейчас, в связи с миниатюризацией ЭВМ, это понятие теряет актуальность.

Рассмотренная функциональная схема, как уже отмечалось, включает в себя как частные случаи другие структурные схемы. При $n = 1$ мы получаем одноканальную ИИС. Точечная ИИС, для которой все или некоторые величины x_i одинаковы по физическому смыслу и измеряются датчиками, размещенными в разных точках пространства, вписывается в схему на рис. 2.1 без каких-либо уточнений. Различные варианты организации связи, о которых мы будем говорить ниже, конкретизируют построение измерительных каналов, но не изменяют функциональной структуры системы.

Далее будут рассмотрены способы технической реализации различных элементов структурной схемы ИИС. Рассматриваться будут физические принципы их построения, свойства и характеристики, при этом не будут упоминаться конкретные типы устройств. Это сделано по двум причинам. Во-первых, нет оснований делать невольную рекламу конк-

ретным изделиям, а во-вторых — и это главное — каталоги подобных изделий за пять-шесть лет так устаревают, что нет никакой необходимости заострять на них внимание студентов. Тем более что информирование об этой продукции организовано так хорошо, что в любой момент можно ознакомиться с самыми свежими каталогами.

2.2. Первичные измерительные преобразователи

Итак, первичные измерительные преобразователи (датчики) в ИИС обеспечивают преобразование некоторой физической величины в электрическую величину. В настоящее время существуют датчики для всех физических величин [17, 42].

Различают датчики генераторного типа, когда выходной величиной является ток, напряжение или электрический заряд, и параметрические, когда выходной величиной является параметр электрической цепи: активное сопротивление, емкость, индуктивность, комплексное сопротивление. Параметрические датчики иногда называют активными, поскольку для выполнения своих функций они требуют внешних источников энергии, а генераторные — пассивными, поскольку для выдачи сигнала они во внешних источниках не нуждаются. Принципы действия датчиков основаны на использовании различных физических законов и эффектов, о которых кратко упомянем далее, говоря о датчиках различного назначения.

Характеристиками датчиков являются следующие показатели.

1) **Функция преобразования.** Ее вид определяется принципом работы датчика. Она может быть линейной, квадратичной, экспоненциальной и др. При аналоговой обработке информации, выдаваемой датчиком, нелинейность характеристики была основным источником систематической погрешности. При цифровой обработке нелинейность ИК легко устраняется, если эта нелинейность стабильна и не изменяется во времени. Однако и в этом случае важным требованием к функции преобразования является ее плавность — медленное изменение ее первой производной, так как иначе линеаризация оказывается неэффективной даже при современных вычислительных средствах.

2) **Диапазон значений преобразуемой величины.**

3) **Диапазон значений выходной величины.**

4) **Характеристики погрешности:** нелинейность, погрешность задания чувствительности, нестабильность, насыщение, зона нечувствительности, гистерезис, разрешающая способность, воспроизводимость.

5) Показатели, характеризующие возможность сопряжения датчиков с другими устройствами: выходной импеданс, питающее напряжение и др.

6) Динамические характеристики, описываемые, как и у других СИ, частотными или переходными характеристиками.

7) Условия эксплуатации, надежность, масса, габариты и другие общетехнические показатели.

Основным классификационным признаком датчиков является преобразуемая (измеряемая) величина.

Датчики электрических величин

Номенклатура датчиков этой группы сравнительно невелика, хотя электрические измерения являются одной из крупнейших областей измерительной техники. Это объясняется тем, что в силу своей физической природы измеряемые электрические величины могут подаваться непосредственно на вторичный преобразователь. К простейшим первичным преобразователям для измерения электрических величин можно отнести шунты, используемые при измерении силы тока, делители, используемые для измерения напряжения, измерительные трансформаторы. К этой же группе можно отнести и болометры, основное применение которых — измерение мощности светового излучения. Однако они применяются и в других областях, например при измерении мощности сигналов сверхвысоких частот (СВЧ) непосредственно в волноводных трактах или при измерении действующего значения электрического тока произвольной формы. Принцип действия болометра основан на изменении его сопротивления при нагревании за счет падающего оптического или СВЧ излучения.

Датчики магнитных величин

Датчики для измерения напряженности магнитного поля строятся на основе эффекта Холла и эффекта Гаусса.

Суть эффекта Холла состоит в следующем. Если по тонкой электропроводящей пластине (металлической или полупроводниковой) течет электрический ток I , обусловленный внешним напряжением V_B , то при воздействии магнитного поля B , перпендикулярного пластине, направление движения зарядов отклоняется от первоначального (рис. 2.3). Это приводит к появлению на боковых гранях пластины,

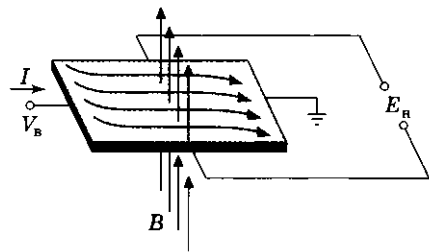


Рис. 2.3

на боковых гранях пластины, появляется напряжение E_H .

параллельных первоначальному направлению тока, электродвижущей силы E_n , пропорциональной напряженности магнитного поля. Таким образом, датчик на основе эффекта Холла представляет собой генераторный преобразователь.

Датчики на основе эффекта Гаусса, или магниторезистивные датчики, представляют собой параметрические преобразователи поля, изготовленные из материалов, сопротивление которых меняется с изменением напряженности магнитного поля.

Датчики линейных и угловых перемещений, контактирующие с измеряемой деталью

Самым распространенным и относительно дешевым датчиком угловых перемещений является сельсин (вращающийся трансформатор). Он представляет собой электрическую машину, на статоре которой размещены обмотки, создающие вращающееся магнитное поле. Обмоток может быть две пары (в паре они расположены друг против друга), сдвинутых в пространстве на 90° . На рис. 2.4 условно показано по одной обмотке L_x и L_y из каждой пары. В произвольно ориентированной обмотке ротора L_p наводится синусоидальное напряжение, фаза которого сдвинута относительно напряжения, питающего обмотку L_x , на угол поворота ротора φ .

Возможен другой режим работы сельсина, при котором питающее синусоидальное напряжение подается на ротор, а его угловое положение определяется по амплитудам напряжений в обмотках L_x и L_y . В датчиках угла такой режим используется реже. Однако на его основе созданы индуктосины (развернутые трансформаторы), применяемые для измерения линейных перемещений.

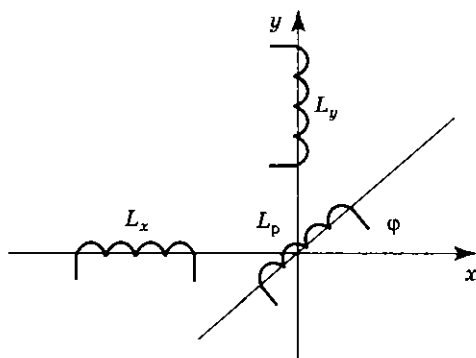


Рис. 2.4

На статоре могут быть размещены и три пары обмоток, сдвинутых на угол 120° , на которые подаются напряжения, сдвинутые по фазе также на 120° , то есть обычное трехфазное напряжение. Принцип работы сельсина в этом случае не меняется, конструкция несколько усложняется, однако существенно упрощается формирование питающего напряжения.

Одними из наиболее точных датчиков угловых перемещений являются кодовые датчики. Основу их составляет кодовый диск, на n концентрических кольцах которого равномерно расположены 2^i прорезей ($i = 1, \dots, n$), каждая из которых занимает $1/2^{i+1}$ часть окружности своего кольца. Тогда, если рассматривать наличие прорези как единицу, а отсутствие как нуль, число, образованное прорезями при угле поворота φ , будет равно $2^n \varphi / 360^\circ$. Для считывания этого числа используется неподвижная маска с n прорезями, соответствующими прорезям на каждом кольце и n оптопар. (Для наружных колец, соответствующих младшим разрядам и имеющих малые размеры прорезей, возникают некоторые конструктивные сложности из-за дифракции света, которые успешно преодолеваются.)

Емкостной датчик угловых перемещений состоит из неподвижных металлических пластин 1 и подвижной пластины 2, размещенных на оси 3 (рис. 2.5). Площадь перекрытия этих пластин и, следовательно, емкость образованного пластинами конденсатора пропорциональны углу поворота подвижной пластины. Диапазон измерений такого датчика — от 0 до 180° . Однако из-за рассеяния электрического поля у краев пластин возле границ диапазона измерения наблюдается значительная нелинейность функции преобразования.

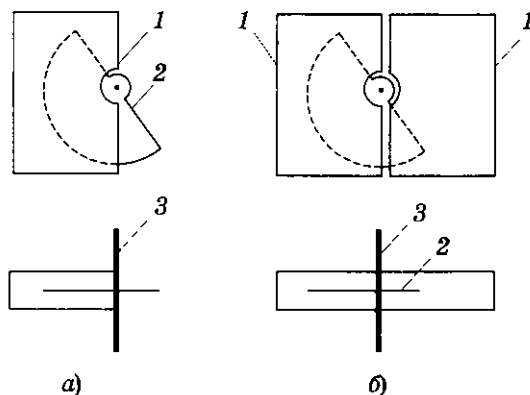


Рис. 2.5

Емкостные датчики угла поворота могут быть недифференциальными (рис. 2.5, а) и дифференциальными (рис. 2.5, б). Во втором случае эквивалентная схема датчика представляет собой два последовательно соединенных конденсатора, емкость которых при изменении угла поворота изменяется в противоположных направлениях.

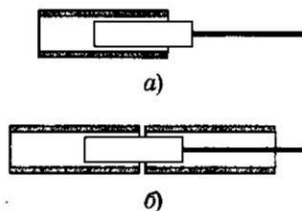


Рис. 2.6

Аналогичную конструкцию имеют недифференциальные и дифференциальные емкостные датчики линейных перемещений (рис. 2.6). Они содержат один или два неподвижных цилиндра, внутри которых перемещается подвижный цилиндр.

Наибольшее применение нашли индуктивные датчики линейных перемещений, которые, как и емкостные, могут быть недифференциальными и дифференциальными; конструкция последнего изображена на рис. 2.7. Принцип их действия основан на изменении индуктивностей катушек 3, размещенных на каркасе 1 при перемещении внутри них сердечника 2 из магнитомягкого (не сохраняющего остаточную намагниченность) материала.

Рассмотренные индуктивные и емкостные датчики имеют диапазон измерения до 30 мм.

Существенно больше диапазоны измерения у резистивных датчиков и датчиков с периодической структурой — индуктоинов и растровых фотоэлектрических преобразователей.

Резистивные датчики — самые простые и дешевые. Они представляют собой проводник, по которому, как в обычном реостате, перемещается контактирующий элемент. Величина сопротивления пропорциональна расстоянию контакта от «нулевого» положения. Точность этих датчиков невелика, поэтому они используются для самых грубых измерений.

Принцип работы индуктосина физически аналогичен принципу работы сельсина в режиме запитки ротора. Индуктосин иногда и называют развернутым трансформатором, условно считая, что окружности ротора и статора раз-

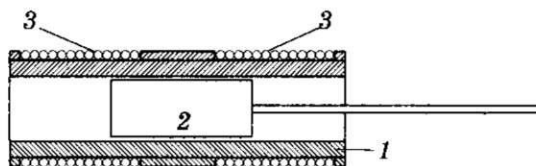


Рис. 2.7

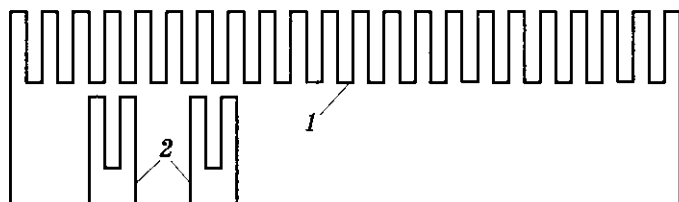


Рис..2.8

вернуты в прямую линию и обмотка ротора периодически повторена. Правда, после этих преобразований периодически повторенная развертка ротора становится неподвижной, а относительно нее перемещается развертка статора.

С учетом сказанного неподвижная часть индуктосина содержит печатную обмотку 1 (рис. 2.8) с простейшим шагом Δx . Для индуктосинов этот шаг обычно равен 2 мм. Относительно неподвижной обмотки перемещается каретка, на которой размещены две обмотки 2, имеющие тот же шаг и сдвинутые относительно друг друга на целое число шагов плюс четверть шага. На неподвижную обмотку подается синусоидальное напряжение. Тогда амплитуды сигналов, снимаемых с подвижных обмоток, в зависимости от перемещения будут изменяться линейно от некоторой величины U_M до $-U_M$ и обратно (под отрицательной амплитудой в данном случае мы понимаем изменение фазы на 180°). Период изменения будет равен шагу Δx , причем напряжения в обмотках будут сдвинуты по фазе на четверть шага (90°), то есть будут представлять собой две квадратурные составляющие.

Аналогичную конструкцию имеет и угловой индуктосин, форма неподвижной обмотки которого показана на рис. 2.9.

Растровый фотоэлектрический преобразователь также выдает два квадратурных сигнала, хотя принцип действия его иной, чем у индуктосина (рис. 2.10). Основу такого преобразователя составляет стеклянная (при работе на проходящем свете) или металлическая (при работе в отраженном свете) неподвижная шкала 2 с нанесенными на нее прозрачными (или отражающими) делениями шириной в половину шага. У растровых датчиков линейных перемещений шаг составляет в большинстве случаев 20 мкм, то есть существенно меньше, чем у индуктосинов, хотя иногда применяются и другие шаги. На подвижной каретке расположены параллельно две стеклянные шкалы 5 (для обоих видов неподвижных шкал), сдвинутые относительно друг друга на целое число шагов плюс четверть шага. При перемещении подвижной шкалы относительно неподвижной сигналы фотодиодов 4,

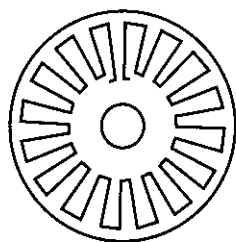


Рис. 2.9

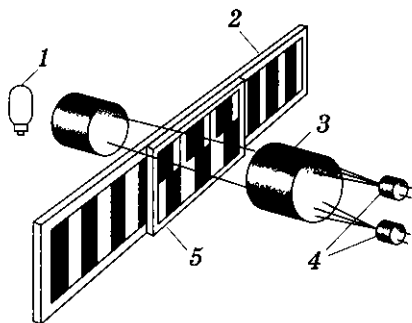


Рис. 2.10

воспринимающих световой поток от светодиода 1, проходящий через обе шкалы и линзу 3, будут близки к синусоиде с постоянной составляющей, большей амплитуды самой синусоиды и со сдвигом фаз 90° (квадратурные сигналы).

Аналогично угловым индуктосинам существуют угловые растровые датчики, в которых считывающие шкалы с оптопарами (светодиод и фотодиод) неподвижны, а вращается диск, на котором по окружности нанесены штрихи.

Бесконтактные датчики координат

Бесконтактные датчики координат бывают двух основных видов: на приборах с зарядовой связью (ПЗС) и локационные.

Приборы с зарядовой связью представляют собой линейные или двумерные структуры, элементы которых под действием света приобретают электрический заряд. Двумерные структуры по существу являются воспринимающей частью видеокамеры. Подаваемое на эти датчики изображение может формироваться как в проходящем (теневое изображение), так и отраженном свете. Следует отметить, что при использовании таких датчиков между ИО и первичными преобразователями размещается еще один преобразователь — оптическое устройство, изменяющее масштаб изображения, и коэффициент этого изменения необходимо учитывать при анализе ИК.

Локационные датчики используют отражение световых или акустических сигналов от объекта. Расстояние до него вычисляется путем измерения мощности, фазы или задержки отраженного сигнала по отношению к излученному.

К бесконтактным датчикам координат точек поверхностей относятся и голографические датчики [30]. Их основу составляют лазеры (когерентные источники света), когерентная оптика и оптоэлектронные преобразователи. Они отличаются высокой чувствительностью и повышенной точностью,

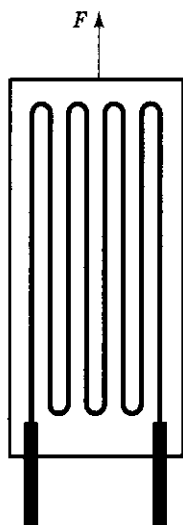


Рис. 2.11

что послужило основой их широкого применения в голографической интерферометрии. Голографическая интерферометрия обеспечивает бесконтактное измерение расстояний одновременно от множества точек наблюдаемой поверхности путем сравнения с мерой — длиной волны света, излучаемого лазером, которая известна с высокой точностью.

Датчики силы

Наибольшее распространение получили параметрические датчики силы с использованием тензорезисторов.

Тензорезистор (рис. 2.11) представляет собой решетку, изготовленную печатным способом или просто из тонкого проводника. При деформации тензорезистора под действием силы F в указанном направлении его длина увеличивается, площадь поперечного сечения уменьшается и, соответственно, растет его сопротивление. Строго говоря, тензорезистор

служит преобразователем перемещений в диапазоне до нескольких десятков микрометров. По прямому назначению он используется при исследовании деформаций элементов различных механизмов и машин. Десятки и даже сотни тензорезисторов наклеиваются на эти элементы, в результате чего исследователь получает полную картину деформаций.

Датчик силы представляет собой упругий элемент, на который наклеены один или несколько тензорезисторов, электрическое сопротивление которых меняется пропорционально деформации упругого элемента и, следовательно, пропорционально приложенной к нему силе. Диапазон измерения зависит от размеров упругого элемента.

Для измерения силы применяются также датчики, использующие пьезоэлектрический эффект. Этот эффект проявляется в поляризации диэлектрика, то есть появлении на его поверхностях электрических зарядов, под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля. Пьезоэлектрические датчики являются генераторными, однако выходным сигналом является не напряжение или ток, а электрический заряд. Обработка такого сигнала вторичным преобразователем обладает определенной спецификой. Пьезоэффект присущ некоторым кристаллическим веществам (прежде всего кварцу), а также специально разработан-

ным пленочным материалам. Поскольку непосредственной причиной пьезоэффекта является деформация материала, пьезодатчик силы, как и тензодатчик, представляет собой упругий элемент, на котором размещен пьезопреобразователь.

Датчики давления

По принципу действия эти датчики сходны с датчиками силы. Измеряемое давление с помощью механических элементов преобразуется в перемещения, величина которых не превышает десятков микрометров. Эти перемещения измеряются с помощью тензорезисторных, пьезоэлектрических, емкостных или индуктивных преобразователей. Механическими преобразователями могут быть сильфоны, мембраны, тонкие пластины. Благодаря малости действующих сил и деформаций пленочные пьезопреобразователи могут использоваться без промежуточных механических преобразователей.

Датчики температуры

Основными датчиками температуры являются терморезисторы (параметрические датчики) и термопары (генераторные датчики). Терморезисторы изготавливают из металлов или полупроводниковых материалов, удельное сопротивление которых зависит от температуры. Термопара представляет собой два последовательно соединенных спаев двух разных металлов, например железо—константан, медь—константан, серебро—палладий и др. На спае возникает контактная разность потенциалов, которая увеличивается с увеличением температуры. Поскольку контактные разности потенциалов спаев направлены навстречу друг другу, напряжение на выходе термопары будет пропорционально разности температур спаев.

Для бесконтактного измерения температуры используются оптические датчики, основанные на анализе отраженного или излучаемого объектом света, и акустические датчики, использующие зависимость скорости звука от температуры среды. Эти датчики используются при измерении температур в экстремальных условиях.

Датчики скорости и ускорения

Непосредственное измерение скорости представляет собой довольно сложную задачу. Для перемещений в малых диапазонах скорость может измеряться с помощью электромагнитных датчиков, основанных на возбуждении в катушке ЭДС при перемещении внутри нее постоянного магнита. При больших перемещениях для измерения скорости используется бесконтактный датчик, работающий на эффекте Доплера, суть которого состоит в том, что частота локационного сигнала (электромагнитного или акустического), отра-

женного от движущегося объекта, увеличивается пропорционально скорости, если объект приближается к излучателю, и уменьшается в противоположном случае.

Средняя угловая скорость измеряется или путем измерения угла поворота за известный интервал времени, что приводит к сглаживанию мгновенной скорости. Используется также измерение центростремительной силы, обусловленной центростремительным ускорением и пропорциональной угловой скорости. Второй метод аналогичен измерению ускорений.

Датчики ускорения, акселерометры, основаны на косвенном методе измерения, так как преобразуют силу инерции, действующую на массу в соответствии со вторым законом Ньютона. В зависимости от принципа действия преобразователей силы различают емкостные, пьезорезистивные, пьезоэлектрические акселерометры.

Одним из самых известных датчиков изменения направления движения объекта является гироскоп. Принцип его действия основан на том, что вращающееся тело стремится сохранить направление оси вращения. Первыми и до сих пор применяемыми являются механические гироскопы, называемые роторными. Их основу составляет массивный диск, вращающийся с большой скоростью (тысячи и десятки тысяч оборотов в минуту). В настоящее время используются также кварцевые вибрационные гироскопы, основанные на измерении силы Кориолиса, и оптические гироскопы, использующие оптоволоконные оптические резонаторы.

Датчики расхода

Все датчики расхода реализуют косвенные методы измерения, используя основные законы гидродинамики. Практически все датчики измеряют скорость движения жидкости или газа, а величина расхода рассчитывается с учетом площади поперечного сечения трубопровода. Существуют следующие виды датчиков:

- датчики скорости потока по перепаду давления;
- ультразвуковые расходомеры, измеряющие скорость на основе эффекта Доплера;
- электромагнитные расходомеры проводящей жидкости, основанные на измерении напряжения, индуцированного в соответствии с законом Фарадея в жидкости, движущейся в магнитном поле;
- тахометрические расходомеры с крыльчаткой и турбинные, в которых скорость движения потока преобразуется в скорость вращения и затем подсчитывается число оборотов вращающегося элемента.

Акустические датчики

В настоящее время наибольшее применение находят электростатические (конденсаторные) и пьезоэлектрические микрофоны; иногда используются электродинамические. Принцип действия этих микрофонов ясен из их названия. Разновидностью электростатических микрофонов являются электретные. Электрет — это кристаллический диэлектрик с постоянной электрической поляризацией. Поэтому на пластинках конденсатора с диэлектриком из электрета присутствуют электрические заряды, которые создают электрический потенциал. Величина напряжения на высокоомной нагрузке, подключенной к последовательно соединенным электретному и воздушному конденсаторам, будет зависеть от емкости воздушного конденсатора. В электретном микрофоне одной из обкладок воздушного конденсатора является колеблющаяся мембрана, воспринимающая звук. Поэтому зазор воздушного конденсатора и, следовательно, его емкость будут изменяться в соответствии с изменением звука. Следует отметить, что обычный электростатический микрофон является параметрическим датчиком, а электретный — генераторным.

Существуют также оптоволоконные микрофоны, в которых мембрана, воспринимающая звук, помещена между торцами оптоволокон, и ее колебания модулируют интенсивность светового потока, излучаемого лазерным диодом, проходящего через оптоволоконно и воспринимаемого фотодиодом.

Датчики влажности

Наибольшее применение находят емкостные и резистивные датчики. Принцип действия первых основан на том, что диэлектрическая проницаемость воздуха зависит от концентрации водяных паров. При построении резистивных датчиков используется тот факт, что удельное сопротивление многих неметаллических материалов зависит от содержания в них воды.

Датчики световых излучений

Наиболее распространенными оптическими датчиками являются фотодиоды, величина тока на выходе которых определяется величиной падающего светового потока. Более чувствительными являются фототранзисторы, которые объединяют в одном полупроводниковом приборе фотодиод и усилитель фототока, генерируемого фотодиодом. Естественно, что для выполнения функций усилителя фототранзистор должен иметь внешнее питание.

Параметрическими датчиками светового излучения являются фоторезисторы, изготовленные из материала (напри-

мер, сульфида кадмия или селенида кадмия), удельное сопротивление которого зависит от освещенности.

Датчики для измерения инфракрасного излучения имеют свою специфику. Большинство из них использует эффект нагревания поверхности датчика под действием измеряемого излучения. Для измерения температуры применяются миниатюрные терморезисторы, а также ячейки Голея, работающие на эффекте расширения газа при нагревании, что приводит к деформации мембраны, измеряемой датчиком положения; используются и другие методы.

Датчики радиоактивного излучения

Для измерения радиоактивного излучения используются сцинтилляционные детекторы, принцип работы которых основан на свойстве некоторых материалов преобразовывать ионизирующее излучение в свет, интенсивность которого затем измеряется с помощью оптического детектора. Существуют ионизационные детекторы, где под действием ионизирующего излучения возникают пары ионов, концентрация которых потом измеряется тем или иным способом. По этому принципу, в частности, работают камеры Вильсона, а также самые простые и наиболее распространенные датчики радиоактивного излучения — счетчики Гейгера—Мюллера, в которых под действием внешнего электрического поля возникшие ионы ускоряются и ионизируют другие молекулы газа, что приводит к лавинообразному нарастанию числа ионов. В силу этого датчики Гейгера—Мюллера имеют высокую чувствительность. Наилучшую разрешающую способность среди современных датчиков радиоактивного излучения имеют полупроводниковые детекторы, принцип действия которых аналогичен принципу действия ионизационных детекторов. Вдоль траектории образовавшегося иона внутри полупроводникового материала образуются пары электрон—дырка, появление которых фиксируется в виде импульсов тока на $p-n$ -переходе.

Датчики химического состава и концентраций

Эти датчики весьма разнообразны и образуют специфическую группу. Строго говоря, они не являются датчиками физических величин, но тем не менее являются средствами измерений и могут входить в состав ИИС для контроля технологических процессов наряду с другими преобразователями. В силу своей специфики химические датчики характеризуются, кроме перечисленных в начале параграфа показателей, избирательностью и чувствительностью к определенным химическим реагентам. Избирательность — это способность датчика реагировать только на определенное химическое вещество и не реагировать на все остальные. Чувствительность характе-

ризуется либо минимальной концентрацией детектируемого вещества, либо минимальными изменениями этой концентрации, которые могут быть зафиксированы.

Существуют следующие основные группы химических датчиков.

Электрохимические датчики, основанные на изменении электрических характеристик растворов или твердых веществ в зависимости от концентрации детектируемого вещества. Например, сопротивление некоторых оксидных пленок изменяется при адсорбции на их поверхности различных газов. Проводимость между стоком и истоком полевого транзистора изменяется при реакции специального покрытия, нанесенного на затвор, с исследуемой жидкостью. Напряжение на электродах, помещенных в электролит, зависит от материала электродов и химического состава электролита. К этой группе относятся датчики, измеряющие ток в жидкости, определяемый количеством детектируемых веществ, например кислорода и др.

Составные датчики основаны на измерении физических величин, зависящих от химического состава. К этой группе относятся:

- датчики, измеряющие температуру в зоне контакта чувствительного элемента с исследуемым веществом;
- датчики, измеряющие изменение интенсивности, поляризации и скорости света при прохождении его через исследуемое вещество;
- гравиметрические или микровесовые датчики, измеряющие изменение массы за счет адсорбции детектируемого вещества на чувствительных элементах.

Особую группу составляют химические детекторы на основе спектрального анализа излучения исследуемого вещества.

Детекторы присутствия и движения объектов

Эти датчики основаны на самых различных принципах. Однако по своим функциям они не являются средствами измерений и используются в основном в системах автоматики. Поэтому в дальнейшем этих датчиков мы касаться не будем.

* * *

Из изложенного видно, что некоторые датчики имеют сравнительно простую конструкцию, непосредственно преобразуя измеряемую величину в электрическую, например терморезисторы или фотодиоды. Другие датчики имеют довольно сложную механическую конструкцию, что относится в первую очередь к датчикам линейных и угловых переме-

щений, датчикам расхода. Многие датчики оказываются составными, например датчики силы и давления, инфракрасного или радиоактивного излучения, тахометрические расходомеры, химические датчики и др. В них измеряемая величина преобразуется в другую физическую величину, которая затем преобразуется в электрическую. В подобных случаях второй преобразователь можно было бы отнести к вторичным, однако конструктивно оба эти преобразователя, как правило, представляют собой единое целое, и с функциональной и конструктивной точек зрения наличие этого промежуточного преобразования и физическая природа промежуточной величины не имеют значения.

Следует также отметить, что многие первичные преобразователи ориентированы на косвенное измерение, поскольку они преобразуют не непосредственно измеряемую величину, а некоторую другую, связанную с ней взаимно-однозначной зависимостью. Например, большинство датчиков расхода преобразует в электрическую величину скорость потока, датчики влажности основаны на преобразовании диэлектрической проницаемости и т. д.

В рамках одного параграфа невозможно дать исчерпывающую информацию обо всех видах первичных преобразователей. Однако из изложенного можно сделать вывод, что при создании новой ИИС нет необходимости проектировать новые датчики. Для любой физической величины всегда можно найти несколько вариантов серийно выпускаемых датчиков, пригодных для решения поставленной задачи.

2.3. Вторичные измерительные преобразователи и АЦП

Основной функцией вторичных измерительных преобразователей (ВИП) является преобразование информации, выдаваемой первичными преобразователями, в напряжение, подаваемое на АЦП. В каждом конкретном случае вид и функции вторичного преобразователя определяются видом первичного преобразователя. В предыдущем параграфе различные датчики были сгруппированы по виду измеряемой величины. Однако при выборе ВИП определяющим является вид выходной величины, а преобразуемая первичным преобразователем физическая величина уже не имеет существенного значения.

ВИП характеризуются теми же показателями, что и ПИП, то есть прежде всего функцией преобразования и показателя-

ми погрешности. Кроме того, появляется специфический показатель — требования к источникам питания, поскольку качество питающего напряжения (величина, стабильность, отклонение формы, фон и другие помехи) существенно влияет на качество выполнения преобразователем своих функций. Рассмотрим основные виды ВИП, ориентированных на различные группы выходных величин ПИП.

Усилители

Для датчика генераторного типа, как уже отмечалось, вторичный преобразователь может и не понадобиться, если сигнал самого датчика достаточно велик. В противном случае вторичные преобразователи усиливают сигнал и при необходимости изменяют его постоянную составляющую. В этом случае используется стандартная схема операционного усилителя с отрицательной обратной связью (рис. 2.12, а).

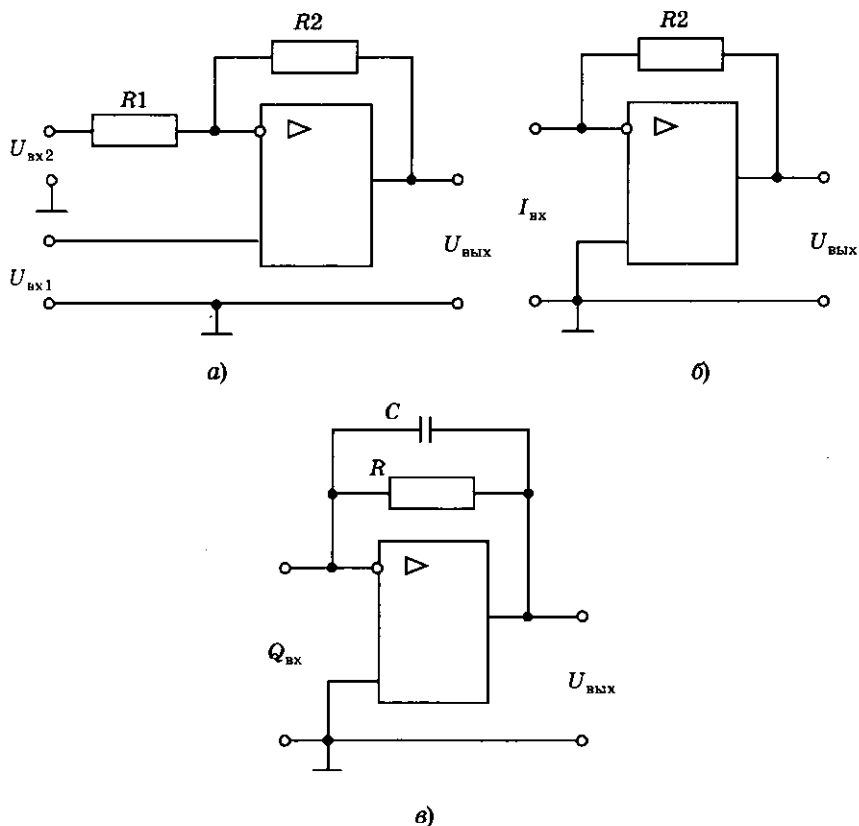


Рис. 2.12

Коэффициент усиления такого усилителя определяется отношением сопротивлений резисторов $R2$ и $R1$:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{K_y}{1 + K_y R1/R2} = \frac{1}{\frac{1}{K_y} + \frac{R1}{R2}} \approx \frac{R2}{R1}, \quad (2.1)$$

где K_y — коэффициент усиления усилителя без обратной связи. Приближенное соотношение записано в предположении, что K_y много больше требуемого значения коэффициента усиления.

При подаче усиливаемого сигнала на вход 1 он не инвертируется, а при подаче на вход 2 инвертируется. Неиспользуемый вход обычно заземляют. При необходимости на него может быть подан постоянный сигнал для изменения постоянной составляющей.

Усилители могут работать в недифференциальном режиме, когда усиливаемый сигнал подается на один вход, а вторым входом является общая земля (общий нуль), и в дифференциальном режиме, когда исследуемый сигнал подается на оба входа, что имеет место, например, при усилении сигналов с мостовых схем.

Если датчик генераторного типа выдает ток, то вторичный преобразователь должен преобразовать выходной ток в напряжение и при необходимости усилить. Для этого также может быть использован операционный усилитель, в котором сопротивление $R1$ много меньше выходного сопротивления датчика, рассматриваемого как генератор тока. В этом случае коэффициент передачи вторичного преобразователя

$$K = U_{\text{вых}}/I_{\text{вх}} = R2 \quad (2.2)$$

не зависит от $R1$. Из этого следует, что входной резистор может быть исключен, и мы приходим к схеме, изображенной на рис. 2.12, б.

Определенная специфика имеется при усилении зарядов, генерируемых, в частности, пьезоэлектрическими датчиками. Любое конечное входное сопротивление усилителя приводит к стеканию заряда и уменьшению выходного сигнала. Поэтому для преобразования и усиления такого выходного сигнала используется интегрирующий усилитель, схема которого показана на рис. 2.12, в. Коэффициент передачи такого вторичного преобразователя

$$K = U_{\text{вых}}/Q_{\text{вх}} = 1/C. \quad (2.3)$$

Из этой формулы следует, что коэффициент передачи будет тем больше, чем меньше емкость конденсатора C . Однако

нужно иметь в виду, что данное соотношение записано в предположении идеальности конденсатора, то есть его сопротивление утечки R , показанное на схеме, равно бесконечности. Однако реально оно конечно. Поэтому емкость должна быть выбрана такой, чтобы модуль ее сопротивления на низшей возможной частоте изменения заряда была много меньше сопротивления утечки.

Делители напряжения и мосты

Для параметрических датчиков вторичные преобразователи формируют напряжение, зависящее от изменения выходного параметра датчика. Далее для краткости и простоты изложения будем считать, что выходной величиной датчика является комплексное сопротивление Z_x . Это предположение соответствует и физической сущности работы датчиков. Только у резистивных датчиков для достаточно больших диапазонов частот мы можем считать выходное сопротивление чисто активным. В емкостных датчиках мы должны учитывать сопротивление утечек (особенно на низких частотах), а для индуктивных датчиков — активное сопротивление обмотки и эквивалентное сопротивление потерь в сердечнике (особенно на больших частотах), хотя при теоретических расчетах выходные сопротивления этих датчиков считают чисто реактивными.

Для преобразования сопротивления в напряжение используются делители напряжения и мостовые схемы.

Два варианта схемы делителя приведены на рис. 2.13.

Делители напряжения являются простейшими вторичными преобразователями. Однако следует иметь в виду, что для обеих схем характеристики преобразования существенно нелинейны.

$$\dot{U}_{\text{вых } a} = \frac{\dot{Z}_x}{\dot{Z}_x + \dot{Z}_0} \dot{U}_{\text{п}}, \quad \dot{U}_{\text{вых } b} = \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_x + \dot{Z}_0} \dot{U}_{\text{п}}. \quad (2.4)$$

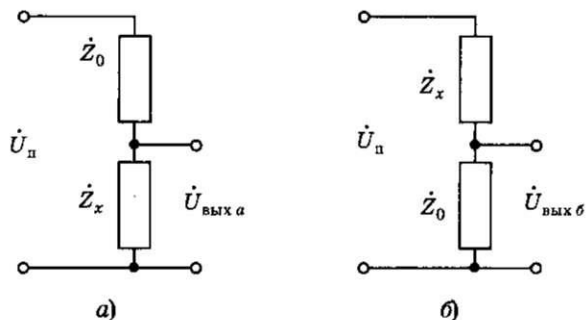


Рис. 2.13

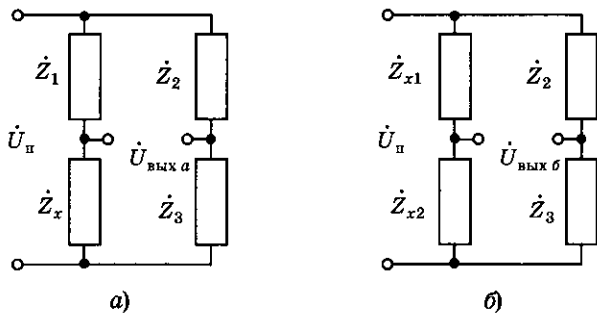


Рис. 2.14

Нелинейность будет уменьшаться по мере уменьшения Z_x по сравнению с Z_0 . Однако при этом будет уменьшаться и чувствительность преобразователей.

На рис. 2.14, а приведена мостовая схема вторичного преобразователя для недифференциальных датчиков, а на рис. 2.14, б — для дифференциальных.

Функции преобразования для этих преобразователей имеют вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{вых } a} &= \left[\frac{\dot{Z}_x}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_x} - \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \right] \dot{U}, \\ \dot{U}_{\text{вых } б} &= \left[\frac{\dot{Z}_{x2}}{\dot{Z}_{x1} + \dot{Z}_{x2}} - \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \right] \dot{U}_n. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Первая из этих характеристик нелинейна, а вторая — если оба компонента дифференциального датчика имеют одинаковые начальные сопротивления и изменяются симметрично, будет линейной.

Емкости и индуктивности могут измеряться мостами только переменного тока. Активные сопротивления могут измеряться мостами как постоянного, так и переменного тока. При этом вариант моста переменного тока не должен отвергаться, как более сложный. Следует иметь в виду, что передача информации на переменном токе более помехоустойчива, чем на постоянном. Поэтому, если датчики удалены от ВИП, что имеет место, например, при контроле напряженных строительных элементов мостов и других сооружений, целесообразно и для резистивных датчиков использовать мосты переменного тока.

Нелинейность вторичных преобразователей имела существенное значение при аналоговой обработке. При цифровых методах она может быть устранена в процессе линеаризации характеристик ИК.

Как видно из формул (2.4) и (2.5), чувствительность делителей и мостов увеличивается с увеличением питающего напряжения. Однако его нельзя увеличивать неограниченно. В силу малых размеров датчиков даже при небольших протекающих токах их нагрев может привести к изменению выходной величины, например сопротивления. Поэтому изменения выходного напряжения делителя или моста могут быть малыми, и потребуются их усиление. При усилении сигналов с делителей обязательно потребуется изменение постоянной составляющей, о возможности чего мы уже говорили. Такая компенсация, хотя и в меньшей степени, может потребоваться и для мостовых преобразователей. Сигналы делителя можно подавать на усилитель по недифференциальной схеме, а выходные сигналы мостовых преобразователей — по дифференциальной схеме. При измерении комплексных сопротивлений мостами переменного тока вторичный преобразователь необходимо дополнить выпрямителями для преобразования переменного напряжения в постоянное. При этом для компенсации фазовых сдвигов, например в дифференциальных индуктивных или емкостных преобразователях, могут потребоваться фазочувствительные детекторы.

Поскольку чувствительность делителей и мостовых схем пропорциональна величине питающего напряжения, его нестабильность непосредственно переносится в мультипликативную погрешность ВИП. Поэтому к стабильности питающего напряжения предъявляются весьма жесткие требования.

При использовании мостов переменного тока в каждый вторичный преобразователь должен входить генератор синусоидального сигнала частотой несколько (иногда несколько десятков) кГц. При наличии в ИИС нескольких близко расположенных однотипных вторичных преобразователей один генератор может использоваться для питания нескольких мостов. Это упрощает конструкцию, но может привести к увеличению взаимного влияния измерительных каналов.

Фазометры и частотомеры

Вторичные преобразователи для параметрических датчиков могут быть генераторного типа, когда датчик включается в цепь обратной связи и величина его выходного сопротивления определяет частоту генерируемого колебания. В этом случае в состав вторичного преобразователя должен входить измеритель частоты.

Во вторичном преобразователе реактивное сопротивление может преобразовываться в сдвиг фазы синусоидального сигнала, который затем измеряется. Например, к измере-

нию фазы сводится вторичное преобразование сигнала сельсина при измерении угла поворота.

Измерения фазы и частоты обычно производятся цифровыми методами. При измерении частоты в режиме частотомера подсчитывается число периодов или полупериодов исследуемого сигнала за заданный интервал времени T (рис. 2.15, *а*). При измерении частоты в режиме периодомера подсчитывается число заполняющих импульсов существенно большей частоты за заданное число периодов исследуемого сигнала (рис. 2.15, *б*). При измерении фазы подсчитывается число импульсов между переходами через нуль с одинаковой производной опорного и преобразованного сигналов и измеряется период, если он заранее не известен (рис. 2.15, *в*).

Для импульсных датчиков вторичный преобразователь должен обеспечить подсчет числа импульсов. Во всех этих случаях выходной сигнал ВИП, содержащийся в счетчике импульсов, оказывается представленным в цифровой форме, то есть в данном случае вторичный преобразователь выполняет и функции АЦП.

Следует отметить, что объединение вторичных преобразователей с АЦП не устраняет показанной на рис. 2.1 обратной связи ЭВМ с АЦП. Начало счета импульсов и считывание результатов счета производятся по командам с ЭВМ.

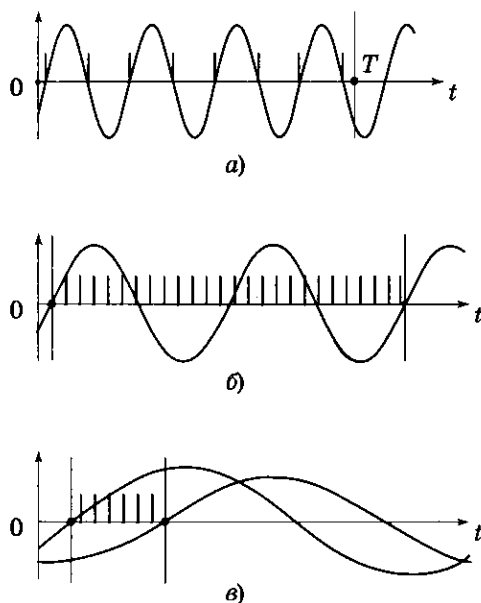


Рис. 2.15

Специфика вторичных преобразователей для датчиков перемещений

Алгоритмы функционирования вторичных преобразователей при измерении угловых и линейных перемещений могут иметь специфические особенности. Остановимся на двух частных случаях.

Кодовые датчики и сельсины при измерении угла в пределах одного оборота являются статическими, то есть при подаче на них питания они выдают значение углового положения в данный момент времени, независимо от того, были ли изменения положений при нахождении датчика в выключенном состоянии. Однако в статическом режиме невозможно зафиксировать полное угловое перемещение, если оно превышает целый оборот. Это перемещение можно зафиксировать только в динамическом режиме, фиксируя все переходы угла через нуль с учетом направления перехода, что определяет знак приращения в счетчике числа полных оборотов. При этом очевидно, что полные обороты, совершенные при выключенном датчике, не фиксируются.

Аналогичная ситуация наблюдается при вторичной обработке квадратурных сигналов датчиков с периодическими структурами (линейные или угловые индуктосины или роторные фотоэлектрические датчики). На рис. 2.16, а показана зависимость этих сигналов от величины перемещения (на

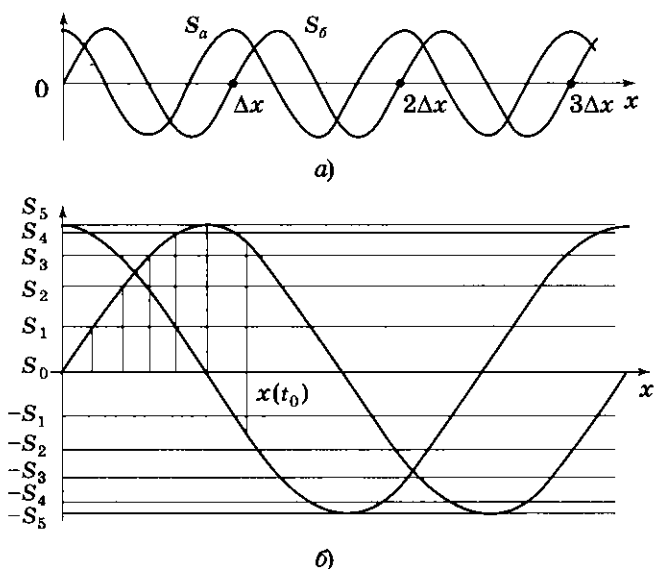


Рис. 2.16

рисунке исключены постоянные составляющие, которые имеются в сигналах растровых датчиков, поскольку их величина не влияет на алгоритмы обработки). Шаг линеек равен Δx . Амплитуды сигналов предполагаются равными. В противном случае они могут быть скорректированы при обработке.

Непосредственно из рисунка видно, что величину полного перемещения можно найти, определив целое число шагов и часть шага, соответствующую моменту отсчета. Если перемещение происходит в одном направлении, число полушагов можно определить, подсчитывая переходы через нуль любого одного сигнала. Однако при этом нельзя определить даже направление перемещения. Изменение направления движения никак не будет фиксироваться. Поэтому, подсчитывая число переходов через нуль, можно определить полный путь, но не координату. Наличие двух сигналов устраняет эту проблему. При движении в положительном направлении последовательность переходов через нуль с учетом знака производной имеет вид $+a, +b, -a, -b, +a, \dots$, что соответствует приращению координаты при каждом переходе на четверть шага. При движении в обратном направлении последовательность переходов будет иной: $+a, -b, -a, +b, +a, \dots$, и каждый переход через нуль уменьшает координату на четверть шага. Если в процессе движения происходят реверсы, то каждый переход через нуль изменяет координату на четверть шага, а знак этого изменения определяется направлением перемещения. Признаком реверса является последовательное появление в одном из квадратурных сигналов двух одинаковых переходов через нуль. Таким образом, анализируя и соответствующим образом подсчитывая переходы квадратурных сигналов через нуль, можно определить координату с дискретностью в четверть шага линейки датчика.

Меньшую дискретность (имеется в виду малый шаг квантования) можно получить, используя значения сигналов в момент считывания координат. Алгоритм интерполяции можно пояснить следующим образом. Пусть периодические сигналы $S_a(t)$ и $S_b(t)$, сдвинутые относительно друг друга на четверть шага, имеют стабильную одинаковую форму, будучи четными функциями относительно осей, проходящих через экстремумы, и нечетными относительно осей, проходящих через нулевые значения сигналов. Отличие этих функций от моделей в виде синусоиды или кусочно-линейной функции не имеет принципиального значения, важна стабильность их формы. Разобьем четверть шага шкалы на n равных интервалов и обозначим через S_i верхние границы

этих интервалов (рис. 2.16, б). Тогда, как видно из рисунка, абсолютное значение поправки δx при снятии отсчета перемещения в момент времени t_0 можно рассчитать по формуле

$$\begin{aligned} |\delta x| &= \{i\Delta x / 4n, S_a(t_0)S_\delta(t_0) > 0; \\ (i-1)\Delta x / 4n, S_a(t_0)S_\delta(t_0) < 0. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Индекс i в (2.6) выбирается так, чтобы S_i наименьшим образом отличалось от $S_a(t_0)$. Знак приращения определяется направлением перемещения, найденного на основе анализа последовательности пересечений сигналами нулевого уровня.

Аппаратно поправка может вычисляться различными способами, например путем аналого-цифрового преобразования сигнала $S_a(t)$ или путем формирования импульсов при каждом переходе сигналами уровней S_i . С алгоритмической точки зрения это не имеет значения.

Форма сигналов индуктосинов более стабильная, поэтому для них величина n может достигать сотен. Для фотоэлектрических датчиков n обычно не превышает 5...10. Однако, учитывая существенно меньший шаг их линеек, они обеспечивают существенно меньшую дискретность отсчета перемещений.

Из описания алгоритма работы вторичных преобразователей для датчиков с квадратурными сигналами следует, что эти преобразователи могут работать только в динамическом режиме. Информация о перемещении кареток при выключенных датчиках полностью теряется. Поэтому после включения датчика должна производиться установка нуля для координаты путем прохождения через нуль-метку, входящую в состав датчика, или касания точки с известной координатой.

Ранее в состав вторичных преобразователей входили аналоговые устройства, компенсирующие нелинейность датчиков. Однако в настоящее время линейаризация чаще всего производится цифровыми вычислительными устройствами. Это может быть центральная ЭВМ, а иногда и специализированные микропроцессорные устройства, встраиваемые во вторичный преобразователь.

Элементарной базой вторичных преобразователей являются электронные компоненты широкого применения. В этом случае каждый ВИП представляет собой печатную плату, содержащую до нескольких десятков элементов. Для некоторых широко применяемых датчиков разработаны и серийно выпускаются специализированные микросхемы. Такие микросхемы существуют для индуктивных и растровых преоб-

разователей перемещения, для термопар, тензорезисторов, для датчиков давления, преобразователей Холла и некоторых других. Эти микросхемы обеспечивают выполнение всех функций вторичных преобразователей. Например, микросхема для работы с индуктивными датчиками содержит мостовую схему, генератор для ее питания, фазовый детектор и усилитель. Причем, хотя эта микросхема разработана для индуктивных преобразователей, в принципе она может использоваться и для емкостных и резистивных датчиков.

Использование специализированных микросхем приводит к существенному удешевлению и упрощению конструкции, поскольку в этом случае ВИП содержит одну специализированную микросхему и несколько дискретных элементов (резисторов, конденсаторов, дросселей), используемых для задания частоты, масштабных коэффициентов и т. п. При этом повышаются практически все технические показатели: точность, стабильность, надежность и др.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП), независимо от области их применения, характеризуются следующими основными показателями:

- число разрядов выдаваемого кода n ;
- диапазон преобразуемых напряжений U_v ;
- цена младшего разряда δU ;
- время преобразования $t_{пр}$.

Очевидно, что первые три показателя взаимосвязаны: $U_v = 2^n \delta U$.

К АЦП как к части измерительного канала предъявляется особое требование — стабильность цены младшего разряда во всем диапазоне преобразуемых напряжений, поскольку она непосредственно влияет на погрешность измерений.

Выше мы уже касались аналого-цифрового преобразования, осуществляемого во вторичных преобразователях, использующих счетчики импульсов. Однако наибольшее применение находят серийно выпускаемые интегральные АЦП — одни из наиболее часто используемых универсальных электронных компонентов. В этих АЦП используются в основном три способа преобразования.

1) Преобразование напряжения в частоту с последующим измерением частоты.

2) Двойное интегрирование, при котором выходное напряжение интегратора возрастает линейно, со скоростью, пропорциональной преобразуемому сигналу, с измерением времени нарастания от нулевого до заданного фиксированного уровня. Время нарастания определяется путем подсчета числа импульсов.

2.4. Выбор ЭВМ

ЭВМ в составе ИИС выполняет следующие основные функции:

- управление процессом сбора первичной измерительной информации путем подачи соответствующих команд на АЦП, вторичные преобразователи и устройства, оказывающие воздействие на исследуемый объект;
- обработка первичной измерительной информации в соответствии с алгоритмом, определяемым целевым назначением ИИС;
- отображение результатов обработки в форме, удобной пользователю;
- хранение массивов первичной измерительной информации и результатов измерений и их дальнейшая обработка при постановке задач более высокого уровня.

К числу вспомогательных функций ЭВМ можно отнести тестирование состояния отдельных узлов и ИК ИИС, организацию их самонастройки, управление каналами связи и некоторые другие.

Из перечисления функций ЭВМ видно, что ее состав и характеристики определяются содержанием задач, решаемых ИИС. В этом отношении дать какие-либо общие рекомендации сложно. Поэтому остановимся на выборе одного из двух используемых вариантов ЭВМ:

- серийно выпускаемый персональный компьютер;
- специализированное вычислительное устройство, спроектированное и выпускаемое для конкретной ИИС или достаточно узкого круга ИИС.

Рассмотрим кратко преимущества и недостатки этих вариантов в различных аспектах.

Функциональные возможности

Современные ПК обладают весьма широкими функциональными возможностями, достаточными для решения большинства практических задач. Однако специализированные вычислительные устройства, создаваемые в настоящее время на базе микропроцессоров и других больших интегральных схем, также имеют практически неограниченные функциональные возможности. При необходимости они могут сопрягаться с различными устройствами отображения и иметь многообразные интерфейсы. Поэтому по отношению к функциональным возможностям оба варианта эквивалентны. При этом следует отметить, что функциональные возможности ПК (быстродействие, объемы памяти и др.) более чем на 90% используются на обеспечение сервиса (простоты программирования, удобства общения, наглядности отображения и т. п.). Для решения чисто инженерных задач достаточно нескольких процентов ресурса современных ПК.

Условия эксплуатации

Большинство ПК предназначено для работы в условиях офисов, могут использоваться и в лабораториях. Однако для производственных и других сложных условий, где может потребоваться защита от воздействия пыли, влаги, электромагнитных помех и других внешних факторов, они мало пригодны. Ряд фирм выпускает ПК для неблагоприятных условий эксплуатации. Такие промышленные компьютеры используются, например, в координатно-измерительных машинах и в автоматизированных приборах для контроля высокоточных зубчатых колес. Однако они дороги и их номенклатура ограничена. Поэтому во многих случаях целесообразнее использовать специализированные вычислительные устройства, для которых проще обеспечить надежную работу в жестких условиях эксплуатации. Примером таких спе-

специализированных серийно выпускаемых устройств являются электронные блоки систем числового программного управления металлообрабатывающим оборудованием.

Эргономичность

ПК имеют хорошо развитую систему органов управления и отображения. Это свойство, безусловно положительное при работе в офисе или лаборатории, для производственных условий может оказаться отрицательным. Большое количество клавиш затрудняет работу оператора и может привести к субъективным сбоям¹. В специализированном устройстве можно предусмотреть только те органы управления и отображения, которые необходимы для данной ИИС, и обеспечить большее удобство эксплуатации по сравнению с универсальными ЭВМ.

Возможность наращивания числа решаемых задач

Гибкие ИИС, у которых число решаемых задач наращивается при эксплуатации, можно создавать только на персональных ЭВМ. Обеспечить такую гибкость при использовании специализированных устройств практически невозможно.

Стоимость

Стоимость крупносерийной продукции ниже, чем единичного или мелкосерийного изделия. Поэтому стоимость ПК, несмотря на его избыточность, может оказаться сопоставимой или даже ниже, чем стоимость более простого специализированного устройства, выпускаемого в небольших количествах. Однако стоимость компьютеров с высокой степенью защиты в несколько раз больше стоимости компьютера для работы в нормальных условиях. Объемы выпуска таких компьютеров на несколько порядков ниже. Поэтому преимущества за счет большой серийности для них отсутствуют. В стоимость специализированного устройства часто приходится включать стоимость его разработки или доработки базового исполнения. Перечисленные факторы действуют в противоположных направлениях. Поэтому с точки зрения стоимости в общем случае нельзя сделать однозначный вывод о предпочтительности одного варианта перед другим.

Обслуживание

Обслуживание и замена крупносерийного изделия всегда проще, чем специализированного. В этом смысле преимущество персональной ЭВМ бесспорно. Однако надежность современных электронных компонентов настолько высока, что

¹ В производственных условиях на клавиатуру иногда ставят дополнительный кожух, закрывающий неиспользуемые клавиши.

заменять их приходится довольно редко. Из изложенного следует, что в каждом конкретном случае выбор между серийным ПК и специализированной ЭВМ производится индивидуально с учетом всех влияющих факторов. Относительно общий характер имеют только два вывода:

- в гибких ИИС, используемых, как правило, при научных исследованиях, следует использовать ПК;
- для производственных условий, особенно при неблагоприятном характере внешних факторов, следует использовать или промышленные ПК, или специализированные вычислительные устройства.

Следует отметить возможность промежуточного варианта. Ряд фирм выпускает единичные или мелкосерийные электронные блоки, в том числе и специализированных вычислительных устройств, на основе своих базовых разработок, адаптируя их к конкретным требованиям потребителя. Адаптация, в частности, проводится в отношении органов управления и отображения, связи с внешними устройствами, объемов памяти и т. д. В этом случае сохраняются положительные свойства серийной продукции (объем базовой части составляет 80...90% общего объема специализированного устройства), а за счет адаптации (доработка оставшихся 10...20%) исключается избыточность и обеспечиваются требуемые эргономические свойства.

В данном параграфе мы говорим о выборе центральной ЭВМ, обеспечивающей основную обработку и хранение измерительной информации и выдачу ее пользователю. Однако выше упоминалось, что в различных узлах ИК также могут использоваться микропроцессорные устройства для первичной обработки измерительной информации, выполненные на базе серийно выпускаемых БИС.

2.5. Каналы связи и интерфейсы

Организацию связи для любых применений, в том числе и в ИИС, следует рассматривать в различных аспектах [4, 29]: аппаратная реализация каналов, структура системы связи и обеспечение информационной совместимости источников и потребителей информации (интерфейсы).

Аппаратно используются в основном три вида каналов:

- проводные каналы, применяемые в локально сосредоточенных ИИС, когда длина каналов не превышает десятков метров;

- радиоканалы, в основном в УКВ диапазоне с частотной модуляцией, к которым примыкают и мобильные телефонные каналы;

- оптоволоконные каналы.

Радиоканалы и оптоволоконные каналы используются в пространственно распределенных ИИС. Оптоволоконные каналы более помехоустойчивы и имеют меньшую стоимость. Однако радиоканалы удобнее для связи с перемещающимися объектами. Эти два вида каналов используются и в телеизмерительных системах, которые по определению являются пространственно распределенными.

В рамках одной ИИС могут использоваться различные каналы; например, активные ПИП, не формирующие никакого выходного сигнала, могут быть связаны с ВИП только проводами. В этой системе для связи АЦП как с вторичными преобразователями, так и с ЭВМ могут использоваться каналы других видов.

В зависимости от того, какой параметр несущего сигнала используется для передачи информации, различают следующие виды систем передачи:

- системы интенсивности, в которых несущим параметром является значение тока или напряжения;

- частотные (частотно-импульсные), в которых передаваемая величина меняет частоту синусоидального сигнала или частоту следования импульсов;

- времяимпульсные, в которых несущим параметром является длительность импульсов; к ним же относятся фазовые системы, в которых передаваемая величина меняет фазу синусоидального сигнала или сдвиг во времени между двумя импульсами;

- кодовые (кодоимпульсные), в которых передаваемая величина передается какими-либо кодовыми комбинациями.

Системы интенсивности подразделяются на системы тока и системы напряжения в зависимости от того, какой вид сигнала используется для передачи информации по проводным каналам. Эти системы, передающие аналоговые сигналы, имеют сравнительно низкую помехоустойчивость, что приводит к дополнительным погрешностям передаваемой информации. Такие системы наиболее часто используются для связи первичных и вторичных преобразователей и для связи последних с АЦП. При этом приходится применять обычные методы повышения помехоустойчивости: использование витых пар и экранированных проводов, постановка блокировочных конденсаторов, развязка земли и нулевого провода и т. д.

Частотные, времяимпульсные и кодовые системы передачи имеют существенно большую помехоустойчивость и практически не вносят погрешности в передаваемую информацию.

При согласовании информационных потоков и пропускной способности каналов широко используются методы теории информации [29], которая появилась именно в связи с потребностями теории связи. При этом следует с осторожностью применять теоретико-информационные понятия в тех сферах, для которых они не предназначены, например при оценке неопределенности результатов измерения.

Как видно из сказанного, ИИС в настоящее время проектируются на основе агрегатного (модульного) принципа, в соответствии с которым устройства, входящие в систему, представляют собой отдельные самостоятельные изделия (приборы, блоки). Для обозначения унифицированных систем сопряжения устройств, участвующих в обмене информацией, используется термин интерфейс. Под интерфейсом (или сопряжением) понимают совокупность схмотехнических средств, обеспечивающих непосредственное взаимодействие составных элементов системы. Понятие интерфейса в принципе применимо и к системам интенсивности. Однако в этом простейшем случае оно включает в себя лишь требования к уровням сигналов и входным и выходным импедансам устройств приема-передачи. Основное же применение это понятие находит при организации передачи информации в кодовых системах. В этом случае различают два понятия: интерфейсные системы и интерфейсные устройства.

Под интерфейсной системой понимают совокупность логических устройств, объединенных унифицированным набором связей и предназначенных для обеспечения информационной, электрической и конструктивной совместимости. Интерфейсная система также реализует алгоритмы взаимодействия функциональных модулей в соответствии с установленными нормами и правилами.

Интерфейсные устройства подсоединяются к шине системы сопряжения и объединяются по определенным правилам, относящимся к физической реализации сопряжения. Конструктивное исполнение этих устройств, характеристики вырабатываемых и принимаемых блоками сигналов и согласование их последовательности во времени позволяют упорядочить обмен информацией между отдельными блоками.

Используются два подхода к организации взаимодействия элементов системы и построению материальных связей между ними:

- жесткая унификация и стандартизация входных и выходных параметров элементов системы;
- использование функциональных блоков с адаптивными характеристиками по входам-выходам.

Применение развитых стандартных интерфейсов при организации ИИС позволяет обеспечить быструю компоновку системы и разработку программ управления.

Между блоками ИИС осуществляется обмен информационными и управляющими сообщениями. Информационное сообщение содержит сведения о значении измеряемой величины, диапазоне измерения, времени измерения, результатах контроля состояния ИК и др. Управляющее сообщение содержит сведения о режиме работы блоков, о последовательности выполнения ими операций и др.

Наиболее распространенные интерфейсы определены международными, государственными [11] и отраслевыми стандартами.

Существует четыре основных признака классификации интерфейсов:

- способ соединения элементов системы (магистральный, радиальный, цепочечный, комбинированный);
- способ передачи информации (параллельный, последовательный, параллельно-последовательный);
- принцип обмена информацией (асинхронный, синхронный);
- режим передачи информации (двусторонняя одновременная передача, двусторонняя поочередная передача, односторонняя передача).

В цепочечной структуре каждая пара источник-приемник соединена попарно линиями от выходов предыдущих блоков к входам последующих, и обмен данными происходит непосредственно между блоками. Функции управления распределены между соседними устройствами. Цепочечную структуру интерфейсов используют, как правило, в несложных системах с несколькими функциональными устройствами. Если ИК не имеют общих аппаратных элементов, то соединение элементов каждого канала целесообразно организовывать по цепочечной структуре.

В системе, выполненной по радиальной структуре, имеется центральное устройство — контроллер, с которым каждая пара источник-приемник связана с помощью индивидуальной группы шин. Блоки и приборы, подключаемые к контроллеру, могут изменять свои места при соответствующем изменении программы работы контроллера. Под управ-

лением контроллера происходит обмен данными между каждым устройством и контроллером. Связь между управляющим устройством и одним из устройств-источников (приемников) сигналов может осуществляться как по инициативе контроллера, так и по инициативе устройств (абонентов). В последнем случае одно из устройств вырабатывает сигнал запроса на обслуживание, а контроллер идентифицирует запрашиваемое устройство. Когда контроллер готов к обмену данными, логически подключаются цепи связи и начинается процесс обмена. Эти цепи остаются подключенными, пока не будет передана нужная порция информации. Контроллер может производить обмен данными только с одним из устройств. В случае одновременного поступления запросов от двух и более абонентов по системе приоритетов будет установлена связь с устройством, имеющим наивысший приоритет. Приоритет присваивается приборам и блокам в зависимости от их типа, технических характеристик и важности поступающей информации. В интерфейсах с радиальной структурой приоритет чаще всего определяется местом подключения кабеля, соединяющего абонента с контроллером. Радиальное соединение функциональных блоков обеспечивает достаточно простую и быструю адресацию и идентификацию требуемого устройства.

К недостаткам радиальной структуры можно отнести большую длину соединительных линий, а также сложность контроллера, что приводит к увеличению стоимости ИИС.

Радиальную структуру целесообразно использовать для связи центральной ЭВМ с ИК и базирующим устройством. При этом функции контроллера может выполнять сама центральная ЭВМ. Для организации связей внутри ИК, как уже отмечалось, целесообразно использовать цепочечную структуру, которая отражает последовательную функциональную структуру ИК.

В системах с магистральной структурой вместо группы индивидуальных шин имеются коллективные шины, к которым подсоединяются все источники и приемники информации и контроллер. Такой интерфейс может быть использован в локально сосредоточенных ИИС для связи ИК с центральной ЭВМ.

По принципу обмена информацией интерфейсы подразделяют на параллельные, последовательные и параллельно-последовательные. При параллельной передаче цифровых данных каждый бит передаваемого численного значения транслируют по отдельной информационной линии. Это сообщение одновременно и полностью может быть введено в

интерфейс, а также воспринято приемником. Интерфейсные устройства параллельного ввода-вывода информации позволяют согласовать во времени процесс обмена данными между ЭВМ и периферийным устройством. При последовательной передаче все биты передаются по одной информационной линии в разные интервалы времени. При параллельно-последовательной передаче передаваемое число разбивается на части (обычно байты), которые передаются последовательно, а каждая часть передается параллельно.

Основными характеристиками интерфейса являются:

- функциональное назначение;
- номенклатура шин и сигналов;
- общее количество линий;
- количество линий для передачи данных;
- количество адресов;
- количество команд;
- быстродействие;
- длина линий связи;
- число подключаемых устройств;
- тип линий связи.

Основные функции интерфейса заключаются в обеспечении информационной, электрической и конструктивной совместимости между функциональными элементами системы. Информационная совместимость — это согласованность взаимодействий функциональных элементов системы в соответствии с совокупностью логических условий. Эти условия определяют функциональную и структурную организацию интерфейса и для большинства интерфейсов стандартизируются. Условия информационной совместимости определяют объем и сложность схемотехнического оборудования и программного обеспечения, а также основные технико-экономические показатели, пропускную способность и надежность интерфейса.

Электрическая совместимость — это согласованность статических и динамических параметров передаваемых электрических сигналов в системе шин, с учетом используемой логики и нагрузочной способности элементов. Условия электрической совместимости определяют:

- тип приемопередающих элементов;
- соотношение между логическим и электрическим состояниями сигналов и пределы их изменения;
- коэффициенты нагрузочной способности приемопередающих элементов (число внешних устройств, которое можно к ним подключить);

- схему согласования линии;
- допускаемую длину линии и порядок подключения линий к разъемам;
- требования к источникам и цепям электрического питания, к помехоустойчивости и заземлению.

Условия конструктивной совместимости определяют типы соединительных элементов (разъем, штекер); распределение сигналов интерфейса по контактам соединительных элементов; типы конструкции платы, каркаса, стойки; конструкции кабельного соединения.

Выполнение информационных, электрических и конструктивных условий совместимости необходимо, но не достаточно для взаимного сопряжения устройств и обмена данными между ними. Эти устройства должны выполнять определенную последовательность операций, связанных с обменом информацией: распознавать адрес сообщения, подключаться к линиям интерфейса, передавать сообщение в интерфейс, принимать его из интерфейса и др.

Основные функции интерфейса, которые необходимо реализовать для обеспечения информационной совместимости, определяются функциональной организацией интерфейса. На канал управления возложены функции селекции информационного канала, синхронизации обмена информацией, координации взаимодействия, а на информационный канал возлагаются функции буферного хранения информации, преобразования формы представления информации и др.

Селекция (арбитраж) информационного канала обеспечивает однозначность выполнения процессов взаимодействия сопрягаемых элементов системы. Селекция включает в себя следующие операции: инициирование запроса, выделение приоритетного запроса, идентификация запроса.

Функция синхронизации определяет временное согласование процессов взаимодействия между устройствами системы.

Функция координации определяет совокупность процедур по организации и контролю процессов взаимодействия устройств системы. Основными операциями координации являются настройка на взаимодействие, контроль взаимодействия, передача функций управления (настройки).

Повышение надежности достигается резервированием управления (при отключении питания или отказе интерфейсного модуля, выполняющего функции управления интерфейсом).

Повышение эффективности использования оборудования системы достигается исключением дублирования доро-

гостоящих устройств путем доступа к ним с разделением времени двух и более контроллеров и ЭВМ.

Информационный канал интерфейса предназначен для реализации функции обмена и преобразования информации. Основными процедурами функции обмена являются прием и выдача информации (данных, состояния, команд, адресов) регистрами входящих в системы устройств.

Основные процедуры функции преобразования следующие: преобразование последовательного кода в параллельный и наоборот; перекодирование информации; дешифрация команд, адресов; логические действия над содержимым регистра состояния.

Более подробную информацию об интерфейсах и описание конкретных интерфейсов можно найти в [20, 28].

В автоматизированных СИ, в том числе в ИИС, применяются две группы интерфейсов: приборные и машинные.

2.5.1. Приборные интерфейсы

Проектирование ИИС на основе модульного принципа построения привело к необходимости регламентировать основные требования к совместимости этих блоков. Реализация принципов программного управления работой ИИС на рубеже 1960—1970-х годов привела к разработке приборных интерфейсов. Являясь частным случаем рассмотренных выше интерфейсов, они отражают специфику сопряжения стандартных СИ, устройств ввода-вывода и управляющих устройств.

Принцип работы приборного интерфейса следующий. При передаче информации от источника к приемнику работа обоих приборов координируется сигналами по линиям шины синхронизации. При этом цикл передачи включает четыре фазы:

- 1) источник выставляет информационный байт;
- 2) источник выставляет сигналы на шине синхронизации;
- 3) приемник принимает информацию;
- 4) приемник подготавливается к приему нового байта информации.

Схемы интерфейса программно-управляемых приборов выполняются в двух вариантах:

- 1) реализованные и конструктивно оформленные внутри прибора как его составная часть, с установкой стандартного разъема на задней панели прибора; этот вариант применяется преимущественно в новых приборах, выпускаемых по стандарту МЭК;

2) отдельные интерфейсные модули, подключаемые к серийно выпускаемым или находящимся в обращении цифровым приборам и устройствам; эти модули по существу являются адаптерами, то есть переходными устройствами между выходом прибора и стандартным входом в магистраль приборного интерфейса.

Приборный интерфейс широко применяется как отечественной промышленностью, так и зарубежными фирмами при построении ИИС для автоматизации эксперимента. Из имеющихся непрограммируемых приборов, не подготовленных для совместной работы, приборный интерфейс позволяет создавать ИС путем использования относительно несложных устройств сопряжения — интерфейсных плат и микроЭВМ в качестве контроллера системы. Уже несколько десятилетий применяются приборные интерфейсы КАМАК и канал общего пользования (КОП), называемый IEEE-488, HP-488, GPIB, IEC-625.1 или МЭК-625.1.

2.5.2. Машинные интерфейсы

Машинные (или системные) интерфейсы предназначены для объединения составных блоков ЭВМ в единую систему. Тенденция развития машинных интерфейсов вызвана необходимостью значительного увеличения доли операций ввода-вывода, номенклатуры и числа периферийных устройств. В связи с этим существенно возросли требования к унификации и стандартизации интерфейсов.

Характерной особенностью машинных интерфейсов является необходимость их работы в нескольких режимах взаимодействия, влияющих на функциональный состав систем шин. Основными режимами взаимодействия являются ввод-вывод по программному каналу и по каналу прямого доступа в память.

Широко известными примерами машинных интерфейсов являются последовательный интерфейс RS-232, параллельные интерфейсы RS-422 и RS-485, более современные SCSI, ISA, VLB, PCI, AGP, USB и др.

Машинные интерфейсы могут использоваться в тех случаях, когда отдельные блоки ИИС размещены непосредственно в системном блоке ЭВМ, что имеет место в первую очередь для локальных ИИС, а также в том случае, если АЦП, работающий в мультиплексном режиме, и коммутатор размещены в ЭВМ, а информация с ИК поступает в виде аналоговых сигналов.

Разработчик ИИС в основном выбирает приборные интерфейсы, обеспечивающие информационный обмен различ-

ных технических средств ИИС. Машинный интерфейс ПК заложен в его конструкцию. При разработке специализированного вычислительного устройства разработчик ИИС может повлиять на выбор машинного интерфейса.

2.6. Базирующие устройства

Рассмотренные выше преобразователи, каналы связи, ЭВМ и интерфейсные устройства являются серийно выпускаемыми изделиями, которые могут использоваться в качестве унифицированных комплектующих в ИИС самого различного назначения. Несколько иным является базирующее устройство, на котором размещаются датчики и во многих случаях ИО. Это устройство не является ни средством измерения, ни средством вычислительной техники. По традиционной классификации технических средств, используемых в процессе измерения, оно должно быть отнесено к вспомогательным средствам. Базирующее устройство выполняет две основные функции:

- обеспечение взаимодействия датчиков с ИО (датчики могут быть контактными или бесконтактными, что не меняет сущности этой функции);
- подача на ИО воздействий, обеспечивающих получение необходимой первичной измерительной информации.

Из сказанного следует, что конструкция и функции конкретных базирующих устройств столь же многообразны, как и виды ИО и решаемые при их исследовании измерительные задачи. Проиллюстрируем это несколькими примерами.

1) При метеорологических наблюдениях окружающей среды ИО не может быть размещен ни на одном базирующем устройстве. Компонентами базирующего устройства в этом случае будут, в частности, будки метеостанций наземного наблюдения. Эти компоненты достаточно просты по конструкции, хотя и должны удовлетворять определенным требованиям. В частности, на датчик канала измерения температуры не должен непосредственно падать солнечный свет, будка должна хорошо вентилироваться, в нее не должны проникать осадки. Однако для метеорологических исследований используются и более сложные и специфичные базирующие устройства, на которых устанавливаются метеодатчики: метеорологические зонды и ракеты, искусственные спутники Земли. При сборе первичной метеорологической информации не предполагаются какие-либо воздействия на ИО, однако уп-

равление процессом сбора данных и фиксирование перемещения датчиков или управление ими необходимы.

2) При исследовании размеров и формы сложной детали первичная информация представляет собой координаты точек поверхности этой детали. Сбор этой информации может быть реализован различными способами. Детали малых или средних размеров устанавливаются на базирующее приспособление, на котором установлены датчики, перемещаемые относительно исследуемой детали. В этом случае базирующее устройство должно содержать управляемый привод линейных или угловых перемещений, работающий под управлением ЭВМ. Нетрудно видеть, что для деталей одинаковой формы, но существенно отличающихся размерами, измерительные задачи могут формулироваться одинаково, и для решения этих задач могут использоваться почти одинаковые ИИС. Однако базирующие устройства будут различными. При измерении деталей средних и, особенно, больших размеров использование специального базирующего устройства в составе СИ может оказаться нецелесообразным или практически невозможным. В этом случае в процессе измерения деталь может оставаться на обрабатывающем станке, на котором вместо обрабатывающего инструмента устанавливаются датчики. Для управления перемещениями датчиков относительно детали в этом случае используется привод станка. Могут использоваться также накладные базирующие устройства (скобы, обкатные ролики и др.), содержащие ПИП, устанавливаемые на деталь и перемещаемые по ее поверхности.

3) В параграфе 2.2 приводилось много примеров резистивных датчиков, принцип действия которых основан на том, что удельное сопротивление материала датчика зависит от внешних воздействий: температуры, освещенности, влажности и др. При исследовании свойств этих (да и любых других) материалов необходимо изменять влияющие факторы: температуру, напряженность электрических и магнитных полей, уровень радиоактивного излучения и др. В этом случае базирующее устройство должно содержать устройства, обеспечивающие требуемые значения этих воздействий.

4) Преобразование сигнала воздействия исследуемым объектом описывается некоторым оператором. Для измерения характеристик этого оператора, например частотной характеристики для линейного оператора, или функции преобразования для нелинейного безынерционного оператора на вход ИО необходимо подавать тестовые воздействия (тестовые сигналы). Форму этих воздействий может задавать ЭВМ.

Однако на базирующем устройстве должны быть размещены устройства, преобразующие коды ЭВМ в сигнал нужной физической природы в зависимости от вида ИО. При исследовании электронных устройств это электрический сигнал, формируемый ЦАП; для акустических систем — звук; для механических систем воздействием может быть сила или перемещение, изменяющиеся по заданному закону.

Из приведенных примеров видно, что конкретизация функций базирующего устройства вытекает из существа измерительной задачи, используемых математических и физических моделей ИО, алгоритмов сбора первичной информации. Поэтому разработка базирующих устройств ведется в неразрывной связи с разработкой всей ИИС.

ИК ИИС различного назначения могут иметь однотипные и даже одинаковые элементы, но базирующие устройства у них отличаются принципиально, причем каждое из них требует специальной конструкторской проработки. При этом устройства, формирующие воздействия на исследуемый объект (нагреватели, приводы, источники полей и др.), могут быть унифицированными серийными изделиями. Однако удельный вес оригинальных узлов и изделий все равно может оказаться достаточно большим. Существенно и то, что объем выпуска базирующих устройств равен объему выпуска соответствующей ИИС, то есть в лучшем случае это мелкая серия, что неизбежно повышает себестоимость. В итоге стоимость разработки и изготовления базирующего устройства может доходить до половины стоимости всей ИИС.

В данном пособии, как и в работах других авторов, основное внимание уделяется вопросам, общим для ИИС различного назначения: структуре ИИС и системы связи, элементной базе ИК, алгоритмам обработки для типовых групп задач, метрологическому обеспечению и анализу достоверности результатов. Вопросы разработки базирующих устройств, в силу их разноплановости, мы практически касаться не будем. Однако при разработке и эксплуатации конкретной ИИС этот вопрос может оказаться одним из первостепенных.

