

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



Г. А. ГЕЛЬМАН, Э. А. СОСКИН

**БЕСКОНТАКТНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ
В СХЕМАХ И УСТРОЙСТВАХ
АВТОМАТИКИ**



БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 180

Г. А. ГЕЛЬМАН, Э. А. СОСКИН

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
В СХЕМАХ И УСТРОЙСТВАХ
АВТОМАТИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1966

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И.,
Смирнов А. Д., Устинов П. И.

УДК 621.375:62—50:003.6 (04)

Г32

В брошюре приведены основные сведения о простейших элементах, которые находят широкое применение в бесконтактных схемах и устройствах автоматики. Кратко описаны принципы действия этих элементов и даны их важнейшие технические характеристики.

Показаны примеры применения рассматриваемых элементов в конкретных бесконтактных приборах схемах и устройствах автоматики и телемеханики.

Брошюра рассчитана на квалифицированных монтеров, занятых монтажом, наладкой и эксплуатацией различных приборов, устройств и схем автоматики и телемеханики, в которых используются бесконтактные элементы.

Гельман Григорий Абрамович, Соскин Эмиль Артурович,
Бесконтактные элементы в схемах и устройствах автоматики.

М.—Л., изд-во „Энергия“, 1966.

88 с. с черт. (Б-ка электромонтера, вып. 180)

Тематический план 1965 г., № 154.

* * *

Редактор *И. Я. Авиновицкий*

Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 23/VIII 1965 г.

Подписано к печати 3/1 1966 г.

Т-01501 Бум. тип. № 2 84×108¹/₃₂

Печ. л. 4,62

Уч.-изд. л. 4,71

Тираж 20 000 экз.

Цена 16 коп.

Зак. 589

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производственных процессов, централизованный контроль за работой автоматизированных установок, использование управляющих вычислительных машин — находят все более широкое применение во всех отраслях народного хозяйства страны.

Построение в короткий срок материально-технической базы коммунизма, намеченное Программой Коммунистической партии Советского Союза, принятой XXII съездом КПСС, требует непрерывного и быстрого роста производительности труда, совершенствования техники, технологии и организации управления производством.

В решении этой задачи первостепенная роль принадлежит автоматизации. От автоматизации работы отдельных агрегатов и операций в настоящее время переходят к комплексной автоматизации работы целых цехов и технологических процессов, к созданию полностью автоматизированных систем, сооружений и предприятий.

Комплексная автоматизация требует централизованного контроля и управления работой отдельных автоматизированных установок, часто расположенных на значительных расстояниях друг от друга.

При этом во многих случаях для передачи требуемой информации на большие расстояния приходится применять специальные технические средства — телемеханические системы, которые позволяют надежно и быстро передавать эту информацию по специальным каналам связи. Средства телемеханики, однако, применяются не только для целей централизации контроля и управления. С помощью этих средств могут создаваться так называемые телеавтоматические системы, кото-

рые осуществляют автоматические связи непосредственно между объектами, удаленными друг от друга на большие расстояния, но связанными общим технологическим циклом

Комплексная автоматизация производства и централизованное управление создают наилучшие условия для оптимизации технологических процессов с помощью вычислительной техники, повышения оперативности управления и надежности работы оборудования.

Автоматизация производственных процессов может быть успешно осуществлена лишь при наличии разнообразных и надежных технических средств, включающих самые различные по назначению и устройству машины и аппараты, такие, например, как датчики, усилители, стабилизаторы, вычислительные элементы и т. п.

Промышленностью выпускается большое количество оборудования и аппаратуры, предназначенных для автоматизации производства. Наибольшее распространение до настоящего времени получило оборудование, построенное на базе релейно-контактных элементов, электронных ламп и т. п.

В последнее время все более широкое применение получает бесконтактная аппаратура, элементы которой не имеют подвижных контактов и частей. Известно, что надежность релейно-контактных систем резко снижается с увеличением общего числа контактов в схеме; кроме того, быстродействие таких систем весьма ограничено. В то же время для современных устройств автоматики часто требуются именно многоконтактные и быстродействующие системы.

Бесконтактные устройства обладают рядом значительных преимуществ по сравнению с устройствами контактными: они более надежны, имеют значительно больший (а иногда практически неограниченный) срок службы, в меньшей степени нуждаются в обслуживании, обладают большим быстродействием и т. п.

Современная техника располагает значительным числом различных простейших элементов, нашедших широкое применение в бесконтактных аппаратах и приборах автоматического контроля и управления, в устройствах телемеханики, вычислительной технике, а также в схемах и устройствах автоматики. При соз-

дании таких простейших бесконтактных элементов обычно используют различные физические (а иногда и иные) свойства материалов, такие, например, как магнитные, емкостные, термоэлектрические, фотоэлектрические, радиоактивные и др. В брошюре рассматриваются лишь основные из этих элементов, получившие наиболее массовое распространение.

1. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

а) Принцип действия и технические данные

Термоэлектрические элементы обладают свойством непосредственного преобразования тепловой энергии в изменение термоэлектрической э. д. с., или электрического сопротивления. По характеру выходной электрической величины термоэлектрические преобразователи соответственно можно разделить на термопары и термосопротивления.

Термопары являются индикаторами температуры генераторного типа.

Принципиальная схема простейшей термопары показана на рис. 1. Действие термопары основано на возникновении в разнородных проводниках *A* и *B*, концы которых спаяны между собой, термоэлектродвижущей силы при наличии разности температур t_1 и t_2 между точками соединения проводников *1* и *2*.

Значение термоэлектрической э. д. с. тем больше, чем больше разность температур концов термопары. Изменение э. д. с. почти пропорционально изменению температуры. Для измерения температуры какой-либо среды необходимо, чтобы температура одного из концов термопары, называемого «холодным спаем», оставалась постоянной. Нагреваемый рабочий конец термопары называется «горячим спаем». Точность измерения температуры с помощью термопары тем выше, чем стабильнее поддерживается постоянство температуры «холодного спая». Перед применением термопары в ка-



Рис. 1. Принципиальная схема термопары.

честве датчика температуры ее необходимо отградуировать, т. е. определить зависимость термоэлектрической э. д. с. от температуры рабочего конца термопары при определенной температуре «холодного спая» и определенном значении сопротивления проводников и соединяющих термопару с измерительным прибором.

Изменение температуры «холодного спая» вносит определенную погрешность в показания измерительного прибора. Имеются, однако, схемы, обеспечивающие автоматическую компенсацию изменения температуры «холодного спая».

Термопары являются основными чувствительными элементами датчиков температуры, также называемых *термопарами*.

В системах автоматики *термопары* применяются также для сравнения температур в двух точках. В этом случае оба конца термопары являются рабочими. Наличие термоэлектрической э. д. с. свидетельствует о разности температур t_1 и t_2 обоих концов, а полярность э. д. с. показывает, в какой из контролируемых точек температура выше и в какой ниже.

Таблица I

Основные данные стандартных термопар

Наименование электродов термопары	Максимальная рабочая температура, °С		Термоэлектрическая э. д. с. при рабочей температуре 100° С, мв	Термоэлектрическая э. д. с. при рабочей температуре (длительный нагрев), мв
	при длительном нагреве	при кратковременном нагреве		
Хромель-алюмель	900	1 300	4,10	41,31
Хромель-копель	600	800	6,95	49,0
Железо-копель	600	800	5,75	37,4
Медь-копель	350	500	4,75	20,0
Медь-константа	350	500	4,15	17,1
Платинородий-платина	1 300	1 750	0,64	13,15

Имеется ряд чистых проводниковых материалов и сплавов, используемых в качестве электродов термопар, обладающих постоянством своих термоэлектрических свойств, однозначной зависимостью э. д. с. от температуры, механической и химической устойчивостью при высоких температурах. В табл. I приведены основные данные термопар, применяемых в технике.

Термосопротивления¹ обладают свойством менять свое электрическое сопротивление R в зависимости от температуры t . Качество термосопротивления характеризуется его чувствительностью к изменению температуры и определяется температурным коэффициентом сопротивления α , представляющим собой относительное изменение сопротивления $\Delta R/R$ на единицу приращения температуры Δt :

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \Delta t}.$$

Коэффициент α может быть положительным (когда при повышении температуры сопротивление элемента увеличивается) или отрицательным (когда при повышении температуры сопротивление элемента уменьшается).

Термосопротивления выполняются как из металлов, так и из полупроводников.

Металлические термосопротивления изготавливаются из чистых металлов таких, как платина, медь, никель, вольфрам и др.

Чистые металлы обладают стабильностью положительного коэффициента сопротивления и электрическое сопротивление их меняется от 3,7 до 6,5% при изменении температуры на 10°С. С помощью металлических сопротивлений можно измерять температуры от -200 до +500°С.

Из проволочных термосопротивлений изготавливаются так называемые термометры сопротивления. Наибольшее распространение из них получили медные термометры сопротивления (типа ЭТМ) и платиновые (типа ЭТП).

Полупроводниковые термосопротивления (термисторы) изготавливаются из смеси окислов ряда металлов, опресованных и спеченных при высокой температуре. Термисторы имеют значительно большее удельное сопротивление, чем металлы, и существенно превосходят металлические термосопротивления по чувствительности.

В отличие от металлических термосопротивлений термисторы имеют отрицательный температурный коэффициент.

¹ ПО ГОСТ 10688—63 термосопротивления называются терморезисторами.

циент сопротивления и электрическое сопротивление изменяется от 3 до 6% при изменении температуры на 1° С. Изменение сопротивления полупроводников в зависимости от изменения температуры происходит не равномерно, как у металлов, а по кривой, показанной на рис. 2, называемой экспонентой. Полупроводниковые термосопротивления различных типов могут работать при температуре от -100 до +400° С. Стабильность характеристик термисторов ниже, чем у металлических

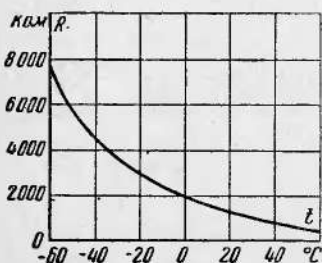


Рис. 2. Зависимость сопротивления термисторов от изменения температуры.

термосопротивлений. Каждое полупроводниковое термосопротивление требует индивидуальной градуировки и тренировки (т. е. выдержки при высокой температуре). С помощью термисторов можно измерять температуру с точностью не менее 0,1° С. Термосопротивления широко применяются в качестве датчиков, с помощью которых измеряются температура либо различные неэлектрические величины.

При измерении неэлектрических величин с помощью термосопротивлений используется свойство контролируемой среды, окружающей термосопротивление, влиять на количество тепла, отводимого от нагретого термосопротивления. В этом случае термосопротивление нагревается проходящим по нему током, а температура его определяется изменяющимися условиями теплоотдачи. На этом принципе построены различные датчики, измеряющие скорость потока газа, вакуумметры и др.

При измерении же температуры среды ток, проходящий через термосопротивление, настолько мал, что температура этого сопротивления определяется практически только температурой окружающей среды. В качестве таких термометров сопротивлений используются как металлические, так и полупроводниковые термосопротивления. Последние могут также быть использованы для компенсации температурных погрешностей в электрических приборах и аппаратах, будучи, например, включены последовательно с металлической обмоткой какого-

либо элемента. Компенсация осуществляется здесь за счет противоположных знаков температурных коэффициентов сопротивления α у полупроводниковых термосопротивлений и металлических обмоток приборов.

Термисторы, по форме исполнения, изготавливаются в виде бусинок, шайб, трубок, стержней и пленок. Электропромышленность выпускает различные типы термисторов, наибольшее распространение из которых получили термисторы типов ММТ (медномарганцовые) и КМТ (кобальтомарганцовые). В табл. 2 приведены основные характеристики термисторов этих типов.

Указанная в табл. 2 постоянная времени термосопротивления τ является отношением теплоемкости C к коэффициенту рассеяния H , т. е.

$$\tau = \frac{C}{H}.$$

Теплоемкость C представляет собой энергию, необходимую для нагрева термосопротивления на 1°C ($\text{вт} \cdot \text{сек}/^\circ\text{C}$), а коэффициент рассеяния H — мощность, рассеиваемую термосопротивлением при разности температур термосопротивления и окружающей среды в 1°C ($\text{вт}/^\circ\text{C}$).

б) Примеры применения

Термопары. Как указывалось выше, датчики, в которых в качестве чувствительного элемента используются различные термопары, по названию этого элемента также называются термопарами. По своему назначению, техническим характеристикам и конструктивному исполнению термопары весьма разнообразны. Наибольшее распространение получили термопары типов ТХА (хромель-алюмель) и ТХК (хромель-копель). Сплавы, служащие материалом этих термопар, имеют следующий состав:

хромель — 90% никеля, 10% хрома;
алюмель — 1% кремния, 2% алюминия, 0,17% железа, 2% марганца, 95,83% никеля;
копель — 56,5% меди, 43,5% никеля.

Термопары типов ТХА и ТХК предназначены для измерения температуры жидких и газообразных сред в промышленных и лабораторных условиях.

Основные характеристики термисторов

Тип	Назначение	Рабочий интервал температур, °С	Сопротивление при 20° С, ком	Температурный коэффициент сопротивления α, %/°С	Постоянная времени (в воздухе) τ, сек	Пределно допустимый ток, ма	Размеры, мм
ММТ-1	Универсальное применение (измерение температуры, тепловая защита и др.)	-70 ÷ +120	(1 ÷ 2 000) ± 20%	-2,4 ÷ -3,4	85	12	6,5 ± 1,5
ММТ-4	То же	-70 ÷ +120	(1 ÷ 200) ± 20%	-2,4 ÷ -3,4	115	12	22 ± 1,5
ММТ-5	То же	-70 ÷ +120	(1 ÷ 200) ± 20%	-2,4 ÷ -3,4	115	12	15 ± 1,5
КМТ-1	То же	-70 ÷ +180	(20 ÷ 1 000) ± 20%	-4,5 ÷ -6,0	85	5	6,5 ± 1,5
КМТ-4	То же	-70 ÷ +120	(20 ÷ 1 000) ± 20%	-4,5 ÷ -6,0	115	2	22 ± 1,5
КМТ-10 КМТ-11	Тепловой контроль механизмов и машин	до +120	(100 ÷ 3 000) ± 20%	-4,5 ÷ -6	—	15	—
Т8, Т9 Т8С-1 Т8С-2, Т8С-3 и т. д.	Индикация или изменение мощности на сверхвысоких частотах, измерение температуры	-50 ÷ +60	—	-4,5 ÷ -6	1	10	—

Датчик состоит из собственно термопары и наружной арматуры, в которую она помещена. Собственно термопара представляет собой два термоэлектрода, изготовленных в виде проволоки. В термопарах типа ТХА — электроды хромелевый (+) и алюмелевый (—) диаметром 1,2 мм, а в термопарах типа ТХК — хромелевый (+) и копелевый (—) диаметром 0,7—1,5 мм.

Термоэлектроды изолированы друг от друга и от наружной арматуры фарфоровыми изоляторами. Собранный таким образом термопара помещается в наружную защитную арматуру, снабженную штуцером или фланцем (неподвижным или подвижным) для ввода в трубопровод, резервуар или аппарат с испытываемой средой и головкой для вывода проводов от термопары.

На рис. 3 показаны общие виды некоторых термопар типов ТХА и ТХК. Термопары работают в комплекте с милливольтметрами или автоматическими потенциометрами.

Термометры сопротивления. Термосопротивления чаще всего используются в качестве основного элемента в термометрах сопротивления.

Как указывалось выше, наиболее распространенными являются термометры сопротивления типов ЭТМ и ЭТП. Предназначены они для измерения температуры жидких и газообразных сред в трубопроводах, резервуарах и помещениях.

Термометр состоит из чувствительного элемента и наружной арматуры. Чувствительный элемент термометра представляет собой тонкую медную или платиновую проволоку, намотанную на каркас, который заключается в защитную оболочку. Наружная арматура состоит из головки со штуцером или гибким шлангом для вывода проводов, защитной трубки и подвижного или неподвижного штуцерного соединения, при помощи которого термометр ввертывается в стенку трубопровода или резервуара.

Термометры сопротивления работают в комплекте с автоматическими мостами или логометрами и питаются постоянным током от источника сетевого питания ИСП-2. При этом градуировка термометра сопротивления и шкала прибора должны быть однозначны. Сопротивление при 0° у термометров с чувствительным элементом

из медной проволоки составляет 53 ом, а с чувствительным элементом из платиновой проволоки — 46 ом.

Платиновые термометры сопротивления используют для длительного измерения температуры в пределах

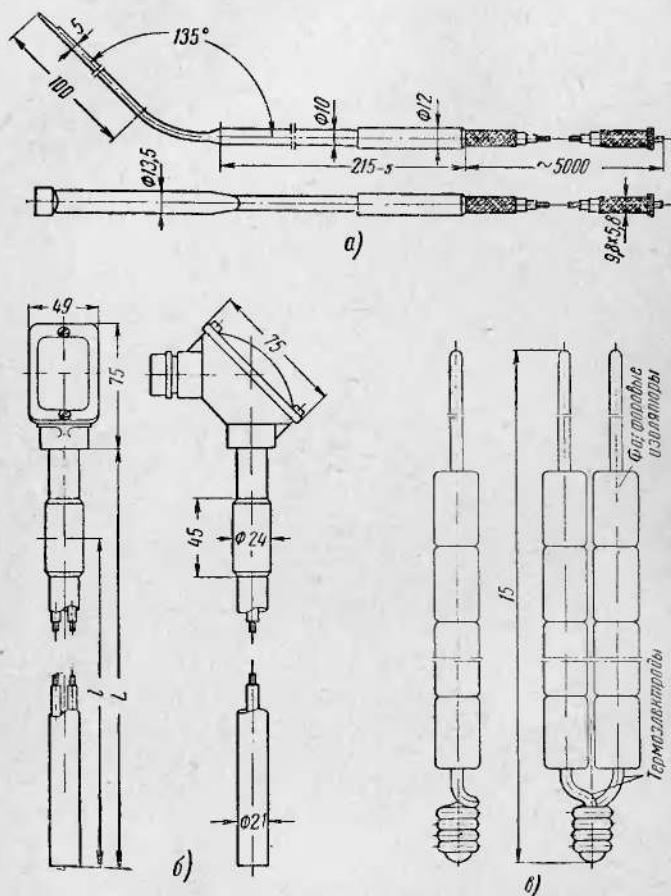


Рис. 3. Общий вид термометры

а — типа ТХКР-7ИИ; б — типа ТХА-ХИИ; в — типа ТХАП.

от -200 до $+500^{\circ}\text{C}$, медные — в пределах от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$. Платиновые термометры не рекомендуется устанавливать в условиях вибрации. Медные термометры являются виброустойчивыми.

Медные термометры сопротивления выпускаются только одинарными, платиновые — одинарными и двойными. Двойной термометр сопротивления предназначен для работы с двумя приборами и имеет два электрически независимых чувствительных элемента. При определении глубины погружения термометра необходимо учесть, что чувствительный элемент платинового термометра (активная его часть) имеет длину около 120 мм, а медного термометра — около 60 мм; поэтому термометры сопротивления измеряют среднюю температуру среды в зоне, прилегающей к активной части термометра.

Материал обмотки термометра сопротивления — медь марки ПЭЛШО диаметром 0,1 мм или платина диаметром 0,07 мм. На рис. 4 показана конструкция термометра типа ЭТМ-ХІ, с чувствительным элементом из медной проволоки.

Устройство температурной сигнализации типа УТС-1 предназначено для сигнализации превышения допустимой температуры подшипников различных механизмов.

Принцип действия сигнализатора основан на релейном эффекте в цепи с термосопротивлением, который заключается в том, что при достижении контролируемой средой заданной

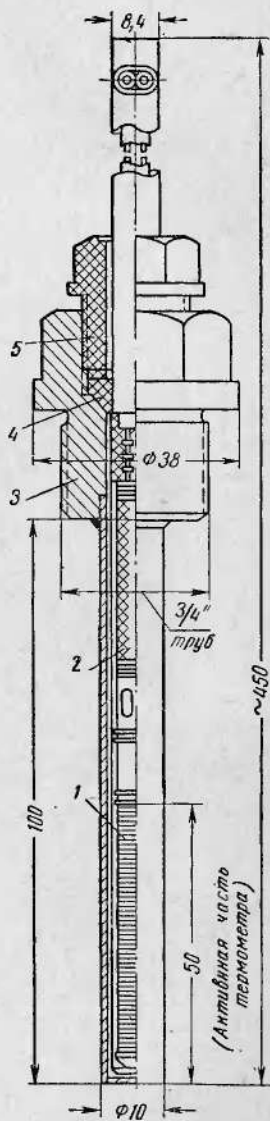


Рис. 4. Термометр сопротивления медный типа ЭТМ-ХІ.

1 — чувствительный элемент (тонкая медная проволока); 2 — пакет термометра; 3 — арматура; 4 — асбестовый шнур; 5 — штуцер.

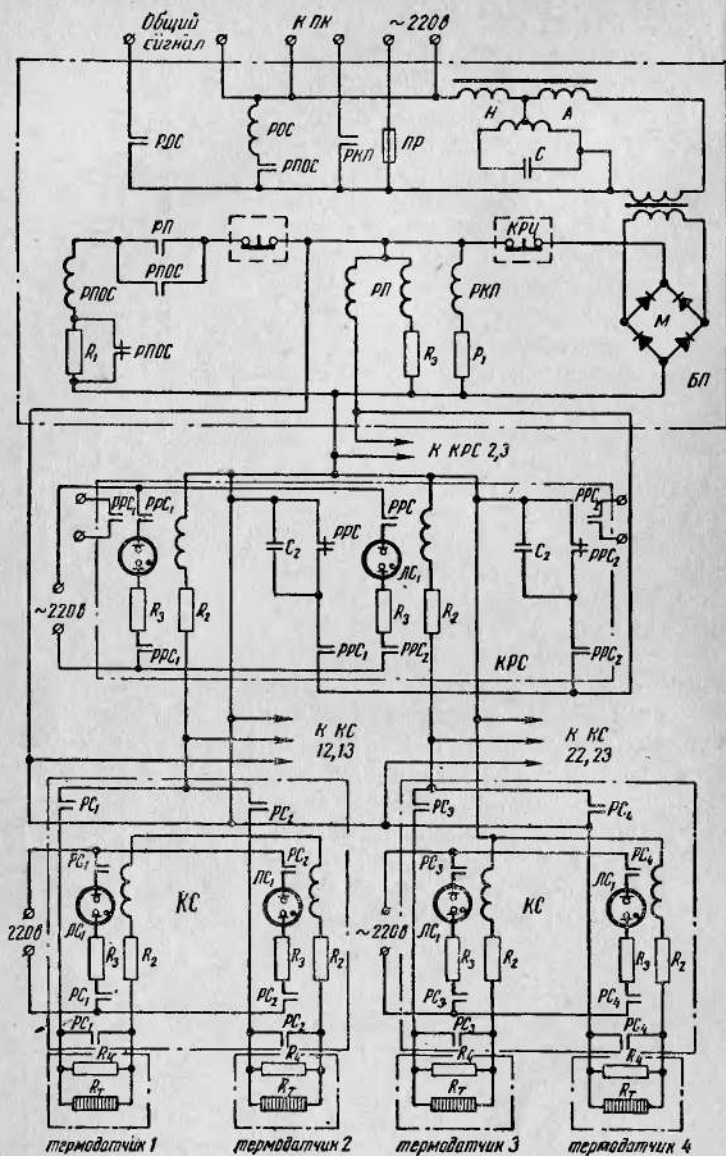


Рис. 5. Принципиальная схема устройства температурной сигнализации типа УТС-1.

температуры в такой цепи происходит лавинообразное нарастание тока, обеспечивающее срабатывание сигнализирующих реле.

Устройство (рис. 5) состоит из блока питания, коробок распределительно-сигнальных (до 12 шт.), коробок сигнальных (до 25 шт.) и термодатчиков (до 50 шт.). Блок питания БП служит для питания устройства и получения одного общего сигнала о наличии перегрева любого из контролируемых подшипников. Коробки распределительно-сигнальные КРС предназначены для сигнализации перегрева любого из подшипников данной группы. Коробки сигнальные КС для сигнализации перегрева отдельных подшипников. Таким образом, коробки КС обеспечивают местную, КРС — групповую, а блок питания — общую сигнализацию перегрева контролируемых подшипников.

К одной коробке КС подключаются два термодатчика, к одной же коробке КРС может подключаться любое количество коробок КС в пределах комплекта. Один комплект устройства обеспечивает контроль температуры в 50 точках.

Термодатчики представляют собой термосопротивления. Они изготавливаются в пылевлагонепроницаемом исполнении, для четырех нормальных глубин погружения: 100, 150, 200, 300 мм.

Сигнализируемая температура перегрева подшипников при статическом режиме нагрева составляет $65 \pm 5^\circ \text{C}$. Инерционность устройства в динамическом режиме нагрева подшипников такова, что при нагреве 3°C в минуту запаздывание температуры срабатывания сигнализации не превышает 4°C . Устройство питается переменным током напряжением $220 \text{ в} \pm 15\%$, 50 гц ; потребляемая мощность до 150 вa .

2. ИНДУКТИВНЫЕ И ИНДУКЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

а) Принцип действия и технические данные

Индуктивные преобразователи основаны на изменении индуктивности системы под воздействием какой-либо входной величины (линейного перемещения, силы, давления и др.).

В основу конструктивного исполнения индуктивных преобразователей могут быть положены различные принципы. Так, например, индуктивность системы можно изменять, воздействуя на число витков системы, на активное магнитное сопротивление сердечника, на реактивное магнитное сопротивление магнитной цепи или на величину воздушного зазора магнитопровода.

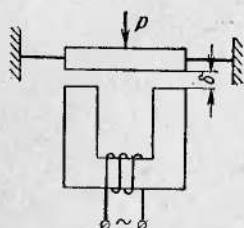


Рис. 6. Принципиальная схема индуктивного датчика.

Последний метод получил наиболее широкое использование в различного рода индуктивных преобразователях (датчиках). Принципиальная схема индуктивного датчика приведена на рис. 6. Под воздействием силы P якорь датчика перемещается и соответственно меняется воздушный зазор δ , а следовательно, сопротивление магнитной цепи и индуктивное сопротивление катушки, надетой на сердечник. Если последовательно с катушкой включить реле, то оно будет срабатывать или отпадать при изменении индуктивности цепи.

Конструктивные формы выполнения индуктивных датчиков могут быть различны. В табл. 3 показаны принципиальные схемы наиболее распространенных датчиков с переменным воздушным зазором. Наиболее часто применяются так называемые дифференциальные датчики, т. е. датчики с двумя симметрично расположенными катушками и одним общим якорем. Дифференциальные индуктивные датчики имеют лучшие характеристики, меньшие температурные погрешности и меньшее усилие притяжения якоря.

Якорь, регулирующий величину воздушного зазора, выполняется либо в виде пластинки, перемещающейся поступательно под действием немагнитного толкателя, либо в виде Т-образного (или иной формы) элемента, приводимого во вращательное движение относительно сердечника. Индуктивные преобразователи такого типа применяются для измерения перемещений порядка десятых, сотых долей миллиметра или нескольких миллиметров.

Для измерения перемещений порядка десятков миллиметров применяются индуктивные датчики с подвиж-

Принципиальные схемы выполнения индуктивных датчиков

Вид датчика	Схема	Применение
С П-образным сердечником		Применяется для измерения перемещений порядка 0,01—5 мм
С Ш-образным сердечником		То же
С переменной площадью зазора		Применяется для измерения перемещений порядка 0,5—15 мм
Дифференциальный с П-образной системой		Применяется для измерения перемещений порядка 0,01—5 мм
Дифференциальный цилиндрический		Применяется для измерения перемещений порядка 0,1—15 мм
Соленоидный		Применяется для измерения перемещений порядка 3—100 мм
П-образный с поворотным якорем		Применяется при повороте якоря на 12—15°
Ш-образный с поворотным якорем		Применяется при повороте якоря на 12—15°
Ш-образный с Т-образным поворотным якорем		Применяется при повороте якоря на 12—15°

ным сердечником. Обычно такие датчики имеют две расположенные на одной оси симметричные катушки цилиндрической формы, внутри которых перемещается цилиндрический же сердечник, связанный с первичным измерительным органом.

Индукционные преобразователи в отличие от индуктивных датчиков основаны на изменении взаимной индуктивности двух систем обмоток, одна из которых питается переменным током, а другая является выходной.

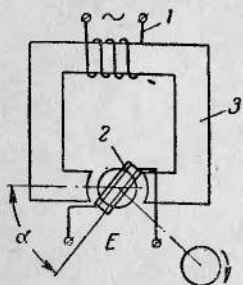


Рис. 7. Принципиальная схема индукционного датчика.

1 — обмотка возбуждения; 2 — поворотная катушка; 3 — магнитопровод.

Принципиальная схема такого преобразователя показана на рис. 7. Первичный измерительный орган поворачивает рамку 2 в равномерном воздушном зазоре магнитопровода 3, в котором с помощью обмотки возбуждения 1 создается переменный магнитный поток. В зависимости от угла поворота рамки в ней индуцируется э. д. с., пропорциональная углу α , т. е. в этом случае угловое перемещение преобразуется в изменение взаимной индуктивности обмотки 1 и рамки 2. Такие датчики называют также трансформаторными.

В ряде случаев применение трансформаторных датчиков является наиболее предпочтительным вследствие простоты измерительных схем и отсутствия гальванической связи между цепями питания и выхода.

б) Примеры применения

Индуктивные датчики типов ИКВ-10, ИКВ-22, ИКВ-30 применяются в качестве конечных выключателей в схемах автоматического управления и регулирования, когда механическое перемещение какого-либо объекта системы (например, кабины лифта, тележки) относительно места установки датчика должно вызвать появление управляющего импульса в электрической цепи.

Работа датчиков ИКВ построена на принципе изменения индуктивного сопротивления катушек с железным сердечником при изменении воздушного зазора в магнитной цепи,

Технические данные индуктивных датчиков

Тип датчика	Напряжение питания переменного тока, в	Сопротивление катушки датчика без магнитного шунта $Z_{\text{мдп}}, \text{Ом}$	Сопротивление катушки датчика при наличии магнитного шунта $Z_{\text{макс}}, \text{Ом}$	Воздушный зазор между сердечником катушки и шунтом, мм
ИКВ-10	127	295 ± 15	570 ± 28	5—30
ИКВ-22 (ИКВ-22Т)	24	—	—	6 ± 4
ИКВ-30	127	40 ± 2	$68 \pm 3,5$	6,5

Обмоточные данные катушек индуктивных датчиков

Тип датчика	Количество витков	Марка и диаметр провода, мм	Вес меди, кг	Сопротивление катушки, Ом	Максимальный ток катушки, а	Максимальный ток отпуская катушки, а
ИКВ-10	1 690	ПЭЛ \varnothing 0,69	1,0	$13,5 \pm 1,4$	$0,43 \pm 0,022$	—
ИКВ-22 (ИКВ-22Т)	$2 \times (1 100 + 40)$	ПЭЛ \varnothing 0,67	1,6	$(11,2 \pm 0,5) \pm 1,1$	Более 0,45	Менее 0,1
ИКВ-30	600	ПЭЛ \varnothing 1,68	2,88	$1,12 \pm 0,11$	$3,2 \pm 0,16$	—

Индуктивные датчики типов ИКВ-10 и ИКВ-22 применяются в таких электрических схемах, в которых величина управляющего импульса не зависит от направления перемещения контролируемого объекта системы; датчики типа ИКВ-30 — в схемах, где изменение управляющего импульса по величине и направлению зависит от направления перемещения контролируемого объек-

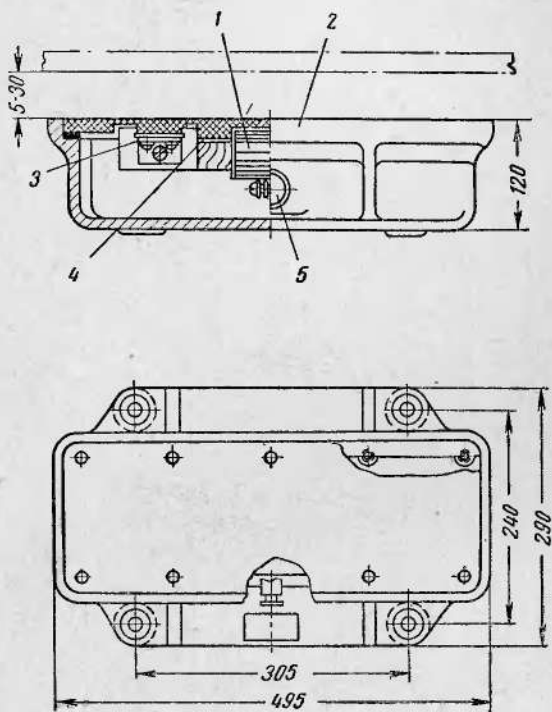


Рис. 8. Индуктивный датчик типа ИКВ-10.

1 — катушка датчика; 2 — корпус; 3 — П-образный магнитопровод; 4 — крышка; 5 — сальник.

та. Поэтому датчики типа ИКВ-30 устанавливаются по два совместно для контроля не только прохождения предмета, но также и направления его перемещения.

Основные технические данные индуктивных датчиков приведены в табл. 4, а обмоточные данные катушек датчиков — в табл. 5.

Индуктивные датчики устойчиво работают при коле-

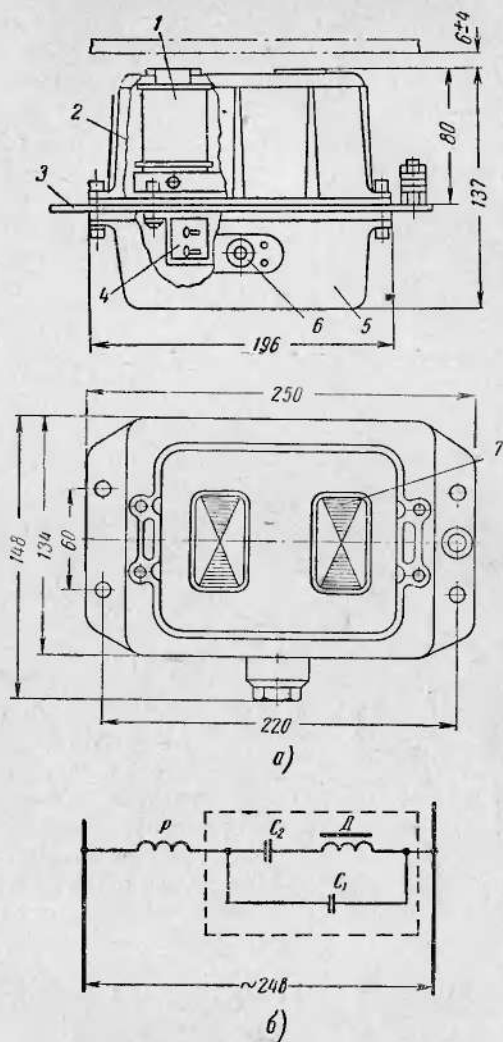


Рис. 9. Индуктивный датчик типа ИКВ-22.
 а — общий вид; б — схема включения; 1 — корпус датчика; 2 — крышка; 3 — стальная плита; 4 — конденсатор; 5 — нижняя крышка; 6 — сальник; 7 — магнитопровод.

бании напряжения сети от +10 до -15% для типов ИКВ-10 и ИКВ-30 и от +10 до -20% — для типа ИКВ-22.

Индуктивные датчики могут быть установлены в любом положении.

Датчики типа ИКВ-10 выпускаются в пыле- и влагонепроницаемом исполнении, датчики типов ИКВ-22 и ИКВ-30 — в защищенном исполнении.

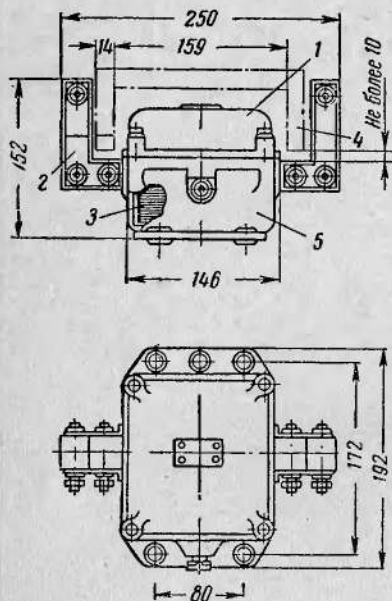


Рис. 10. Индуктивный датчик типа ИКВ-30.

1 — крышка; 2 — П-образный магнитопровод; 3 — катушка датчика; 4 — магнитный шунт; 5 — корпус.

Индуктивные датчики типов ИКВ-22 и ИКВ-30 посылают управляющий импульс в электрическую цепь в момент прохождения мимо магнитопровода датчика специального магнитного шунта, укрепленного на подвижной системе.

Датчики типа ИКВ-10 не имеют специальных магнитных шунтов и посылают управляющий импульс в электрическую цепь в момент прохождения мимо датчиков железной массы самого перемещающегося объекта системы (например, тележки и т. д.) на расстоянии, указанном в табл. 4.

На рис. 8, 9 и 10 даны общие виды и размеры индуктивных датчиков типов ИКВ-10, ИКВ-22 и ИКВ-30, а также схема включения наиболее простого датчика типа ИКВ-22 (рис. 9,б). Последовательно с обмоткой катушки датчика D здесь включен конденсатор C_2 , емкостное сопротивление которого примерно равно индуктивному сопротивлению катушек датчика и выходного реле P . Параллельно этой цепи подключен конденсатор C_1 . Такая схема обеспечивает резкое различие то-

ков в катушке выходного реле P при наличии над датчиком шунта и при отсутствии его.

Схемы включения датчиков типов ИКВ-10 и ИКВ-30 аналогичны по принципу действия рассмотренной и отличаются от нее лишь тем, что в них учтены указанные выше особенности каждого из этих датчиков.

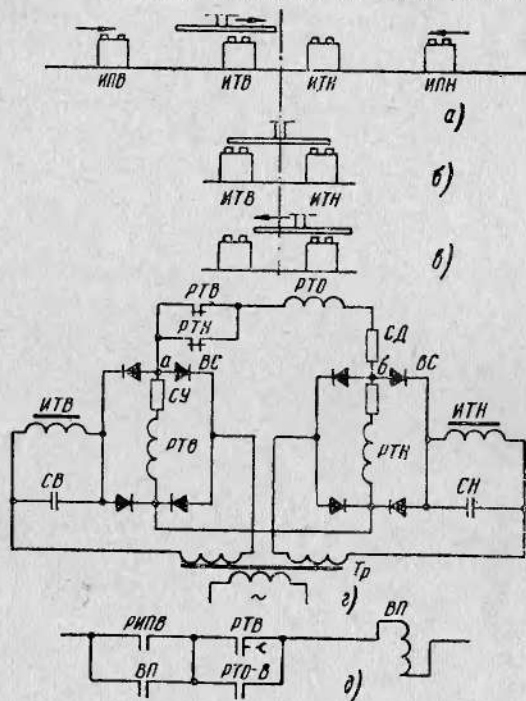


Рис. 11. Точная остановка механизмов с помощью индуктивных датчиков.

а, б, в — расположение датчиков и положения магнитного шунта; в — схема узла точной остановки; д — узел включения контактора ВП.

Рассмотрим в качестве примера использование индуктивных датчиков типа ИКВ в схемах, обеспечивающих точный останов механизма в заданный момент [Л. 4]. Схематически расположение датчиков по оси движения механизма показано на рис. 11,а.

Движение механизма к заданной точке останова возможно с двух сторон. Поэтому устанавливаются

два индуктивных датчика предварительного снижения скорости *ИПВ* и *ИПН*. Справа и слева от точки останова в непосредственной близости от нее располагаются датчики точной остановки *ИТВ* и *ИТН*.

В схеме управления (рис. 11,з) используются два реле точной остановки *РТВ* и *РТН*, включенные через выпрямительные мосты в цепи катушек индуктивных датчиков *ИТВ* и *ИТН*. Питание датчиков осуществляется от трансформатора *Тр*. Датчики шунтированы конденсаторами *СВ* и *СН*. Поляризованное реле точной остановки *РТО* включается на зажимы *а* и *б*. Реле *РТО* срабатывает в момент, когда один из датчиков *ИТВ* или *ИТН* перекрыт магнитным шунтом.

Рассмотрим случай движения механизма слева направо («вперед»). Когда магнитный шунт проходит над датчиком *ИТВ*, ток в цепи этого датчика уменьшается, реле *РТВ* отпадает, а на зажимах *а—б* появляется напряжение.

Размыкающийся контакт *РТВ* в цепи реле *РТО* закрывается, реле *РТО* срабатывает. На рис. 11,д показан узел включения контактора пониженной скорости в направлении «вперед» *ВП*. Контактор *ВП* включается в момент срабатывания реле *РИПВ* индуктивного датчика *ИПВ* (катушка *РИПВ* на рис. 11 не показана). При включении реле *РТО* контакт *РТО-В* замыкается, а замыкающийся контакт *РТВ* открывается с выдержкой времени, благодаря чему цепь катушки *ВП* не рвется. Контроль за точной остановкой осуществляется теперь реле *РТО*. Когда механизм окажется в заданном положении, оба датчика — *ИТВ* и *ИТН* будут перекрыты шунтом (рис. 11,б). Токи в цепях катушек *ИТВ* и *ИТН* сравняются, разность потенциалов между точками *а* и *б* станет равной нулю. Реле *РТО* отпадает, контактор *ВП* отключится, и двигатель остановится.

Если механизм по какой-либо причине пройдет лишней путь, то схемой обеспечивается подача команды «назад» (рис. 11,в) и механизм на пониженной скорости вернется в заданное положение (этот узел схемы на рис. 11 также не показан).

Подобные схемы точной остановки электроприводов нашли весьма широкое применение, например в скоростных пассажирских лифтах.

Индукционный расходомер типа ИР-1 предназначен

для непрерывного автоматического измерения расхода электропроводных жидкостей и пульп в заполненных трубопроводах. Принцип действия индукционного расходомера основан на измерении э. д. с., возникающей при движении потока электропроводной жидкости (с электропроводностью не ниже $10^{-6} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) в магнитном поле. На рис. 12 представлена принципиальная схема датчика. Контролируемая жидкость, протекая в покрытом внутри изоляционным материалом отрезке

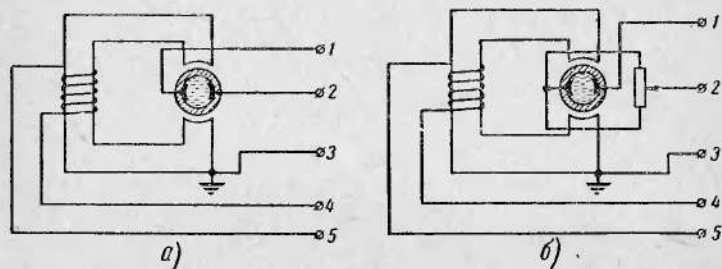


Рис. 12. Принципиальная схема датчика индукционного расходомера ИР-1.

а — для условных проходов 40—80 мм; *б* — для условных проходов 10—25 мм.

трубы, пересекает силовые линии равномерного магнитного поля, создаваемого электромагнитом, помещенным в сварном кожухе. При этом в жидкости, как в проводнике, движущемся в магнитном поле, индуцируется э. д. с., пропорциональная средней скорости потока. Поскольку площадь сечения трубы постоянна, э. д. с. пропорциональна также и расходу жидкости. Индуцируемая э. д. с. снимается двумя электродами, расположенным по диаметру на внутренней стороне трубы.

Выпускаемые расходомеры в зависимости от диаметра датчика (трубопровода) имеют различные пределы измерения (табл. 6).

Расходомер состоит из датчика, измерительного усилителя со встроенным показывающим стрелочным прибором и разделительного трансформатора. Расходомер работает в комплекте со стандартными вторичными приборами с дифференциально-трансформаторной схемой измерения. В зависимости от типа вторичного прибора расходомер может производить непрерывное ука-

Пределы измерения датчиков ИР-1

Условный проход датчика, мм	10	15	25	40	50	80
Пределы измерения, м ³ /ч	0—0,4	0—1,0	0—2,5	0—6,3	0—10,0	0—25,0
	0—0,5	0—1,25	0—3,15	0—8,0	0—12,5	0—31,5
	0—0,63	0—1,6	0—4,0	0—10,0	0—16,0	0—40,0
	0—0,8	0—2,0	0—5,0	0—12,5	0—20,0	0—50,0
	0—1,0	0—2,5	0—6,3	0—16,0	0—25,0	0—63,0

зание и запись величины расхода жидкости, определять суммарное количество жидкости, прошедшее через трубопровод за определенный отрезок времени. С помощью индукционного датчика можно производить электрическое или пневматическое регулирование. Прибор может работать в комплекте с блоками специальных стандартных систем автоматики (например, ЭАУС).

Датчик не требует специального обслуживания. Он может монтироваться при любом расположении трубопровода (вертикальном, наклонном, горизонтальном), но при этом во всех случаях объем трубы датчика должен быть заполнен контролируемой средой. В табл. 7 указаны размеры датчиков типа ИР-1.

Таблица 7

Размеры датчиков ИР-1

Условный проход датчика, мм	10	15	25	50	70	80
Длина, мм	270	270	270	544	560	560
Ширина, мм	232	232	232	302	310	310
Высота, мм	243	243	243	262	270	270

Расходомер эксплуатируется при температуре окружающей среды не выше 50° С для датчика и не выше 35° С для остальных приборов при относительной влажности окружающего воздуха не более 80%. Максимально допустимое давление в трубопроводе 25 кг/см².

Питание комплекта расходомера осуществляется от источника переменного тока напряжением 220 в $\pm 10\%$, частотой 50 гц. Прибор потребляет мощность до 750 вт. Основная погрешность измерения составляет $\pm 1,5\%$ от верхнего предела измерения.

3. ЕМКОСТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

а) Принцип действия и технические данные

Емкостный преобразователь представляет собой обычный конденсатор, но с переменной емкостью, величина которой зависит от значения входного параметра. Чаще всего для этой цели используются плоские конденсаторы, однако возможно также применение конденсаторов и цилиндрической формы.

Известно, что емкость плоского конденсатора определяется формулой

$$C = \frac{\epsilon S}{\delta},$$

где C — емкость конденсатора, ф;

ϵ — диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора (величина относительная);

S — площадь пластин (обкладок) конденсатора, см²;

δ — расстояние между обкладками, см.

Как видно из приведенной формулы, изменение емкости конденсатора может осуществляться путем изменения расстояния между его пластинами, изменения площади самих пластин или изменения материала диэлектрика, находящегося между пластинами.

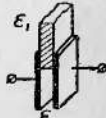
Датчики, основанные на базе емкостных преобразователей, могут иметь самые различные конструктивные исполнения. Основные принципы выполнения таких датчиков показаны в табл. 8.

Все емкостные датчики работают на переменном токе повышенной частоты от 1 кгц до десятков мегагерц. Минимальное расстояние между пластинами определяется величиной диэлектрической прочности напол-

нителя и обычно измеряется десятими долями миллиметра. Для примера отметим, что для воздуха пробивное напряжение составляет около 10 кВ/мм.

Таблица 8

Основные принципы выполнения емкостных датчиков

Вид датчика	Датчик с переменным зазором δ	Датчик с постоянным зазором δ , но с переменной площадью обкладок S	Дифференциальный датчик с постоянным зазором δ , но с переменной площадью обкладок S	Датчик с переменной диэлектрической проницаемостью среды ϵ
Конструктивная схема датчика				
Область применения	Для измерения весьма малых перемещений от 0 до 1 мм	Для измерения перемещений более 1 мм		Для измерения уровня среды и т. п.

Емкостные датчики обладают высокой чувствительностью и поэтому обычно используются для измерения быстроменяющихся параметров, таких, например, как: давление, вибрация, ускорение, уровень жидкости и др. При этом следует учитывать, что температура окружающей (или измеряемой) среды, влияя на геометрические размеры конденсатора и значение диэлектрической проницаемости наполнителя, вызывает определенную погрешность измерения. Для уменьшения этой погрешности, вызываемой влиянием окружающей температуры, применяют специальные дифференциальные схемы включения датчиков и соответствующее конструктивное их исполнение. Известное неудобство при использовании емкостных датчиков представляет необходимость применения специальных питающих генераторов повышенной частоты и усилителей напряжения на выходе.

Емкостные датчики с переменным расстоянием меж-

ду обкладками выполняются обычно трехэлектродными с подвижной внутренней пластиной. При перемещении этой пластины в какую-либо сторону в обратной пропорции меняются емкости между этой подвижной пластиной и каждой из двух неподвижных пластин, а значения этих емкостей измеряются мостовой схемой.

Емкость датчика в зависимости от его конструкции составляет десятки или сотни пикофарад. Для увеличения емкости применяют многопластинчатые конденсаторы, располагаемые один под другим. При этом подвижные пластины всех конденсаторов крепятся на общем штоке, связанном с чувствительным элементом датчика.

Датчики с переменной площадью пластин широко применяются в радиотехнике и телемеханике для преобразования угловых перемещений (например, показаний стрелочных измерительных приборов) в изменение величины емкости.

Емкостные датчики с переменной диэлектрической средой весьма чувствительны и чаще всего применяются для измерения уровней жидкостей или сыпучих материалов. В этих случаях контролируемая среда является диэлектриком, который заполняет в той или иной степени (в зависимости от изменения уровня) пространство между пластинами конденсатора и соответственно меняет его емкость. Так как диэлектрическая проницаемость воздуха равна 1, а у контролируемых сред она почти всегда значительно выше (особенно, если среда — проводник), то емкость конденсатора при изменении уровня может меняться в широких пределах и изменение это происходит довольно резко, что позволяет контролировать изменение уровня с большой точностью.

б) Примеры применения

Электронный сигнализатор уровня типа ЭСУ-1 предназначен для сигнализации отклонения уровня контролируемой среды от заданной величины. Прибор может быть использован для сигнализации уровня как жидких, так и сыпучих сред, имеющих различные физические свойства.

Принципиальная схема электронного сигнализатора уровня типа ЭСУ-1 приведена на рис. 13. Датчик рабо-

тает на принципе измерения переменной электрической емкости системы: электрод датчика — измеряемая среда. Удаление или приближение контролируемой среды к стержню датчика вызывает изменение электрической емкости, которое воспринимается схемой генератора электронного блока. Последний настраивается таким образом, что при изменении емкости системы более чем

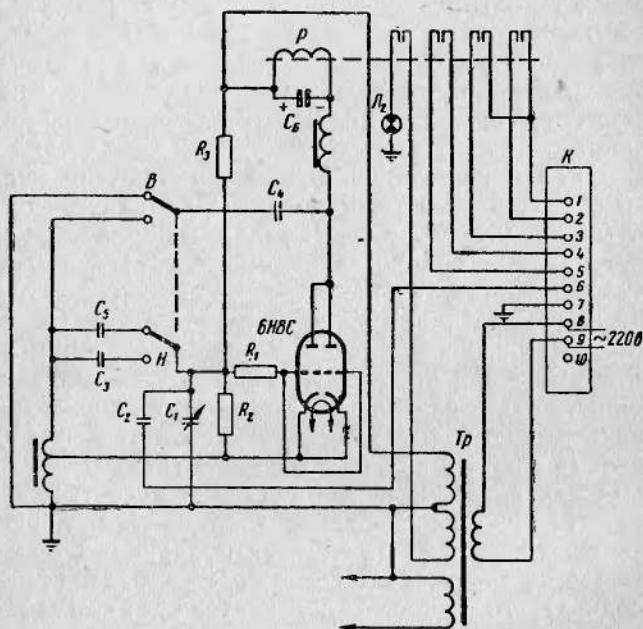


Рис. 13. Принципиальная схема электронного сигнализатора уровня типа ЭСУ-1.

на 2—5 $n\phi$ происходит срыв высокочастотных колебаний, при этом резко возрастает анодный ток лампы 6Н8С и реле типа МКУ-48, включенное в анодную цепь лампы, срабатывает. Настройка схемы электронного блока производится поворотом ручки регулировки конденсатора переменной емкости C_1 .

Все детали электронного блока сигнализатора уровня собраны на общем стальном шасси, установленном в корпусе. На шасси имеется выводная колодка зажимов K с десятью зажимами, к которым подключаются:

питание от сети (к контактам 8—9), кабель емкостного датчика (к контактам 6—7), сигнальные и исполнительные механизмы (к контактам 1—2, 1—3 и 4—5).

Приборы ЭСУ-1 выпускаются в комплекте с датчиками:

типа ДЕ-3П, предназначенными для контроля уровня порошкообразных сред с величиной зерна до 5 мм (длина датчика 240 мм) в бункерах или резервуарах;

типа ДЕ-9, предназначенными для контроля уровня гранулированных материалов с величиной зерна до 35 мм (длина датчика 200 мм) в бункерах или резервуарах;

типа ДЕ-4 (с защитным покрытием), предназначенными для контроля уровня агрессивных сред в различных резервуарах (длина датчика 150 мм). Вид защитного покрытия датчика ДЕ-4 зависит от свойств контролируемой среды.

Датчик сигнализатора уровня крепится непосредственно на стенке резервуара с контролируемой средой. При помощи коаксиального кабеля длиной до 0,7 м датчик соединяется с электронным блоком прибора.

На рис. 14 для примера показана конструкция датчика типа ДЕ-4.

Сигнализатор питается переменным током напряжением 220 в, частотой 50 гц. При этом допускаются колебания напряжения в сети питания в пределах от +5 до -10% номинального. Прибор потребляет мощность порядка 15 в, чувствительность его не более 2—5 нф, инерционность не превышает 0,3 сек. Сигнализатор уровня типа ЭСУ-1 нормально ра-

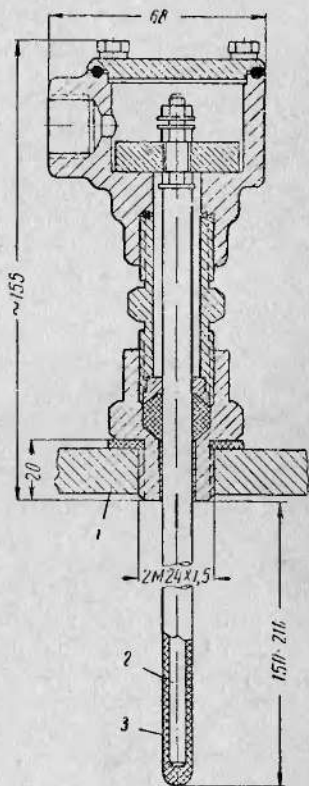


Рис. 14. Электронный сигнализатор уровня ЭСУ-1. Датчик типа ДЕ.

1 — стенка сосуда; 2 — латунный стержень; 3 — изолятор.

ботает при температуре окружающей среды от 10 до 50°С и относительной влажности не более 80%.

Сигнализатор обычно работает четко и безотказно. Одной из возможных неисправностей прибора может явиться исчезновение эмиссии радиолампы электронного блока. В этом случае неисправную лампу следует заменить и вновь настроить прибор в соответствии с инструкцией. Необходимо также следить за состоянием контактов выходных реле во избежание их залипания, вследствие загрязнения или обгорания.

При работе сигнализатора с вязкими и кристаллизующимися средами следует периодически производить очистку электрода датчика от налипшего материала и грязи, ибо это ведет к ухудшению чувствительности прибора.

Погрешность измерения сигнализатора составляет от $\pm 2,5$ до ± 5 мм в зависимости от расположения датчика (горизонтального или вертикального).

Наряду с описанным выше сигнализатором широко применяется электронный сигнализатор уровня типа ЭСУ-2, отличающийся от ЭСУ-1 тем, что является двух-предельным и предназначен для контроля двух уровней вещества в резервуаре. Этот сигнализатор имеет два одинаковых самостоятельных канала, каждый из которых имеет свой емкостный датчик типа ДЕ, высокочастотный генератор и выходное реле. Принципиальная схема сигнализатора уровня типа ЭСУ-2 приведена на рис. 15.

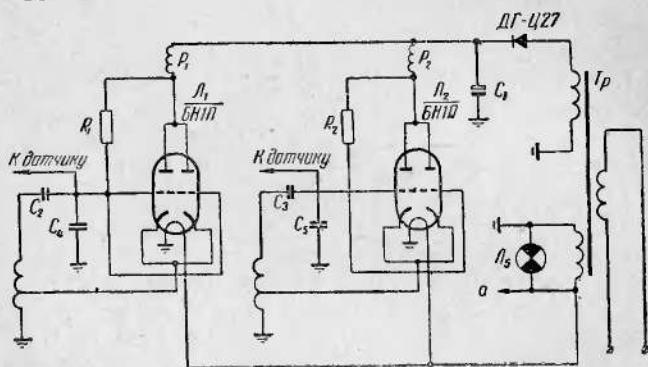


Рис. 15. Принципиальная схема электронного сигнализатора уровня типа ЭСУ-2.

Емкостный датчик положения (ГПИ Тяжпромэлектропроект) предназначен для контроля наличия в заданной зоне поступательно перемещающихся изделий или механизмов. Такие датчики получили, в частности, применение при автоматизации работы отдельных узлов прокатного и доменного производств.

Действие датчика основано на изменении емкости плоского конденсатора, образованного индикаторной пластиной датчика и заземленным контролируемым металлическим предметом.

В момент прохождения контролируемого металлического предмета вблизи от индикаторной пластины емкость ее относительно земли резко увеличивается и, фиксируя это изменение емкости, можно определить, что контролируемое изделие в данный момент прошло заданную зону.

Зависимость величины емкости конденсатора, образованного индикаторной пластиной и землей, от диэлектрической проницаемости среды позволяет использовать этот датчик также и для определения положения диэлектриков. Так, например, при расположении индикаторной пластины над рольгангом и прохождении по рольгангу листов стекла емкость конденсатора, образованного индикаторной пластиной и землей, будет увеличиваться, так как диэлектрическая проницаемость стекла равна 5—7, а воздуха 1.

На рис. 16 показана принципиальная схема емкостного датчика положения, построенная на полупроводниковых триодах — транзисторах (см. § 6).

Для повышения надежности работы измерительного узла предусматривается питание его от генератора повышенной частоты. Генератор повышенной частоты собран на транзисторе IT и состоит из контура, образованного обмотками трансформатора ITp и емкостью C . Схема работает следующим образом. Изменение величины емкости чувствительного элемента фиксируется измерительным узлом датчика, образованным вторичными обмотками трансформатора ITp и конденсаторами C_{II} и C . При отсутствии изделия над индикаторной пластиной измерительный узел сбалансирован, т. е. на выходе его сигнал отсутствует. В момент прохождения изделия над пластиной баланс измерительного узла нарушается и через первичную обмотку согласующего

трансформатора $2Tr$ проходит ток разбаланса, который затем выпрямляется, усиливается и подается на обмотку выходного реле P .

Схема питается от трансформатора $3Tr$. Одна вторичная обмотка этого трансформатора через выпрямительный мост обеспечивает питание генератора и усилителя напряжением 12 в. Другая обмотка через выпрямительный мост и сопротивление R_{10} создает напряжение смещения, запирающее транзистор $3T$.

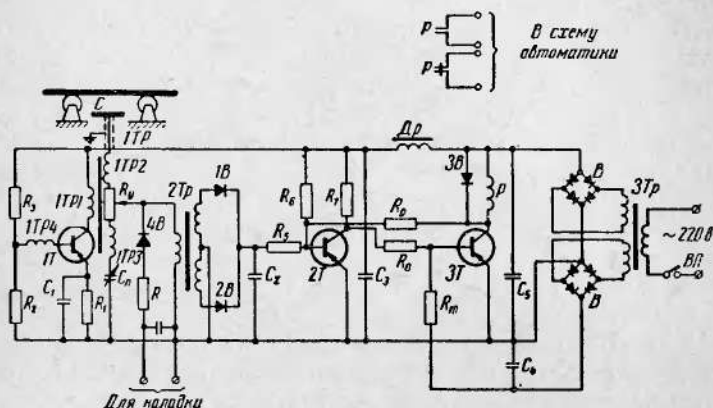


Рис. 16. Принципиальная схема емкостного датчика положения ГПИ Тяжпромэлектропроект.

Конструктивно емкостный датчик состоит из индикаторного и исполнительного блоков, индикаторной пластины и высокочастотного фидера.

В индикаторном блоке расположены генератор высокой частоты и измерительный узел. Транзистор генератора смонтирован на медном радиаторе для улучшения условий теплоотдачи. Блок собран на плате из органического стекла, установленной внутри отрезка бесшовной стальной трубы на амортизаторах. Для исключения влияния емкости руки при настройке датчика установлен стальной экран.

Индикаторный блок соединяется с индикаторной пластиной при помощи высокочастотного фидера, представляющего собой медный провод без изоляции, проходящий внутри газовой трубы и сцентрированный гетинаксовыми кольцами. В корпусе индикаторного блока имеется отверстие с резьбой, куда ввертывается тру-

ба высокочастотного фидера. Соединение индикаторного блока с исполнительным производится трехжильным кабелем, который подключается к индикаторному блоку с помощью штепсельного разъема.

В исполнительном блоке размещен усилитель постоянного тока, промежуточное реле типа МКУ-48, а также узел питания емкостного датчика, состоящий из трансформатора *ЗТр* и выпрямителей *В*. На лицевой стороне блока расположен выключатель питания *ВП*. Детали, входящие в исполнительный блок, смонтированы на стальной панели и закрыты стальным кожухом.

Индикаторная пластина изготавливается из стального листа. Размеры пластины определяются необходимым рабочим расстоянием и местными условиями. Наладка датчика производится с помощью микроамперметра, который включается в гнезда «для наладки» (рис. 16). Датчик настраивается вначале при отсутствии изделия в зоне контролируемой индикаторной пластины. Изменением величины емкости C_{Π} и сопротивления устанавливается минимальный ток в приборе. После этого производится проверка работы датчика подведением изделия (или металлической пластины) к индикаторной пластине емкостного датчика, при этом ток в приборе должен возрастать до величины не менее 30 *ма*. Прибор после наладки отключается.

Емкостный датчик положения характеризуется следующими основными техническими данными: максимальное рабочее расстояние при температуре окружающей среды 20° С, напряжении питания 220 *в* и площади индикаторной пластины 0,06 *м*² равно 145 *мм*; допустимый рабочий диапазон температуры окружающей среды составляет от -15 до +55° С; режим работы выходного усилителя — релейный; ток, проходящий через промежуточное реле при прохождении металла, 50 *ма*.

4. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

а) Принцип действия и технические данные

Фотоэлементы служат для преобразования энергии света в электрическую энергию. По характеру происходящих при этом физических процессов различают фотоэлементы с внешним фотоэффектом (вакуумные и газо-

наполненные), с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления) и с запирающим слоем (вентильные фотодиоды, фототриоды). Фотоэлементы реагируют на изменение интенсивности светового потока. Чувствительностью фотоэлемента называют изменение величины фототока при изменении на единицу освещенности фотоэлемента.

В фотоэлементах с внешним фотоэффектом используется способность светового потока выбивать электроны с поверхности металла. Фотокатод, т. е. электрод, испускающий электроны под действием света, помещают внутри колбы в вакууме или в среде, заполненной инертным газом. Выбитые электроны под действием внешнего источника электрического поля перемещаются ко второму электроду, создавая таким образом фототок. С увеличением интенсивности светового потока увеличивается и величина фототока, проходящего в электрической цепи. Ток этот, однако, в большинстве случаев имеет весьма малую величину и, чтобы использовать его для приведения в действие тех или иных исполнительных органов, применяются специальные усилители, как правило, электронные или ионные. Сочетание такого усилителя с фотоэлементом называется фотоэлектронным усилителем. Фотоэлектронные усилители широко применяются в схемах автоматики и телемеханики. Не менее широкое применение получили фотореле, т. е. аппараты, состоящие из фотоэлектронного усилителя, на выходе которого включено какое-либо выходное реле. Фотореле бывают прямого и обратного действия. В первых реле на выходе срабатывает при освещении фотоэлемента и отпадает при его затемнении, а во вторых, напротив, срабатывание выходного реле происходит при затемненном фотоэлементе, а отпадение — при его освещении.

На рис. 17 приведены принципиальные схемы простейших фотореле прямого (рис. 17,а) и обратного (рис. 17,б) действия, питающихся от источника постоянного тока. Широко используются также фотореле, питаемые переменным током (рис. 17,в).

В приведенных схемах значение критического светового потока, при котором срабатывает фотореле, может меняться вследствие, например, изменения со временем чувствительности фотоэлементов или при коле-

бании напряжения источника питания. Известную погрешность могут вносить здесь также возможные изменения яркости источника света. Для уменьшения указанных погрешностей применяют более сложные схемы,

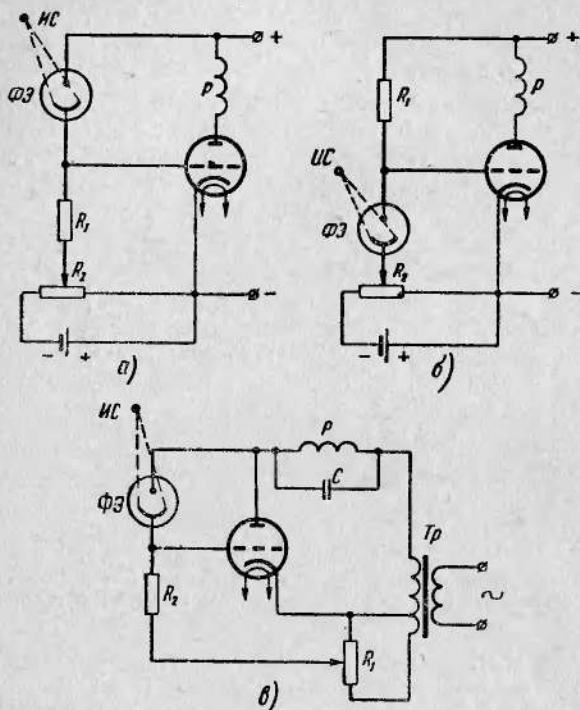


Рис. 17. Принципиальные схемы фотоэлектронных реле.

а — прямого действия; *б* — обратного действия; *в* — на переменном токе; ИС — источник света; ФЭ — фотоэлемент; *P* — электромагнитное реле; *C* — конденсатор; R_1 , R_2 — сопротивления; *Tr* — трансформатор.

например дифференциальные с двумя фотоэлементами, реагирующие на разность освещенности обоих фотоэлементов.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления) представляют собой полупроводниковые сопротивления, обладающие большой чувствительностью к освещенности. Сопротивление такого элемента при его затемнении может быть равным от десятков

килоом до десятков мегом. При освещении поверхности элемента его сопротивление уменьшается и соответственно увеличивается ток, проходящий через это фотосопротивление, если приложить к нему какое-либо напряжение. Фотосопротивления¹ обладают существенной инерционностью при быстром изменении интенсивности светового потока.

Принципиальная схема фотореле с полупроводниковым сопротивлением показана на рис. 18. Такие реле также могут быть рассчитаны для питания как постоянным (рис. 18,а), так и переменным (рис. 18,б) током.

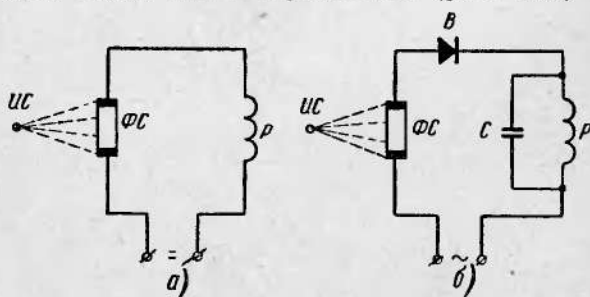


Рис. 18. Принципиальная схема фотореле с полупроводниковым сопротивлением.

а — на постоянном токе; б — на переменном токе; ИС — источник света; ФС — фотосопротивление; P — реле; B — вентиль; C — конденсатор.

Фотоэлемент с запирающим слоем состоит из металлической подложки, являющейся одним из электродов, нанесенного на нее тонкого слоя определенного полупроводника и второго металлического электрода. Между полупроводником и одним из электродов образуется запирающий слой, через который электроны в темноте или при малой освещенности практически не проходят: ток в электрической цепи составляет при этом десятые или сотые доли микроампера (см. § 6).

При освещении фотоэлемента электроны, выбитые световым потоком из полупроводника, проходят через запирающий слой и заряжают соответствующий электрод отрицательно. Сам же полупроводник и второй электрод заряжаются положительно, т. е. фотоэлемент пре-

¹ По ГОСТ 10675—63 фотосопротивления называются фоторезисторами.

вращается на свету в источник электрической энергии. Такой режим работы фотоэлемента называется вентильным.

В последнее время появились германиевые и кремниевые полупроводниковые фотоэлементы, так называемые фотодиоды и фототриоды (см. § 6). Фотодиод так же, как и описанный выше фотоэлемент с запирающим слоем, представляет собой приемник световой энергии, имеющий направленное движение носителей тока при воздействии на него света. Фотодиоды могут использоваться в схемах как с внешним источником питания, так и без него. В первом случае режим работы приемника световой энергии (фотоэлемента) называется фотодиодным, во втором случае, как указывалось выше, — вентильным. Фототриоды, помимо перечисленных свойств, обладают также свойством непосредственно усиливать фототок, возникающий под действием световой энергии.

Таблица 9

Основные технические данные фотоэлементов с внешним фотоэффектом

Тип	Рабочее напряжение, в	Минимальная чувствительность, мка/лм	Размеры, мм
ЦВ-1	240	20	∅ 55×125
ЦГ-1	240	75	∅ 55×125
ЦВ-3	240	20	∅ 26×59
СЦВ-3	240	80	∅ 26×59
ЦГ-3	240	100	∅ 26×59
ЦВ-4	240	20	∅ 38×125
СЦВ-4	240	80	∅ 38×125
ЦГ-4	240	100	∅ 38×125
СЦВ-51	240	80	∅ 30×61

В табл. 9 приведены основные технические данные наиболее распространенных фотоэлементов с внешним фотоэффектом, выпускаемых промышленностью и используемых обычно в схемах фотореле.

Из элементов с внутренним фотоэффектом в систе-

мах фотоэлектрической автоматики более всего известны фотосопротивления типа ФС (рис. 19), представляющие собой непроволоочные омические сопротивления, выполненные из полупроводникового материала: серни-

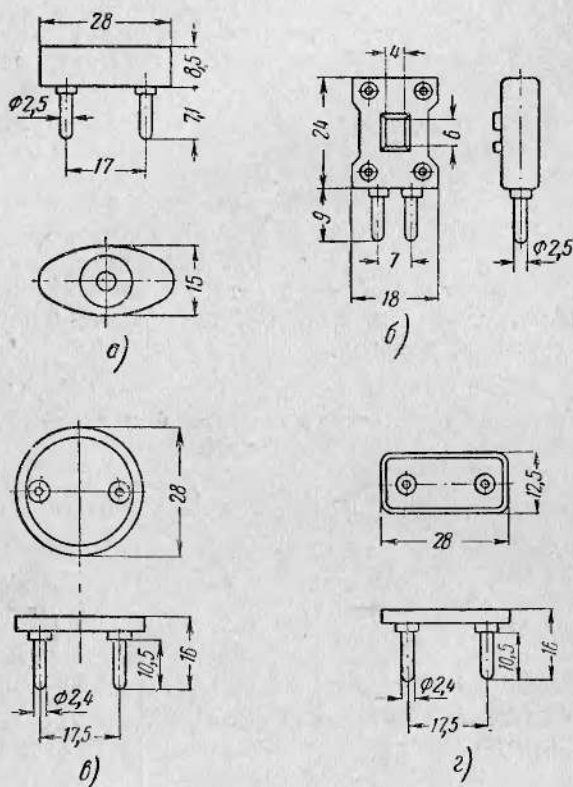


Рис. 19. Фотосопротивления.

а — типа ФС-А1; б — типа ФС-А4; в — типа ФС-К1; г — типа ФС-К2.

стого кадмия ФС-К и сернистого висмута ФС-Б. Указанные фотосопротивления обладают высокой чувствительностью, стабильностью и очень удобны в обращении. В табл. 10 приведены основные технические данные фотосопротивлений типа ФС.

**Основные технические данные фотоэлементов
с внутренним фотоэффектом (фотосопротивлений)**

Тип	Темновое сопротивление, ом	Относительное изменение сопротивления при освещении, %	Чувствительность, мкА/лм	Зона рабочих температур, °С	Размеры, мм
Сернисто-свинцовые					
ФС-А1	4·10 ⁴ —1·10 ⁶	20	5 000	от -60 до +60	23×15×19,5
ФС-А4	4·10 ⁴ —1·10 ⁶		5 000	от -60 до +60	10×18×35
Сернисто-висмутовые					
ФС-Б2	1·10 ⁵ —1·10 ⁷	80	1 000	от -60 до +60	34×18×21,5
Сернисто-кадмиевые					
ФС-К0	3,3·10 ⁶	97,14	2 500	от -60 до +80	14,5×8,5×2,5
ФС-К1	3,3·10 ⁶	99,28	3 000	от -60 до +80	∅ 28×16
ФС-К2	3,3·10 ⁶	97,14	2 500	от -60 до +80	28×12,5×16

В табл. 11 приведены некоторые технические характеристики наиболее распространенных фотодиодов и фототриодов.

Таблица 11

Основные технические данные фотодиодов и фототриодов

Тип	Чувствительность, мА/лм	Рабочее напряжение, в	Темновой ток, мкА	Постоянная времени, сек	Размер светочувствительной поверхности, мм ²	Материал полупроводника
Фотодиоды						
ФД-1	20	15	30	1·10 ⁻⁵	5	Германий
ФД-2	10—30	30	25	1·10 ⁻⁵	1	Германий
ФД-3	20	10	15	1·10 ⁻⁵	2	Германий
ФДК-1	3	20	3	1·10 ⁻⁵	2	Кремний
Фототриод						
ФТ-1	170—500	3	300	2·10 ⁻⁴	2	Германий

б) Примеры применения

В табл. 12 приведены основные технические данные некоторых фотодатчиков, выпускаемых отечественной промышленностью. Для представления о работе этих датчиков ниже, в качестве примера, рассматриваются некоторые из них.

Фотореле типа ФР-1 (рис. 20) предназначено для автоматического включения и отключения наружного освещения.

В качестве датчика естественной освещенности в этом реле используется фотосопротивление типа ФС-К1. Усилительным элементом является поляризованное реле типа РП-7. Работа схемы, приведенной на рис. 20, не требует специальных пояснений. Замыкающиеся контакты выходного электромагнитного реле, например типа РПНВ, выводятся в цепь катушки магнитного пускателя или контактора линии наружного освещения.

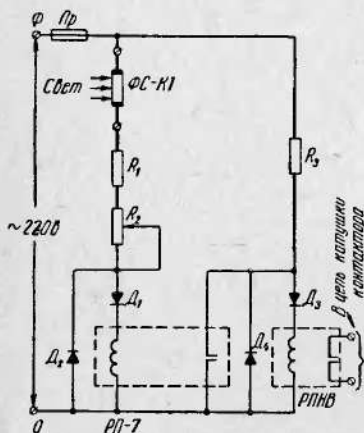


Рис. 20. Принципиальная схема фотореле типа ФР-1.

С помощью данного реле производится включение искусственного освещения при освещенности менее 5 лк. Отключение может производиться при освещенности более 10 лк. Фотореле питается напряжением 220 в 50 гц переменного тока. Мощность, потребляемая реле, не превышает 4 вт. Допустимый ток выходных контактов реле РПНВ при напряжении 220 в, 50 гц—0,3 а. Реле имеет размеры: 140×125×100 мм и вес 0,8—1,0 кг.

Металлургическое фотореле типа ФРС-8 предназначено для использования в схемах автоматического управления и контроля в качестве индикатора наличия, положения или величины обрабатываемых металлических заготовок и изделий на станах холодной прокатки металлургических предприятий.

Основные технические

Тип	Назначение	Источник светового импульса	Основные
			Головка (фотоимпульсатор)
ФРС-8	Для станов холодной прокатки	Лампа накаливания типа МО10 12 в, 20 вт	Фотоспротивление типа ФС-А1
ФРС-12	Для станов горячей прокатки	Специальный осветитель или металл, нагретый до 300°С	Фотоспротивление типа ФС-А1 и модулятор
ФРС-58	То же	То же, но до 350°С	Фотоспротивление типа ФС-А1 или ФСА-Г1 и модулятор
ФРС-60	Для станов горячей и холодной прокатки и для общепромышленного применения	Специальный осветитель или металл, нагретый до 700°С и выше	Фотоспротивление типа ФСД-Г2
ФРС-П	Общепромышленного назначения для пыльных помещений	Специальный осветитель	Фотоспротивление типа ФСК-Г1 или ФС-К1
ФРВЗ	Путевой бесконтактный выключатель во взрывоопасных помещениях	Специальный осветитель	Фотоспротивление типа ФС-К1
ФР-1	Для включения наружного освещения	Естественная освещенность	Фотоспротивление типа ФС-К1

Примечания. 1. Фотореле серии ФРС и ФР рассчитаны для включения
 2. Головка фотореле может быть расположена на расстоянии до 75 м от проводов и хорошего заземления корпусов усилителя и головки.

данные фотодатчиков

элементы		Головка фотореле			
Электронный усилитель	Исполнительный орган	Угол зрения	Допустимая температура и способ охлаждения	Исполнение	Расстояние от осветителя, м.
Трехкаскадный (лампы 6Н8С—1 шт., 6ПЗС—2 шт.)	РЭ-100 или КР21/55	1,5°—4,5°	До +45° С (охлаждение естественное)	—	До 3
Двухкаскадный (лампы: 6Н9С—1 шт., 6П9—1 шт.)	МКУ-48	1,5°—3°	До +75° С (водяное охлаждение при t выше 45° С)	Пыле-влаго-непроницаемое	2—6
Трехкаскадный (лампы: 6Н9С—1 шт., 6ПЗЕ—1 шт.)	РЭ-100 или КР21/55	1,5°—3°	До +75° С (водяное охлаждение при выше 45° С)	—	1,5—6
—	МКУ-48	5°—6°	До +45° С (естественное охлаждение)	Пыле-влаго-непроницаемое	Не более 6
Трехкаскадный (лампы: 6Н2П—2 шт., 6П14П—1 шт.)	МКУ-48	—	—	Пыле-влаго-непроницаемое	Не более 15
Релейный усилитель (реле типа РР-5)	МКУ-48	—	—	Взрыво-искरो-безопасное „РВ-И“	Не более 6
Поляризованное реле РР-7	РПНВ	—	—	—	—

в сеть 220 в, 50 гц.

усилителя при условии применения тщательной экранировки соединительных

ленное и сглаженное напряжение порядка 50 в, получаемое от селенового двухполупериодного выпрямителя типа ВС-18-10. Напряжение, снимаемое со второй диагонали моста, подается на сетку первого триода 6Н8С. Два плеча моста образуются частями регулировочного потенциометра. Напряжение разбаланса, усиленное первым триодом, снимается с анодной нагрузки первого каскада и подается на сетку — катод второго триода и после вторичного усиления снимается с анодной нагрузки второго триода и подается на сетки — катоды ламп 6ПЗС, образующих третий каскад.

При освещении сопротивление фотоэлемента уменьшается, отрицательный потенциал подается на сетку первого триода 6Н8С, что вызывает увеличение анодного тока этого триода и соответственно увеличивается запирающее напряжение, подаваемое на сетку второго триода 6Н8С, анодный ток которого при этом падает почти до нуля. Анодный ток третьего каскада достигает при этом максимального значения вследствие снятия запирающего напряжения с сеток.

В анодную цепь третьего каскада усилителя обычно включают электромагнитное реле типа РЭ-100. Для контроля за работой фотореле в выходной цепи может быть включен миллиамперметр на 150 ма. Усилитель питается переменным напряжением от сети 220 в.

Фотосопротивление чувствительно к температурным влияниям и при резких изменениях температуры изменяет свое внутреннее сопротивление. Поэтому при неправильной установке регулятора чувствительности усилителя может произойти ложное срабатывание реле или получится значительный темновой ток. При правильной установке регулятора чувствительности, изменения внутреннего сопротивления фотосопротивления при изменении температуры внутри приемной головки от 15 до 45—50° С не вызывает появления темнового тока или ложного срабатывания выходного реле.

Металлургическое фотореле типа ФРС-60 предназначено для использования в схемах автоматического управления и контроля работы различных прокатных станков, а также для общепромышленного применения в качестве индикатора наличия, положения или величины обрабатываемых металлических или иных заготовок и изделий.

МКУ-48, включенного в цепь рабочей обмотки усилителя. Срабатывание выходного реле может контролироваться миллиамперметром в цепи рабочих обмоток.

Обмотка смещения магнитного усилителя ($\omega_{см}$) служит для регулирования чувствительности усилителя. Инерционность фотоспротивления ФСД-Г2 при потере освещенности приводит к задержке отпадания реле. Для уменьшения инерционности схемы при затемнении фотозлемента применена специальная форсирующая цепочка, состоящая из емкости C_3 и сопротивления R_3 . Работа форсирующей цепочки происходит следующим образом: при отсутствии освещенности емкость C_3 заряжена до напряжения, определяемого амплитудой напряжений источника питания и делителем $R_2—R_3$. При освещении фотоспротивления напряжение на делителе падает и емкость C_3 разряжается через сопротивление до значения остаточного напряжения на делителе. Диод D_4 не позволяет емкости разряжаться через обмотку управления усилителя ω_y . При потере освещенности ток, минуя обмотку управления, заряжает емкость C_3 , что приводит к быстрому спаданию величины тока в обмотке управления усилителя и соответственно к быстрому отпаданию выходного реле.

Фотореле может применяться для контроля металлических изделий, нагретых до 700°C и выше. При этом головка фотореле (рис. 23,а) должна устанавливаться не ближе 1 м от изделия при специальном обеспечении защиты ее от перегрева. Реле может работать также от специального осветителя (рис. 23,б) с лампой накаливания типа А-17, 6 в, 4,83 вт. При этом головка фотореле должна быть установлена от осветителя на расстоянии не более 6 м.

Фотореле устойчиво работает при расположении головки на расстоянии до 100 м от усилителя при условии экранирования соединительных проводов и хорошего заземления корпусов усилителя и головки. Оно рассчитано на включение в сеть переменного тока напряжением 220 в, 50 гц, допускает колебания напряжения в пределах от +10 до -15%. Реле потребляет мощность около 10 ватт. Выходной ток фотореле 50—75 мА обеспечивает нормальную работу реле МКУ-48 с катушкой постоянного тока на 24 в. Время срабатывания или

отпускания фотореле составляет не более 0,12 сек. Срабатывание реле происходит при освещении фотозлемента.

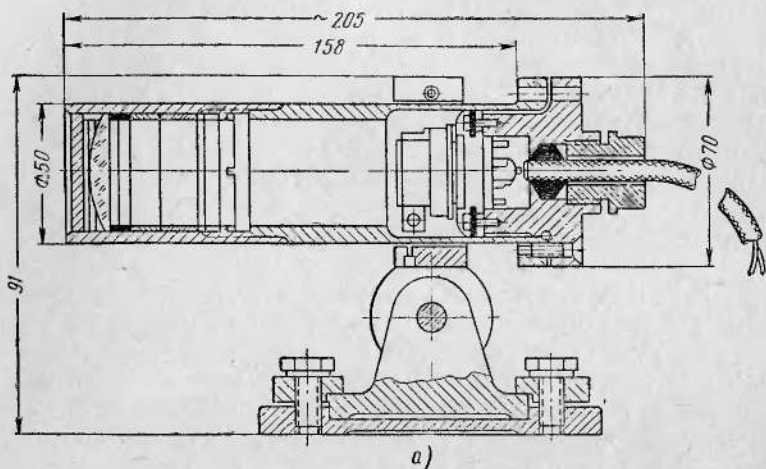
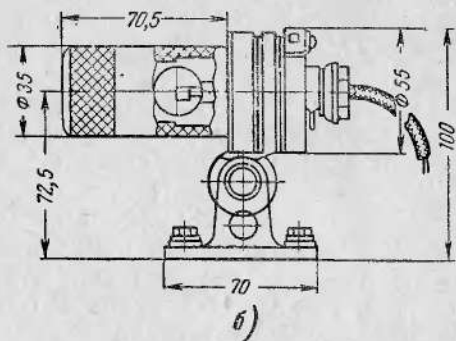


Рис. 23. Фотореле металлургического типа ФРС-60.

а — головка фотореле; б — осветитель типа ОЛ-4.



Фотореле четко работает при температуре внутри головки до $+45^{\circ}\text{C}$. Головка фотореле имеет пылевлаго-непроницаемые уплотнения во всех съемных деталях.

5. РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

а) Принцип действия

В последние годы в системах автоматики во многих случаях получила использование способность некоторых веществ к радиоактивному излучению. В настоящее время получено большое число искусственных ра-

диоактивных изотопов, обладающих такой способностью. Существуют два основных вида радиоактивности: альфа-распад, т. е. превращение ядра радиоактивного изотопа с испусканием α -частиц (атомных ядер изотопа гелия), и бета-распад, т. е. превращение ядра радиоактивного изотопа с испусканием β -частиц (отрицательно или положительно заряженных электронов). В результате такого радиоактивного распада атомные ядра неустойчивых изотопов и элементарных частиц превращаются в ядра других химических элементов. Альфа- и бета-распад обычно сопровождается испусканием также фотонов большой энергии (гамма-излучение). Альфа-, бета- и гамма-частицы обладают различными свойствами. Так, например, гамма-излучение обладает наибольшей проникающей способностью (гамма-частицы могут проникать в толщу металлов на глубину до нескольких сантиметров). Различные радиоактивные изотопы отличаются друг от друга как характером излучения, так и сроком жизни, характеризующимся так называемым периодом полураспада, т. е. временем, в течение которого распадается половина имевшихся вначале ядер атомов вещества.

Для использования радиоактивных изотопов в системах автоматического контроля необходимы источник радиоактивного излучения и приемник жестких излучений, измеряющий интенсивность излучения и преобразующий его в электрический ток. На выходе приемника излучений включается усилитель и далее выходное реле или измерительный прибор. В качестве источника излучения используются искусственные радиоактивные изотопы различных элементов (кобальта, талия, цезия и др.) с большим периодом полураспада. Источники радиоактивных излучений помещаются обычно в специальные свинцовые контейнеры для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

В качестве приемников жестких излучений используются ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, сцинтилляционные и кристаллические счетчики.

В первых трех типах приемников изменяется интенсивность ионизации, возникающей под действием γ -, β - и α -лучей в некотором разрядном промежутке, к которому приложено напряжение.

В сцинтилляционных счетчиках используется явление люминесценции кристаллов некоторых органических и неорганических веществ (нафталин, антрацен, фенантрон, стильбен и др.) под воздействием γ -, β - и α -излучения. Вторичный световой поток, пропорциональный интенсивности радиоактивного излучения, воспринимается чувствительным фотоэлементом. В кристаллических счетчиках используется явление проводимости кристаллов некоторых веществ, возникающее под действием γ -, β - или α -излучения.

В системах контроля используется обычно проникающая способность радиоактивного излучения или степень его поглощения контролируемым веществом.

Структурная схема автоматического контроля показана на рис. 24. По изменению интенсивности потока излучения, улавливаемому приемником излучения, можно судить о толщине и однородности изделия, наличии или отсутствии материала и т. п.

Большое распространение в различных областях техники получили разнообразные радиоактивные уровнемеры, плотномеры, толщиномеры и другие приборы, позволяющие осуществлять непрерывные дистанционные измерения, сигнализацию и регулирование без проникновения внутрь контролируемого объекта и без непосредственного контакта с измеряемой средой. Преимущество таких приборов становится еще более ощутимым, если принять во внимание, что соприкосновение с контролируемыми телами в ряде случаев является затруднительным, а иногда и вообще невозможным.

С помощью радиоактивного излучения можно измерять давление газов и контролировать их состав, используя ионизирующую способность радиоактивного излучения, т. е. образование в газообразном веществе под действием радиоактивного излучения ионов, коли-

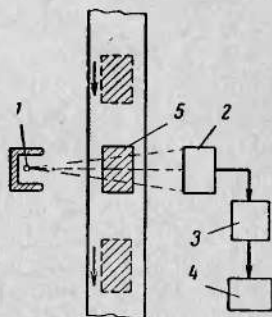


Рис. 24. Схема использования радиоактивного преобразователя для контроля толщины (наличия) изделия.

1 — излучатель; 2 — приемник излучений; 3 — усилитель; 4 — измерительный прибор или реле; 5 — контролируемый объект.

чество которых меняется в зависимости от состава и свойств контролируемого вещества.

Радиоактивные приборы выпускаются также и во взрывобезопасном исполнении.

б) Примеры применения

В табл. 13 приведены основные технические данные радиоактивных приборов, получивших наиболее широкое распространение, а далее, в качестве примера, дано более подробное описание некоторых из таких приборов.

При работе с радиоактивными приборами необходимо строго соблюдать все правила техники безопасности, указанные в инструкциях на эти приборы.

Гамма-реле типа ГР-1 служит для контроля наличия материала в пространстве между коллиматором (контейнером с радиоактивным изотопом) и приемником излучения. Реле предназначено для использования в схемах автоматизации технологических процессов.

Скелетная схема гамма-реле представлена на рис. 24. Принцип действия прибора основан на свойстве поглощения гамма-лучей контролируемым веществом 5. Поглощаемая часть лучей зависит от состава просвечиваемого вещества, а также мощности излучателя γ -лучей и определяется линейным коэффициентом поглощения.

С одной стороны контролируемого пространства находится источник гамма-излучения 1, помещенный в коллиматор. В качестве излучателя используется изотоп Со-60. С другой стороны находится приемник излучения 2, состоящий из счетчика гамма-квантов, усилителя с интегратором 3 и выходного реле 4.

Если в контролируемом пространстве объекта нет, то гамма-лучи будут свободно проходить от источника к приемнику излучения и выходное реле будет находиться в каком-то исходном положении. При появлении в контролируемом пространстве тела с большей, по сравнению с воздухом, поглощающей способностью, число гамма-квантов, попадающих на приемник излучения, уменьшится и выходное реле сработает и изменит свое состояние.

Схема приемника гамма-реле показана на рис. 25. Гамма-квант, зарегистрированный счетчиком СТС-5,

рабочее напряжение на котором равно 380 ± 40 в, создает в нем импульс тока, который в свою очередь вызывает падение напряжения и перераспределение потенциалов на нагрузочном сопротивлении R_1 . Это напряжение, имеющее отрицательную полярность по отношению к катоду левого триода лампы 6Н2П, через разделительный конденсатор C_1 подается на сетку этого триода.

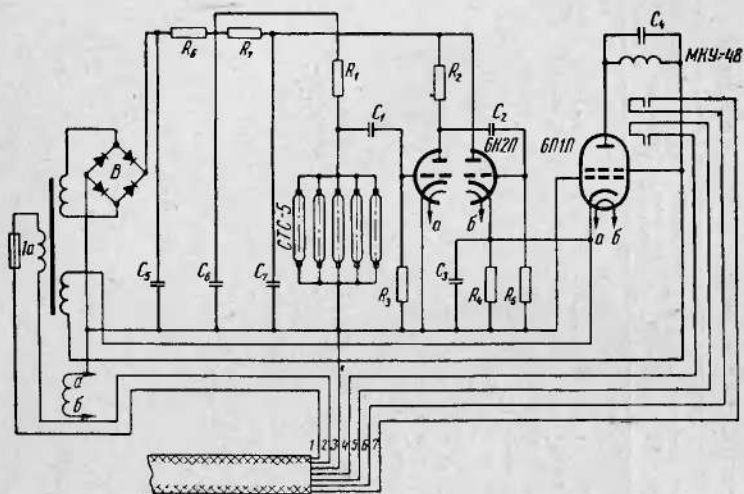


Рис. 25. Принципиальная схема приемника излучений гамма-реле типа ГР-1.

Сопротивление R_3 является сопротивлением утечки сетки.

Левый триод лампы 6Н2П осуществляет функции усиления и частичного формирования импульса. Полученный импульс, имеющий положительную полярность по отношению к катоду правого триода лампы 6Н2П, через разделительный конденсатор C_2 подается на сетку этого триода. Правый триод лампы 6Н2П работает в режиме катодного повторителя и имеет в цепи катода интегрирующее звено, состоящее из сопротивления R_4 и конденсатора C_3 . Потенциал этой цепочки подается на катод лампы 6П1П, являющейся усилителем мощности. Анодной нагрузкой лампы 6П1П служит обмотка реле МКУ-48 на напряжение 40 в, причем для сглажи-

Основные технические данные радиоактивных приборов

Тип прибора	Наименование прибора	Назначение прибора	Технические данные входного элемента	Потребляемая мощность	Выходной элемент	Основная погрешность	Комплект
РИУ-1	Радиоактивный индикатор уровня	Дистанционная сигнализация о достижении заданного уровня раздела двух сред (газ-жидкость, газ-твердое тело)	Минимальный слой просвечиваемого вещества с плотностью 1 кг/см^3 — 200 мм; максимальный диаметр объема измерения 6000 мм (при толщине стальной стенки 20 мм)	70 Вт	Реле МКУ-48	$\pm 20 \text{ мМ}$	Источник излучения Приемник излучения Электронный блок
УР-4	Радиоактивный измеритель	Непрерывное дистанционное измерение высоты границы раздела двух сред различной плотности	Пределы измерения 1000 и 2000 мм; скорость слежения за уровнем 0,5 м/мин; применяется в комплекте со вторичными приборами типа ЭПИД, ДС-1 или ДСР-1	—	Индуктивный датчик	$\pm 0,5\%$	Колонка-источник излучения Колонка-приемник излучения Электронный блок
РСП-11	Радиоактивный счетчик предметов	Бесконтактный счет предметов на конвейерах	Максимальное количество считываемых предметов в минуту при применении счетчика СЭИ-1-60	55 Вт	Счетчик электроимпульсный СЭИ-1	—	Излучатель Электронный блок УРАП-3А ₂ Датчик РД-6 Счетчик СЭИ-1

УРС-56	Радиоактивный уровень мер	Бесконтактное непрерывное измерение уровня раздела двух сред различной плотности	Имеет пять модификаций с диапазонами измерения уровня от 1 до 6 м; скорость слежения за изменением уровня — 500 мм/мин; максимальное расстояние между ду колонками 3 м	200 <i>вт</i>	Сельсин	± 10 мм ± 15 мм ± 20 мм	Колонка-источник излучения Колонка-приемник излучения Электронный блок
УРС-76							
УРС-77							
УРС-78							
УРС-79							
ГР-1	Гамма-реле	Определение наличия материала в пространстве между источником излучения и приемником	Активность источника гамма-частиц выбирается в зависимости от толщины стенок контролируемого пространства, характера и толщины материала	26 <i>ва</i>	Реле МКУ-48	—	Коллиматор К-1-20 К-2-40 К-3-100 Приемник с амортизатором Без амортизатора
МУ-32	Радиоактивный многоконтурный уровень мер	Измерение и регулирование уровня засыпки шихты в доменных печах и других отраслях промышленности	—	500 <i>вт</i>	Реле МКУ-48	—	—
Р-4	Радиоактивный разностной номер-толщина номер	Контроль разностности и толщины стенок труб, а также толщины листового материала	Для измерения труб диаметром от 30 до 120 мм с толщиной стенок для стали до 5 мм	—	Реле РКМ-1	—	Прибор Р-4

вапия переменной составляющей обмотка реле зашунтирована емкостью C_4 .

При наличии на счетчике интенсивности излучения более 50 *имп/сек* напряжение на интегрирующей цепочке поднимается выше 25 в, лампа 6ПП запирается, обмотка реле обесточивается и его контакты меняют свою позицию.

Все элементы приемника излучения собраны на стальной плате. С наружной стороны на ней размещены: трансформатор, обе лампы, реле и обойма на пять счетчиков СТС-5. Все остальные детали размещены на внутренней стороне платы. После сборки и наладки схемы плата помещается в силуминовый кожух, имеющий резиновое уплотнение, исключающее попадание внутрь кожуха влаги и пыли.

Ввод кабеля осуществляется через уплотнительный сальник. В случаях, когда имеет место значительная тряска и вибрации, приемник устанавливается на амортизаторах.

Коллиматоры выполняются различных видов, в зависимости от источника излучения и условий техники безопасности при работе на конкретном объекте.

Время срабатывания реле после начала облучения счетчиков составляет не более 1 *сек*. Время восстановления первоначального положения реле после прекращения облучения — не более 3 *сек*. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 в частотой 50 *гц*. Прибор надежно работает при колебаниях питающего напряжения в пределах $\pm 10\%$ от номинального и при температуре окружающей среды $\pm 50^\circ\text{C}$.

Радиоактивный счетчик предметов типа РСП-11 предназначен для бесконтактного счета предметов, перемещающихся на конвейерах. Действие его основано на принципе ослабления β -излучения в момент пересечения луча контролируемым предметом. В качестве регистратора излучения используется галогенный газоразрядный счетчик (рис. 26). Сигнал с регистратора поступает на электронно-релейный блок УРАП-3А, который выдает его далее на электроимпульсный счетчик СИ типа СЭИ-1. В излучателе применен изотоп-стронций-90 с энергией излучения 0,61 *Мэв* и периодом полураспада 19,9 лет. Активность изотопа 0,5 *мкюри*.

Допустимое расстояние между излучателем и приемником составляет 60—80 см. Электронный блок размещается на расстоянии до 20 м от приемника излучений. Номинальное напряжение питания 220 в при частоте 50 гц. Допускаются колебания напряжения от 150 до 240 в. Прибор потребляет мощность 55 ва.

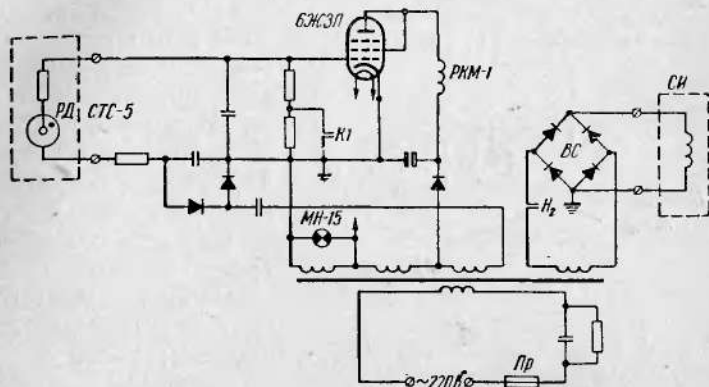


Рис. 26. Принципиальная схема радиоактивного счетчика предметов типа РСР-11.

Автоматический дымоизвещатель типа АДИ-1. Автоматический дымоизвещатель типа АДИ-1 предназначен для сигнализации о начале пожара в различного рода производственных помещениях, хранилищах, складах, библиотеках, на судах и др. Действие извещателя основано на изменении проводимости ионизационной камеры при попадании в нее частиц дыма. Извещатель (рис. 27) состоит из датчика — ионизационной камеры, ионного реле (электрометрического триода с холодным катодом) и пяти сопротивлений. Ионизационная камера выполнена открытой для возможности доступа в нее окружающего воздуха.

Под воздействием радиоактивного излучения (в камере использован радиоактивный источник α -частиц с периодом полураспада $2,4 \cdot 10^4$ лет) воздух, находящийся в камере, ионизируется и по цепи, составленной сопротивлением R_1 и ионизационной камерой, при подведении постоянного напряжения к зажимам извещателя будет проходить ток. Величина тока зависит от степени ионизации, т. е. от интенсивности излучения,

состава воздуха внутри камеры и величины приложенного напряжения.

Электрометрический триод, специально разработанный для этих целей, имеет стабильные характеристики в области малых токов зажигания и управляется током порядка 10^{-10} а. Постоянные сопротивления, входящие в схему, устанавливают режим работы электрометрического триода, который в нормальных условиях практически не потребляет тока.

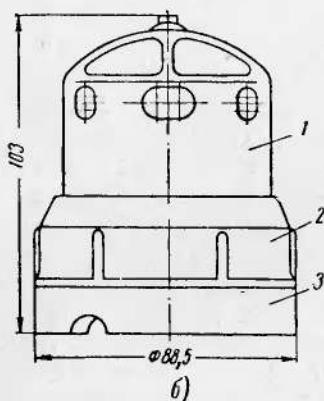
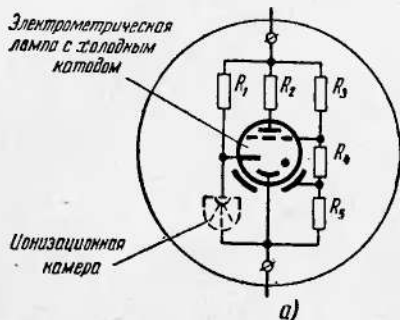


Рис. 27. Автоматический дымоизвещатель типа АДИ-1.

а — принципиальная схема; б — общий вид; 1 — извещатель; 2 — накидная гайка; 3 — установочная колодка.

Работа извещателя происходит следующим образом: когда в контролируемом объекте отсутствуют продукты горения, напряжение, подводимое к зажимам извещателя, распределяется между ионизационной камерой и сопротивлением R_1 в определенном отношении, но таким образом, что на управляющем электроде триода напряжение смещения ниже напряжения зажигания по управляющему промежутку (сетка-катод).

При появлении в воздухе дыма и попадании его в ионизационную камеру происходит взаимодействие частичек дыма с α -частицами и ионами воздуха. Это приводит к резкому уменьшению ионизационного тока, что равносильно увеличению сопротивления ионизационной камеры постоянному току. В результате напряжение на управляющем электроде триода возрастает

и в момент, когда оно превысит напряжение зажигания, произойдет разряд в основном промежутке между анодом и катодом, т. е. произойдет «зажигание» триода. Электрическое сопротивление триода резко уменьшится, вследствие чего в подводящей цепи питания произойдет скачкообразное увеличение тока, указывающее на то, что извещатель сработал. Очевидно, что если последовательно с извещателем включить реле, то оно в этом случае сработает.

Чувствительность извещателя регулируется изменением интенсивности радиоактивного источника. С уменьшением интенсивности излучения начальное напряжение смещения увеличивается, что увеличивает чувствительность излучателя.

Извещатель может быть использован не только для сообщения о возникновении пожара, но и как сигнализатор о перегреве электрооборудования, срабатывающий от газов, выделяемых чрезмерно перегретыми электроизолирующими материалами. Кроме того, извещатель типа АДИ может использоваться как датчик в схемах автоматических пожаротушащих установок.

Площадь, контролируемая одним извещателем, 60—100 м²; напряжение питания 220 в; ток срабатывания 10 ма; температура окружающей среды — от —40 до +60°С при относительной влажности до 80%.

6. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

а) Принцип действия

В последнее время в устройствах и схемах автоматики все более широкое применение получают так называемые полупроводниковые приборы — диоды, триоды (транзисторы) и управляемые кремниевые вентили (тиристоры).

Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками электрического тока и изоляторами. Электрическое сопротивление у полупроводниковых материалов больше, чем у проводников, но в то же время меньше, чем у непроводников. В качестве материала полупроводников наиболее распространены кремний, германий, селен и некоторые другие.

Для более ясного понимания принципа действия по-

лупроводниковых диодов и триодов необходимо вкратце познакомиться с механизмом образования различных видов проводимости в полупроводниках.

Весьма упрощенно модель атома представляет положительно заряженное ядро, вокруг которого по определенным орбитам вращаются электроны, заряженные отрицательно. Число электронов, как известно, равно порядковому номеру элемента в периодической таблице Менделеева. Электроны в атомах находятся в так называемых электронных оболочках, расположенных на разных расстояниях от ядра. В каждой такой оболочке находится строго определенное число электронов, движущихся по своим орбитам. Электроны, находящиеся в более близких к ядру оболочках, испытывают более сильное притяжение, чем электроны, находящиеся во внешних (валентных) оболочках. Последние связаны с ядром слабее и обладают большей энергией. Для того чтобы переместить электрон с одной орбиты на другую, расположенную в более удаленной от ядра оболочке, необходимо сообщить ему определенное количество энергии. При обратном переходе электрон сам возвращает избыток энергии, передавая ее другому электрону или излучая в виде света.

У большинства твердых тел атомы химических элементов расположены в определенном структурном порядке, называемом кристаллической решеткой. Порядок этот определяется минимальной энергией всей системы атомов. Для возникновения электропроводности необходимо, чтобы электроны, находящиеся на внешних орбитах атомов и слабо связанные со своим ядром, под действием внешнего поля отрывались от ядра и свободно перемещались в твердом теле. При этом атомы, потерявшие отрицательно заряженный один или несколько электронов, оказываются заряженными положительно, а атомы, присоединившие к себе свободные электроны — отрицательно.

В твердых телах вообще наблюдаются три зоны энергетических уровней: заполненная электронами зона, запрещенная зона и зона проводимости (или зона возбужденных состояний). У металлов запрещенная зона отсутствует, у полупроводников величина этой зоны составляет 0,5—1,5 эв, а у изоляторов она значительно больше.

Для перехода электрона в свободное состояние с более высокой энергией ему необходимо сообщить энергию, соответствующую ширине запретной зоны, чтобы он смог перейти в зону проводимости.

Проводимость, осуществляемую свободными электронами называют электронной n -типа¹.

Однако с уходом электронов (под действием поля) в зону проводимости из заполненной зоны, в последней образуется возможность перемещения других электронов с соседних уровней непосредственно внутри заполненной зоны на место ушедшего электрона. Образовавшееся свободное место получило название дырки. По мере перемещения электронов заполненной зоны против направления поля, дырка будет как бы перемещаться по направлению поля, что, вообще говоря, эквивалентно движению положительно заряженной частицы (хотя физически в полупроводнике движутся только электроны). Проводимость, обусловленная перемещением дырок, называется дырочной p -типа².

В химически чистом полупроводнике количество вырванных электронов, естественно, равно количеству дырок и так называемая собственная проводимость полупроводника невелика. Проводимость полупроводника, однако, можно значительно улучшить, добавляя в него специально подобранные примеси. Если атом примеси имеет большее число электронов, чем нужно для образования связей с атомами полупроводника, то в последнем появляются свободные электроны и будет преобладать электронная проводимость n -типа.

Если же атомы примеси имеют меньшее количество электронов, чем это нужно для образования связей с атомами полупроводника, то в этом случае атомы примеси захватывают электроны от соседних атомов полупроводника, что приводит к образованию большого числа дырок, т. е. дырочной проводимости p -типа.

Так, например, атомы германия и кремния имеют по четыре валентных электрона, находящиеся на внешних орбитах. Если в кристалл германия или кремния введен примесный атом другого вещества, имеющий избыточный по сравнению с основным веществом валентный

¹ От латинского слова *negative* — отрицательный.

² От латинского слова *positivè* — положительный.

электрон (например, атом пятивалентного мышьяка или сурьмы), то примесный атом займет в узле кристаллической решетки место атома основного вещества и его четыре из пяти валентных электронов будут связаны с валентными электронами основного вещества. Пятый валентный электрон примесного атома окажется свободным. Этот электрон свободно перемещается в кристалле и будет участвовать в явлении проводимости. Такая проводимость, созданная свободными электронами, как указывалось выше, называется электронной.

Если в кристаллическую решетку германия или кремния ввести примесный атом вещества, имеющего на один валентный электрон меньше, чем атом основного вещества (например, атом трехвалентного индия или галлия), то такой примесный атом образует с соседними атомами основного вещества только три полноценные связи.

В четвертой связи один электрон будет отсутствовать, т. е. в кристаллической решетке образуется дырка. Под действием электрического поля электрон из соседнего атома кристаллической решетки может заполнить свободное место — дырку, оставляя на своем прежнем месте новую дырку, т. е. появляется дырочная проводимость.

В отличие от проводников, у которых с повышением температуры электрическое сопротивление возрастает, у полупроводников повышение температуры вызывает уменьшение сопротивления.

Диоды или вентили представляют собой полупроводниковые двухэлектродные приборы. Принцип действия их основан на явлении односторонней проводимости специально обработанных пластинок (кристаллов), выполненных из селена, германия, кремния или других полупроводниковых элементов. Если привести в соприкосновение два таких кристалла полупроводника (например, германия), один из которых имеет проводимость n -типа, а другой p -типа, то в пограничной зоне под действием диффузии электронов и дырок образуется некий нейтральный слой, проводимость которого будет значительно меньшей, чем во всем остальном объеме полупроводников (так называемый запирающий слой или p - n переход). На границах p - n перехода, таким об-

разом, образуется разность электрических потенциалов, т. е. возникает потенциальный барьер.

p-n переход обладает вентиляльным свойством. Если к *p*-области диода присоединить отрицательный полюс источника постоянного тока, а к *n*-области — положительный, то электроны будут притягиваться к положительному полюсу, а дырки к отрицательному. Следовательно, дырки и электроны расходятся в разные стороны от зоны *p-n* перехода. При этом через *p-n* переход заряды почти не проходят, т. е. сопротивление перехода велико, а ток в цепи мал (обратный ток). В этом случае потенциальный барьер как бы возрастает на величину приложенного напряжения.

Если изменить полярность источника питания на обратную, т. е. к *p*-области присоединить положительный, а к *n*-области — отрицательный полюс источника, то дырки и электроны, отталкиваясь соответственно от положительного и отрицательного полюсов, будут перемещаться навстречу друг другу к *p-n* переходу. Здесь электроны заполняют дырки и через переход будет проходить большой ток (прямой ток). В этом случае потенциальный барьер резко снижается и сопротивление перехода будет малым. Процесс этот продолжается непрерывно, так как из источника питания к полупроводнику типа *n* все время поступают свободные электроны, а из полупроводника типа *p* электроны все время уходят к положительному полюсу источника питания, образуя дырки.

Величина прямого тока растет с увеличением приложенного напряжения.

Первыми диодами, появившимися в промышленности, были селеновые и купроксные вентили, набираемые из отдельных шайб. Такие диоды и до сего времени находят обширное применение. В настоящее время, однако, наиболее широко используются германиевые и кремниевые диоды, отличающиеся небольшими размерами, допускающие значительные обратные напряжения и имеющие высокий коэффициент полезного действия. Германиевые диоды работают при температурах не выше $+70^{\circ}\text{C}$, а кремниевые — до $+125 \div 150^{\circ}\text{C}$.

По конструктивно-технологическому признаку кремниевые и германиевые диоды бывают двух разновидностей: точечные и плоскостные. У точечных диодов

(рис. 28,а) выпрямляющий контакт образуется в точке касания полупроводниковой пластинки острием металлической иглы, причем пропускное направление соответствует прохождению тока от иглы к пластинке. У плоскостных диодов (рис. 28, б, в) выпрямляющими свойствами обладает поверхность раздела двух областей полупроводника с разными типами проводимости (дырочной p и электронной n) внутри монокристаллического объема полупроводника (p - n переход).

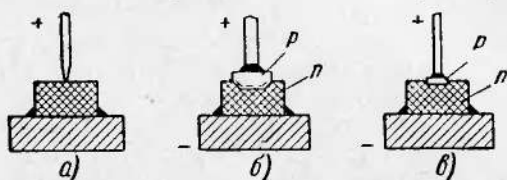


Рис. 28. Устройство полупроводниковых диодов различных типов.

а — точечного; б — плоскостного сплавленного; в — микро-сплавленного.

По области применения различают диоды универсального назначения, силовые выпрямительные диоды, стабилизаторы напряжения («опорные» диоды) и ряд разновидностей диодов специализированного назначения (смесительные и модуляторные диоды, диоды для умножения частоты, для параметрических усилителей и др.). Выпускаются также высоковольтные выпрямительные столбы, состоящие из нескольких однотипных диодов, включенных последовательно.

Наряду с вышеперечисленными неуправляемыми диодами в настоящее время появились кремниевые управляемые вентили или так называемые тиристоры.

Благодаря высокому к. п. д., малой мощности управления, безынерционности, компактности, неограниченно долгому сроку службы тиристоры открывают новые возможности в области бесконтактного автоматического управления. Недостатком тиристоров является то, что даже однотипные тиристоры имеют пока самые различные характеристики и свойства.

У тиристоров при отсутствии сигнала управления сопротивление велико как в прямом, так и в обратном направлении. После того, как он открылся, т. е. на него был подан соответствующий управляющий импульс,

восстановить его запиорное действие можно только, подав на управляющий электрод отрицательную волну анодного напряжения или разорвав анодную цепь.

Транзисторы представляют собой трехэлектродные полупроводниковые приборы. Схематическое устройство транзистора показано на рис. 29. Собственно транзистор, изображенный на рис. 29, представляет собой кристалл, состоящий из трех слоев: два крайних — с дырочной проводимостью p и тонкий внутренний слой

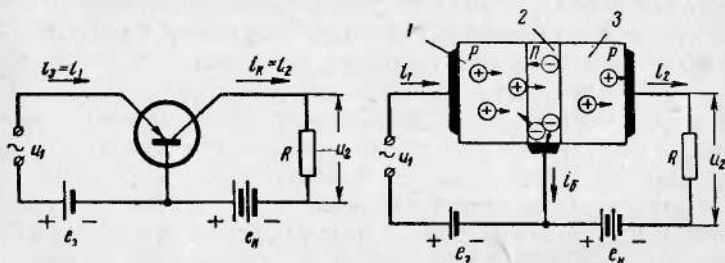


Рис. 29. Схема устройства транзистора.

1 — эмиттер; 2 — база; 3 — коллектор.

с электронной проводимостью n . К этим слоям присоединены три внешних электрода, по числу которых транзистор и называют полупроводниковым триодом.

В области электронно-дырочного перехода между средним и правым слоями полупроводника образуется высокоомная зона.

Эта зона представляет собой запиорный слой, обладающий очень большим сопротивлением (десятки и сотни килоом).

Отрицательный полюс источника электродвижущей силы e_k присоединен к правому слою, а положительный полюс — к среднему слою. Дырки в правом слое будут уходить от левой границы его к «минусу» источника э. д. с. e_k , т. е. вправо. В то же время свободные электроны в среднем слое будут перемещаться от его правой границы влево, притягиваясь к «плюсу» источников э. д. с. e_k и e_0 . У плоскости раздела слоев n и p , как указывалось выше, не окажется подвижных носителей зарядов и здесь образуется тончайший запиорный слой.

Левый и средний слой триода на схеме рис. 29 образуют как бы диод, работающий в режиме прямого тока. Положительное напряжение на левом электроде вызы-

вает движение положительных зарядов (дырок) слева и электронов справа к границе этих слоев. Электрическое сопротивление такой цепи, как уже говорилось, незначительно. Благодаря очень малой ширине среднего слоя (порядка $2 \cdot 10^{-4}$ см) и относительно малому содержанию примесей в этом полупроводнике проходящие из левого слоя дырки по большей части проходят через средний слой, не успевая встретить свободный электрон и нейтрализоваться (рекомбинироваться). Приблизившись к правому заборному слою, эти дырки увлекаются электрическим полем к правому электроду, поскольку к нему приложено отрицательное напряжение источника питания.

Левый электрод, испускающий (эмиттирующий) дырки в средний слой, называется *эмиттером*. Правый электрод, собирающий эти дырки, называется *коллектором*. Средний электрод называется *базой*.

При малом значении напряжения e_0 ток i_1 очень мал, количество дырок в слое n невелико, так же как и количество свободных электронов в правом слое p . Ток i_2 незначителен и падение напряжения внешнего источника e_k главным образом приходится на заборный слой, а не на сопротивление нагрузки R .

Увеличение напряжения источника e_0 вызывает соответствующее снижение потенциального барьера на левом p - n переходе и, следовательно, увеличение тока i_1 .

Поток дырок, проходящий через заборный слой, увеличивает ток i_2 в цепи коллектора, который в свою очередь вызывает увеличение падения напряжения на сопротивлении R . Количество дырок, поступающих с эмиттера на базу, определяется в основном током i_1 и поэтому ток i_2 мало отличается от тока i_1 . Поскольку коллектора достигают все же не все дырки, а часть из них соединяется с электронами в области базы, то ток i_2 несколько меньше тока i_1 . Даже незначительное увеличение напряжения e_0 вызывает резкое увеличение тока эмиттера i_1 и соответственно, но в меньшей степени, тока коллектора i_2 . Ток коллектора таким образом зависит от величины тока эмиттера, но в то же время практически не зависит от напряжения e_k .

Отношение $\frac{\Delta i_2}{\Delta i_1} = \alpha$ называется коэффициентом усиления триода по току. Коэффициент α достигает величины $0,9 - 0,98$, т. е. почти равен единице.

Полупроводниковые триоды используются в качестве усилителей напряжения и мощности, т. е. преобразователей слабых электрических сигналов на входе в более мощные выходные сигналы (напряжение, мощность).

Действительно, характеристики триода таковы, что незначительное изменение напряжения эмиттера Δe_3 вызывает большое изменение токов эмиттера Δi_1 и коллектора Δi_2 . При изменении тока i_2 происходит перераспределение падений напряжения e_R и при этом изменение падения напряжения ΔU_2 на нагрузке R будет значительно превышать изменение входного напряжения Δe_3 . Отношение $\frac{\Delta U_2}{\Delta e_3} = k_u$ называется коэффициентом усиления триода по напряжению.

Поскольку при одном и том же изменении тока ($\Delta i_1 \approx \Delta i_2$) напряжения изменяются различно ($\Delta u_2 \gg \gg \Delta e_3$), имеет место также и усиление мощности, так как $\Delta i_2 \Delta u_2 \gg \Delta i_1 \Delta e_3$.

Если хотят использовать триод в качестве усилителя колебаний переменного напряжения, то источник колебаний u_1 включают в цепь эмиттера последовательно с источником постоянного напряжения e_3 (рис. 29), которое в этом случае играет роль напряжения смещения, необходимого для устранения искажений, вызываемых нелинейностью начальной части эмиттерной характеристики. Последняя представляет собой зависимость тока эмиттера i_3 от напряжения e_3 .

Выше был рассмотрен принцип действия полупроводникового триода, имеющего структуру *p-n-p*. Существуют триоды и со структурой *n-p-n*, действие которых аналогично.

По конструктивно-технологическому признаку транзисторы так же, как и диоды, бывают точечные и плоскостные.

Основными преимуществами транзисторов перед другими усилителями, такими, например, как электронные лампы, являются их малые габариты, нечувствительность к тряске, практически неограниченный срок службы.

Диоды и транзисторы получили наибольшее использование в качестве составных частей бесконтактных логических элементов и различных узлов автоматики, таких как триггеры, мультивибраторы, ключи, дешифрато-

ры и т. д. Тиристоры находят наибольшее применение в схемах регулирования скорости вращения электродвигателей.

Примеры применения полупроводниковых элементов, а также элементов с прямоугольной петлей гистерезиса, рассматриваемых в § 7, приведены в § 8 и 9.

7. МАГНИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА

а) Принцип действия и технические данные

Известно большое число различных материалов, обладающих способностью намагничиваться под действием даже слабых магнитных полей, а затем сохранять положительную или отрицательную остаточную намагниченность и после исчезновения внешнего магнитного поля. Такие материалы называются ферромагнитными. Вследствие явления магнитного насыщения ферромагнитные материалы имеют нелинейную зависимость индукции от напряженности магнитного поля, обладающую свойством гистерезиса. Основные законы, которым подчиняются ферромагнитные материалы, и их свойства достаточно широко описаны в учебной литературе.

Некоторые из этих материалов в результате соответствующей технологической обработки приобретают кривую намагничивания, форма которой близка к прямоугольной. Из таких материалов изготовляют так называемые элементы с прямоугольной петлей гистерезиса (ЭППГ).

На рис. 30 схематически показан один из таких элементов, имеющий сердечник, выполненный из материала, обладающего прямоугольной петлей гистерезиса, и приведена его кривая намагничивания. Такой элемент представляет собой пассивную ячейку памяти с двумя устойчивыми состояниями: $+B_0$ и $-B_0$, которые могут сохраняться, пока не будет подан соответствующий импульс в управляющую обмотку. Если принять, что в исходный момент в обмотках сердечника тока нет и остаточная (устойчивая) индукция в магнитопроводе равна $-B_0$, то в момент пропускания через обмотку ω_1 тока такой величины и направления, чтобы положительная напряжен-

ность магнитного поля была равна или больше $+H_c$, сердечник перемагнитится и после прекращения тока индукция в нем станет равна $+B_0$. Если теперь через обмотку ω_1 пропустить ток обратного направления и такой величины, что напряженность магнитного поля будет равна или больше $-H_c$, то сердечник вновь перемагнитится и остаточная индукция в нем опять станет равна $-B_0$.

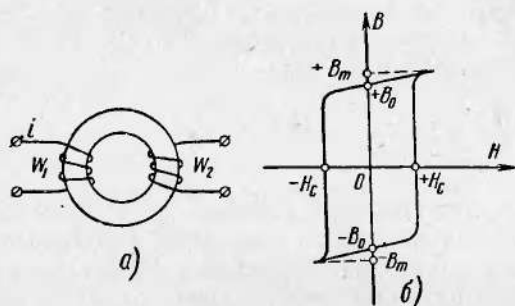


Рис. 30. Бесконтактный элемент с ферромагнитным сердечником.

a — сердечник; *б* — кривая намагничивания.

В случае, если в управляющую обмотку сердечника подавать импульсы одного и того же знака или противоположного знака, но такой величины, что напряженность поля импульса будет по абсолютной величине меньше H_c , то перемагничивания сердечника не произойдет и он останется в том же состоянии, в каком он находился до подачи импульса.

Во время перемагничивания сердечника из одного состояния в другое, в обмотке ω_2 (а таких обмоток может быть несколько) вследствие резкого изменения индукции индуктируются импульсы э. д. с. Величина этой э. д. с. зависит от свойств материала сердечника, величины приложенного намагничивающего поля, числа витков выходной обмотки ω_2 и т. д. Если выходную обмотку замкнуть на какую-либо электрическую цепь, то в последней будут возникать импульсы электрического тока.

Напряженность магнитного поля, необходимая для того, чтобы свести к нулю остаточную намагниченность сердечника, называется коэрцитивной силой. Величина коэрцитивной силы материала определяет минимальный

расход энергии, требуемой для перемагничивания сердечников.

Качество материала сердечника элемента с прямоугольной петлей гистерезиса характеризуется большой магнитной проницаемостью, высокой индукцией насыщения B_m , малой коэрцитивной силой, степенью прямоугольности формы петли гистерезиса и малыми потерями на вихревые токи. Форма кривой намагничивания характеризуется коэффициентом прямоугольности K_{Π} , представляющим собой отношение остаточной индукции B_0 к индукции насыщения B_m :

$$K_{\Pi} = \frac{B_0}{B_m}.$$

Важным параметром элемента ЭППГ является время его перемагничивания T , т. е. время необходимое для перехода сердечника из состояния остаточного намагничивания B_0 одного знака в состояние максимального насыщения B_m другого знака.

В качестве материалов, из которых изготавливаются сердечники ЭППГ, применяются различные сплавы типа перминвар, пермаллой и ферриты. Сплавы типа перминвар весьма дороги вследствие содержания в их составе кобальта и молибдена и требуют довольно сложной обработки, а поэтому применяются крайне редко.

Пермаллой представляет собой железо-никелевые сплавы часто с примесями других металлов. Промышленностью выпускается около 20 разновидностей пермалловых сплавов. Сплавы эти имеют ряд достоинств, таких, например, как большая магнитная проницаемость, высокое значение коэффициента прямоугольности и т. д. Сердечники из этих сплавов изготавливаются в виде ленточных колец. Пермалловые сплавы, однако, имеют и серьезные недостатки. Они чрезвычайно чувствительны к различным механическим воздействиям (тряска, удары, давление и т. п.), требуют сложной технологии изготовления и др.

Ферриты представляют собой сплавы из смеси магнитного железняка с окисями марганца и магния. По своим механическим свойствам они близки к керамике. Это, хотя и магнитные, но не электропроводные материалы, и поэтому удельное электрическое сопротивление

ферритов очень велико и соответственно потери на вихревые токи незначительны. Ферриты не боятся механических нагрузок; сердечники, выполненные из этого материала, могут иметь очень малые размеры и вес; они дешевле в изготовлении. В это же время магнитная проницаемость ферритов намного меньше, чем у пермаллоя, они имеют большую коэрцитивную силу, а следовательно, и больший расход энергии на перемагничивание, обладают малой температурной стойкостью. Температурная стойкость ферромагнитного материала характеризуется так называемой точкой Кюри, т. е. температурой, при которой этот материал теряет свои ферромагнитные свойства.

В табл. 14 для сравнения приведены основные параметры наиболее распространенных материалов, из которых изготавливаются сердечники элементов ЭППГ.

Таблица 14

Основные характеристики материалов сердечников ЭППГ

Материал и его марка	$H_c \cdot \vartheta$	$B_m, \text{ гс}$ (при $H=5H_c$)	K_{II}	Точка Кюри, °С
Пермаллой Н50П	0,15	15 500	0,92—0,96	—
То же Н65П	0,05	13 500	0,95—0,98	—
Феррит ВТ-2	0,8	2 550	0,94	275
„ ВТ-5	0,15	2 320	0,95	160
„ К-28	1,5	2 800	0,93	290
„ К-65	0,4	2 500	0,95	150
„ К-132	0,2	2 200	0,9	150

Примечание. В настоящее время введена новая международная система единиц, в которой напряженность H_c измеряется в амперах на метр (а/м), а магнитная индукция B_m — в теслах (тл):

$$1 \vartheta = \frac{10^8}{4\pi} \text{ а/м}; 1 \text{ тл} = 10^4 \text{ гс.}$$

Ферритовые сердечники получили наибольшее распространение. Элементы с прямоугольной петлей гистерезиса широко применяются в различных областях автоматики и вычислительной техники в качестве простейшего элемента памяти и для других целей.

Широко используются ЭППГ в различных телемеханических устройствах и в так называемых логических элементах.

8. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

а) Принцип действия и технические данные

Анализ операций, осуществляемых в различных автоматических системах, показывает, что большинство из них носит характер логических решений, т. е. выполнение той или иной операции в конечном счете определяется наличием или отсутствием в определенные моменты времени тех или иных условий. До последнего времени такие операции осуществлялись в основном с помощью релейно-контактной аппаратуры. Однако с увеличением общего числа контактов в устройствах, необходимостью повышения их быстродействия одновременно с повышением требований, предъявляемых к надежности автоматических устройств, все большее применение стали получать различные бесконтактные элементы и приборы.

Быстрое развитие техники приборостроения выявило широкие возможности для создания схем управления, построенных на бесконтактной аппаратуре, выполняющих те же функции, что и схемы, построенные на электромеханических контактных реле. Такие приборы получили название логических бесконтактных элементов (или релейных бесконтактных элементов).

Логические элементы в отличие от всех рассмотренных выше элементов бесконтактных систем автоматики и телемеханики представляют собой не единичные элементы, в полном смысле этого слова, а скорее простейшие элементарные ячейки, построенные на электромагнитных, электронных или полупроводниковых бесконтактных элементах. С помощью этих ячеек могут быть собраны самые различные схемы управления и устройства автоматики.

В системах автоматики бесконтактные логические элементы заменяют собой, как правило, лишь релейную группу приборов, получающую импульсы от различных датчиков и перерабатывающую эти импульсы в сигналы, подаваемые затем в контакторную группу аппаратов, управляющих непосредственно приводами, электромагнитными устройствами и т. д. В качестве датчиков в таких системах могут быть использованы как контактные, так и бесконтактные приборы. Контактная группа приборов в принципе также может быть заменена бесконтактными устройствами, например магнитными усилителями,

или усилителями на полупроводниковых триодах однако в настоящее время такая замена бывает целесообразна лишь для исполнительных механизмов малой мощности.

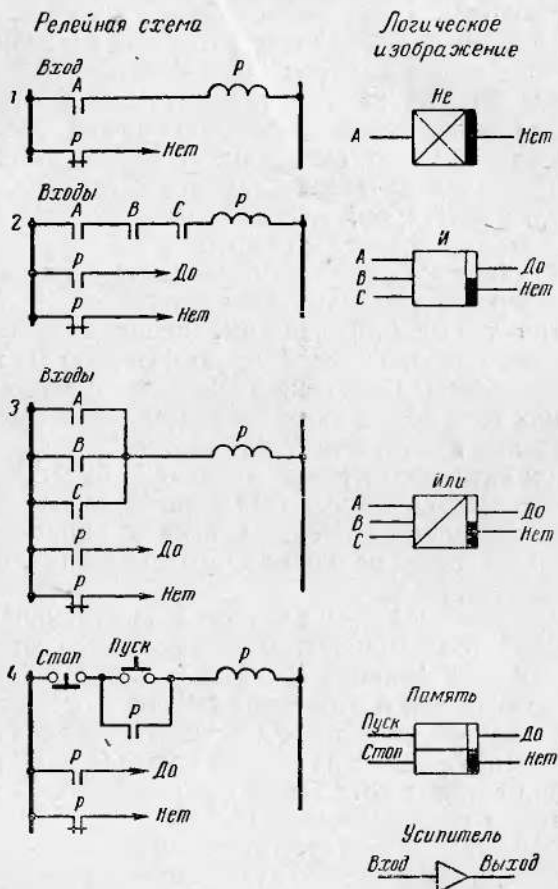


Рис. 31. Основные элементы релейных схем и их логическое изображение.

1 — комбинация НЕ; 2 — комбинация И; 3 — комбинация ИЛИ; 4 — комбинация ПАМЯТЬ.

На рис. 31 изображены наиболее часто встречающиеся основные релейные комбинации, из которых формируются обычно схемы автоматического управления, и по-6—589

казаны выполняемые ими определенные логические функции.

В комбинации 1 замыкающийся контакт A включает реле P . Если в выходной цепи включен размыкающийся контакт реле P , то такая комбинация выполняет логическую функцию НЕ (отрицание), т. е. при наличии сигнала на входе реле в выходной цепи сигнала не будет.

Справа на рис. 31 показаны структурные условные логические изображения, соответствующие рассматриваемым релейным комбинациям. В данном случае при наличии сигнала на входе элемента сигнал на выходе отсутствует (НЕТ); при снятии же сигнала на входе элемента на выходе возникает сигнал.

Комбинация 2 состоит из нескольких последовательно соединенных замыкающихся контактов A , B и C , включающих реле P . Такая комбинация, как это видно из рисунка, выполняет логическую функцию И, так как включение реле P возможно только при одновременном замыкании всех последовательно включенных контактов, т. е. контакта A , контакта B и контакта C .

В этом случае логический элемент И будет давать на выходе сигнал ДА только тогда, когда на все его входы будут одновременно поданы сигналы. При отсутствии же сигнала хотя бы на одном из входов сигнал на выходе отсутствует.

Если в выходной цепи включен размыкающийся контакт реле P , то релейная комбинация будет соответствовать логической функции И—НЕ, т. е. сочетанию логического элемента И и отрицания НЕ, так как в этом случае при наличии сигналов на всех трех входах логического элемента сигнала на выходе не будет (НЕТ), а при отсутствии сигнала хотя бы на одном из входов элемента на выходе появляется сигнал.

Комбинация 3 соответствует логической операции ИЛИ, так как включение реле P может произойти при замыкании любого из параллельно включенных замыкающихся контактов, т. е. контакта A , или контакта B , или контакта C .

Следовательно, логический элемент ИЛИ будет давать на выходе сигнал ДА при наличии на входе хотя бы одного из сигналов A , B или C .

Если на выходе включен размыкающийся контакт реле P , то комбинация будет соответствовать логической

функции ИЛИ — НЕ, так как в этом случае при наличии на входе хотя бы одного из сигналов на выходе сигнал отсутствует (НЕТ).

Комбинация 4 соответствует логической функции запоминания и называется ПАМЯТЬ. В таком элементе сигналы ДА, НЕТ, получаемые на выходе при подаче на вход сигнала ПУСК, сохраняется сколь угодно долго (за счет самоудерживающего контакта реле P) до момента подачи на вход элемента нового сигнала СТОП.

Могут быть рассмотрены и другие логические функции, выполняемые релейными схемами. Например, цепочке включения катушки реле времени P через замыкающийся контакт A на входе соответствует логический элемент ЗАДЕРЖКА. У этого элемента сигнал на выходе появляется с определенной выдержкой времени после подачи сигнала на вход, что соответствует включению в выходную цепь замыкающегося с выдержкой времени контакта реле P . Исчезновение сигнала на выходе в этом случае происходит одновременно со снятием сигнала на входе.

Аналогично рассмотренным выше случаям выдержка времени на выходе при снятии сигнала на входе может быть получена комбинацией элементов ЗАДЕРЖКА и НЕ, что соответствует наличию в выходной цепи контакта реле P с выдержкой времени на размыкание. В этом случае сигнал на выходе появляется одновременно с сигналом на входе элемента.

Все указанные выше (а также и некоторые другие) логические функции практически реализуются бесконтактными логическими элементами.

Логические элементы, как уже указывалось, строятся на использовании различных физических явлений и свойств материалов. Для всех таких элементов, однако, общим является так называемый дискретный характер их работы, заключающийся в том, что входные и выходные величины используются здесь только в своих крайних значениях, а переходные промежуточные состояния не учитываются. Таким образом, логические элементы выполняют только такие операции, результатом которых является наличие или отсутствие выходного сигнала, т. е. ДА или НЕТ. Они не могут передавать ни характера изменения амплитуды какой-либо величины, ни соединять или разрывать электрически какие-нибудь две цепи;

их выходные сигналы не могут быть плавно изменены каким-нибудь входным сигналом.

У бесконтактных логических элементов входные и выходные величины в большинстве случаев представляют собой напряжение или ток, меняющие дискретно, т. е. скачком, свое значение.

Наиболее широко известны выпускаемые промышленностью магнитные логические элементы типа ЭЛМ, соединяющие магнитные усилители с прямоугольной петлей гистерезиса, и диоды.

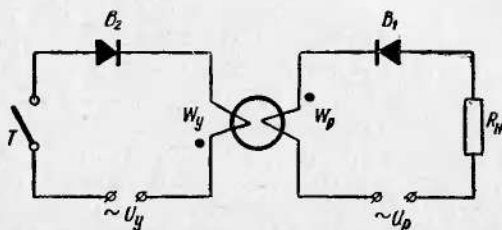


Рис. 32. Принципиальная схема односердечникового усилителя.

В основу работы магнитных логических элементов положен принцип действия односердечникового усилителя (рис. 32), имеющего форму тороида, выполняемого из пермаллоя, который после соответствующей термической обработки имеет петлю гистерезиса, близкую к прямоугольной.

На сердечник намотаны две обмотки: обмотка управления и рабочая (в цепи нагрузки), рассчитанные так, что при подаче на обе обмотки напряжения одного полупериода (ключ T замкнут) сердечник перемагничивается из одного крайнего положения в другое по петле гистерезиса (н. с. этих обмоток имеют противоположные знаки).

Благодаря вентилям, включенным в цепи управления и нагрузки, ток в цепи управления будет проходить только в один из полупериодов напряжения питания, а ток в цепи нагрузки — только в следующий (рабочий) полупериод; при этом за счет встречной полярности включения обмоток ток в цепи нагрузки намагничивает сердечник, а ток в цепи управления размагничивает его.

При замкнутой цепи управления (ключ T замкнут) сердечник в рабочий полупериод намагничивается под

действием напряжения U_p ; при этом индуктивное сопротивление рабочей обмотки ω_p велико, ток в цепи нагрузки не превышает намагничивающего тока, имеющего весьма малую величину, и поэтому падение напряжения на нагрузке R_n также невелико.

При разомкнутой цепи управления (ключ T разомкнут) сердечник находится в режиме насыщения (нет намагничивающего действия ω_y) индуктивное сопротивление обмотки ω_p мало и поэтому почти все напряжение U_p приходится на нагрузку.

Таким образом, от состояния цепи управления зависит уровень выходного напряжения.

В логических элементах роль ключа, размыкающего или замыкающего цепь управления, играет напряжение сигнала, подаваемое на вход элемента и включенное встречно с напряжением источника питания U_y . Когда напряжение на входе равно нулю, цепь управления замкнута, так как к управляющей обмотке приложено полное напряжение источника питания U_y . Когда же напряжение на входе превышает напряжение питания U_y , цепь управления как бы разомкнута и ток через обмотку ω_y не проходит.

Следовательно, входной сигнал так же, как и выходной, представляет собой напряжение, амплитуда которого либо несколько превышает амплитуду напряжения цепи управления, либо близка к нулю.

Выходное напряжение элемента и управляющее им входное напряжение сдвинуты по фазе на половину периода частоты питания, поэтому каждый элемент может управлять другими элементами только при условии включения их напряжений в противофазе.

Схема и параметры магнитных логических элементов выбраны так, что позволяют на выходе каждого элемента включать до десяти подобных же элементов или один усилитель (например, магнитный) с сохранением свойств управления при колебаниях напряжения питания от $+10$ до -15% номинального.

На основе схемы односердечникового усилителя создан так называемый «повторитель», у которого роль ключа выполняет вентильная схема (рис. 33). Повторитель сам по себе не выполняет никаких логических функций и осуществляет только задержку сигнала на один такт (полупериод) и функцию усиления.

Для более ясного представления о том, как работает повторитель, рассмотрим состояние системы в какое-то мгновенное значение, соответствующее определенному полупериоду напряжения источника питания, при котором зажиму *1* источника управляющего напряжения U_y соответствует отрицательный потенциал (мгновенная полярность переменного напряжения). При этом под *сигналом* будем подразумевать появление на входе (зажим *2*) отрицательного потенциала, большего, чем потенциал зажима *1*, а отсутствие сигнала будет соответ-

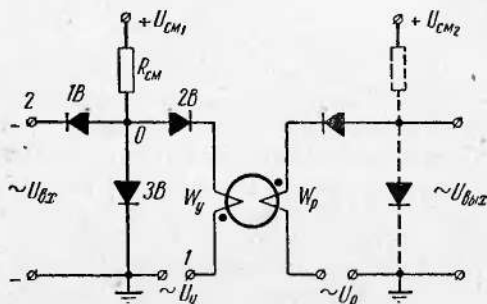


Рис. 33. Принципиальная схема повторителя.

ствовать наличию на зажиме *2* потенциала, близкого к нулю.

При отсутствии на входе сигнала клапан *1B* открыт и через него проходит ток по цепи: источник смещения $+u_{см}$, сопротивление $R_{см}$, точка *O*, клапан *1B*, зажим *2*. Сопротивление клапана *1B* при этом ничтожно мало и, следовательно, в точке *O* практически будет тот же потенциал, что и на зажиме *2*, т. е. потенциал, близкий к нулю. Так как на зажиме *1* потенциал отрицательный (т. е. более низкий, чем в точке *O*), то и остальные клапаны схемы открыты, что соответствует замкнутой цепи управления усилителя. Как указывалось выше, напряжение на выходе повторителя при этом отсутствует (так как сердечник перемагничивается).

При наличии на входе повторителя сигнала клапан *1B* остается открытым, но в точке *O* появляется отрицательный потенциал, больший, чем на зажиме *1*. Клапаны *2B* и *3B* при этом запираются, что соответствует разомкнутой цепи управления усилителя. На выходе повторите-

ля появляется напряжение, величина которого определяется напряжением U_p и параметрами цепи нагрузки.

Таким образом видно, что вентиляльная схема повторителя выполняет роль ключа, замыкающего или размыкающего цепь управления усилителя при подаче на вход сигнала и при снятии его.

Если теперь на входе односердечникового усилителя осуществить, например, три таких вентиляльных схемы, как у повторителя, то получится логический элемент с тремя входами, выполняющий функцию И (рис. 34). Действительно, если хотя бы на одном из трех входов

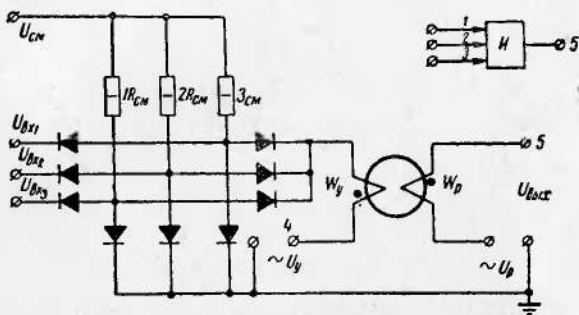


Рис. 34. Принципиальная схема логического элемента И с тремя входами.

этого элемента нет сигнала, то вентили на этом входе будут открыты, в цепи управления проходит ток, сердечник перемагничивается и напряжение на выходе отсутствует. Для того чтобы на выходе элемента появился сигнал (напряжение), необходимо подать одновременно сигналы на все три входа элемента.

В настоящее время промышленностью осваивается выпуск логических и функциональных (вспомогательных) транзисторных элементов единой серии ЭТ, предназначенных для применения в стационарных установках и устройствах промышленной автоматики и телемеханики, а также в устройствах защиты электротехнических установок (см. табл. 15).

На рис. 35 в качестве примера показаны схемы логического элемента И, построенные на полупроводниковых диодах (рис. 35,а) и транзисторах (рис. 35,б).

В схеме, изображенной на рис. 35,а, сопротивление r_1 значительно меньше сопротивления r_2 и поэтому паде-

ние напряжения на сопротивлении r_2 примерно равно напряжению источника питания. Следовательно, потенциал выходного зажима, обозначенного на схеме $V_{\text{вых}}$, примерно равен потенциалу положительного полюса источника питания. Если одновременно на оба входа (V_{x1} и V_{x2}) подать отрицательные импульсы напряжения, превышающие по величине напряжение источника питания, то через диоды D_1 и D_2 в этот момент ток проходить не будет, а на зажиме $V_{\text{вых}}$ кратковременно

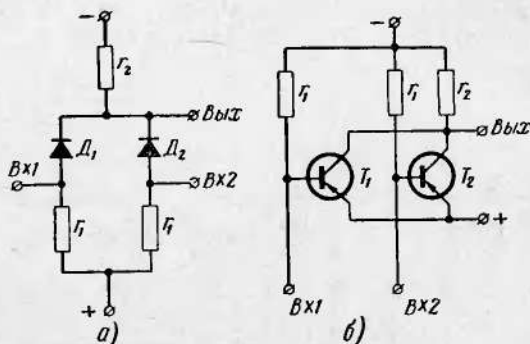


Рис. 35. Принципиальная схема логического элемента И.

а — на диодах; б — на транзисторах.

возникает импульс отрицательного напряжения. Такое состояние, как видно из рисунка, возникает только при одновременной подаче отрицательного импульса на оба входа и, следовательно, схема реализует логическую функцию И.

На рис. 35,б показана схема логического элемента И, построенного на параллельно соединенных транзисторах. Нормально на базу каждого транзистора через сопротивление смещения r_1 подается отрицательный потенциал и транзисторы T_1 и T_2 открыты, т. е. через них в направлении от эмиттера к коллектору проходит ток (см. § 6). Так как при этом сопротивление перехода эмиттер-коллектор мало, то на выходном зажиме будет практически потенциал положительного полюса источника питания. Если на оба входа схемы V_{x1} и V_{x2} одновременно подать положительные импульсы, то оба транзистора закроются и на выходном зажиме $V_{\text{вых}}$ возникает отрицательный импульс, так как теперь сопротивление r_2 будет

Значительно меньше сопротивлений запертых транзисторов. И в этой схеме изменение состояния на выходе происходит лишь при одновременном изменении условий на обоих входах, что соответствует логической функции И.

Элементы серии ЭТ могут работать: при изменении температуры окружающего воздуха от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$; при влажности не более 80% при $+30^{\circ}\text{C}$; при отклонении напряжения питания в пределах от -15 до $+10\%$ от номинального значения. Элементы серии ЭТ могут применяться в системах автоматического управления вместо электромеханических реле или магнитных бесконтактных элементов.

Основным активным логическим элементом серии является элемент, реализующий функцию ИЛИ—НЕ. В серии предусмотрен также пассивный элемент, реализующий функцию ИЛИ—И. Кроме того, имеются пассивные элементы, реализующие функции ИЛИ—И для импульсных схем и элементы памяти.

Функциональные (вспомогательные) элементы предназначены для гальванического разделения цепей (согласующий элемент) формирования дискретного сигнала (релейный элемент) и для сравнения величин двух напряжений (нуль-орган). Элементы времени предназначены для реализации временных функций в импульсных и потенциальных схемах. Выходные усилители служат для передачи команд исполнительным механизмом с мощностями управления до 100 *ва*.

Основными активными усилительными приборами элементов серии ЭТ являются полупроводниковые триоды—транзисторы. Пассивными приборами служат полупроводниковые диоды, сопротивления и конденсаторы. В серии применены также магнитные элементы—трансформаторы, дроссели, в том числе управляемые.

Срок службы элементов серии ЭТ составляет 40 тыс. ч и не зависит от числа переключений.

Бесконтактные логические элементы находят широкое применение в системах автоматики и, в частности, в схемах сигнализации, блокировки, автоматического и программного управления. Особенно эффективно применение бесконтактных логических элементов в условиях, когда требуется высокая надежность работы, выполнение большого количества операций с достаточно высокой скоростью, отсутствует возможность наладки и ре-

гулировки системы в процессе работы, или когда работа производится в тяжелых атмосферных условиях или агрессивных средах.

б) Пример применения

Схема управления насосами водоотливной установки (Л10). На рис. 36 показана технологическая схема водоотливной установки (а), а также схемы управления насосами этой установки, выполненные на релейно-кон-

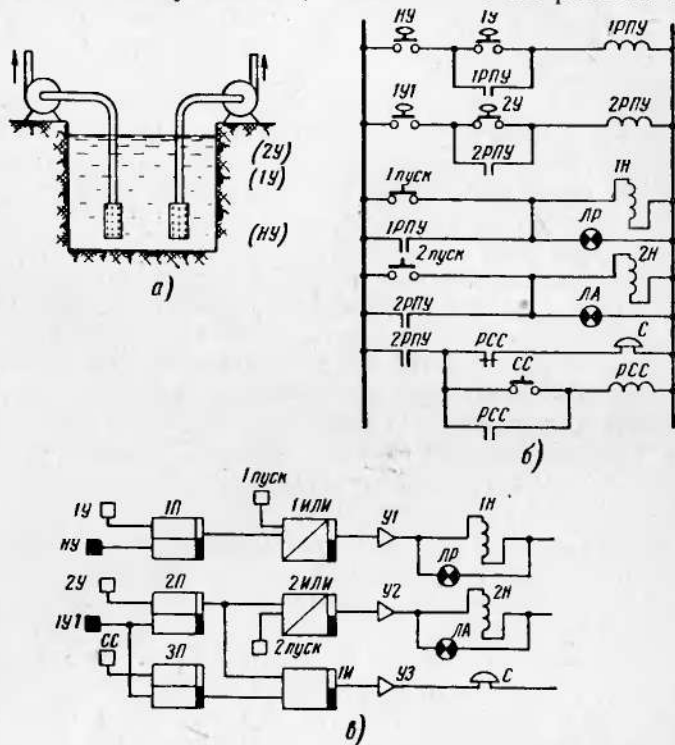


Рис. 36. Автоматизация водоотливной установки.

а — схема установки насосов; б — релейно-контактная схема управления; в — бесконтактная схема управления.

тактных элементах (б) и на бесконтактных логических элементах (в). Установка (рис. 36,а) состоит из двух дренажных насосов, откачивающих воду из резервуара.

Нормально, когда вода находится между нижним и первым уровнем 1У, оба насоса отключены. Когда вода

превысит уровень *1У*, работает один (рабочий) насос. Когда вода достигнет второго (аварийного) уровня *2У*, должен включиться второй аварийный насос и одновременно должен появиться аварийный сигнал.

Релейно-контактная схема управления этой установкой приведена на рис. 36,б.

При уровне воды в приемке ниже всех указанных на рис. 36 значений контакты датчиков этих уровней *НУ*, *1У* и *2У* разомкнуты. При подъеме уровня воды выше заданной нижней отметки контакт датчика *НУ* замыкается. Если вода превысит первый верхний уровень, то датчик *1У* замкнет свой контакт (контакт датчика *НУ* уже замкнут), подтянется промежуточное реле *1РПУ*, которое заблокирует контакт *1У*, и включит катушку контактора *1Н* рабочего насоса. Если вода продолжает прибывать, то на уровне *2У* срабатывает датчик *2У* и, как следствие, реле *2РПУ*, которое включит контактор *2Н* второго (аварийного) насоса. Включение насосов сигнализируется лампами *ЛР* и *ЛА*. Одновременно с включением аварийного насоса включается звуковой сигнал *С*, для съема которого служит кнопка *СС* и реле *РСС*. Когда уровень воды спадает до места установки датчика *1У*, последний отключит реле *2РПУ*, которое в свою очередь обесточит цепь катушки контактора аварийного насоса *2Н*. Второй по программе насос при этом остановится. Сигнальная лампа *ЛА* и реле *РСС* отключатся.

При снижении воды до нижнего заданного уровня замыкаются контакты датчика *НУ*, отключается реле *1РПУ* и контактор *1Н*. Рабочий насос останавливается.

Кнопки *1 Пуск* и *2 Пуск* служат для ручного управления контакторами насосов *1Н* и *2Н* при опробовании.

Бесконтактная схема, выполняющая аналогичные описанные выше функции, представлена на рис. 36,в.

Включение рабочего насоса, как указывалось, производится при достижении водой первого верхнего уровня (датчик *1У*). Контактор *1Н* и лампа *ЛР* включаются через элементы *1П*, *1ИЛИ* и усилитель *У1*. При превышении водой второго верхнего уровня включится аварийный насос при помощи датчика *2У*, элементов *2П*, *2ИЛИ*, усилителя *У2* и контактора *2Н*. При этом загорится аварийная лампа *ЛА* и возникнет звуковой сигнал *С* при помощи элемента *1И* и усилителя *У3*. Эле-

мент *ИИ* управляется от выхода НЕТ элемента *ЗП*. Съем сигнала производится включением датчика *СС*. При опускании воды ниже первого верхнего уровня, сработает датчик *ЛУ1*, включенный на элементы *2П* и *3П*, которые возвратятся в исходное состояние.

Датчики *ЛУ* и *ЛУ1* выполняют функции замыкающихся и размыкающихся контактов. При этом датчик *ЛУ* должен давать на выходе сигнал при повышении уровня, а датчик *ЛУ1* — при понижении.

При опускании воды ниже нормального уровня *НУ* отключится контактор насоса *ИН* при помощи датчика *НУ*, элементов *1П*, *ИЛИ* и усилителя *У1*. Ручное опробование насосов производится путем нажатия датчиков (кнопок) *1 Пуск* и *2 Пуск*.

9. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА В КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Как уже указывалось выше, полупроводниковые элементы, а также элементы с прямоугольной петлей гистерезиса с каждым годом находят все более широкое применение в различных устройствах автоматики, в вычислительной технике, телемеханике. Высокая надежность, малые размеры и вес, быстроедействие и многие другие положительные качества этих элементов делают их незаменимыми при проектировании разнообразных приборов, устройств и схем автоматики.

В качестве примера комплексных устройств, основными элементами которых являются полупроводниковые приборы и элементы с прямоугольной петлей гистерезиса, можно указать на бесконтактные телемеханические устройства, получающие в последнее время широкое распространение.

Общие сведения об устройствах телемеханики. При комплексной автоматизации объектов с централизованным управлением и контролем за работой отдельных установок возникает необходимость передавать команды управления, известительную сигнализацию и измерения на значительные расстояния.

При любом виде дистанционного управления электрическими приводами или аппаратами объект управле-

ния соединен с пунктом управления (ДП) внешними линиями связи. При незначительных расстояниях между управляемым объектом и пунктом управления во многих случаях можно без применения специальных устройств проложить необходимое число кабелей или проводов и обеспечить малое сопротивление соединительных цепей, а также достаточно хорошую изоляцию между проводами. При значительных расстояниях между объектами контроля и пунктом управления, зачастую измеряемых тысячами метров, а иногда и сотнями километров (например, в системах газо- и нефтепередачи), чрезвычайно важное значение приобретают задачи сокращения затрат на сооружение соединительных линий, сохранения качества передачи сигналов, обеспечения быстродействия системы передачи и т. д. Эти задачи успешно решаются с помощью телемеханических систем, позволяющих наиболее экономно использовать линии связи и одновременно обеспечивающих надежную, точную и быструю передачу сигналов, приказов и измерений. Телемеханические системы по характеру выполняемых ими функций разделяются на системы: телеизмерения, телесигнализации и телеуправления. Каждая из этих систем состоит из передающего и приемного устройства (полукомплектов) и соединяющего их канала связи. Техника телеуправления и телесигнализации применяет при передаче сигналов методы избирания, когда каждому объекту управления и контроля присваивается самостоятельный условный сигнал, воздействующий только на определенную исполнительную цепь. Условные сигналы, как правило, представляют собой импульсы тока с различными качественными признаками (например, разной полярности, величины, частоты, продолжительности и т. п.).

Таким образом, подлежащий передаче объем информации в виде специального кода передается по ограниченному числу либо физических каналов связи минимального сечения, либо путем уплотнения линий другого назначения (линий электропередачи, силовые кабели и т. п.), либо по радиоканалам и затем на месте приема расшифровывается приемным устройством.

Следовательно, телеуправление (телесигнализация) представляет собой один из видов дистанционного управления (сигнализации), при котором для сокраще-

ния числа и сечения линий связи между пунктом управления и управляемыми (контролируемыми) объектами применяются специальные методы избирания.

Устройства, предназначенные для осуществления приема и передачи сигналов телеуправления, телесигнализации и вызова телеизмерения, и называются телемеханическими. По сравнению с релейно-контактными телемеханическими устройствами бесконтактные устройства обладают рядом существенных преимуществ. Они, например, имеют больший срок службы, отличаются быстродействием и надежностью, более компактны, требуют меньшего обслуживания.

Из бесконтактных телемеханических устройств заводского изготовления наибольшее распространение на промышленных установках получили устройства типа БТЦ, ТМЭ-1, ВРТФ-1 и БТФ.

В качестве распределителей импульсов в некоторых устройствах используются феррит-транзисторные ячейки, а в качестве выходных элементов — статические триггеры, построенные на транзисторах. На рис. 37 показаны принципиальные схемы этих двух узлов устройства БТЦ.

Феррит-транзисторная ячейка (рис. 37,а) представляет собой сочетание элемента магнитной памяти, выполненного на феррите с прямоугольной петлей гистерезиса, и усилительного элемента — транзистора.

На ферритовом сердечнике имеются четыре обмотки: ω_1 — обмотка считывания; ω_2 — обмотка записи; ω_3 — обмотка выходная (базовая) и ω_4 — обмотка обратной связи.

При прохождении импульса тока через обмотку считывания ω_1 в сердечнике создается магнитный поток, который перемагничивает феррит в состояние $-B_0$ на петле гистерезиса (рис. 30,б). Если теперь пропустить импульс тока через обмотку записи ω_2 , то в сердечнике создается магнитный поток, направленный в противоположную сторону и перемагничивающий феррит в состояние $+B_0$ на петле гистерезиса. Таким образом, при воздействии на ферритовый сердечник н. с. различной полярности последний переключается из одного устойчивого состояния в другое, в котором остается после прекращения действия управляющих ампер-витков. Если производить повторное намагничивание сердечни-

ка в том же направлении, что и в последний раз, то из-за значительной прямоугольности магнитной характеристики материала изменение магнитного потока, а вместе с этим и индуцируемое напряжение на выходной обмотке ω_3 будут весьма незначительны. Гер-

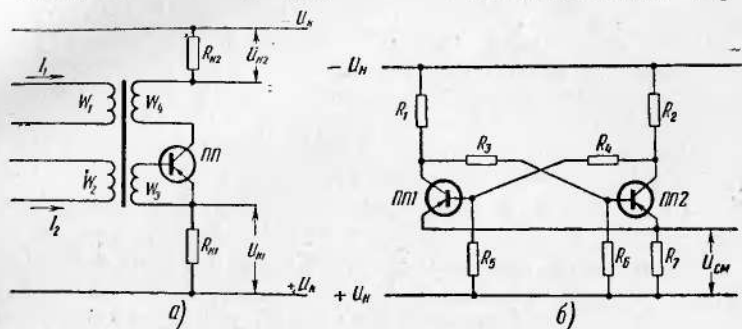


Рис. 37. Узлы схемы устройства серии БТЦ.

а — феррит-транзисторная ячейка; б — статический триггер.

маниевый плоскостной триод $ПП$ служит для усиления выходных импульсов.

Концы и начало обмоток в зависимости от полярности посылаемых в них импульсов подключаются таким образом, что при перемагничивании сердечника в состояние $-B_0$ (считывание) на выходной обмотке ω_2 наводится э. д. с. достаточной амплитуды и необходимой полярности для открытия триода $ПП$. При перемагничивании сердечника в состояние $+B_0$ (запись) на выходной обмотке наводится э. д. с., закрывающая триод.

Запись осуществляется при прохождении импульса тока или постоянного тока через обмотку записи ω_2 , если предварительно сердечник находился в состоянии $-B_0$. При этом триод $ПП$ надежно закрыт и на нагрузке $R_{н1} = R_{н2}$ не появляется рабочих импульсов.

Считывание происходит при подаче импульса тока в обмотку считывания ω_1 лишь в том случае, если предварительно сердечник был перемагничен в состояние $+B_0$. При этом э. д. с., наведенная на выходной обмотке, приоткрывает триод $ПП$. Как только триод начинает открываться, возрастающий коллекторный ток, проходя по обмотке обратной связи ω_4 , наводит на выходной

обмотке э. д. с., еще более способствующую открыванию триода. Этот процесс парастает до момента полного насыщения триода $ПП$ и последний удерживается в этом состоянии в течение времени, примерно равного времени перемагничивания феррита. По окончании процесса перемагничивания сердечника триод $ПП$ закрывается, а феррит остается в состоянии $-B_0$. Таким образом, в результате считывания на нагрузочных сопротивлениях выделяются импульсы тока с длительностью, приблизительно равной времени перемагничивания феррита, и амплитудой, равной половине напряжения коллекторного питания.

Если же в момент прихода импульса считывания сердечник находится в состоянии $-B_0$, то описанный выше процесс совершаться не будет и на нагрузочных сопротивлениях рабочего импульса выделяться не будет.

Статический триггер (рис. 37, б) представляет собой устройство, обладающее двумя устойчивыми состояниями.

В триггере всегда один из триодов открыт, а второй закрыт. Например, если левый триод $ПП1$ открыт до насыщения, то на базу триода $ПП2$ через сопротивление R_3 подается положительный потенциал $U_{см}$, который надежно закрывает этот триод. В свою очередь напряжение с коллектора триода $ПП2$, почти равное напряжению источника питания, поступает через делитель напряжения $R_5 - (R_4 + R_2)$ на базу триода $ПП1$ и открывает его. Таким образом, триггер всегда находится в одном из устойчивых состояний равновесия.

Для перевода триггера в другое устойчивое состояние равновесия необходимо подать короткий импульс положительной полярности на базу открытого триода или отрицательной полярности — на базу закрытого триода. Триггер симметричен, т. е. величины сопротивления коллекторной нагрузки, связи и базовой утечки равны: $R_1 = R_2$; $R_3 = R_4$; $R_5 = R_6$. Сопротивление коллекторной нагрузки может быть активным или индуктивным. Так, в схеме используется триггер и с индуктивной нагрузкой в одном из плеч. Для предохранения триода от перенапряжения в этом плече параллельно индуктивному сопротивлению ставится диод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1959.
2. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, Машгиз, 1959.
3. Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С., Основы автоматики и телемеханики, Госэнергоиздат, 1959.
4. Марголин Ш. М., Точная остановка электроприводов, Энергия, 1965.
5. Туркулец В. И., Удалов Н. П., Фотодиоды и фототриоды, Госэнергоиздат, 1962.
6. Литвак В. И. Фотореле в системах автоматического контроля и регулирования, Госэнергоиздат, 1961.
7. Васильева Н. П., Воробьева Т. М., Бесконтактные элементы автоматики, Изд-во АН СССР, 1963.
8. Шорников Е. А., Электронные приборы для контроля и автоматического регулирования температуры, изд-во «Энергия», 1964.
9. Урин В. Д., Наладка магнитных усилителей, изд-во «Энергия», 1964.
10. Миллер Е. В., Бесконтактные логические элементы на полупроводниках и их применение, изд-во «Энергия», 1964.
11. Васильева Н. П., Гашковец И., Логические элементы в промышленной автоматике, Госэнергоиздат, 1962.
12. Розенблат М. А., Магнитные усилители, т. 1, изд-во Советское радио, 1960.
13. Алпатов Н. И., Ферриты в электронных схемах, Военное издательство МО СССР, 1962.
14. Бесконтактные аппараты, Научно-технический сборник, ЦИТИ, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Термоэлектрические элементы	5
2 Индуктивные и индукционные преобразователи	15
3 Емкостные преобразователи	27
4 Фотоэлектрические преобразователи	35
5 Радиоактивные преобразователи	49
6 Полупроводниковые элементы	59
7 Магнитные элементы с прямоугольной петлей гистерезиса	68
8 Логические элементы	72
9 Пример применения полупроводниковых элементов и элементов с прямоугольной петлей гистерезиса в комплексных устройствах	84

Цена 16 коп.