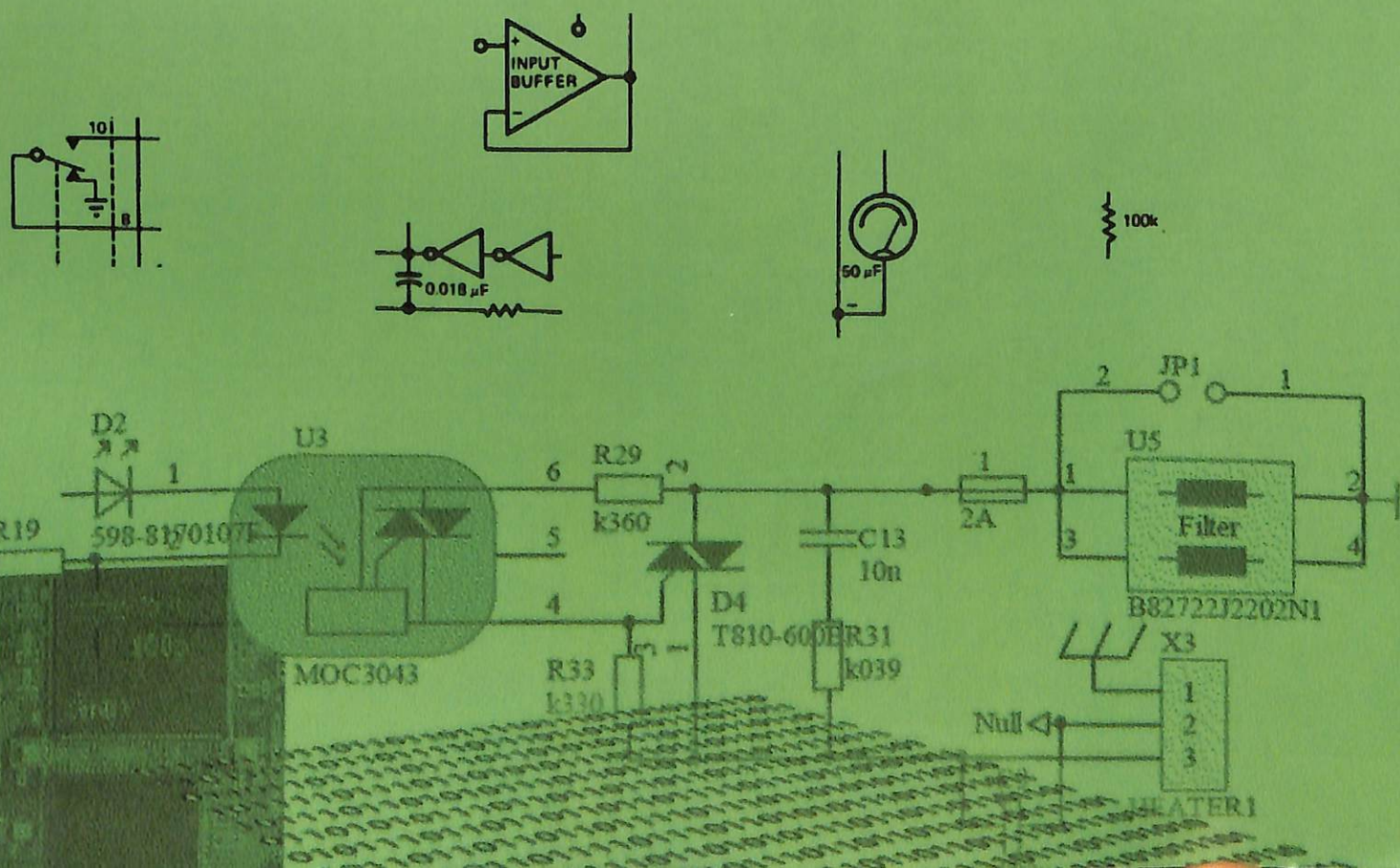


Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Кафедра "Конструирование и производство приборов"

В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Н.А. Липкин,
Д.А. Толсташов, Р.М. Асимов

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ



Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет

Кафедра "Конструирование и производство приборов"

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Минск
«Энциклопедикс»
2016

УДК 671.3.072
ББК 32.973
Ц75

В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Н.А. Липкин, Д.А. Толсташов, Р.М. Асимов

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Каштальян И.Г.,

доктор технических наук, профессор Сычик В.А.

Ц75 **Цифровые, системы управления технологическим оборудованием / В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Н.А. Липкин, Д.А. Толсташов, Р.М. Асимов – Минск: УП «Энциклопедикс», 2016. – 108 с.**

ISBN 978-985-7090-99-0

Книга включает в себя сведения о структурах автоматизированных систем управления на основе программируемых цифровых средств, а также знакомит с основными способами их программирования.

Предполагается, что читатель имеет некоторую подготовку в области электроники, схемотехники и знаком со средствами измерения основных технологических параметров.

Издание ориентировано в первую очередь на студентов приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета специальности 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты», а также для студентов изучающих дисциплину "Системы управления техническими объектами".

УДК 671.3.072
ББК 32.973

ISBN 978-985-7090-99-0

© Минченя В.Т., Савченко А.Л., Липкин Н.А., Толсташов Д.А., Асимов Р.М., 2016
© Оформление, УП «Энциклопедикс», 2016

Научное издание

В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Н.А. Липкин, Д.А. Толсташов, Р.М. Асимов

Цифровые системы управления технологическим оборудованием

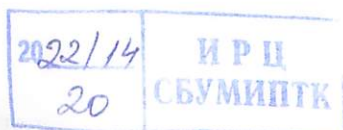
Подписано к печати 06.12.2016

Формат 60х84,1/8. Печать цифровая
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Уч. изд. л. 6,2. Усл. печ. 9,6
Тираж 300 экз. Зак. № 3049.

УП «Энциклопедикс»
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатной продукции
от 3 апреля 2014 года № 1/266
220050, Минск, ул. К. Маркса 15, 203А

тел./факс 328-45-39;
Е-mail: encyclopedia@tut.by
www.who-is-who.by

Отпечатано
Открытое акционерное общество «Типография «Победа».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.
Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Первые шаги	5
Вверх по ступеням	9
Язык цифровых систем.....	13
Мужская и женская логика в цифровом управлении.....	29
Разновидности контроллеров	33
Системы на ПЛК	35
Системы на микроконтроллерах	48
Персональный компьютер в системе управления	79
Прерывания.....	91
Счетчики, таймеры и компараторы.....	93
Коммуникационные средства контроллеров	95
Основные интерфейсы и протоколы.....	96
Немного о программировании.....	100
Ступеньки лестничной диаграммы	101
Конструктив системы	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	108

ВВЕДЕНИЕ

– Начальник кинул на стол какую-то железяку с тремя разноцветными проводами. Посмотри, говорит, как и к чему подключать, что еще потребуется, в общем разберись. А я что, понимаю в этом что-то? Посидела, посмотрела, провода косичкой заплела...

Из разговора

Современный выпускник технического вуза, попадая на промышленное предприятие, сталкивается с разнообразным технологическим оборудованием самого разного возраста. Наряду с современным оборудованием с ЧПУ используется техника с устаревшими электромеханическими программными системами. Даже если профиль образования не связан с автоматизацией производства, инженеру неминуемо приходится сталкиваться с автоматизированным оборудованием разных поколений, заниматься проектированием, эксплуатацией, ремонтом и обслуживанием такого оборудования. Поэтому современный специалист в области машино- и приборостроения должен владеть вопросами, связанными с построением и функционированием автоматизированных систем управления, их элементной базой.

Конечно, любую работу должен выполнять специалист, профессионал, но инженер должен уметь разговаривать с ним на одном языке, чтобы правильно сформулировать задачу, оценить ход работы и результат, выполнять подготовку к автоматизации и т. д.

Данное пособие рассчитано на студентов выпускных курсов технических вузов, для которых автоматизация производства не является основным направлением образования. Оно позволит им разобраться со структурой автоматизированных систем управления на основе программируемых цифровых средств, а также познакомит с основными способами их программирования. Предполагается, что читатели имеют некоторую подготовку в области электроники, схемотехники и знакомы со средствами измерения основных технологических параметров. Если для понимания излагаемого материала требуется освежить в памяти некоторые термины, это необходимо все-таки сделать прежде, чем двигаться дальше. Например, потребуется знание таких элементов электрических схем, как реле, транзисторный ключ, тиристор, операционный усилитель, логические элементы, триггеры, регистры.

Первые шаги

Прежде чем перейти к рассмотрению цифровых систем на программируемых элементах, необходимо уяснить, как те же функции могут быть реализованы более простыми методами. Начнем с простого примера. Предположим, что необходимо включать и выключать трехфазный электродвигатель с потребляемой мощностью 2,5 кВт. Простейшая схема коммутации показана на рис. 1.

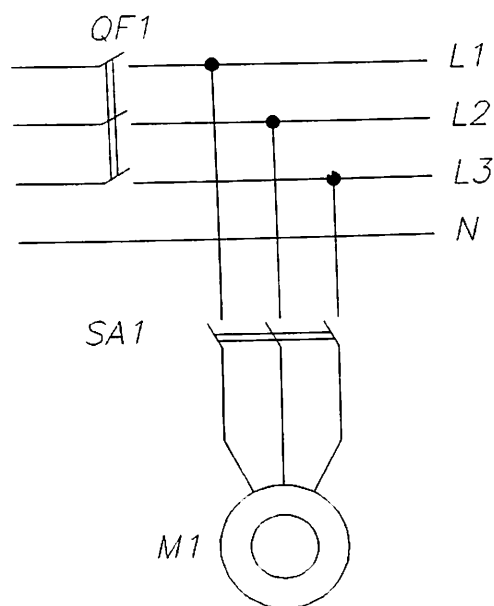


Рис. 1

Выключатель *SA1* позволяет замыкать и размыкать одновременно все три провода питания электродвигателя (*QF1* – автоматический выключатель). Схема выглядит простой и вполне работоспособной, однако у нее имеются существенные недостатки. Во-первых приходится коммутировать ручную сильно-точную цепь питания с напряжением 380 В, что нежелательно с точки зрения электробезопасности. Во-вторых, выключатель и установка могут находиться на расстоянии друг от друга, например, в разных помещениях. Коммутируемый ток ориентировочно равен $2500 \text{ Вт} / 380 \text{ В} = 6,6 \text{ А}$. Медный кабель на ток 10 А (взято с запасом) должен иметь сечение $1,7 \text{ мм}^2$ на каждую фазу. Так как для сетей с напряжением 380 В сечение берется в 1,75 раза меньше, чем для сетей с напряжением 220 В, потребуется провод с сечением примерно 1 мм^2 или диаметром 1,1 мм. Прокладка такого кабеля на большое расстояние может, и не будет стоить очень дорого, но обойдется не совсем бесплатно. Поэтому целесообразно использовать релейную схему включения с использованием контактора (рис. 2).

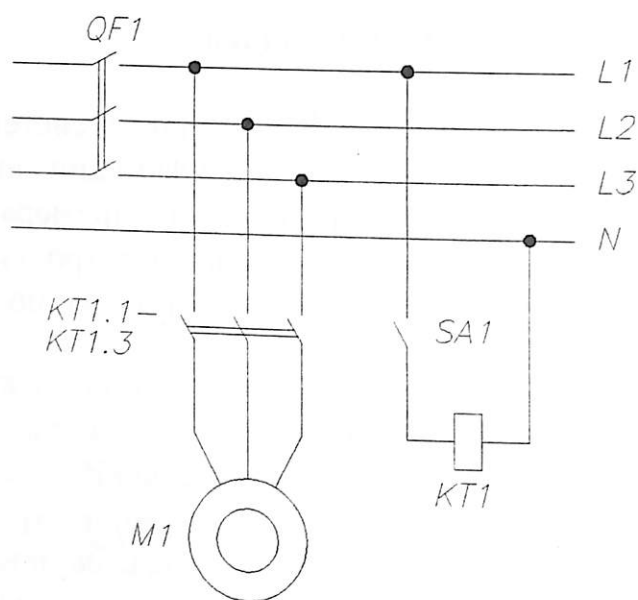
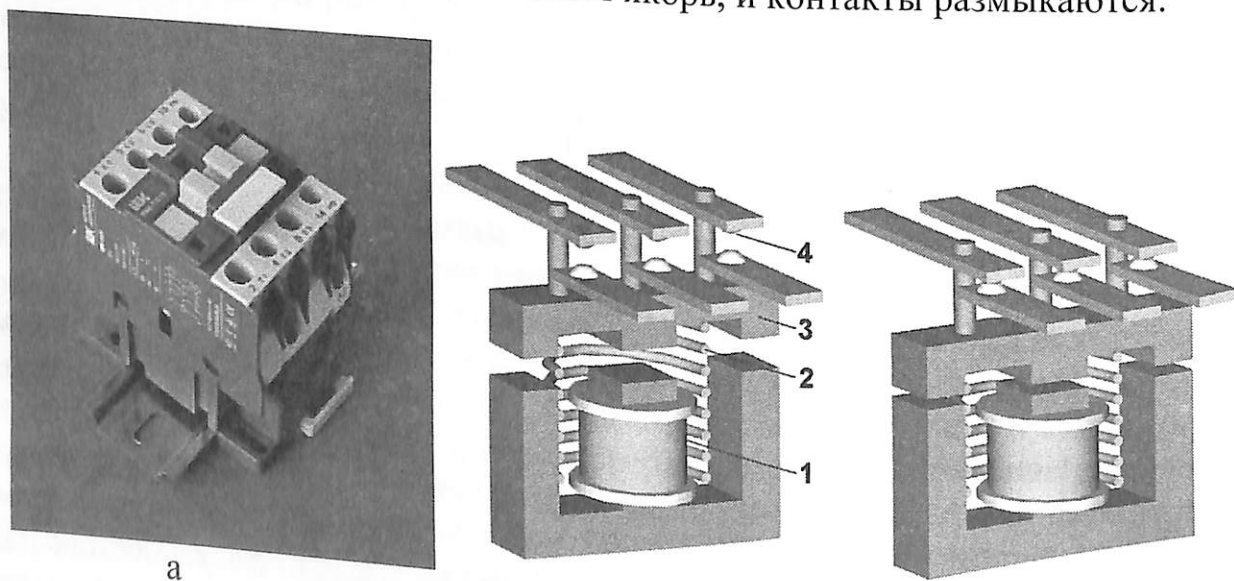


Рис. 2

Контактор – разновидность электромагнитного реле для дистанционного включения и выключения силовых электрических цепей (рис. 3). При протекании тока через катушку 1 якорь 3 притягивается и замыкает контакты 4. При отключении тока пружина 2 отталкивает якорь, и контакты размыкаются.



а

б

а – внешний вид; б – принцип работы
1 – катушка; 2 – пружина; 3 – подвижный якорь; 4 – контакты

Рис. 3

Выключатель SA1 (рис. 2) подключает катушку контактора KT1 к питанию (в данном случае 220 В), контактор срабатывает и замыкает цепи питания двигателя (контакты KT1.1 – KT1.3). Катушка контактора потребляет гораздо меньшую мощность по сравнению с двигателем и требует прокладки проводов меньшего сечения.

Недостаток этой схемы заключается в фиксирующемся выключателе SA1. Если в процессе работы схемы пропадает напряжение питания, цепь катушки контактора остается замкнутой. Что в этом плохого? Вот возможная ситуация.

В аварийной ситуации сработал автомат защиты сети, напряжение питания пропало, двигатель остановился. Пользователь с интересом сует голову под кожух установки: «А что это у нас стряслось?». В это время проснувшийся электрик включает сработавший автомат, и двигатель вновь запускается. Хорошо, если вращающиеся элементы установки не заденут пользователя, но все может случиться. Поэтому желательно, чтобы в подобной ситуации при появлении питания цепь контактора оставалась разомкнутой. Используют схему с двумя нефиксирующимися кнопками – *SA1* «Пуск» и *SA2* «Стоп» (рис. 4).

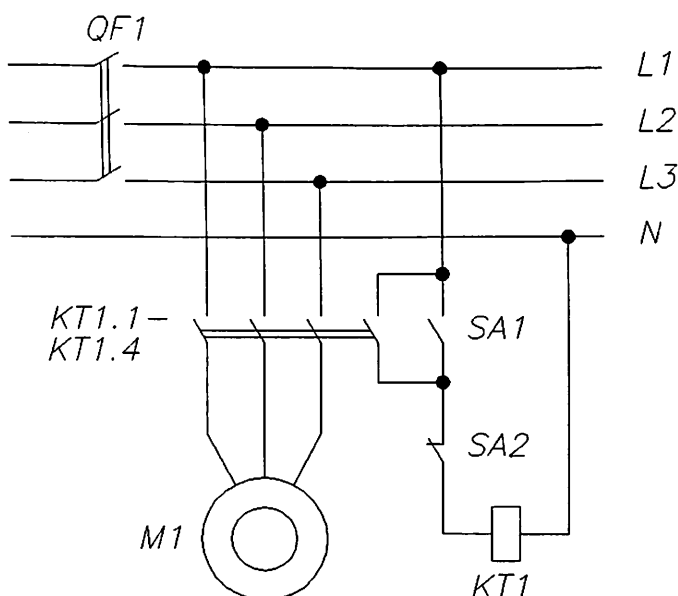


Рис. 4

При нажатии кнопки *SA1* срабатывает катушка контактора, замыкаются контакты *KT1.1* – *KT1.3* питания двигателя и контакт *KT1.4*, блокирующий кнопку *SA1*. Теперь пользователь может отпустить ее, цепь питания катушки контактора останется замкнутой. Для остановки двигателя ее можно разомкнуть нормально замкнутой кнопкой *SA2*.

Немного усовершенствуем схему. Добавим в нее элемент, отключающий питание двигателя в случае его заклинивания или повышенной механической нагрузки на валу. Этот элемент – **электротепловое реле *KK1***, которое срабатывает при нагреве вследствие увеличения тока в цепи питания (рис. 5).

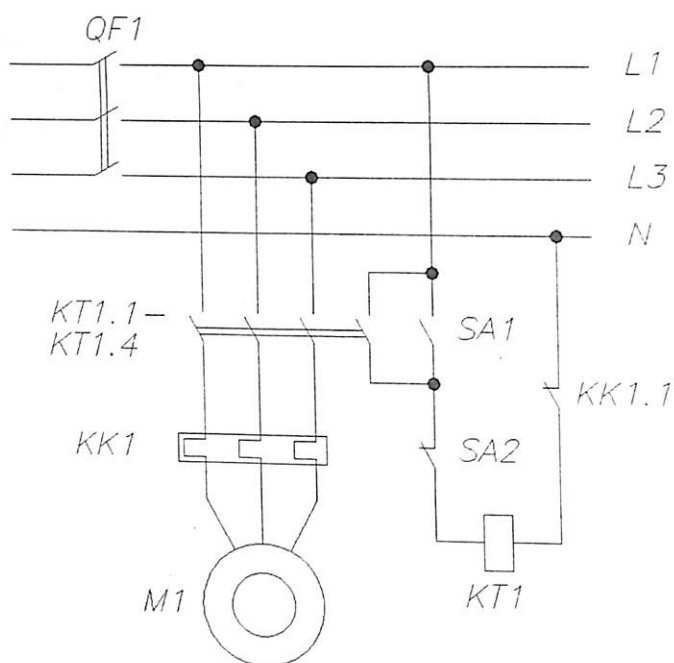


Рис. 5

Обычно электротепловое реле (рис. 6) позволяет регулировку так называемой уставки – тока отключения, то есть имеет возможность настройки на требуемую перегрузку.

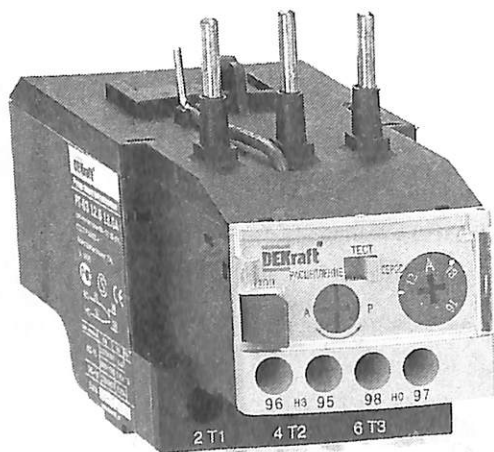


Рис. 6

При превышении тока реле $KK1$ (рис. 5) срабатывает и размыкает нормально замкнутый контакт $KK1.1$. Цепь питания катушки контактора $KT1$ разрывается, и двигатель останавливается¹.

¹ Промышленно выпускаются контакторы, укомплектованные электротепловыми реле и другими полезными устройствами. Их называют **магнитными пускателями**.

Вверх по ступеням

Рассмотрим более сложную схему, в которой посредством реле реализуется заданный алгоритм функционирования системы.

В резервуар (рис. 7) через клапан наполнения КН поступает жидкость, уровень которой ограничивается датчиком ДВ. После заполнения резервуара клапан КН перекрывает подачу жидкости, и включаются нагревательный элемент НЭ и привод мешалки М. По достижении заданной температуры по сигналу от датчика ДТ нагрев с перемешиванием отключаются, и срабатывает клапан слива КС. Когда уровень жидкости опустится ниже датчика уровня ДН, клапан КС перекрывает поток. Цикл на этом заканчивается.

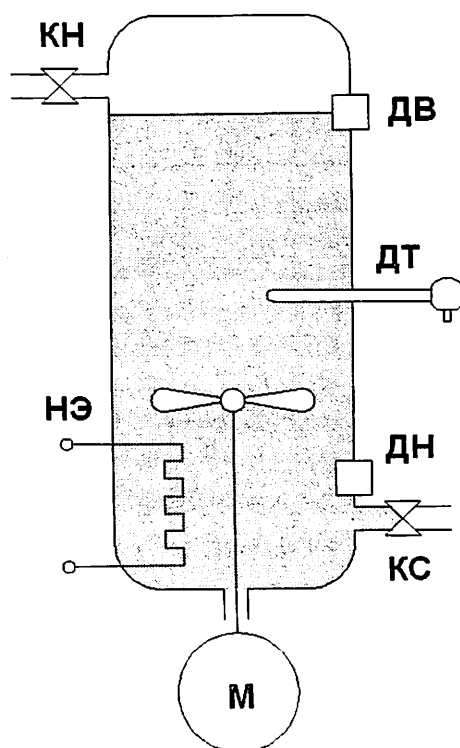


Рис. 7

Предположим, что используется двигатель, аналогичный рассмотренному в предыдущих примерах, и нагревательный элемент (ТЭН) той же мощности. Для реализации заданного алгоритма с помощью реле выберем следующие элементы: электромагнитные клапаны на напряжение 220 В; датчики уровня контактного типа (поплавок с механическими конечными выключателями) и датчик температуры в варианте термореле (все элементы на напряжение 24 В постоянного тока).

Термореле (термостат) – датчик температуры, объединенный в одном корпусе с электрической схемой и электромагнитным реле на выходе (рис. 8). При достижении заданной регулятором на корпусе температуры реле срабатывает.

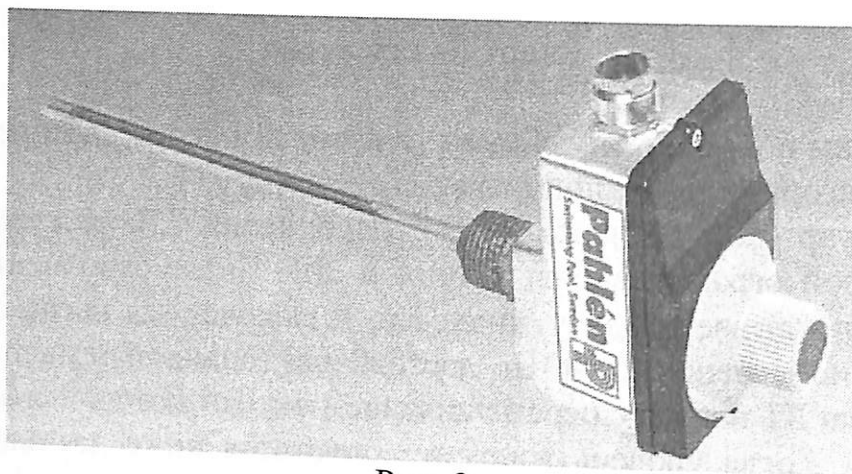


Рис. 8

Схема управления может быть реализована следующим образом (рис. 9).

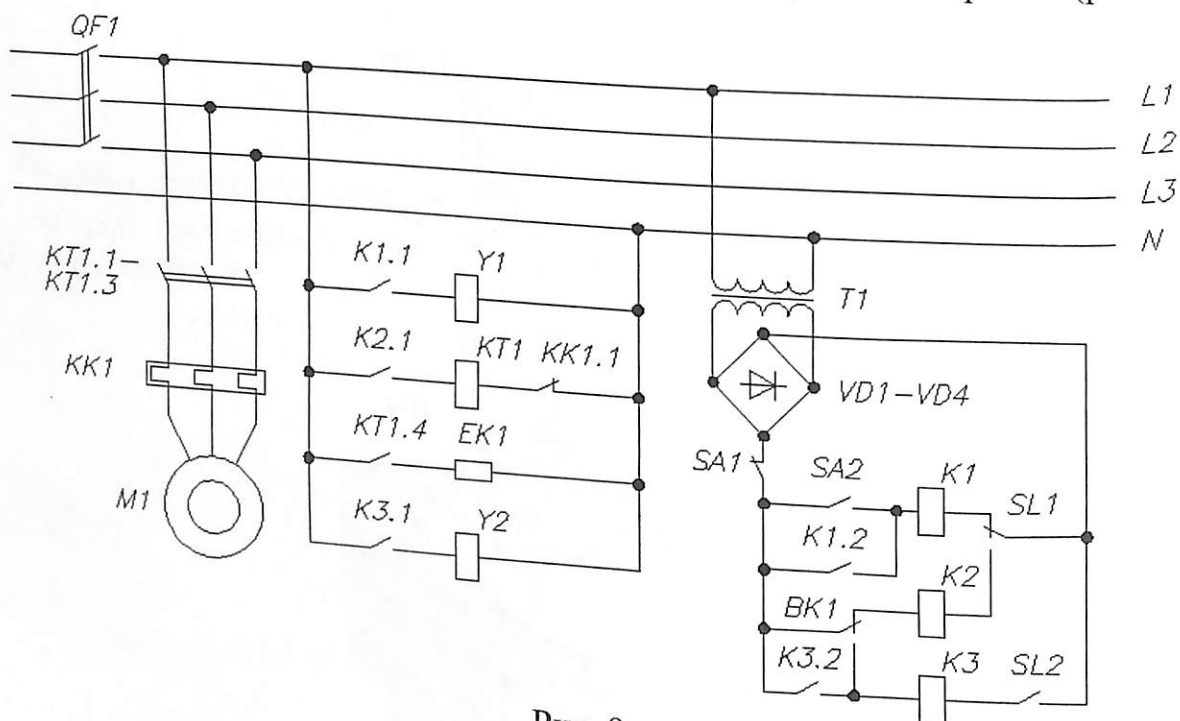
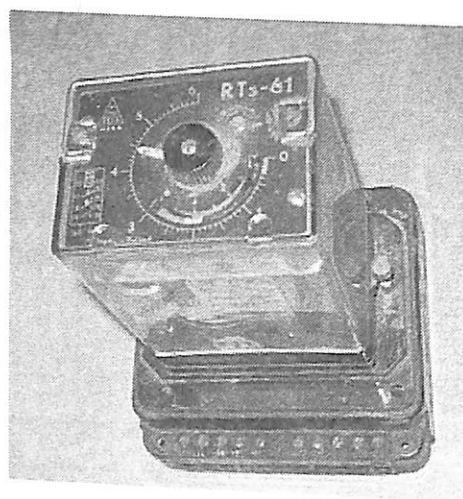


Рис. 9

При нажатии на кнопку «Пуск» $SA2$ срабатывает реле $K1$, контакты которого $K1.1$ включают клапан $Y1$ (КН). Контакты $K1.2$ блокируют кнопку $SA2$. В резервуар начинает поступать жидкость. Сначала срабатывает датчик нижнего уровня $SL2$ (ДН), но его цепь остается разомкнутой. При срабатывании датчика верхнего уровня $SL1$ (ДВ) выключается реле $K1$ и включается реле $K2$. Его контакты $K2.1$ замыкают цепь питания контактора $KT1$, контакты которого коммутируют двигатель мешалки $M1$ ($KT1.1 - KT1.3$) и ТЭН $EK1$ ($KT1.4$). При достижении заданной температуры срабатывает датчик температуры $BK1$ и замыкает цепь питания реле $K3$ (датчик нижнего уровня $SL2$ замкнулся в самом начале цикла), контактор при этом обесточивается, двигатель и ТЭН отключаются. Включается клапан слива $Y2$ (КС), жидкость начинает сливаться до нижнего уровня, когда сработает датчик $SL2$, и реле $K3$ обесточится, отключая клапан $Y2$. Если жидкость не успеет слиться до того, как остынет до предела отключения датчика температуры $BK1$, то цепь питания реле $K3$ разомкнется раньше



а



б

а – реле времени с часовым механизмом; б – электронное реле времени
Рис. 11

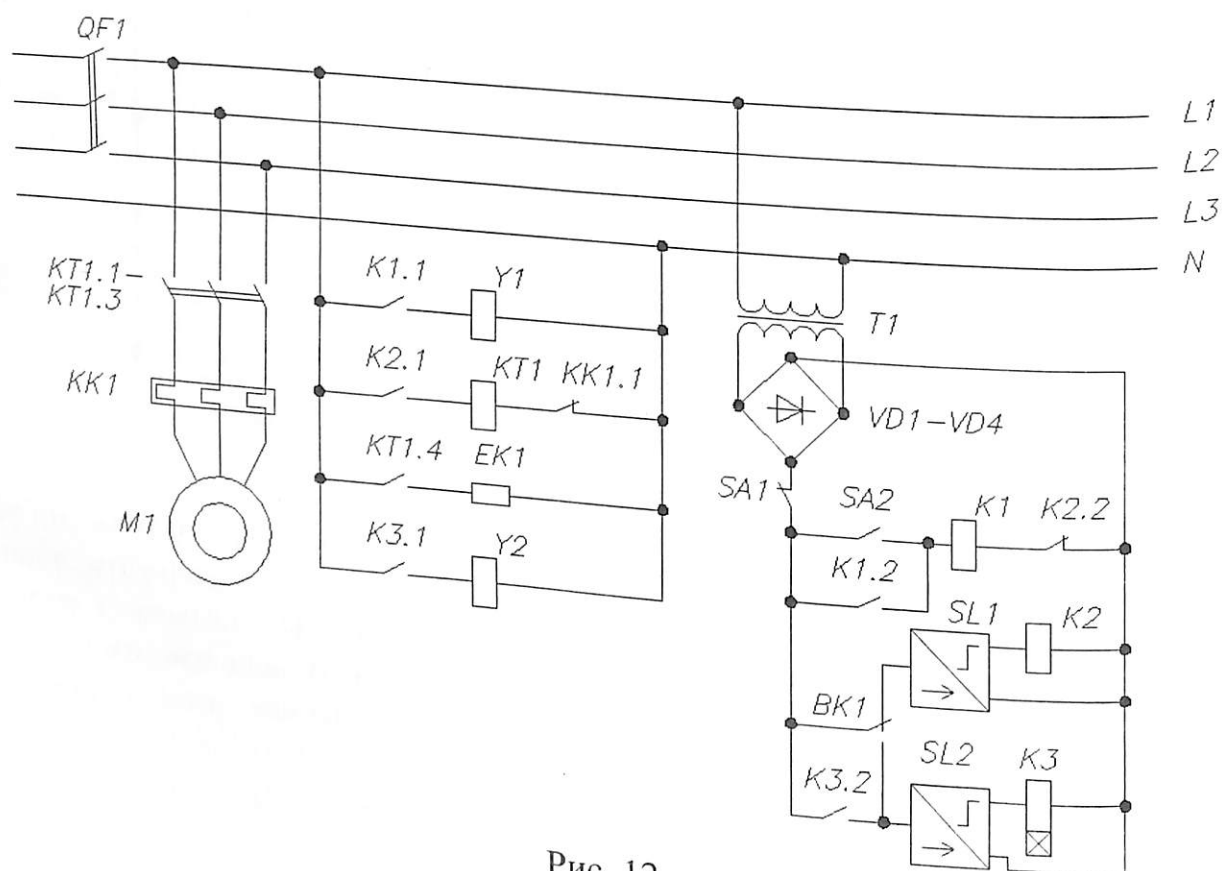


Рис. 12

В предыдущей главе мы рассмотрели достаточно простые схемы управления на реле. Чтобы перейти от релейно-контактных схем к цифровым, сначала нужно разобраться с функциями цифровой схемы и вопросами ее взаимодействия с подключенным к ней оборудованием. Посмотрите на рис. 13.

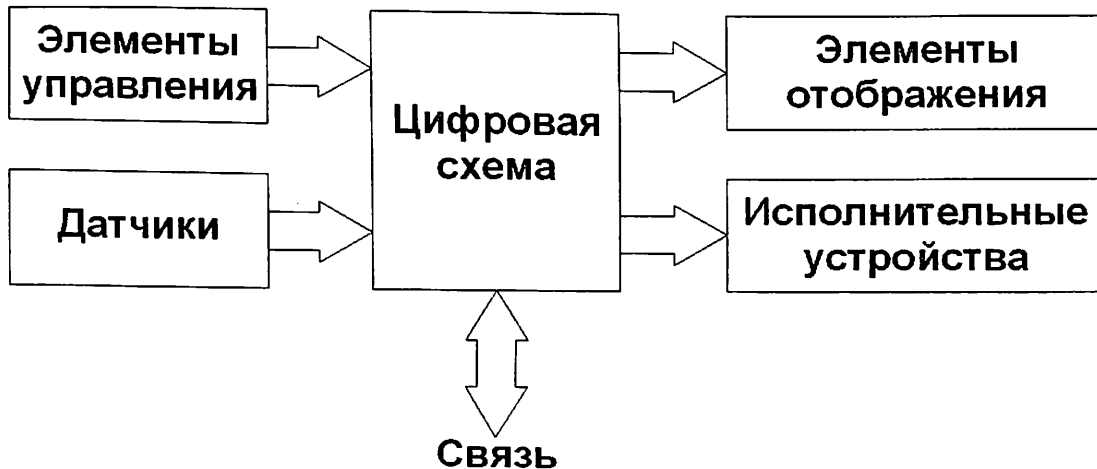


Рис. 13

Перед вами схема цифровой системы управления. Слева изображены устройства ввода информации, справа – устройства вывода. К первым относятся элементы управления (кнопки, клавиатуры, переключатели и т. п.) и датчики параметров управляемого процесса и состояния исполнительных устройств. Основные устройства вывода – элементы отображения информации о процессе (сигнальные элементы, цифровые, буквенно-цифровые, графические индикаторы, дисплеи и т. п.) и исполнительные устройства (приводы, нагреватели и т. д.). Перечисленные устройства взаимодействуют друг с другом через цифровую схему, основная функция которой – формирование определенных сигналов на выходе в зависимости от состояния сигналов на входе. Еще одна немаловажная функция – связь с другими системами, входящими в общую сеть управления.

Для того, чтобы цифровая схема могла выполнять свои функции, необходимо заставить ее «понимать язык» устройств ввода и «говорить на языке» устройств вывода. При этом на входах и выходах и выходах схемы действуют дискретные сигналы, принимающие два уровня – низкий и высокий. Например, в цифровых микросхемах на основе ТТЛ низкому уровню соответствует диапазон напряжений $0 \dots 0,8$ В, высокому $2,4 \dots 5$ В.

Рассмотрим возможные виды устройств и соответствующих им сигналов.

Кнопки и переключатели

Как правило, в конструкциях пультов управления технологическим оборудованием используют кнопки с механическим контактом. В соответствии с характером работы различают кнопки с нормально разомкнутыми или нормально открытыми (н. о., *NO - Normal Opened*), нормально замкнутыми или нормально

закрытыми (н. з., *NC* – *Normal Closed*) и переключающими контактами. Кнопки могут быть фиксирующимися и нефиксирующимися. Переключатели могут иметь несколько фиксированных позиций. На рис. 14 приведены изображения кнопок на электрических схемах (а – нормально открытые; б – нормально закрытые; в – переключающие; г – четырехпозиционный переключатель).

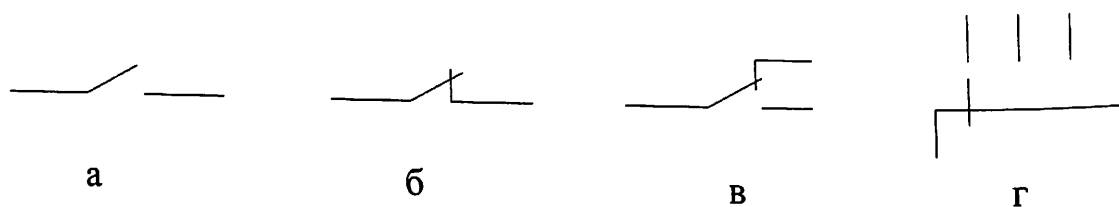


Рис. 14

Аналогично рисункам а, б, в устроены контакты конечных выключателей, используемых, например, в схеме на рис. 9 в качестве датчиков уровня.

Во многих случаях кнопки с механическим контактом (такой тип контактной пары называют сухой контакт, то есть контакт, гальванически развязанный от управляющего сигнала) подключаются к цифровым устройствам (контролерам) без каких либо дополнительных средств, кроме, естественно, проводов. В некоторых случаях кнопку подключают с использованием вывода источника питания (рис. 15).

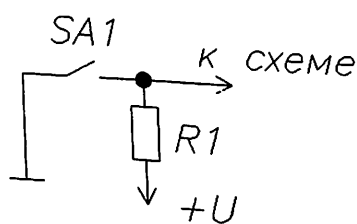


Рис. 15

В исходном положении на входе схемы будет высокий уровень сигнала, при нажатии – низкий.

Датчики

Серийно выпускаемые датчики различных параметров по виду выходного сигнала можно разделить на две группы: аналоговые и дискретные. Аналоговые датчики могут иметь неунифицированные и унифицированные выходные сигналы. К первой разновидности относятся измерительные преобразователи простых конструкций, обычно поступающие в продажу без встроенных схем обработки сигнала. Примеры: термопары, терморезисторы, тензодатчики веса и т. д. Для их подключения к цифровым схемам требуется аналоговая схема предварительной обработки и аналого-цифровой преобразователь. Аналоговая схема индивидуальна для каждого конкретного типа датчика, ее назначение – получение на выходе сигнала в виде напряжения, пропор-

ционального измеряемой величине и находящегося в диапазоне $0 \dots U_{\text{оп}}$, где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение АЦП².

Несколько слов о том, как преобразует аналоговый сигнал АЦП. На его выходе будет набор импульсов с длительностью, равной периоду дискретизации. Рассмотрим это подробнее. Пусть входной аналоговый сигнал изменяется, как показано на рис. 16, а.

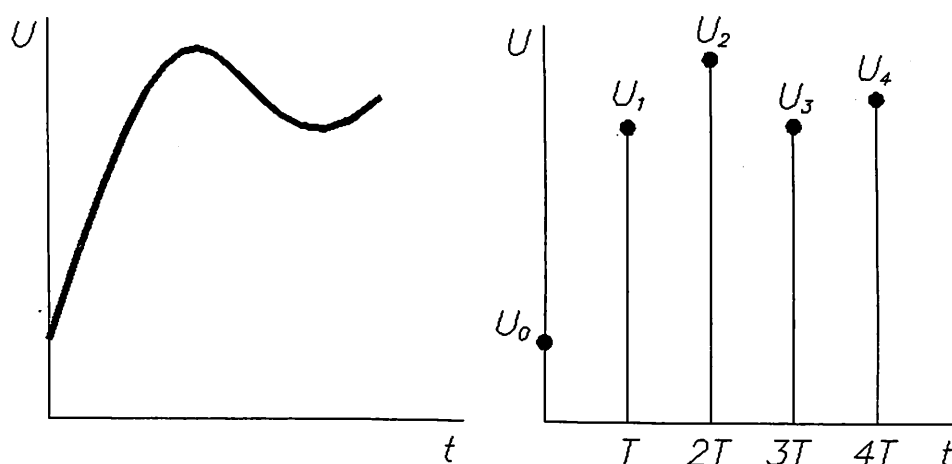


Рис. 16

Для его преобразования в цифровой код требуется некоторое время, поэтому преобразованию будут подвергаться только значения, взятые в фиксированные моменты времени (рис. 16, б; T – период дискретизации). При этом диапазон напряжений $0 \dots U_{\text{оп}}$ делится на «ступеньки» (кванты), количество которых равно 2^N , где N – число разрядов АЦП. Код на выходе АЦП по сути дела представляет собой номер ближайшей меньшей к действительному уровню сигнала «ступеньки» в двоичном формате. Например, на рис. 16: $U_0 = 1$ В; $U_1 = 3,6$ В; $U_2 = 4,5$ В; $U_3 = 3,7$ В; $U_4 = 4$ В. Соответствующие им номера «ступенек» при использовании 8-разрядного АЦП: 51; 184; 230; 189; 204. На выходе АЦП поочередно будут появляться комбинации 00110011; 10111000; 10011000; 10111101; 11001100, где символу «0» соответствует низкий уровень сигнала, символу «1» – высокий. Эти комбинации могут быть представлены в параллельном или последовательном формате. Параллельный АЦП имеет выходные контакты по числу разрядов, на которых через каждый интервал T появляется импульс соответствующего уровня (рис. 17).

² Могут быть и другие варианты диапазонов напряжения или тока

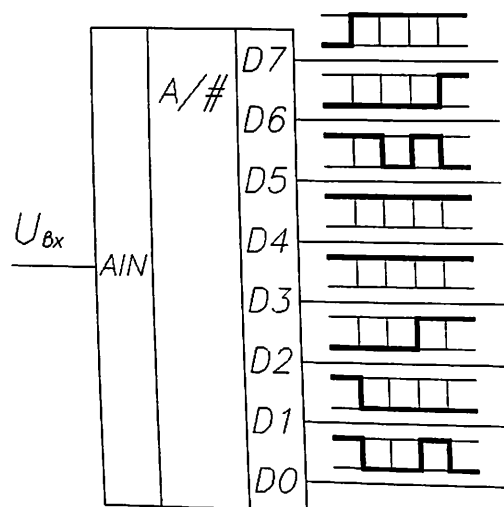


Рис. 17

Последовательный АЦП имеет один вывод, на котором через интервалы T появляются комбинации импульсов, разделенные дополнительными комбинациями (рис. 18).

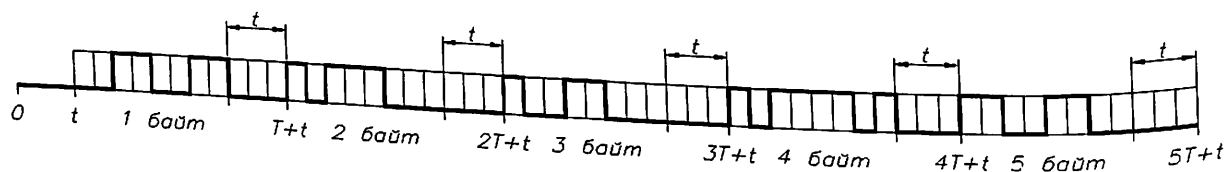


Рис. 18

Видно, что последовательный АЦП медленнее, но требует меньшее количество проводов для подключения (кроме выходной линии потребуется еще провод для управления процессом вывода). Вообще, выбор периода дискретизации зависит от интересующего частотного диапазона входного аналогового сигнала. По теореме Котельникова³ частота дискретизации должна быть не менее чем в два раза больше верхней границы спектра сигнала. От разрядности АЦП зависит погрешность преобразования, которая равна половине величины «ступеньки».

Рассмотрим несколько примеров.

Предположим, что мы хотим измерять температуру в диапазоне $0 \dots 500^\circ\text{C}$ термопарой типа L (хромель-копелевая). ТермоЭДС в указанном диапазоне температур изменяется в пределах $0 \dots 40,299$ мВ (СТБ ГОСТ Р 5.585 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Термодпары. Номинальные статические характеристики преобразования). При использовании АЦП с $U_{\text{оп}} = 5$ В требуемый коэффициент усиления составит $K = 5000 / 40,299 = 124$. Составим схему неинвертирующего усилителя, как показано на рис. 19.

³ Она же теорема Найквиста-Шеннона или теорема отсчетов.

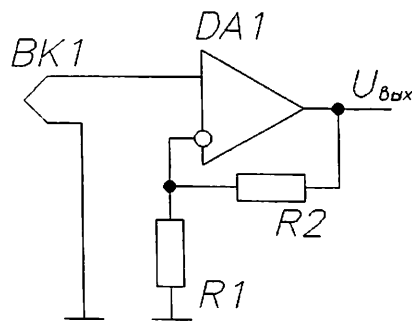


Рис. 19

Коэффициент усиления схемы $K = 1 + \frac{R2}{R1} = 124$, то есть $R2 = 124 \cdot R1$.

Примем стандартные номиналы резисторов $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 120 \text{ кОм}$, получив коэффициент усиления $K = 121$ и соответственно сигнал на выходе $U_{\text{вых}} = 4,876 \text{ В}$.

Теперь предположим, что мы хотим измерять те же температуры платиновым термометром сопротивления (ТС) с градуировкой Pt100. Его сопротивление в диапазоне температур $0...500 \text{ }^\circ\text{C}$ изменяется в пределах $100...280,98 \text{ Ом}$. У нас имеется несколько вариантов включения. По двухпроводной схеме ТС может включаться в делитель напряжения или в мост Уитстона, по трехпроводной – в мост Уитстона.

Рассмотрим схему с делителем напряжения (рис. 20).

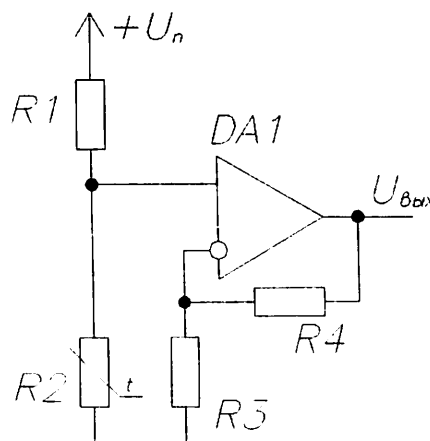


Рис. 20

Напряжение на выходе делителя напряжения

$$U = U_n \frac{R2}{R1 + R2}.$$

Пусть $U_n = 5 \text{ В}$. Выберем значение $R1 = 5,1 \text{ кОм}$. Его выбирают достаточно большим, чтобы ток через делитель не превышал 1 мА . Это обусловлено недопустимостью саморазогрева терморезистора, приводящим к повышению сопро-

тивления более чем на 20 % допуска⁴. В этом случае напряжение на выходе делителя будет находиться в пределах 96...261 мВ. При коэффициенте усиления $K = 19$ напряжение на выходе схемы будет в пределах 1,8...4,96 В. Недостатком схемы является начало диапазона выходных напряжений не от нуля. Это приведет к тому, что часть (в данном случае 36 %) диапазона АЦП не будет использоваться.

Введем в схему смещение (рис. 21).

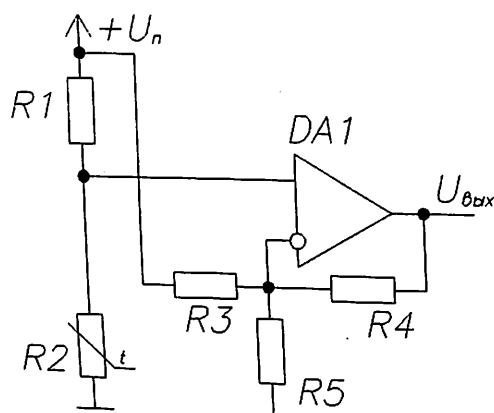


Рис. 21

Выходное напряжение схемы

$$U_{\text{вых}} = U \left(1 + \frac{R4}{R5} + \frac{R4}{R3} \right) - U_{\text{п}} \frac{R4}{R3}.$$

Второе слагаемое и есть смещение. Изменение напряжения на выходе делителя $U = 0,261 - 0,096 = 0,165$ В. Оно должно быть усилено до значения примерно 5 В, что потребует коэффициента усиления $K = 30$. Получим диапазон выходных напряжений 2,88...7,83. Для попадания в диапазон 0...5 В потребуется смещение в пределах 2,83...2,88 В. Для подбора резисторов нужно совместно решить уравнения:

$$1 + \frac{R4}{R5} + \frac{R4}{R3} = 30, \quad U_{\text{п}} \frac{R4}{R3} = 2,83...2,88.$$

Выберем стандартные номиналы резисторов $R3 = 100$ кОм, $R4 = 56$ кОм, $R5 = 2$ кОм. Выходное напряжение схемы будет в пределах 0,04...4,9 В, что почти полностью заполняет диапазон АЦП.

Тот же терморезистор с двухпроводным выходом можно подключить к мостовой схеме (рис. 22).

⁴ ГОСТ 6651-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытания.

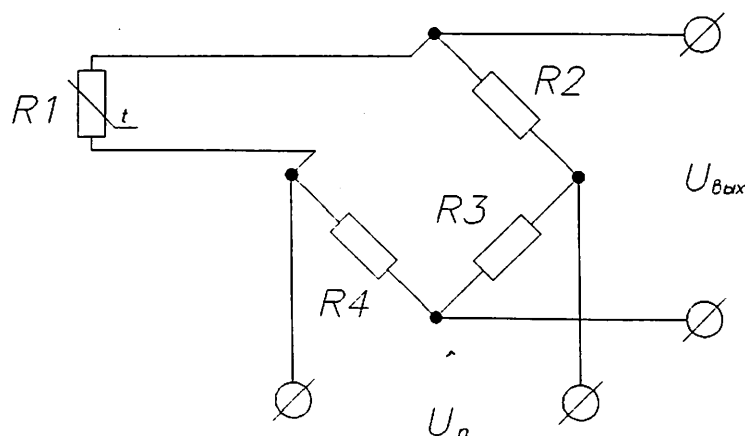


Рис. 22

В такой схеме (четвертьмост)

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{п}} \left(\frac{R1}{R1 + R2} - \frac{R4}{R3 + R4} \right).$$

Так как при нулевой температуре $R1 = 100 \text{ Ом}$, то для обеспечения тока через него не более 1 мА и напряжении питания $U_n = 5 \text{ В}$ потребуется $R4 = 100 \text{ Ом}$, $R2 = R3 = 5,1 \text{ кОм}$. В результате в измеряемом диапазоне температур выходное напряжение будет изменяться в пределах $0 \dots 33 \text{ мВ}$. Для подключения к АЦП потребуется усилитель с $K = 151,5$.

Схема на рис. 22 имеет недостаток: терморезистор соединяется с мостом медным кабелем, иногда приличной длины, причем медь имеет большой температурный коэффициент сопротивления, что вызывает появление температурной погрешности (рис. 23, R_k – сопротивление кабеля).

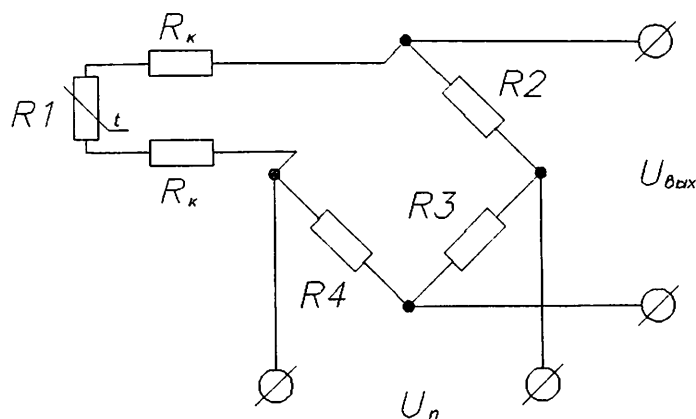


Рис. 23

Поэтому при точных измерениях используют трехпроводную схему подключения (рис. 24, а). Температурная погрешность кабеля исключается благодаря наличию сопротивлений R_k в соседних плечах (рис. 24, б), что приводит к взаимной компенсации их изменений.

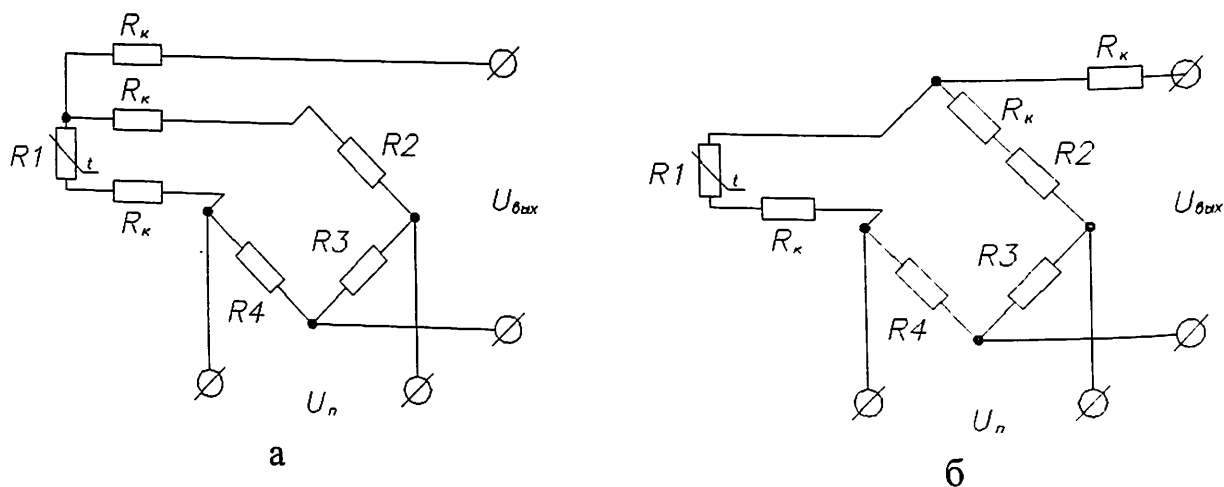


Рис. 24

Производители электронных компонентов выпускают АЦП, адаптированные к подключению термопар и терморезисторов, для термопар зачастую с возможностью подключения дополнительного датчика для компенсации температуры холодного спая (рис. 25).

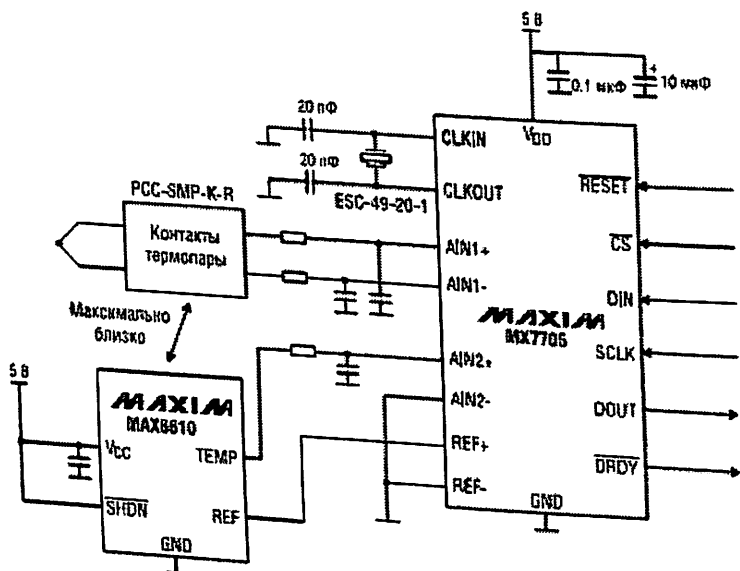


Рис. 25. Подключение ТП к АЦП MAX7705 с интегральным датчиком температуры MAX6610 [1]

Серийно выпускаемые датчики могут иметь унифицированный аналоговый выходной сигнал в виде напряжения или тока. Сигнал в виде напряжения приведен к одному из стандартных диапазонов $0 \dots U_{\max}$, например $0 \dots 10$ В. Его подключают к входу АЦП, при необходимости уменьшая выходной сигнал с помощью делителя напряжения (рис. 26).

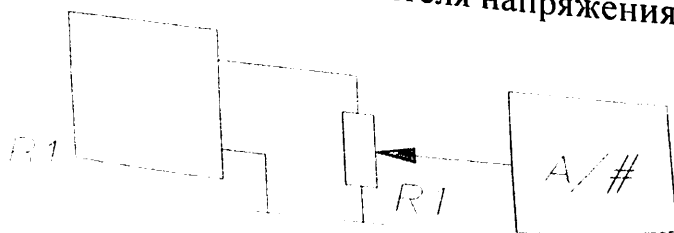


Рис. 26

Сигнал в виде тока («токовая петля») обычно имеет диапазон 4...20 мА (также используют диапазоны 0... 20 мА или 0...5 мА). Многие цифровые схемы управления, например ПЛК, «понимают» этот формат без дополнительного преобразования. Если нужно подключать такой датчик к АЦП, ток преобразуют в падение напряжения на резисторе (рис. 27).

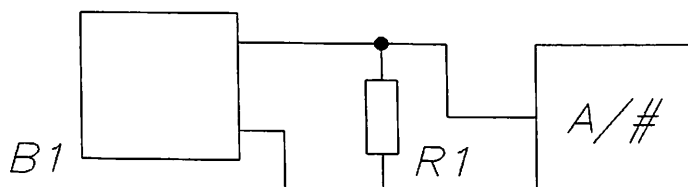


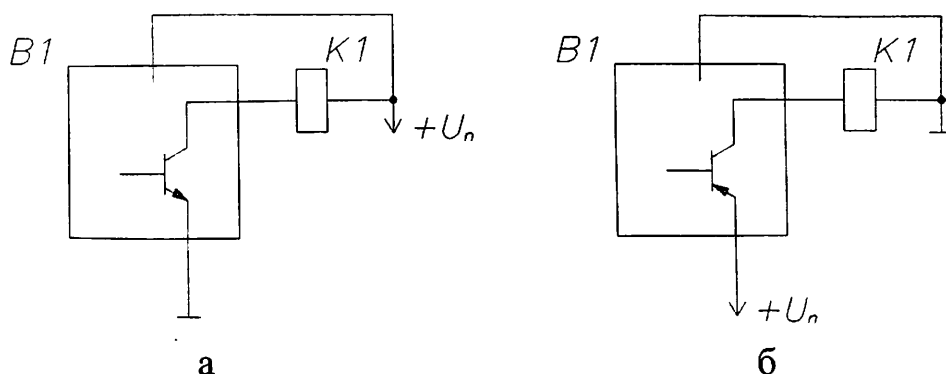
Рис. 27

Для попадания в диапазон АЦП 0...5 В номинал резистора выбирается равным стандартному значению 240 Ом. Сигнал на входе АЦП будет в пределах 0,96...4,8 В.

Дискретные датчики могут иметь на выходе сигнал типа «сухой контакт» или «открытый коллектор».

Выход «сухой контакт» представляет собой контакты электромагнитного реле, работающие по схемам на рис. 14, а – в и подключается аналогичным образом.

Выход «открытый коллектор» обозначается в документации *NPN* или *PNP* в зависимости от типа используемого транзисторного ключа. Датчик имеет три провода и рассчитан на подключение электромагнитного реле (рис. 28).



а) датчик с *NPN*-выходом; б) датчик с *PNP*-выходом

Рис. 28

Видно, что катушка реле является нагрузкой транзисторного ключа. Напряжение питания датчиков обычно 12 или 24 В. Датчики такого типа использованы в схеме на рис. 10 и 12 в качестве преобразователей уровня (*SL1* и *SL2*).

В ПЛК имеются входы, рассчитанные на подключение датчиков с выходом «открытый коллектор». При использовании обычных цифровых схем или микроконтроллеров, которые воспринимают перепады уровней от 0 до 5 В, вместо катушки реле включают сопротивления (см. далее по тексту).

Также используют дискретные датчики, которые не сигнализируют о достижении заданного значения, а выдают цифровой сигнал, соответствующий те-

кущему значению измеряемой величины. Сигнал выводится в последовательном формате, что позволяет использовать два провода. В системах автоматизации технологических процессов чаще всего используют последовательный интерфейс RS-485, позволяющий обмен данными со скоростью до 10 Мбит/с на расстоянии до 1200 м (по кабелю «витая пара») с многоточечным подключением (32 устройства могут подключаться к кабелю параллельно друг другу). Сигнал на выходе датчика похож на изображенный на рис. 18, но с дополнительными разрядами в соответствии со стандартным протоколом передачи (адрес устройства и др.).

Устройства отображения

Среди используемых в настоящее время средств отображения информации в автоматизированных системах можно выделить следующие виды.

1. Сигнальные элементы

1.1. Светодиоды

1.2. Лампы накаливания

1.3. Электромеханические индикаторы (блинкеры)

1.4. Звуковые сигнализаторы.

2. Буквенно-цифровые индикаторы

2.1. Сегментные индикаторы

2.2. Мозаичные (матричные) индикаторы

3. Графические экраны

Перечисленные устройства отличаются принципом действия, конструкцией и способами подключения к цифровым схемам.

Сигнальные элементы управляются по принципу включить-выключить. Так как сигналы на выходе цифровой схемы имеют аналогичный характер, то остается согласовать уровни токов и напряжений.

Наиболее простой сигнальный индикатор – светодиод (рис. 29).



Рис. 29

Их используют достаточно давно (первый работоспособный образец создан в 1962 г.), в настоящее время номенклатура светодиодов достаточно широкая. Сигнальные светодиоды имеют различные цвета (белый, все спектральные цвета и пурпурный с двойным синим/красным светодиодом или синим свето-

диодом с красным люминофором) и питаются постоянным напряжением в диапазоне 1,63...4,0 В и потребляют ток 10...40 мА. Мощные и высокояркие светодиоды могут потреблять большие токи и напряжения (до 700 мА и более и до 24 В).

Лампы накаливания в цепях постоянного тока могут питаться напряжением до 27 В и потреблять ток в зависимости от мощности, в цепях переменного тока напряжение питания может быть до 220 В при мощности до 200 Вт.

Электромеханические сигнализаторы (блинкеры) представляют собой шторки или стержни, которые поворачиваются или выдвигаются электромагнитами. Шторки с двух сторон имеют различную окраску, например, черную и светлую или покрытую световозвращающим составом (рис. 30, 31). Стержни окрашиваются аналогичным образом (рис. 32).

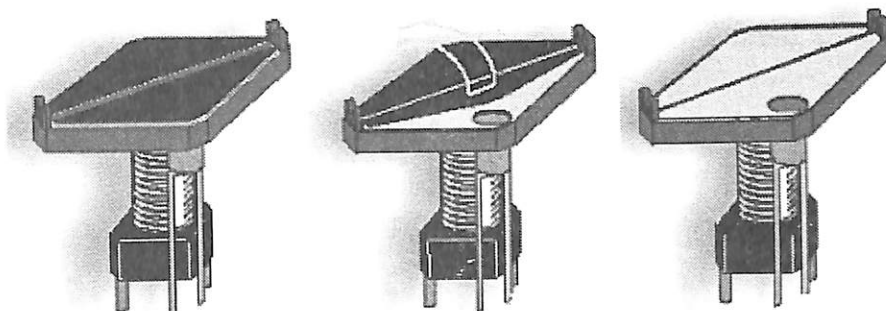


Рис. 30. Блинкер

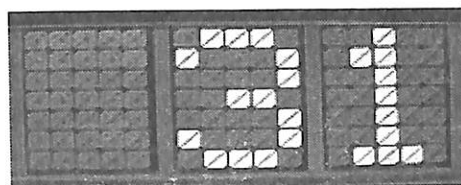


Рис. 31. Блинкерное табло

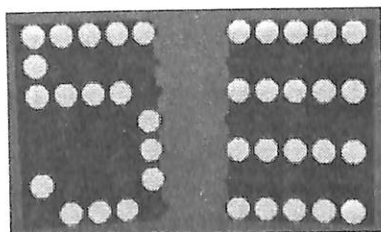


Рис. 32. Блинкерное табло со стержнями.

Электромагниты обычно питаются постоянным напряжением 12, 24 или 48 В или переменным напряжением 220 В. Потребляемый ток зависит от мощности.

Звуковые сигнализаторы, используемые в автоматизированных системах управления – электрические звонки, громкоговорители с отдельными усилителями, пьезоэлектрические излучатели.

Звонки имеют различные параметры питания, обычно это переменное напряжение 220 В. Для подключения пьезоэлектрических излучателей и громкоговорителей требуется формировать импульсы с нужной частотой, которые подают на сигнальный элемент через усилитель с требуемым коэффициентом усиления.

Если цифровая схема имеет на выходе уровни напряжений и токов большие, чем потребляет сигнальный элемент, то согласование заключается в ограничении токов и напряжений резисторами. В противном случае или при питании переменным током потребуются ключи – транзисторные, тиристорные, реле.

Подключение нагрузки к конкретным видам цифровых схем рассмотрено ниже. Здесь рассмотрим простой пример управления светодиодом АЛ307БМ, номинальные ток и напряжение для которого $I = 10 \text{ мА}$, $U = 2 \text{ В}$. Если цифровая схема выполнена на основе элементов ТТЛ, высокий уровень напряжения на ее выходе находится в пределах 2,4...5 В, выходной ток – около 20 мА. Уровень тока достаточен для зажигания светодиода, но при указанных уровнях напряжения питания ток превысит допустимый (он будет равен 12...25 мА, допустимый по паспорту светодиода 20 мА). Поэтому напряжение на светодиоде следует погасить с помощью резистора R1 (рис. 33).

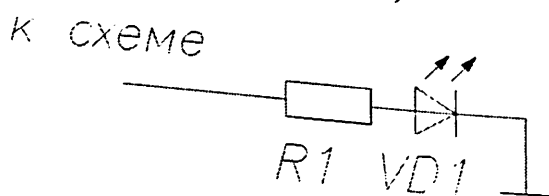
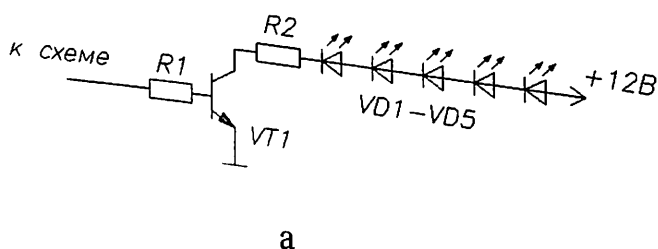


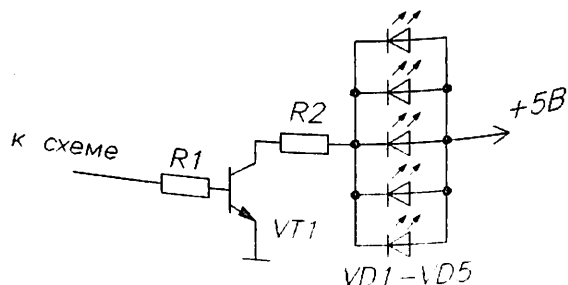
Рис. 33

Сопротивление резистора рассчитывается по закону Ома. При напряжении питания 5 В падение напряжения на резисторе должно быть 3 В при токе 10 мА, то есть значение сопротивления $R1 = 3 \text{ В} / 10 \text{ мА} = 300 \text{ Ом}$. Расчетное значение округляется до ближайшего большего стандартного, которое равно 330 Ом.

Теперь рассмотрим случай, когда нужно управлять гирляндой из пяти светодиодов. Если соединить их последовательно, потребуется напряжение питания 10 В, которое цифровая схема обеспечить не сможет. При параллельном соединении потребуется ток 50 мА, что также за пределами возможностей схемы. Поэтому светодиоды потребуются коммутировать транзисторным ключом (рис. 34).



а



б

Рис. 34

На рис. 34, а сопротивление R2 должно погасить 2 В при токе 10 мА, то есть его сопротивление должно быть 200 Ом, на рисунке 34, б – 3 В при токе 50 мА, то есть $R2 = 60 \text{ Ом}$ (ближайшее большее стандартное значение 62 Ом). Величина транзистора в цепи базы:

$$R1 = (U_1 - U_6) / I_{\text{вых}},$$

где U_1 – напряжение, соответствующее логической единице на выходе цифровой схемы (2,4...5 В); U_6 – падение напряжения на базовом переходе транзистора, $U_6 = 0,7$ В; $I_{\text{вых}}$ – выходной ток цифровой схемы. В итоге для обеих схем на рис. 34 $R1 = 180$ Ом.

Сегментные цифровые индикаторы по принципу действия могут быть светодиодными и жидкокристаллическими. Первые имеют яркое свечение, вторые читаемы только при свете или с подсветкой. При этом ЖК-индикаторы потребляют микроскопический ток.

Семисегментный цифровой индикатор представляет собой комбинацию из восьми светодиодов, расположенных таким образом, чтобы, зажигая несколько из них, можно было получить изображение цифры или некоторых букв (рис. 35, а). Сегменты индикатора (рис. 35, б) включаются по схеме с общим анодом (рис. 35, в) или с общим катодом (рис. 35, г).

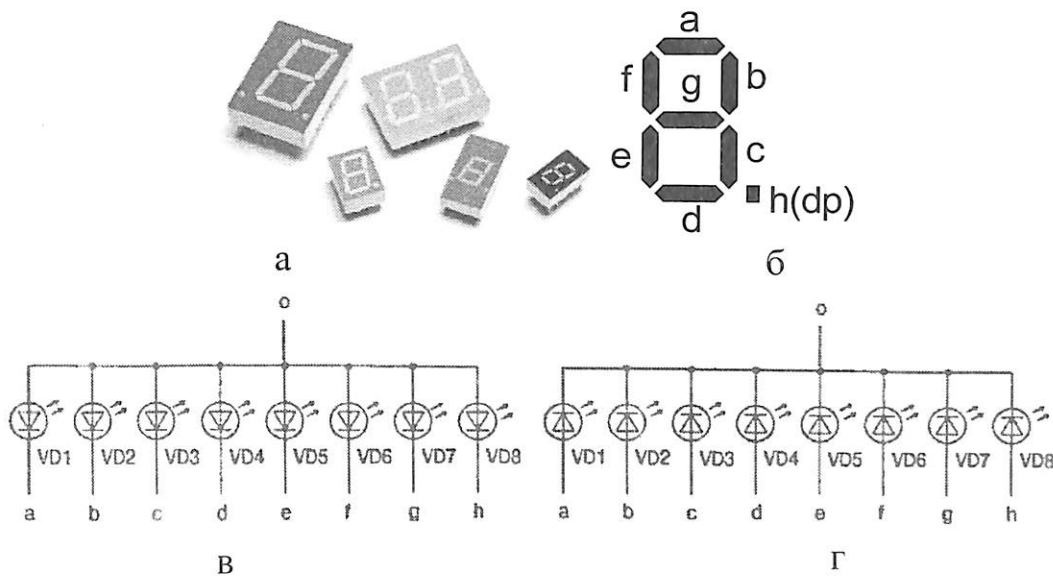


Рис. 35. Семисегментный светодиодный индикатор: а – внешний вид, б – обозначение сегментов; в – схема включения с общим анодом, г – схема включения с общим катодом (dp – decimal point, десятичная точка).

Если выходной ток цифровой схемы достаточен для зажигания сегментов индикатора, последний подключают так же, как отдельные светодиоды.

Семисегментные индикаторы используют для отображения цифр, так как набор других символов довольно ограничен (рис. 36).



Рис. 36. Символы, формируемые на семисегментных индикаторах

Для вывода текстовой информации возможно использовать 16-сегментные индикаторы (рис. 37).

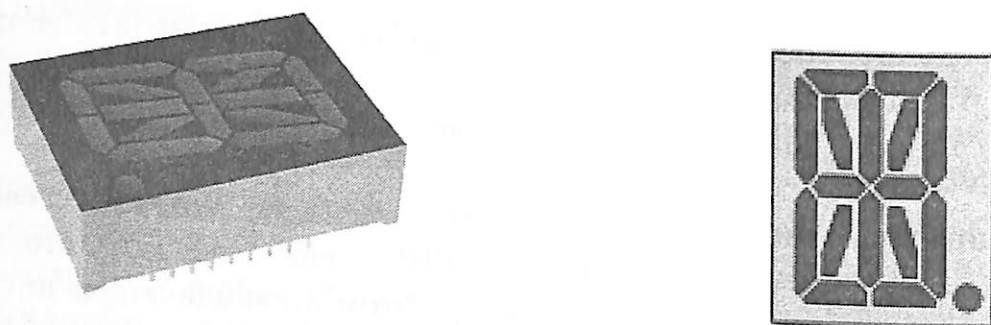


Рис. 37. Шестнадцатисегментный индикатор

В последнее время многосегментные индикаторы вытесняются мозаичными (матричными), в том числе многоуровневыми и многострочными, которые позволяют формировать из точек практически любые символы (рис. 38). Наиболее распространенные модели матричных индикаторов имеют разрешения 5×7 , 5×8 и 8×8 пикселей.

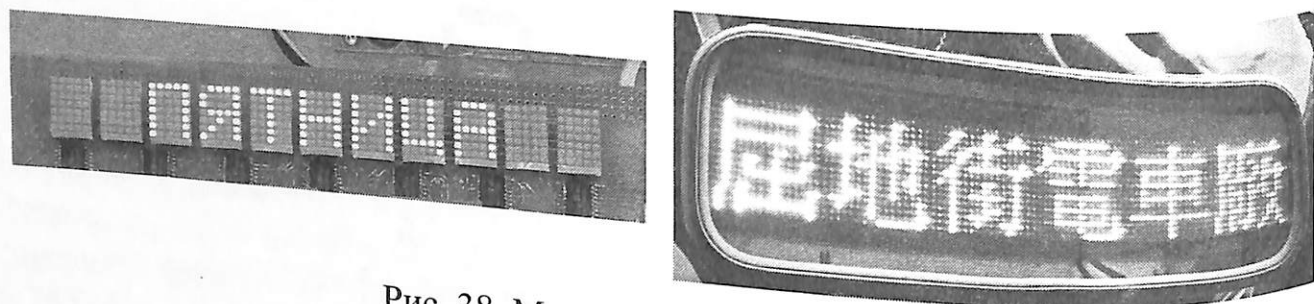


Рис. 38. Матричные индикаторы

Сегментные или мозаичные многоуровневые индикаторы подключаются к цифровой схеме относительно просто. В их составе имеется собственный микроконтроллер со знакогенератором, данные к которому передаются по параллельному или последовательному интерфейсу. Способы подключения описываются в руководствах пользователя на конкретную модель индикатора.

Графические экраны типов *LCD TFT* (*Liquid crystal display, Thin film transistor*, жидкокристаллический дисплей с активной матрицей, управляемой тонкопленочными транзисторами, матрица с обратной стороны подсвечивается), *LED* (*Light Emitting Diode*, светодиодные дисплеи большого размера, часто так же называют *LCD TFT* дисплеи со светодиодной подсветкой), *OLED* (*Organic Light-Emitting Diode*, органические светодиоды) обычно имеют встроенный контроллер и используют для подключения последовательный интерфейс. Схема подключения приводится в руководствах пользователя на конкретную модель.

Исполнительные устройства

Если не вдаваться в принципы функционирования исполнительных устройств, которые достаточно разнообразны, все их можно разделить на две группы. Одну группу составят исполнительные устройства, управление которыми заключается в коммутации (включение-выключение, смена направления вращения двигателя и т. п.). В этом случае на выходе цифровой схемы достаточно формировать в нужные моменты перепады из низкого уровня в высокий и наоборот для работы ключей.

В другую группу войдут устройства, которые требуют плавного изменения напряжения: двигатели постоянного тока, скорость вращения которых нужно плавно изменять, нагревательные элементы с регулируемой теплоотдачей и др. Задача усложняется тем, что плавное изменение напряжения нужно получить с помощью дискретных сигналов.

Регулировка напряжения в цепях постоянного тока осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Суть метода заключается в том, что ключи, коммутирующие нагрузку, работают не постоянно, а в импульсном режиме с постоянной частотой импульсов. При этом, изменяя длительность импульсов, можно задавать различное действующее значение напряжения на нагрузке. Диаграммы напряжений показаны на рис. 39.

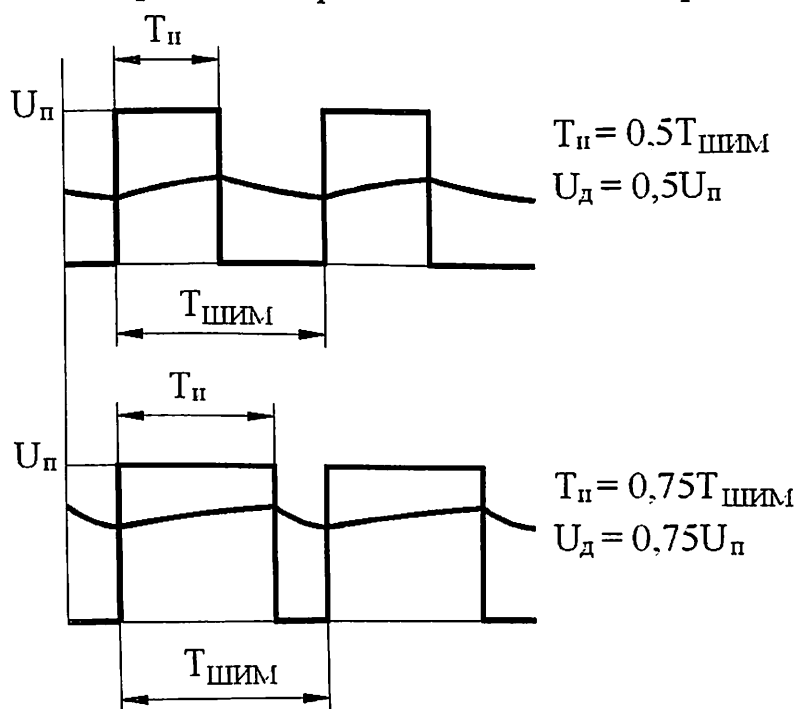


Рис. 39

На верхней диаграмме длительность импульса (время замыкания ключа) в два раза меньше периода ШИМ, соответственно действующее напряжение на двигателе в два раза меньше напряжения питания. На нижней диаграмме это коэффициент равен 0,75, соответственно возрастает действующее напряжение. При индуктивной нагрузке (например, обмотки двигателя) пульсации напряжения сглаживаются (показано в виде пилообразной ломаной).

В цепях переменного тока для регулирования напряжения используют фазовый метод или метод пропуска полупериодов. Фазовый метод иллюстрируется рисунком 40. Схема управления должна иметь в составе «датчик нуля», который выдает импульсы в момент перехода синусоиды питающего напряжения $U_{\text{с}}$ через ноль. Цифровая схема, получив такой импульс, отсчитывает так называемое фазовое время $T_{\text{ф}}$, после чего выдает сигнал для коммутации ключа (тиристора или симистора VS1). Нагрузка окажется подключенной к питающему напряжению, но при переходе через ноль тиристорный ключ снова закроется и будет открыт импульсом от цифровой схемы через новый интервал фазового времени и т. д. Чем больше $T_{\text{ф}}$, тем меньше будет действующее напряжение на нагрузке.

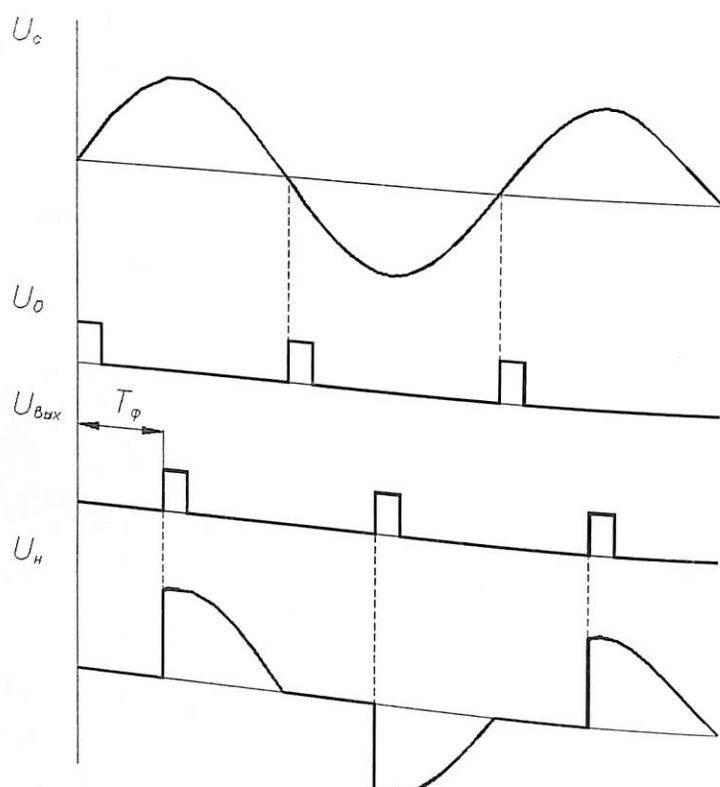
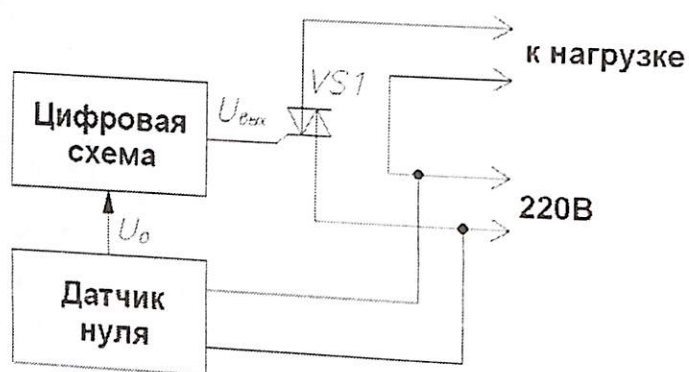


Рис. 40

Вместо отсчитывания фазового времени цифровая схема может отсчитывать число моментов перехода через ноль и выдавать команды на открытие тиристорного ключа, пропуская часть полупериодов (алгоритм Брезенхема). Чем больше полупериодов питающего напряжения пропущено, тем меньше будет действующее напряжение на нагрузке. На рис. 41 тиристорный ключ исключает 3 периода из 10, то есть действующее напряжение составляет 70 % от номинального [2].

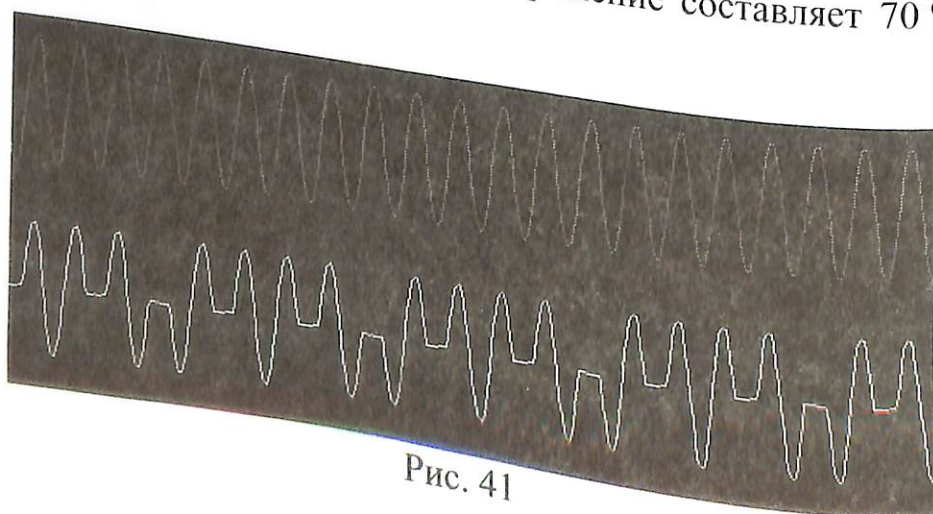


Рис. 41

Мужская и женская логика в цифровом управлении

Принято считать, что мужская логика по сравнению с женской является более четкой, простой и понятной. Женская напротив, переменчива и гибка. В схемах цифрового управления можно найти аналогии этим двум способам мышления.

Аналогом мужской логики обладают так называемые схемы с жесткой логикой. Так как схема управления должна на основе набора дискретных сигналов на входах формировать набор дискретных сигналов на выходах, можно составить таблицу состояний, в которой каждой из возможных входных комбинаций будет соответствовать определенная выходная. В соответствии с таблицей можно составить логические функции и реализовать их, например, с помощью логических элементов. Жесткой такую схему называют из-за невозможности перепрограммирования – потребуется все делать заново и составлять новую схему. Однако скорость работы в этом случае будет максимальной.

Рассмотрим пример составления схемы с жесткой логикой для системы, показанной на рис. 7. Таблица состояний (таблица истинности) имеет следующий вид (приведены только возможные комбинации в порядке их появления в ходе работы системы).

ДН (x_1)	ДВ (x_2)	ДТ (x_3)	КН (f_1)	КС (f_2)	М+НЭ (f_3)
0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	0

Для каждого из трех исполнительных устройств можно составить свою логическую функцию. Для этого выберем те входные комбинации, при которых выходной сигнал принимает значение «1» и запишем соответствующие логические функции.

ДН (x_1)	ДВ (x_2)	ДТ (x_3)	КН (f_1)
0	0	0	1
1	0	0	1

$$f_1 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3$$

ДН (x_1)	ДВ (x_2)	ДТ (x_3)	КС (f_2)
1	1	1	1
1	0	1	1

$$f_2 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3$$

ДН (x_1)	ДВ (x_2)	ДТ (x_3)	М+НЭ (f_3)
1	1	0	1

$$f_3 = x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3$$

Теперь полученные функции нужно по возможности минимизировать. В данном случае функции достаточно просты, чтобы обойтись алгебраическими преобразованиями:

$$\begin{aligned} f_1 &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 = \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot (\bar{x}_1 + x_1) = \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3; \\ f_2 &= x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot x_3 \cdot (x_2 + \bar{x}_2) = x_1 \cdot x_3; \\ f_3 &= x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3. \end{aligned}$$

Для минимизации более сложных функций часто пользуются картами Карно. Они изображаются в виде таблиц, содержащих 2^n клеток, где n – число переменных. Число столбцов определяется как 2^m , а число строк – как 2^{n-m} , где $1 \leq m \leq n$. Каждой клетке карты соответствует одно состояние в таблице истинности. Столбцы и строки в картах обозначают таким образом, чтобы соседние клетки представляли собой соседние состояния переменных, т.е. состояния, отличающиеся значением одной переменной. Карта Карно для трех переменных показана на рис. 42.

$\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3$	$\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3$	$\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	$\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3$
$x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3$

Рис. 42

На самом деле карта является замкнутой: левый край «склеивается» с правым, верхний с нижним.

Для минимизации логической функции в ячейки вместо состояний входных сигналов вписывают соответствующие им значения функций. В рассматриваемом примере три функции, соответствующие им карты Карно показаны на рис. 43. Знаком $\sim$ отмечены неиспользуемые комбинации.

1	$\sim$	$\sim$	
1	0	0	0
0	$\sim$	$\sim$	
0	0	1	0
0	$\sim$	$\sim$	
0	0	0	1

Рис. 43

На карте объединяют соседние пары ячеек, в которых значение функции равно «1», после чего из соответствующих комбинаций исключают отличающиеся сигналы. Нетрудно видеть, что таким образом мы приходим к уже полученному виду минимизированных функций.

Реализация полученных функций с помощью логических элементов показана на рис. 44.

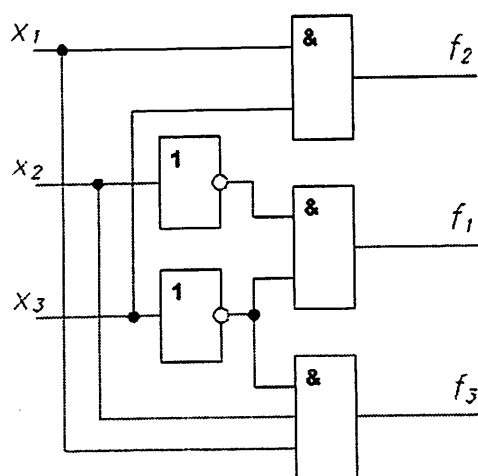


Рис. 44

Чтобы на основе полученной схемы осуществить управление установкой, на входе логической схемы нужно установить датчики, к выходам подключить реле, а также добавить в схему возможность запускать и останавливать процесс кнопками. Результат показан на рис. 45.

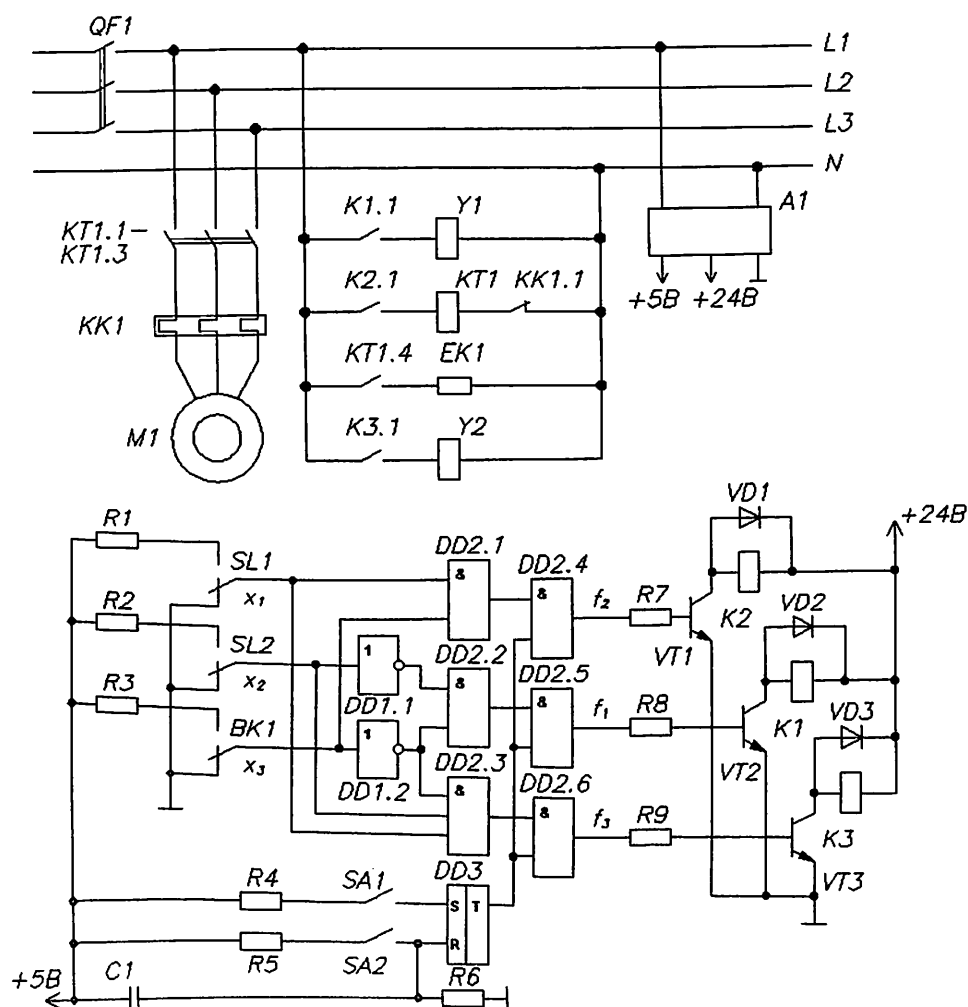


Рис. 45

Датчики $SL1$, $SL2$, $BK1$ установлены таким образом, чтобы в исходном состоянии сигнал с них замыкался на землю (низкий уровень или «0»), а при срабатывании переключался на положительный полюс источника питания +5 В («1») через резисторы $R1 - R3$. Реле $K1 - K3$ подключены к выходу схемы через транзисторные ключи $VT1 - VT3$. Диоды $VD1 - VD3$, включенные параллельно катушкам реле предохраняют ключи от пробоя из-за действия ЭДС самоиндукции. Чтобы схема запускалась не сама собой после включения питания, а по нажатию кнопки «Пуск», на выходе добавлены три элемента «И» $DD2.4$, $DD2.5$, $DD2.6$ на входы которых поступает разрешающий сигнал с выхода триггера $DD3$. Он устанавливается нажатием кнопки $SA2$ («Пуск»). Наличие в схеме триггера позволяет использовать нефиксирующуюся кнопку. Триггер сохраняет состояние, полученное нажатием кнопки до поступления сигнала на его второй вход R от кнопки $SA2$ («Стоп»), после чего его выход и, следовательно, значения сигналов на выходе схемы сбрасываются в «0». Так как после включения питания выход триггера устанавливается в случайном состоянии, в схему введена цепочка $C5R6$, которая при включении питания формирует на входе R триггера короткий импульс для сброса в «0».

При взгляде на схему возникает вполне понятный вопрос: зачем такие сложности? Схема на рис. 9 выглядит гораздо проще. Это действительно так, но мы рассматриваем в качестве примера довольно простую систему. Если рассмотреть, например, систему управления лифтом в многоэтажном доме, то результат будет прямо противоположный – вместо нагромождения реле мы получим гораздо более компактную логическую схему. Кроме того, к логическим функциям и схемам мы еще вернемся в следующих главах. А вообще, сложные логические схемы часто выполняют на основе микросхем ПЛИМ (программируемая логическая матрица или *PAL-programmable array logic*) – интегральная схема с набором логических элементов, связи между которыми задаются при программировании.

Примером женской логики в управлении может служить *fuzzy logic* (нечеткая логика), основанная на теории нечетких множеств. Ее успешно применяют в автоматическом регулировании, но за рамки данной книги эта тема, к сожалению, выходит.

В системах управления давно и успешно применяют нечто среднее между мужским и женским типами логики. Речь идет о программируемых цифровых устройствах. Логическая функция реализуется с помощью программы, загружаемой в универсальный цифровой блок (контроллер). Быстродействие системы снижается по сравнению с жесткой логикой, но этот недостаток практически незаметен на фоне очень существенных достоинств. Во-первых, алгоритм функционирования легко изменять, изменяя программу. Во-вторых, появляется возможность использовать универсальные контроллеры, конструкция которых пригодна для решения широкого круга задач. В следующей главе мы рассмотрим разновидности контроллеров и принципы построения систем управления на их основе.

Разновидности контроллеров

Для автоматизации технологического оборудования могут применяться различные виды программируемых цифровых устройств. В первую очередь это ПЛК – **программируемые логические контроллеры** (англ. *PLC – Programmable Logic Controller*). Термин *PLC* ввел *Odo Josef Struger (Allen-Bradley)* в 1971 году. Это цифровое устройство, работающее по программе и сконструированное таким образом, чтобы обеспечить максимально простое подключение элементов автоматизированной системы. Первые логические контроллеры появились в виде набора соединенных между собой реле и контактов без возможности перепрограммирования. Первый в мире программируемый логический контроллер появился в 1968 году. Он получил название *Modicon 084* от английского выражения *modular digital controller* (модульный цифровой контроллер). Современные ПЛК имеют входы для подключения аналоговых датчиков с унифицированным сигналом, термодатчики и терморезисторов со стандартными градуировками, дискретные входы и выходы различных типов, цифровые последовательные интерфейсы и т. п. Подробнее это рассмотрено далее. Конструктивно ПЛК представляет собой модуль для установки на DIN-рейку (некоторые конструкции предусматривают установку в унифицированный корпус – «корзину») с клеммами «под отвертку» для подключения (рис. 46).

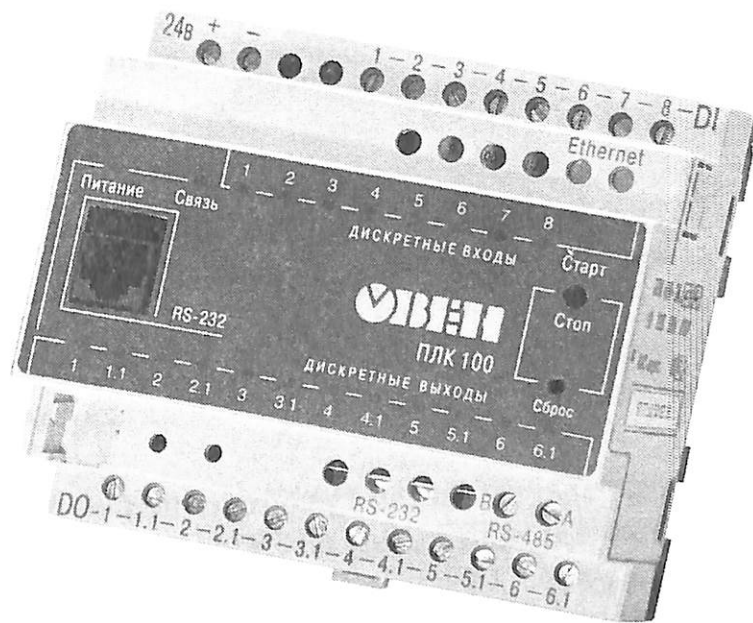


Рис. 46

Для автоматизации относительно простых процессов и установок используют более простые варианты ПЛК, которые называют **программируемыми или интеллектуальными реле** (ПР, рис. 47). От ПЛК их отличает более простой набор входов и выходов, хотя со временем ПР «умнеют», их возможности расширяются.

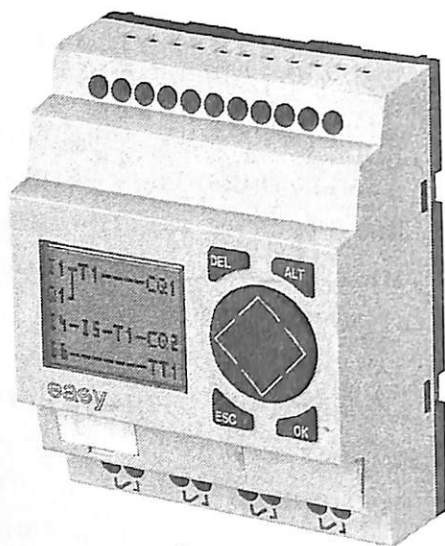


Рис. 47

Для управления электронными устройствами широко используются **микроконтроллеры**. Это микросхемы большой интеграции (рис. 48), которые представляют собой вычислительную цифровую схему со встроенными памятью для загрузки программы и средствами коммуникации: цифровыми портами ввода / вывода, аналоговыми входами и выходами, цифровыми последовательными интерфейсами. Микроконтроллер в настоящее время является основным средством для построения электронных схем, в том числе в целях управления. По сути дела ПЛК также выполнен на основе микроконтроллера.

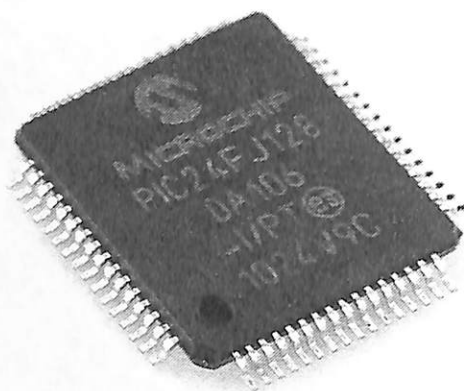


Рис. 48

Если автоматизированная система работает под контролем оператора, то в ее состав вводят **персональный компьютер**, который также можно рассматривать в качестве контроллера. Обычно компьютер дополняет систему на основе ПЛК. На его экране оператор может наблюдать за ходом процесса и по необходимости вводить коррективы.

Персональный компьютер может также интегрироваться в систему управления в виде материнской платы с необходимыми расширениями или в виде одноплатной конструкции, обычно без собственного корпуса. Такой контроллер называют **встраиваемой системой**. Этот вариант используется в автономных установках типа станков с ЧПУ, банкоматов, бортовых систем и т. п.

Далее мы рассмотрим вопросы создания систем управления на основе переносимых контроллеров.

Системы на ПЛК

При проектировании системы на основе ПЛК конструктор должен выбрать конкретную модель контроллера из большого количества имеющихся на рынке. Помимо чисто технических характеристик (количество и характер входов и выходов, наличие и тип интерфейсов связи, напряжение питания и т. п.) при выборе учитываются рекомендации других разработчиков, стоимость, «раскрученность» модели, номенклатура постоянных поставщиков и т. д.

В настоящее время ПЛК выпускает большое количество производителей, в качестве примеров приведем следующие.

- *Siemens*. Утверждают, что эта компания обеспечивает 50 % процентов мирового рынка ПЛК. Основные модели: *LOGO!*, *SIMATIC S7*;
- *Schneider Electric* (программируемые реле *Zelio Logic*, контроллеры *Modicon*);
- *Mitsubishi Electric* (программируемые реле *Alpha XL*, контроллеры *Melsec*);
- *Omron* (программируемые реле *ZEN*, контроллеры *CJ1*, *CJ2*, *CS1*);
- *Rockwell Automation* (программируемые реле *MicroLogix*, контроллеры *SLC 500*, *PLC 5*);
- *Honeywell* (контроллеры *MasterLogic*);
- ОВЕН (программируемые реле ПР110, ПР114, контроллеры ПЛК100, ПЛК150).

ПЛК имеют разнообразные средства для подключения внешних устройств. Ниже перечислены основные, имеющиеся в контроллерах практически всех производителей.

1. Входы

1.1. Дискретные для подключения датчиков с выходом типа «сухой контакт» (в том числе кнопок, конечных выключателей и т. п.)

1.2. Дискретные для подключения датчиков с выходом типа «открытый коллектор» *NPN* или *PNP*, обычно могут работать в счетном режиме (то есть считать импульсы от датчиков угла поворота или перемещения)

1.3. Аналоговые для подключения датчиков с выходом в виде напряжения

1.4. Аналоговые для подключения датчиков с выходом «токовая петля»

1.5. Аналоговые для подключения термопар и терморезисторов со стандартными градуировками

2. Выходы

2.1. Выходы типа «сухой контакт» (электромагнитное реле)

2.2. Транзисторные ключи, обычно могут работать в режиме ШИМ

2.3. Аналоговые с сигналом в виде напряжения

2.4 Аналоговые с сигналом «токовая петля» «токовая петля»

3. Цифровые интерфейсы связи

3.1. *RS-232*

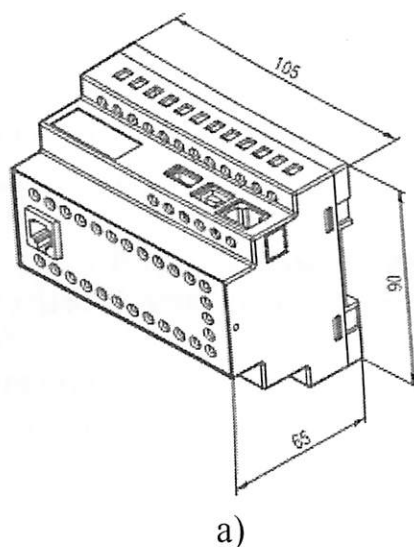
3.2. *RS-485*

3.3. *USB-Device*

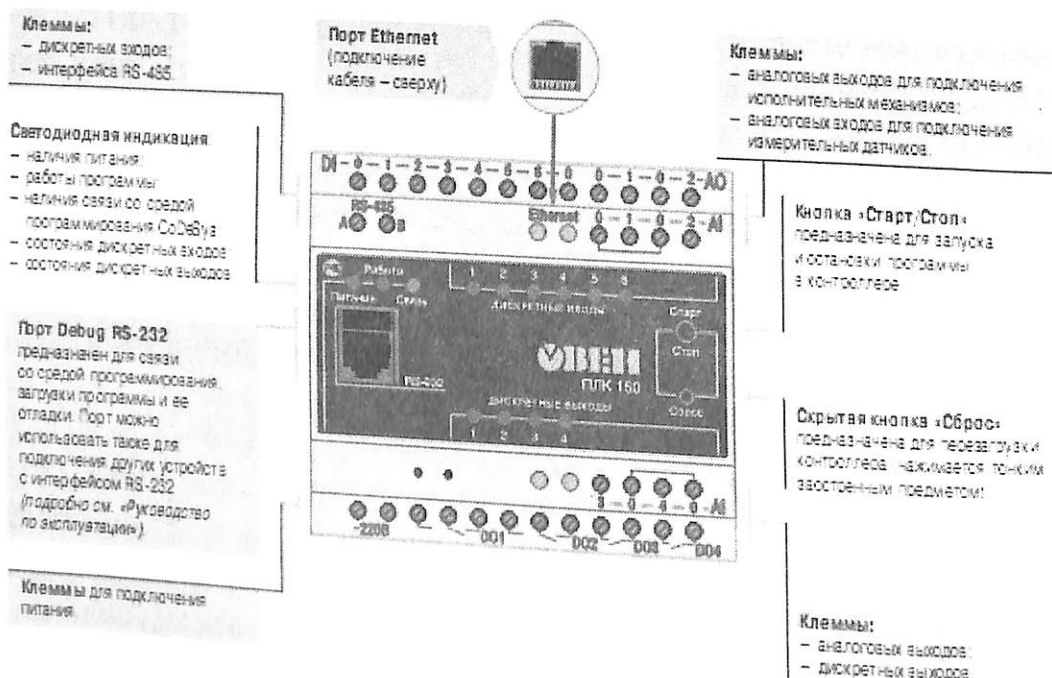
3.4. *Ethernet*

Многие модели контроллеров имеют возможность подключения дополнительных модулей с аналоговыми и дискретными входами и выходами, средствами отображения и др. Модули подключаются по специальной внутренней шине или через интерфейс связи (обычно

Например, ОВЕН ПЛК150 (рис. 49) имеет 6 дискретных входов, 4 аналоговых входа для источников сигнала 0...10 В, 4 дискретных выхода (э/м реле с возможностью коммутации нагрузки, потребляющей напряжение до 220 В при токе до 4 А), 2 аналоговых выхода (тип выхода в зависимости от конкретной модели), интерфейсы связи RS-232, RS-485, Ethernet. Дополнительно могут подключаться модули аналогового ввода МВА8, модули вывода МВУ8, модули дискретного ввода-вывода МДВВ, графические и цифровые панели оператора и др.



а)



б)

Рис.49. ОВЕН ПЛК150: а – внешний вид и габариты; б – основные элементы (рисунки взяты из каталога производителя 2008/2009)

На рис. 50 показан возможный вариант использования ПЛК в АСУ.

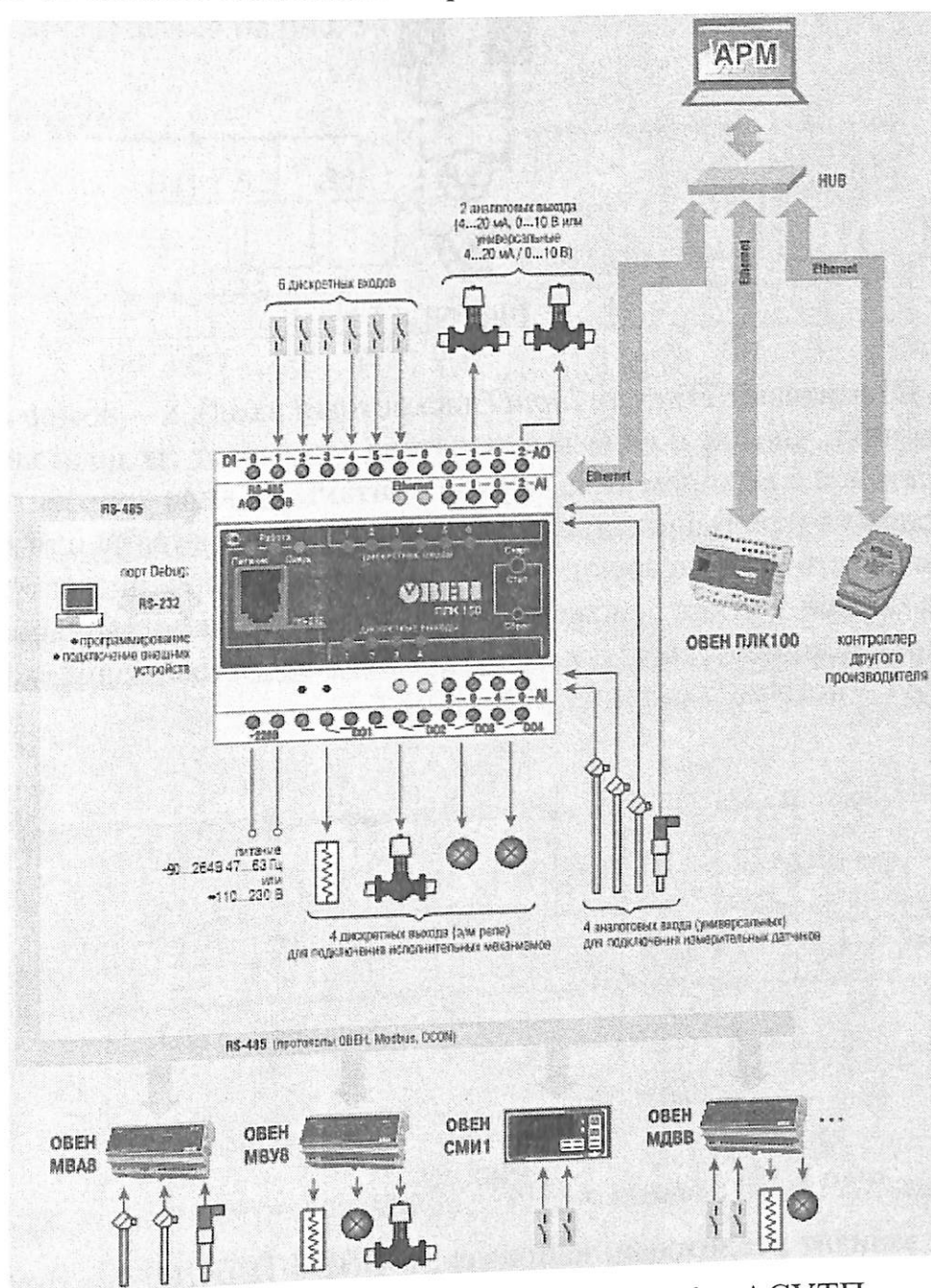


Рис. 50. Использование ОВЕН ПЛК150 в АСУТП
(рисунок взят из каталога производителя 2008/2009)

Рассмотрим подключение основных устройств ввода и вывода к ПЛК на примере ПЛК ОВЕН (Россия).

Дискретные датчики

ПЛК может иметь входы для подключения датчиков с выходами «сухой контакт» или «открытый коллектор». Обычно такие входы являются универсальными и допускают подключение датчиков обоих типов. Это указано в технической документации. Например, в руководстве по эксплуатации ОВЕН ПЛК150 указано, что имеется 6 дискретных входов, обозначенных пиктограммой (рис. 51).

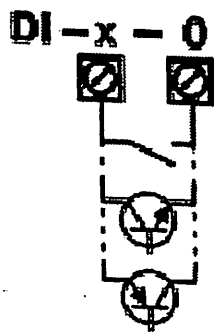


Рис. 51

Буквы DI означают *Discrete Input* (дискретный вход), x – номер контакта, 0 – общий контакт, значок в виде выключателя указывает на возможность подключения датчика с выходом типа «сухой контакт», в виде транзисторов – датчика с выходом «открытый коллектор» в обоих вариантах (*NPN* или *PNP*).

В зависимости от конструкции контроллера подключение датчиков с выходом типа «сухой контакт» может осуществляться с использованием или без использования источника питания. В первом случае это выглядит, как показано на рис. 52 (A1 – источник питания, A2 – ПЛК).

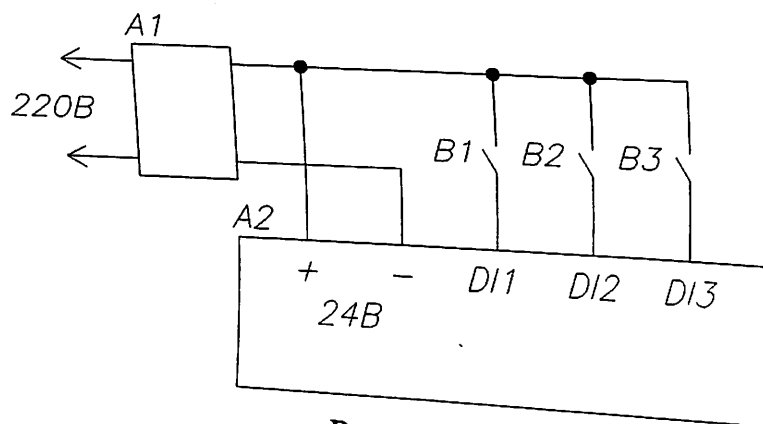


Рис. 52

Такой вариант реализован, например, в ОВЕН ПЛК100-24. Другой случай показан на рис. 53.

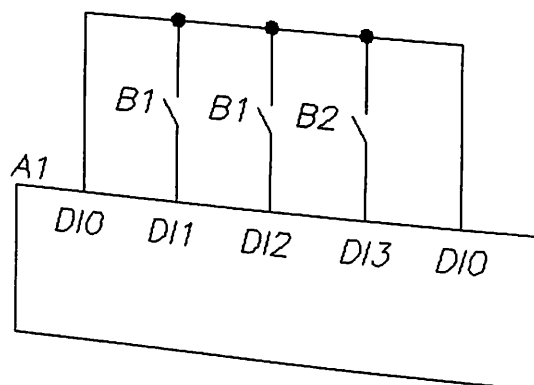


Рис. 53

Так сделано, например, в ОВЕН ПЛК100-220⁵ или в ПЛК150.

⁵ «220» или «24» в обозначении контроллеров ОВЕН обозначает напряжение питания.

Датчики с выходом «открытый коллектор» подключаются по трехпроводной схеме, как показано на рис. 54.

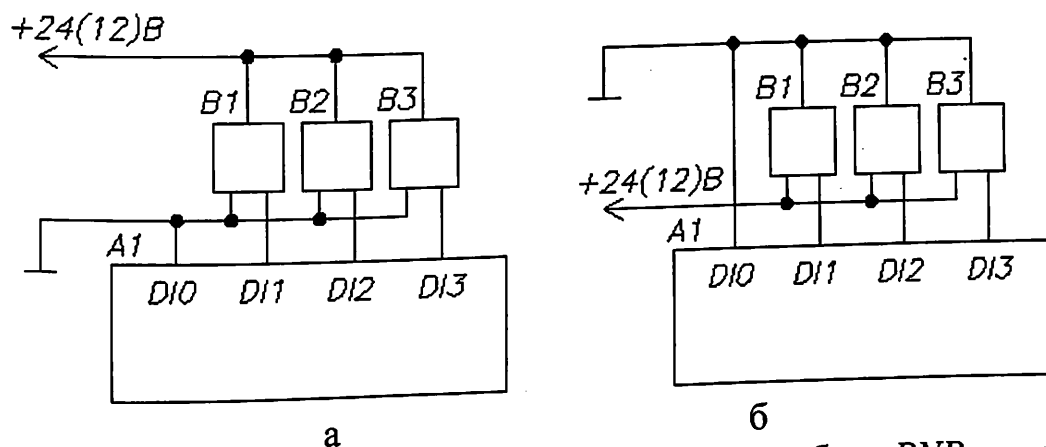


Рис. 54 (а – подключение датчиков с *NPN*-выходом; б – с *PNP*-выходом)

Если на ПЛК отсутствует клемма общего провода для дискретных входов *DI0* (как, например, в ОВЕН ПЛК100-24), датчики подключают, как показано на рис. 55.

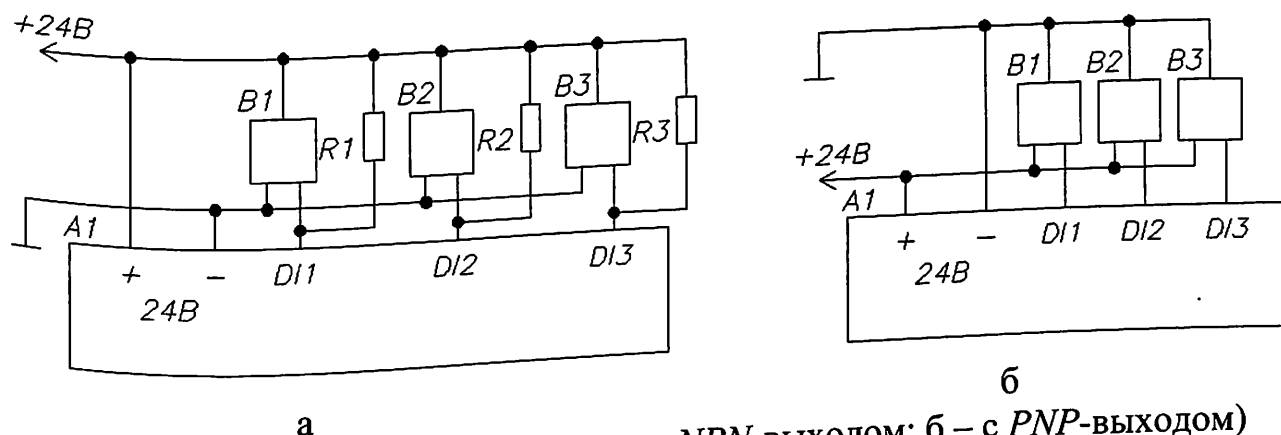


Рис. 55 (а – подключение датчиков с *NPN*-выходом; б – с *PNP*-выходом)

Резисторы *R1*, *R2*, *R3* подключают, если это указано в руководстве по эксплуатации ПЛК. Для ОВЕН ПЛК100-24 их сопротивление должно быть 512 Ом...2,0 кОм при рассеиваемой мощности 0,5...1 Вт.

Аналоговые датчики

В руководстве эксплуатации ПЛК указываются характеристики аналоговых входов: количество, типы унифицированных входных сигналов, типы датчиков с неунифицированными сигналами, и другие характеристики. Часто аналоговые входы являются универсальными, пригодными для подключения датчиков различных типов. Например в руководстве по эксплуатации ОВЕН ПЛК150 указано, что имеется 4 аналоговых входа, обозначенных пиктограммой (рис. 56). Каждый вход имеет пару контактов, один из которых – общий (общие провода всех 4 пар соединены внутри контроллера).

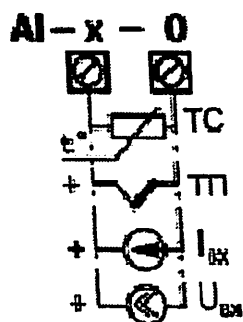


Рис. 56

Буквы AI означают *Analog Input* (аналоговый вход), x – номер контакта, 0 – общий контакт, значки в виде термосопротивления и термопары указывают на возможность их подключения; значки, обозначенные $I_{ВХ}$ и $U_{ВХ}$ указывают на возможность подключения датчиков с унифицированным сигналом в виде тока и напряжения. В технических характеристиках указано, что входы «понимают» унифицированные сигналы напряжения 0...1 В, 0...10 В, минус 50...+50 мВ, сигналы тока 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА. Также можно подключать потенциометрические датчики линейных или угловых перемещений с диапазоном изменения сопротивления 0...5 кОм, термосопротивления и термопары (указан перечень поддерживаемых градуировок). Также даны такие важные характеристики, как разрядность АЦП (16 бит) и время опроса одного входа (1,5 с). Последняя характеристика важна для оценки частотного диапазона, в котором находится спектр входного аналогового сигнала. В данном случае при использовании одного аналогового входа время дискретизации будет 1,5 с, то есть максимальная частота изменения сигнала по теореме Котельникова будет 0,33 Гц, при двух входах – 0,16 Гц.

На рис. 57 показаны примеры подключения термопары BK1, терморезистора RK1 и унифицированного датчика с трехпроводным подключением B1.

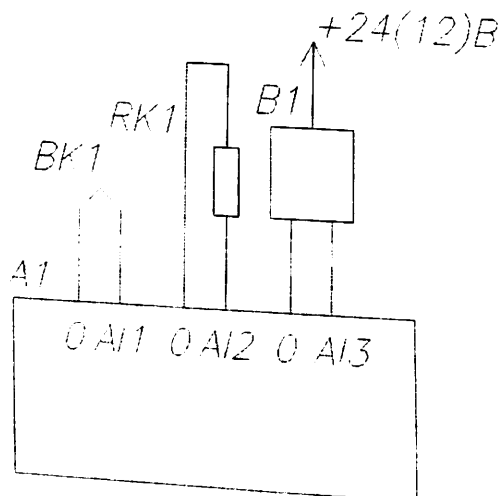


Рис. 57

Для подключения других типов датчиков с неунифицированным сигналом можно использовать специально разработанные схемы согласования или воспользоваться дополнительными модулями подключения. Например, для подключения тензодатчиков силы и веса ОВЕН выпускает модуль MB110-224.1ТД, соединяемый с ПЛК посредством интерфейса RS-485. Схема подключения показана на рис. 58.

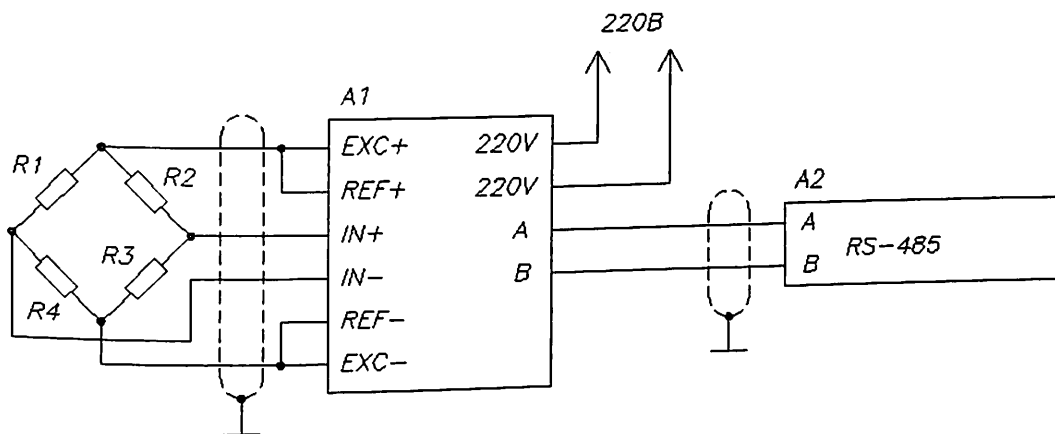


Рис. 58

Мостовая схема с тензорезисторами $R1 - R4$ подключена к модулю ввода $A1$, который соединяется с ПЛК $A2$.

Исполнительные устройства

Здесь можно рассмотреть две принципиально разные задачи. Во-первых, исполнительные устройства можно включать и выключать. Это могут быть не-регулируемые приводы и нагревательные элементы, электромагнитные клапаны и т. д. Во-вторых, это устройства, управляемые напряжением: регулируемые приводы и нагревательные элементы и т. д.

Первая задача решается в зависимости от напряжения питания и тока, потребляемого исполнительным устройством. Обычно нагрузку подключают к выходам типа «сухой контакт» (в документации ПЛК это выход называют «электромагнитное реле», это два контакта, цепь между которыми замыкается при срабатывании выхода, или три контакта, цепь между двумя из которых переключается при срабатывании выхода). Параметры напряжения и тока нагрузки зависят от конкретной модели ПЛК. Например, для ОВЕН ПЛК150 эти значения составляют до 220 В и до 2 А при $\cos\phi > 0,4^6$. То есть осветительную лампу мощностью 200 Вт можно подключать напрямую к выходу ПЛК, а трехфазный двигатель мощностью 2,5 кВт – через контактор (рис. 59).

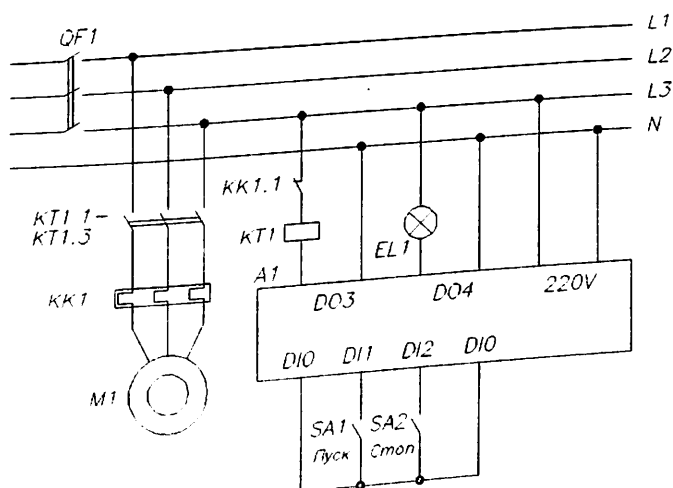


Рис. 59

⁶ Для реактивной нагрузки значение $\cos\phi$ можно найти в документации на подключаемое устройство. Этот параметр называют «коэффициент мощности», он представляет собой отношение активной мощности к полной.

На рисунке кнопки «Пуск» и «Стоп» подключены к дискретным входам ПЛК. К одному из дискретных выходов $DO3$ подключена катушка контактора $KT1$ для коммутации двигателя. К дискретному выходу $DO4$ подключена осветительная лампа $EL1$.

Если к дискретному выходу подключается мощная индуктивная нагрузка (тяговые электромагниты, обмотки электродвигателей), то контакты выходного реле следует защищать от подгорания. Причиной является ЭДС самоиндукции, возникающая при замыкании или размыкании контактов. Для защиты в цепях переменного тока используют RC -цепочку (рис. 60). Также не помешает последовательно с нагрузкой включать плавкий предохранитель. Рекомендуемые номиналы элементов: $R = 100 \text{ Ом}$, $C = 0,022 \text{ мкФ}$ х 600 В .

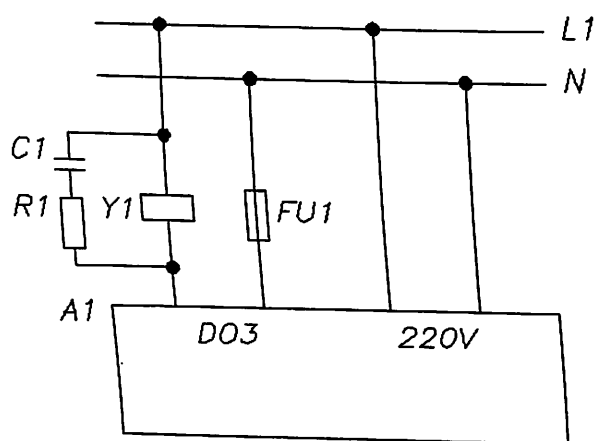


Рис. 60

Если индуктивная нагрузка питается постоянным током, защита контактов от ЭДС самоиндукции осуществляется с помощью диода, включаемого параллельно нагрузке встречно полярности напряжения питания (рис. 61).

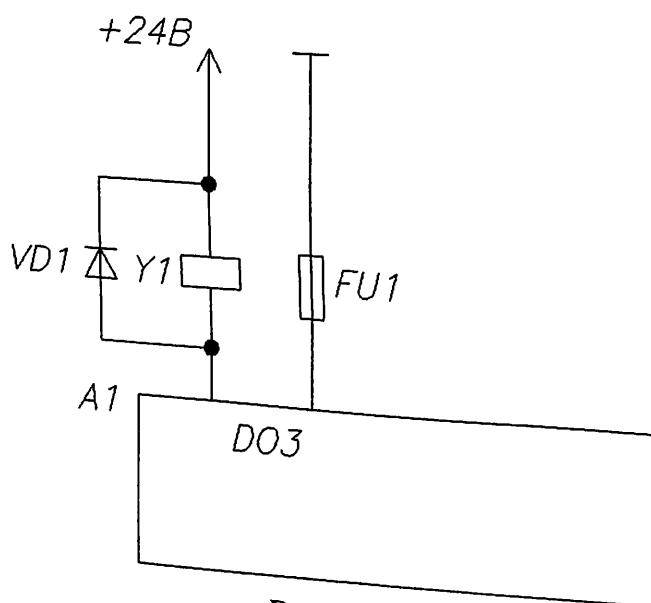
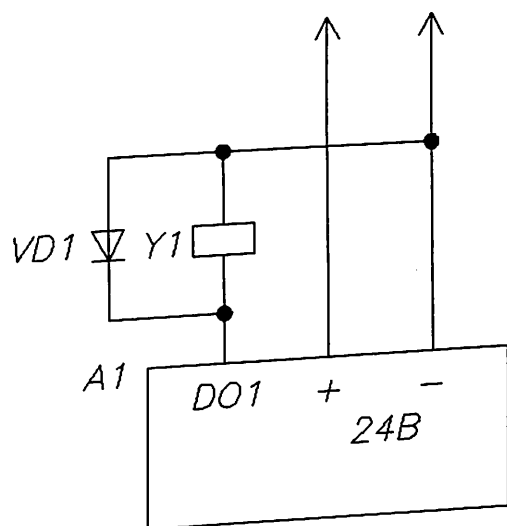


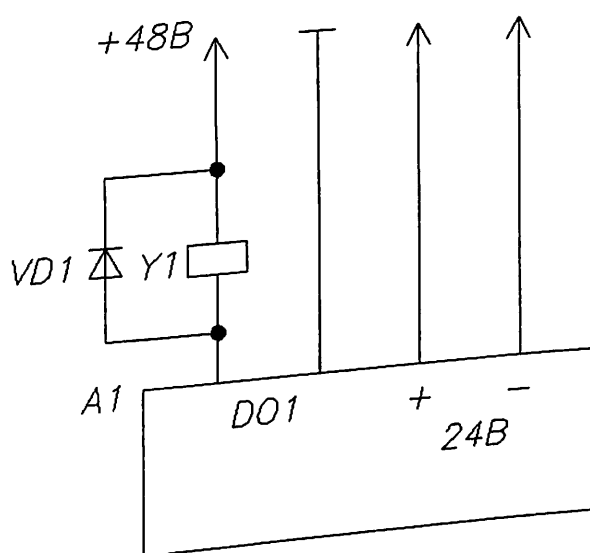
Рис. 61

Кроме «сухого контакта» в выходах ПЛК используют транзисторные ключи с открытым коллектором либо оптопары. В этом случае нагрузка работает в

цепи постоянного тока. Напряжение на нагрузке, подключаемой к транзисторному выходу, равно напряжению питания ПЛК, ток зависит от конструкции транзисторного ключа. Например, в ОВЕН ПЛК100-24.К⁷ максимальный ток нагрузки 150 мА, напряжение питания 24 В, ключи сдвоенные (то есть при срабатывании выхода одновременно коммутируется две нагрузки, подключенных к двум соседним клеммам). Выходы в виде оптопар позволяют использовать для питания нагрузки отдельную цепь питания, гальванически развязанную от цепей ПЛК. Это обеспечивает повышенную помехоустойчивость. Параметры питания зависят от конструкции оптопары. Например, для программируемого реле ОВЕН ПР114 ток нагрузки до 400 мА при постоянном напряжении до 60 В. К транзисторным выходам подключают катушки реле, электромагнитные клапаны и т. д. Примеры показаны на рис. 62 (на рисунках подключаемые клапаны рассчитаны на разное напряжение – 24 и 48 В). Диод VD1 защищает выход от ЭДС самоиндукции.



а



б

Рис. 62 (а – подключение электромагнитного клапана к транзисторному выходу ПЛК; б – к выходу на оптопаре)

⁷ Буква «К» означает выход в виде транзисторных ключей, «Р» – в виде контактов электромагнитных реле.

Если токи и напряжения на нагрузке больше, чем позволяют транзисторные выходы, или нагрузка работает в сети переменного тока, производители контроллеров предлагают блоки-умощнители. Например, для ОВЕН ПЛК100-24.К производитель предлагает блок БУВР12, который подключается к дискретным выходам ПЛК и имеет на выходе 12 электромагнитных реле с допустимым током нагрузки 10 А.

Вторая задача, связанная с подключением устройств, управляемых напряжением, также может решаться различными способами.

В некоторых случаях (маломощная нагрузка) используют выходы ПЛК на основе ЦАП с выходным сигналом в виде тока 4...40 мА или напряжения 0...10 В.

Транзисторные выходы ПЛК могут работать в режиме ШИМ. Это позволяет управлять напряжением на нагрузке, работающей в цепи постоянного тока. Например, можно управлять скоростью вращения маломощного двигателя постоянного тока. Если двигатель работает без реверса, то подключение может быть выполнено, как показано на рис. 62.

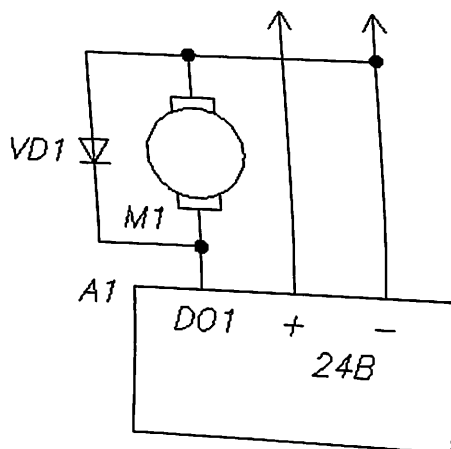


Рис. 62

Если требуется более сложное управление, например, с реверсом, а также управление нагрузкой в цепях переменного тока, лучше использовать разнообразные модули расширения, которые обеспечивают управление различными исполнительными устройствами и подключаются к ПЛК или компьютеру через последовательные интерфейсы (чаще всего RS-485). Например, модуль ОВЕН МВУ8 в зависимости от конкретной модели имеет 8 выходов в виде электромагнитных реле (тип «Р»), транзисторной (тип «К») или симисторной (тип «С») оптопары, ЦАП с выходом в виде тока (тип «И») или напряжения (тип «У»), для управления твердотельным реле (тип «Т»). Выходные оптопары могут работать в режиме ШИМ.

На рис. 63 показан пример управления нагревательным элементом ЕК1 в цепи переменного тока с использованием ОВЕН ПЛК100 (А2) и МВУ8 (А1), хотя можно подключить вывод управления симистором прямо к дискретному выходу ПЛК. Симисторами и тиристорами также можно управлять через специальные блоки, например, ОВЕН БУСТ.

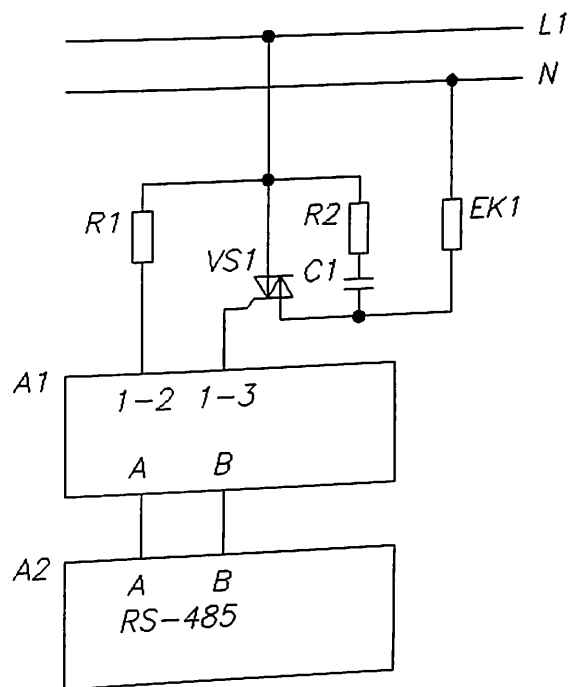


Рис. 63

Для управления скоростью вращения трехфазного двигателя лучше всего использовать преобразователи частоты. Это конструктивно законченные блоки, в состав которых входят контуры векторного управления двигателем, устройства плавного пуска и торможения, средства ручного и дистанционного управления и др. В общей системе управления технологическим оборудованием такой преобразователь устанавливается на каждый регулируемый привод (или на несколько приводов) и управляется от ПЛК или компьютера по интерфейсу RS-485. На рис. 64 показан фрагмент системы управления с трехфазным двигателем и преобразователем частоты.

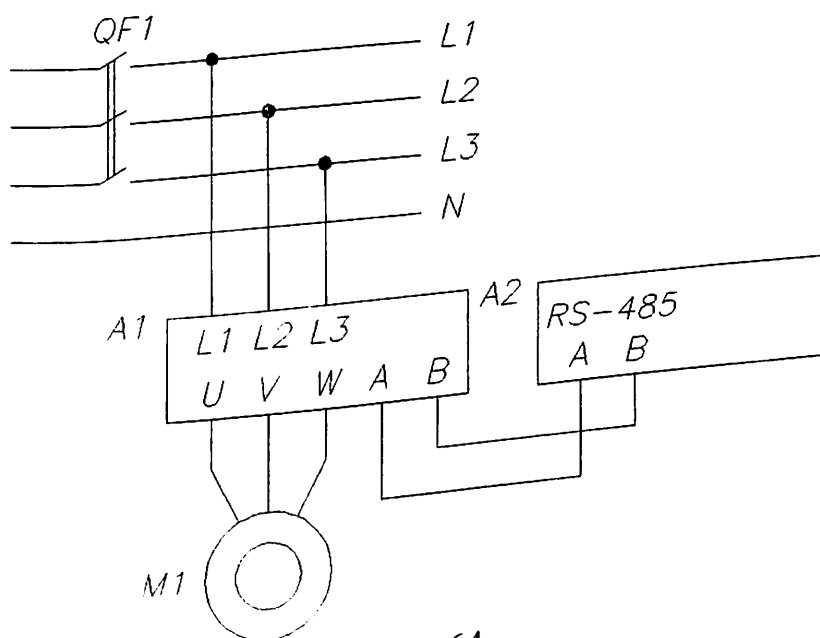


Рис. 64

Здесь A1 – преобразователь частоты; A2 – ПЛК. Контактор и токовое реле не требуются, так как цепи пуска и остановки и защита от перегрузки входят в состав преобразователя частоты.

Средства ручного управления и отображения

Пульт оператора обычно включает кнопки и сигнальные лампочки, в более сложном варианте – клавиатуры и светодиодные или ЖК индикаторы, в еще более сложном – клавиатуры и графические панели или сенсорные панели, заменяющие и то и другое.

Подключение кнопок и сигнальных лампочек мы уже рассмотрели выше. Что касается более сложных устройств, то практикуется использование модулей, подключаемых к ПЛК по интерфейсу RS-485 и имеющие в составе средства отображения и клавиатуры. Их называют панелями оператора. Примером может служить панель ОВЕН ИП320 (рис. 65).



Рис. 65

Она имеет ЖК-монитор с подсветкой, клавиатуру и подключается к ПЛК по интерфейсу RS-485.

Производители идут еще дальше и объединяют монитор и ПЛК в одном корпусе. Этот «гибрид» называется панельным контроллером. Например линейка панельных контроллеров ОВЕН СПК2хх имеет помимо обычных для ПЛК элементов графическую сенсорную панель и дополнительные клавиши (рис. 66).

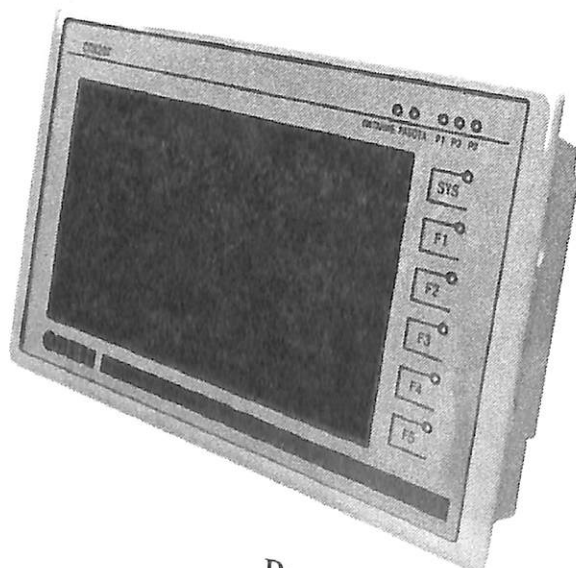


Рис. 66

Теперь рассмотрим, как будет выглядеть схема установки на рис. 7 при использовании ПЛК. Сначала рассмотрим, какие входы и выходы потребуются от ПЛК. Составим таблицу ресурсов.

Устройства ввода	Устройства вывода
1. Кнопка «Пуск» SA1 Сухой контакт	1. Привод мешалки M1 3-фазный; 380 В; 2,5 кВт
2. Кнопка «Стоп» SA2 Сухой контакт	2. Нагревательный элемент EK1 220 В; 2,5 кВт
3. Датчик уровня нижний SL1 24 В; открытый коллектор PNP	3. Клапан наполнения Y1 220 В; 100 мА
4. Датчик уровня верхний SL2 24 В; открытый коллектор PNP	4. Клапан слива Y2 220 В; 100 мА
5. Датчик температуры 24 В; сухой контакт	

В соответствии с количеством и характером входных и выходных устройств в качестве устройства управления выберем программируемое реле ОВЕН ПР110-24.8Д.4Р-Ч. Это реле с напряжением питания 24 В, восемью дискретными входами для сигналов постоянного тока 24 В (Д)⁸, четырьмя дискретными выходами типа электромагнитное реле (Р) и часами реального времени (Ч) для программирования задержки между выключением нагревателя и сливом.

Дискретные выходы допускают ток до 5 А, поэтому привод и нагревательный элемент будут коммутироваться одновременно через контактор КТ1 (рис. 67). Для питания ПР и датчиков использован блок питания ОВЕН БП15Б-Д2-24 (А2).

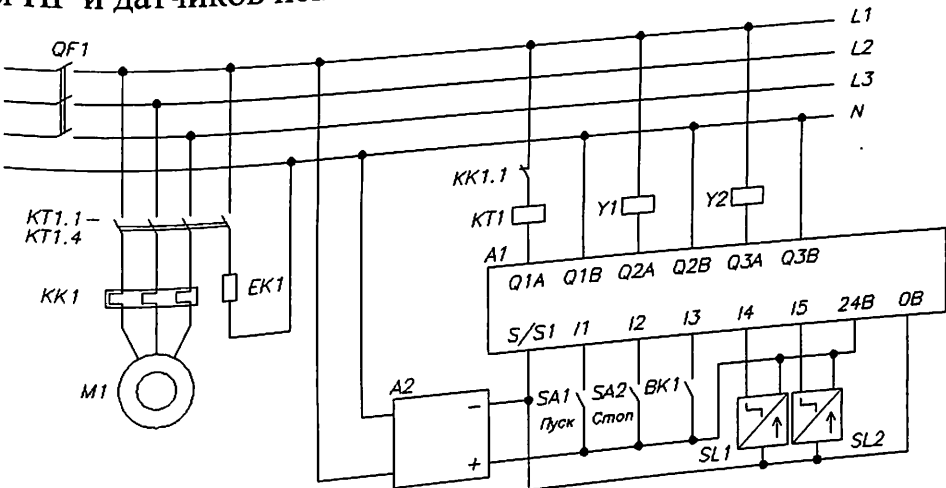


Рис. 67

Сравните полученную схему с рис. 12 и 45. Возможно, выигрыш в количестве элементов (особенно по сравнению с релейно-контактной схемой) не так очевиден. Однако для более сложных схем преимущество в объеме соединений и стоимости уже будет значительным.

Обратите внимание на то, что схема полностью собрана из стандартных блоков. Это удобно как для разработки, так и для монтажа. Такая своеобразная игра в кубики для взрослых.

⁸ Общий контакт для дискретных входов здесь обозначен S/S1, что значит Sink / Source или по-русски Общий минус / Общий плюс. Это значит, что на этот контакт можно подключать как минус, так и плюс источника питания при подсоединении датчиков с выходами NPN и PNP.

Системы на микроконтроллерах

ПЛК специально разрабатываются для автоматизации технологического оборудования и процессов. Помимо рассмотренных существуют модели для конкретных применений или отраслей промышленности, например для управления насосами или для автоматизации оборудования пищевой промышленности. Поэтому подключение к ним других средств автоматизации (датчиков и исполнительных устройств) выглядит достаточно простым. Немаловажное достоинство – монтаж на месте без пайки.

В случае с микроконтроллерами дела обстоят совершенно по-другому.

Во-первых, микроконтроллеры ориентированы на разработку «настолярных» конструкций с плотной их интеграцией в схему установки: общая печатная плата, общие цепи питания, схема подключения, рассчитанная на практически конкретную модель или серию микроконтроллеров.

Во-вторых, уровни сигналов на входах и выходах соответствуют не унифицированным для средств автоматизации, а стандартным ТТЛ. Поэтому требуется согласование входов и выходов⁹.

В-третьих, монтаж схемы на микроконтроллере по большей части выполняется паяльником на печатной плате в условиях производителя, а потом практически целиком монтируется на объекте.

Первые микроконтроллеры называли «однокристальными ЭВМ», так как в отличие от микропроцессоров они имели развитые средства ввода-вывода информации. Первый патент на однокристальную микро-ЭВМ был выдан в 1971 году инженерам М. Кочрену и Г. Буну, сотрудникам американской *Texas Instruments*. Они предложили на одном кристалле разместить не только процессор, но и память с устройствами ввода-вывода. Первая серийная модель была выпущена *Intel* в 1976 году – i8048, а через четыре года появилась легендарная модель i8051.

В настоящее время выпускается огромное количество микроконтроллеров. Наиболее популярными у нас в стране являются следующие семейства:

- AVR (*Atmel*) с сериями *ATMega*, *ATiny*;
- PIC (*Microchip*);
- MCS 51, архитектура разработана *Intel*, микроконтроллеры выпускаются различными производителями – *Atmel*, *Texas Instruments*, *Dallas Semiconductor*;
- ARM, архитектура разработана *ARM Limited*, основные производители – *Atmel*, *Texas Instruments*, *Analog Devices*.

Современные микроконтроллеры помимо вычислительного устройства и памяти имеют следующие средства для подключения внешних устройств и общения с внешним миром:

- от одного до шести (чаще всего 2...4) восьмиразрядных портов для ввода и вывода информации. Под портом понимается 8 линий ввода-вывода цифровых сигналов, логически объединенных друг с другом, фактически же каждая

⁹ В ПЛК такое согласование уже сделано производителем, так как внутри ПЛК находится схема на микроконтроллере, обычное значение напряжения низкого уровня у ПЛК 0...5 В, высокого 17...29 В.

линия может использоваться отдельно. Каждая линия может быть либо установлена в состояние высокого или низкого уровня сигнала, либо контроллер может считывать с нее эти уровни;

– последовательные интерфейсы, например *UART, PC, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet*;

– входы ЦАП и выходы АЦП;

– входы компараторов;

– выходы с ШИМ.

Обычно все входы и выходы совмещены с линиями восьмиразрядных портов (в виде режимов работы), последовательные интерфейсы могут быть реализованы в виде отдельных линий.

Внутренняя структура микроконтроллера может дополнительно включать контроллеры устройств (двигатели, дисплеи, клавиатуры), радиоприемники и радиопередатчики, как обязательные элементы присутствуют флэш-память, тактовый генератор, таймеры.

На рис. 68 показано изображение на электрических схемах популярного микроконтроллера *ATMega32*.

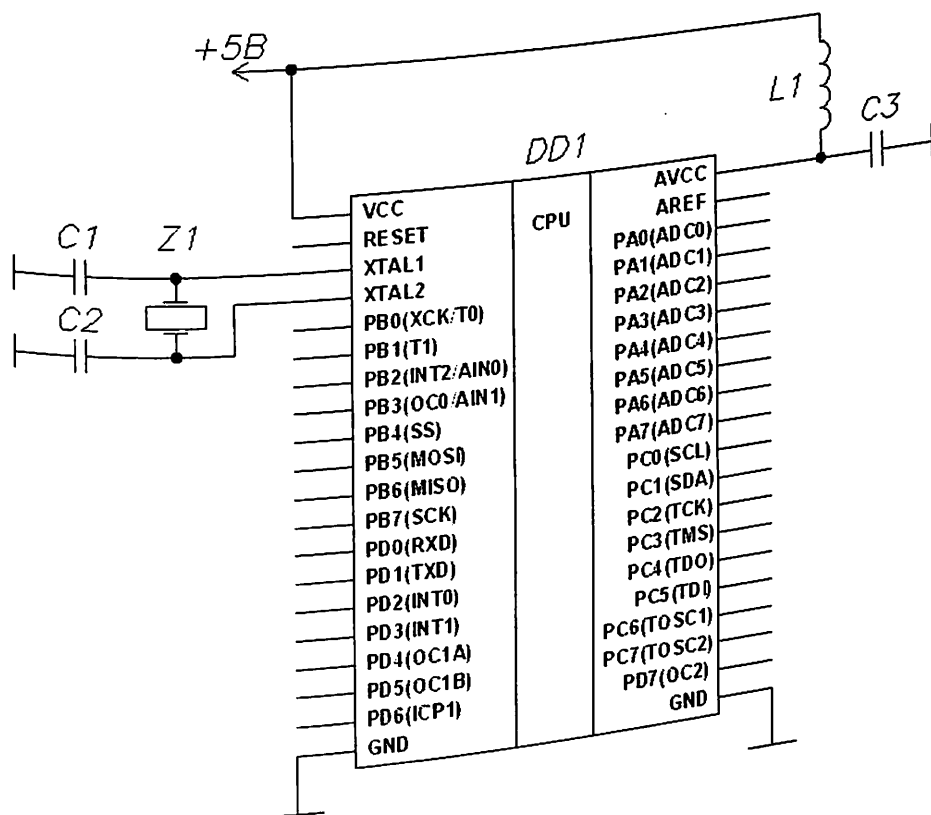


Рис. 68

Из рисунка видно, что микроконтроллер имеет 4 восьмиразрядных порта *PA, PB, PC, PD* (в некоторых моделях вместо этого приняты обозначения *P1, P2, P3, P4*). Цифры после обозначения порта – номер линии. Все порты универсальные, то есть работают на ввод и вывод, и «понимают» стандартные уровни ТТЛ (низкому уровню соответствует диапазон напряжений 0...0,8 В, высокому 2,4...5 В). Выходной ток портов 40 мА.

Все линии портов имеют одну или две дополнительные функции, которые задаются программно. Кратко их перечислим.

1. Входы АЦП ($ADC0 - ADC7$). Микроконтроллер имеет встроенный 10-разрядный АЦП с восемью каналами, которые поочередно опрашиваются. Время преобразования 13...260 мкс, опорное напряжение 2,56 В. Также можно использовать другое опорное напряжение, источник которого подключают к контакту $AREF$. Питание для АЦП подается на контакт $AVCC$ через цепочку $L1C3$ (схема используется при необходимости шумоподавления и приведена в официальном описании микроконтроллера, вообще питание АЦП можно брать прямо от контакта VCC или от отдельного источника, причем $AVCC = VCC \pm 0,3 \text{ В}$).

2. Последовательные интерфейсы $UART$ (контакты RXD, TXD, XCK), SPI (контакты $SS, MOSI, MISO, SCK$), $Two-wire \text{ serial bus}$ (контакты SCL, SDA), $IEEE 1149$ (TCK, TMS, TDO, TDI).

3. Входы и выходы внешнего таймера / счетчика (контакты $T0, T1, OC0, OC1A, OC1B, OC2, ICP1$).

4. Входы внешних прерываний (контакты $INT0, INT1, INT2$).

5. Входы компаратора (контакты $AIN0, AIN1$).

6. Выходы таймера (контакты $TOSC1, TOSC2$).

Микроконтроллер питается напряжением 5 В, положительный полюс источника подключают к контакту VCC , отрицательный – к общей шине (GND). Работа микроконтроллера осуществляется пошагово (тактами). Чередование тактов происходит по командам, в качестве которых выступают импульсы от тактового генератора. Задающий элемент генератора – кварцевый резонатор $Z1$ – подключается к контактам микроконтроллера $XTAL1$ и $XTAL2$. В соответствии с официальным описанием микроконтроллера частота резонатора до 1 МГц, при этом тактовая частота до 16 МГц.

При включении питания микроконтроллера происходит его сброс в исходное состояние. Если требуется внешний сброс¹⁰ по команде пользователя или электронного устройства, задействуют вход $RESET$ в соответствии с техническим описанием микроконтроллера.

К дополнительным функциям портом микроконтроллера мы вернемся позже, а пока рассмотрим их работу в основном режиме. Другими словами, разберемся, как подключить к портам устройства ввода и вывода информации.

Кнопки и переключатели

Здесь заодно с кнопками рассмотрим подключение датчиков с дискретным выходным сигналом типа «сухой контакт», которые с этой точки зрения от кнопок и переключателей ничем не отличаются.

Возможны следующие варианты подключения (рис. 69).

¹⁰ Не вдаваясь в излишние подробности, процедуру сброса поясним так. Порты ввода-вывода представляют собой регистры, которые в свою очередь выполнены на основе триггеров. Состояние выходного сигнала триггера после включения питания устанавливается в «0» или «1» случайным образом. Поэтому их нужно принудительно сбросить в «0».

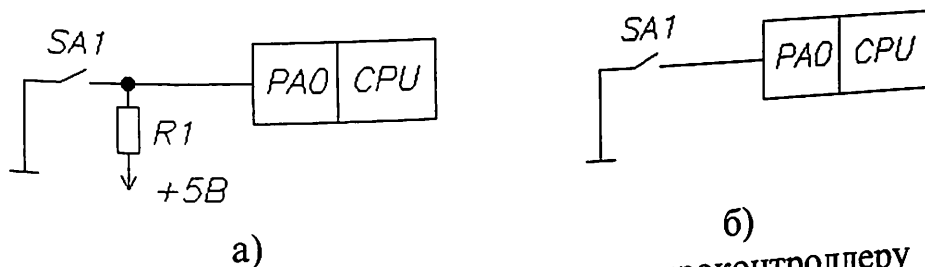


Рис. 69. Подключение клавиш к микроконтроллеру

На рис. 69, а клавиша SA1 при замыкании создает на входе микроконтроллера низкий, то есть «0», а в разомкнутом виде высокий уровень сигнала, то есть «1». Резистор R1 ограничивает входной ток. Например, если на входе микроконтроллера допустимый ток составляет 2,5 мА, значение сопротивления резистора $R1 = 5 \text{ В} / 2,5 \text{ мА} = 2000 \text{ Ом}$.

Многие микроконтроллеры, например, из серии AVR, позволяют заменить токоограничивающий резистор R1 внутренним нагрузочным резистором, который включается программно. В этом случае схема подключения будет выглядеть как на рис. 69, б [3].

Описанные. Обычно таким способом можно подключить максимум 8...10 клавиш, чтобы остались свободные линии для других устройств ввода-вывода. Если клавиш больше, чем свободных линий ввода-вывода, используют клавиатуры со сканированием. Это позволяет подключить к одному восьмиразрядному порту 16 клавиш, к двум – 64 клавиши.

Схема 12-клавишной сканирующей клавиатуры показана на рис. 70. Клавиши расположены в узлах матрицы, у которой четыре линии строк и три линии столбцов. На линии столбцов (порт P2) по очереди подается отрицательный импульс. В этот момент проверяется состояние четырех линий строк (порт P1). Если нажатых клавиш нет, все линии строк имеют высокий уровень (они подключены к напряжению +5 В через внутренние нагрузочные резисторы). Если же клавиша нажимается, и на линии столбца, соответствующего нажатой клавише, все еще ноль, то соответствующая линия строки также становится равной нулю. Зная номера столбца и строки, можно получить позицию нажатой клавиши.

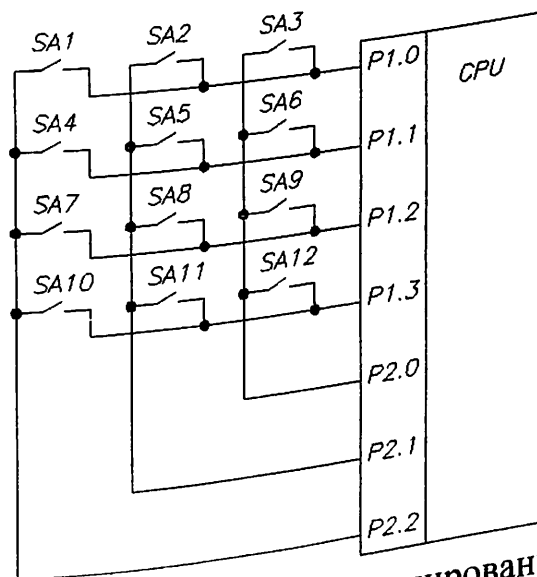


Рис. 70. Клавиатура со сканированием.

Состояния линий входного порта при нажатии клавиш приведены в табл. 1.

Табл. 1.

Клавиша	P2.0	P2.1	P2.2	P1.0	P1.1	P1.2	P1.3
SA1	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	0	1	1	1
SA2	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	0	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA3	0	1	1	0	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA4	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA5	0	1	1	1	0	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	0	1	1
SA6	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	0	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA7	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA8	0	1	1	1	1	0	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	0	1
SA9	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	0	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA10	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA11	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	0
	1	1	0	1	1	1	1
SA12	0	1	1	1	1	1	0
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1

Как видно из таблицы, комбинация состояний входного порта (строки) для каждой нажатой клавиши уникальна.

Пример подключения такой клавиатуры к микроконтроллеру AT89C2051 (Atmel) показан на рис. 71. Здесь на 32 клавиши используется 12 линий ввода-вывода [4].

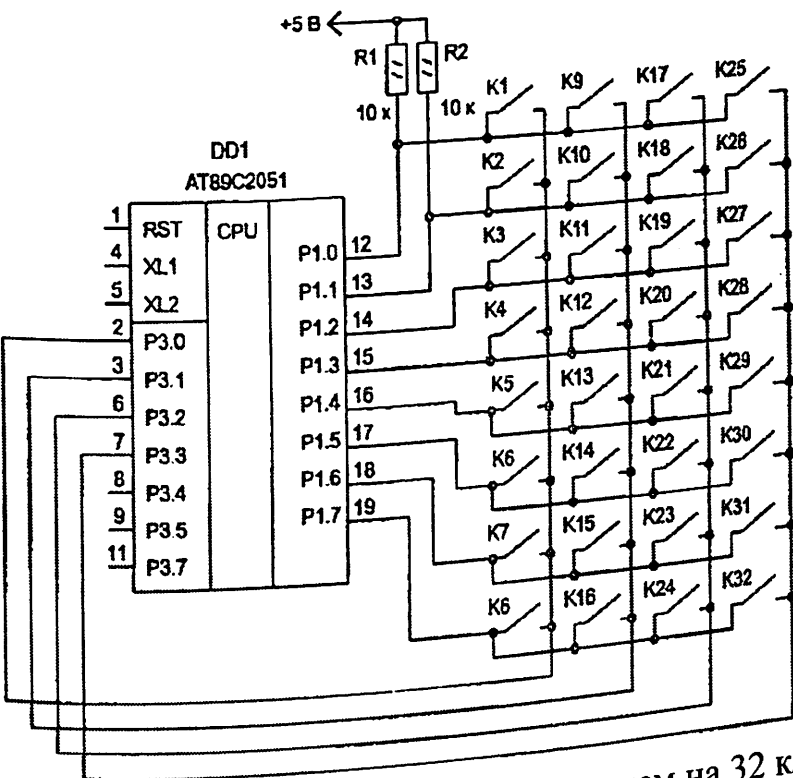


Рис. 71. Пример клавиатуры со сканированием на 32 клавиши. Количество линий вывода можно уменьшить при использовании дешифраторов, как показано на рис. 72. Здесь вместо 12 линий требуется только 10 [4].

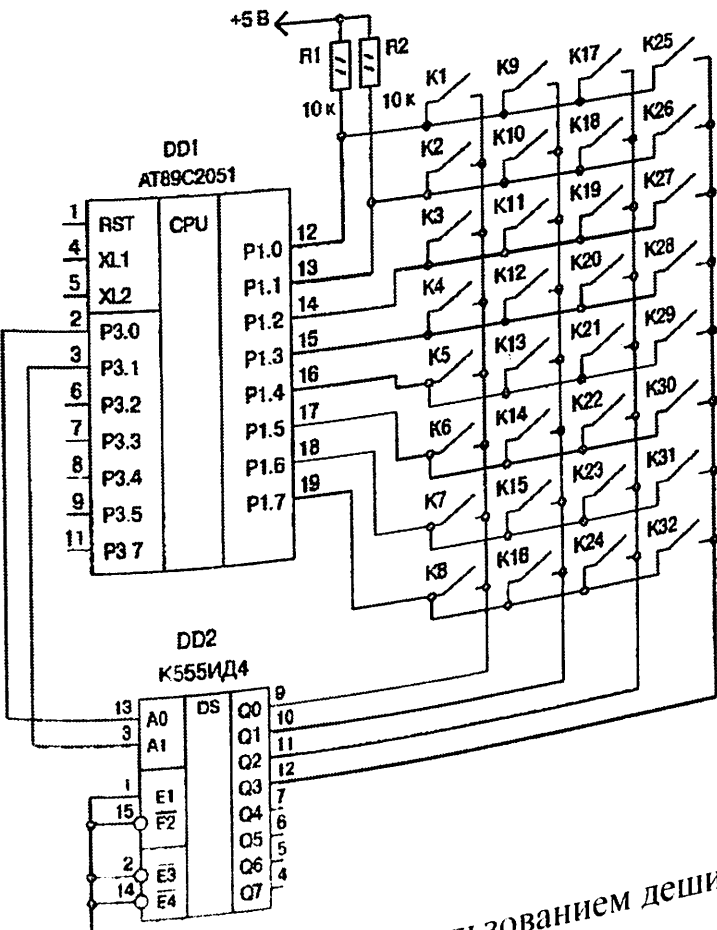


Рис. 72. Пример клавиатуры с использованием дешифратора

Другой способ подключения клавиш к меньшему количеству линий ввода-вывода – подключение через устройство, генерирующее на выходе параллельный или последовательный код, соответствующий нажатой клавише. В качестве такого устройства может использоваться специальный контроллер клавиатуры. Контроллеры клавиатуры генерируют на выходе код (чаще всего последовательный) нажатой клавиши. Количество подключаемых клавиш зависит от разрядности контроллера. Например, восьмиразрядный контроллер позволяет подключить $2^8 - 1 = 127$ клавиш. Так реализована клавиатура персонального компьютера, хотя в ней имеются клавиши с шестнадцатиразрядными кодами, передаваемыми в два этапа.

Датчики

При подключении датчиков с аналоговым выходным сигналом используют встроенный АЦП микроконтроллера или при его отсутствии внешний АЦП. Перед подключением датчика к АЦП его сигнал приводят к нужному виду. Эти вопросы с примерами мы уже рассмотрели в главе «Язык цифровых систем». В дополнение к этому разберемся, как подключить к микроконтроллеру внешний АЦП.

Рассмотрим пример подключения к микроконтроллеру 12-разрядного АЦП AD7880 (рис. 73) [5]. Аналоговое входное напряжение (например, от датчика) подается на вход A_{IN} АЦП. На вход V_{REF} подают опорное напряжение от отдельного источника (имеются микросхемы – источники опорного напряжения для АЦП). На вход $CLKIN$ должна быть подана последовательность прямоугольных импульсов от генератора с частотой до 2,5 МГц.

Последовательность работы микроконтроллера с АЦП следующая:

- 1) сброс – выходные линии микроконтроллера $P3.0, P3.1, P3.2$, соединенные с управляющими входами АЦП $CONVST, RD, CS$, устанавливаются в состояние «1»;
- 2) запуск – производится запуск АЦП импульсом отрицательной полярности, подаваемым на вход $CONVST$. Для этого выход микроконтроллера $P3.0$ устанавливается в «0», а затем снова в «1»;
- 3) проверка конца преобразования – микроконтроллер опрашивает состояние линии $P2.4$ до появления на ней сигнала «1» с выхода АЦП $BUSY$, что соответствует концу преобразования сигнала в цифровой отсчет (можно этот сигнал не использовать, а просто в программе задать паузу на время преобразования);
- 4) чтение – выходные линии микроконтроллера $P3.1, P3.2$, соединенные с управляющими входами АЦП RD и CS , устанавливаются в состояние «0», после чего считывается состояние линий $P1.0...P1.7$ и $P2.0...P2.3$, подключенных к выходам данных АЦП $DB0...DB11$.

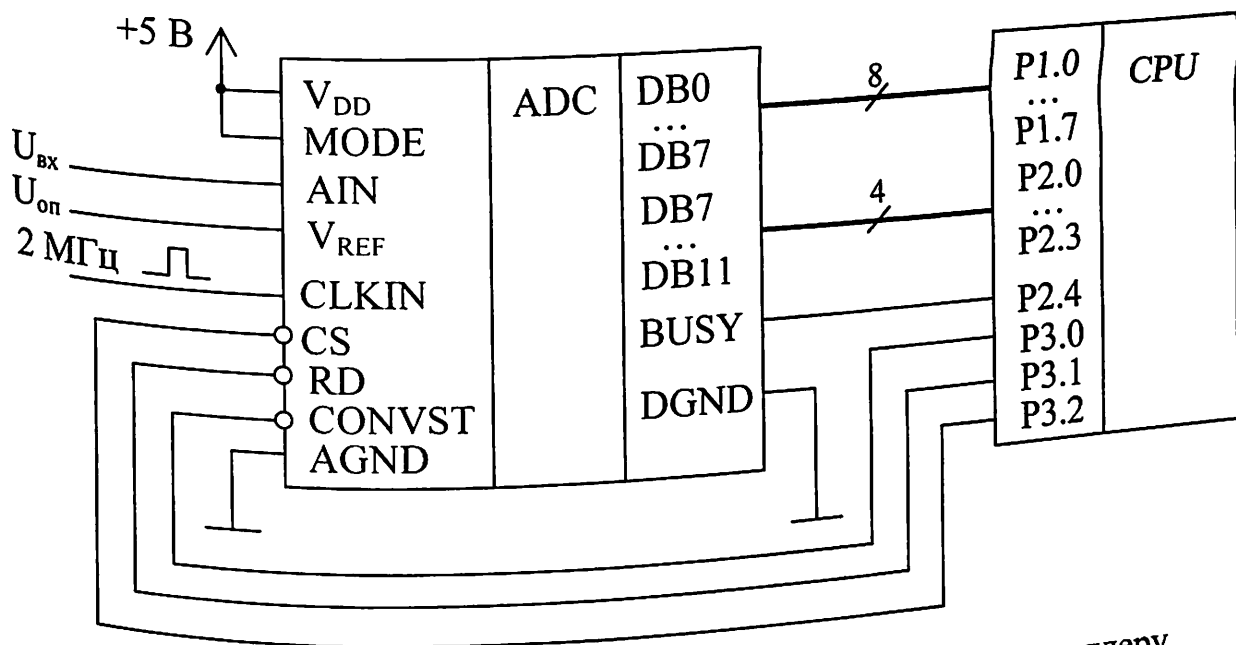


Рис. 73. Подключение параллельного АЦП к микроконтроллеру

Затем цикл повторяется в течение требуемого времени. При частоте тактового сигнала на входе $CLKIN$ АЦП 2,5 МГц микроконтроллер будет считывать цифровой код с выхода АЦП примерно каждые 25 мкс, то есть частота дискретизации входного аналогового сигнала составит около 40000 Гц. По теореме Котельникова максимальная частота спектра входного сигнала не должна превышать 20000 Гц.

Рассмотрим пример подключения к микроконтроллеру 12-разрядного АЦП ADS7816 (рис. 74). Аналоговое входное напряжение подается на вход $+IN$ АЦП. На вход V_{REF} подают опорное напряжение от отдельного источника.

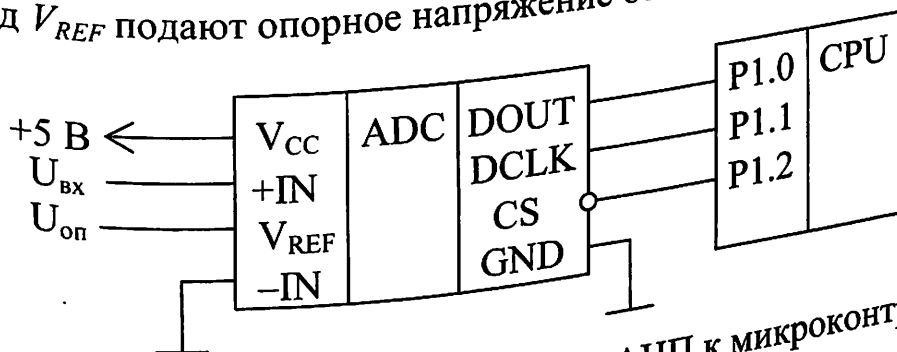


Рис. 74. Подключение последовательного АЦП к микроконтроллеру

Последовательность работы микроконтроллера с АЦП следующая:

- 1) сброс – выходная линия микроконтроллера P1.2, соединенная с управляющим входом АЦП CS, устанавливается в состояние «1»;
- 2) запуск – выходная линия микроконтроллера P1.2, соединенная с управляющим входом АЦП CS, устанавливается в состояние «0»;
- 3) чтение – на вход АЦП DCLK подаются два импульса, каждый переводом выходной линии P1.1 из «0» в «1» и обратно. Затем поочередно подаются 12 тактичных импульсов, после каждого из которых на выходе DOUT появляется один из битов данных. Эти биты считываются опросом состояния входной линии P1.0.

Затем цикл повторяется в течение требуемого времени.

Такая последовательность занимает больше времени по сравнению с параллельным АЦП. Для получения одной 12-разрядной комбинации потребуется около 200 мкс, то есть частота дискретизации составит 5000 Гц, максимальная частота спектра входного сигнала, соответственно, 2500 Гц.

Для подключения к микроконтроллеру тензодатчиков силы и веса используют специализированные АЦП, например AD7730 (рис. 75). Полномостовая схема $R1 - R4$ подключена к АЦП $DD1$. Сигнал с выхода АЦП поступает на линию $P3.3$ микроконтроллера $DD2$. Линии $P3.0, P3.1, P3.2$ используются для управления АЦП.

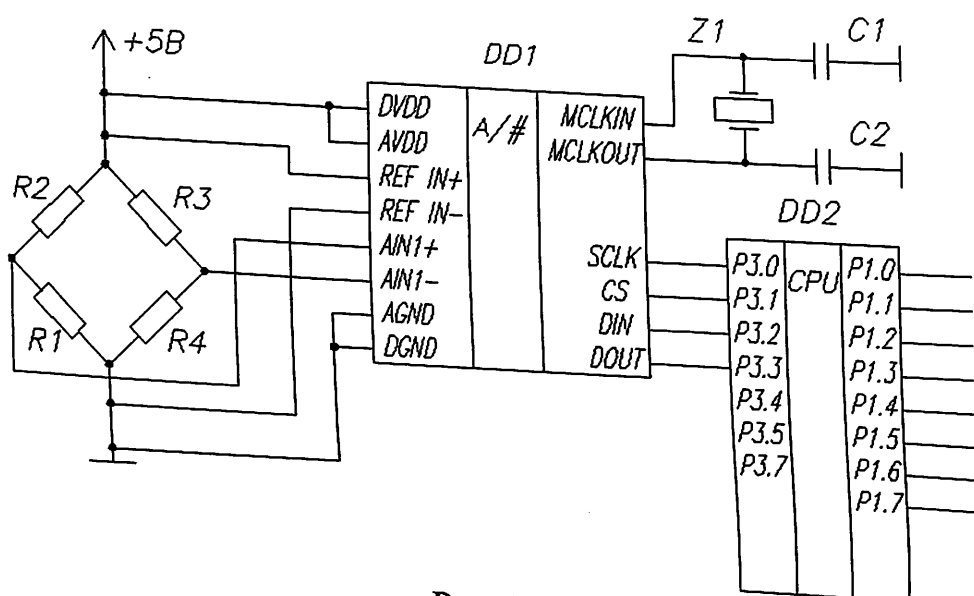
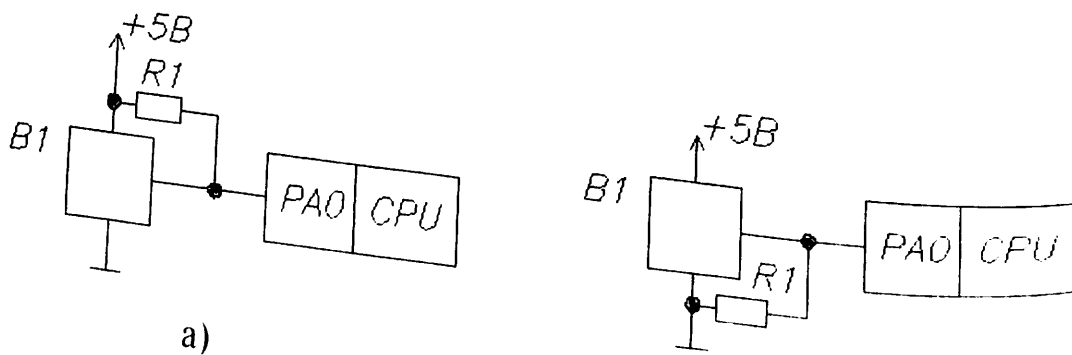


Рис. 75

Что касается аналоговых датчиков с унифицированным выходным сигналом, то вопрос их подключения к входу АЦП ранее уже рассмотрен (рис. 26, 27).

Теперь перейдем к датчикам с дискретным выходным сигналом типа открытый коллектор. На выходе этих датчиков находится транзисторный ключ, в коллекторную цепь которого требуется включить нагрузку (вспомните или заново посмотрите рис. 28). Если напряжение питания датчика 5 В, то проблем с подключением нет, датчик подключается напрямую к входу микроконтроллера (рис. 76), нагрузкой для транзисторного ключа служит резистор $R1$. В случае на рис. 76,а при срабатывании датчика на входе контроллера будет низкий уровень (падение напряжения на переходах транзистора ключа), при отсутствии срабатывания – высокий, на рис. 76, б – наоборот.



а)

б)

Рис. 76 (а – датчик типа NPN; б – датчик типа PNP)

Если же напряжение питания выше 5 В (обычно это 12 или 24 В, часто в документации указывают целый диапазон 10...30 В), то требуется привести его к 5-вольтовому уровню с помощью делителя напряжения (рис. 77).

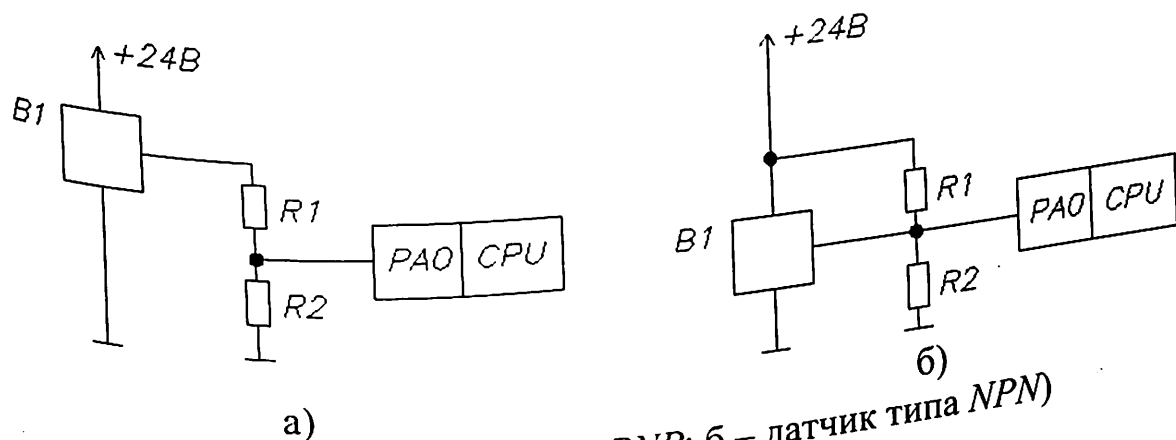


Рис. 77 (а – датчик типа PNP; б – датчик типа NPN)

Здесь нагрузкой для транзисторного ключа датчика является делитель $R1R2$. Его суммарное сопротивление выбирают таким образом, чтобы выходной ток датчика не превышал допустимого значения. Например, если при напряжении питания 24 В ток нагрузки не должен превышать 100 мА, сопротивление делителя должно быть не менее 240 Ом. Для рис. 77, а можно выбрать $R1 = 4,7 \text{ кОм}$, $R2 = 1 \text{ кОм}$. Тогда при срабатывании датчика уровень сигнала на входе микроконтроллера будет равен 4,2 В, что распознается как высокий уровень.

В статье [6] предлагается еще один вариант подключения NPN-датчика (рис. 78).

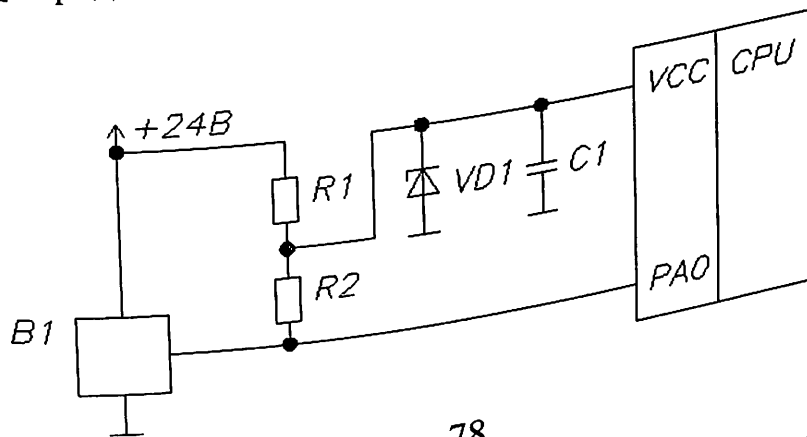


Рис. 78

Здесь рекомендуется $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$, $C1 = 47 \text{ мкФ}$, напряжение стабилизации стабилитрона $VD1$ 5 В. Стабилитрон ограничивает уровень сигнала на входе контроллера и одновременно является стабилизатором питающего напряжения.

В схемах на микроконтроллерах для измерения углов поворота и линейных перемещений широко используются импульсные датчики. Инкрементный датчик представляет собой вращающийся диск с прорезями или отверстиями в комбинации с оптопарой. При прохождении прорези мимо оптопары на ее выходе формируется импульс, который поступает на вход микроконтроллера. Если микроконтроллер работает в режиме счета импульсов, из-

меряется угол поворота диска, если измеряется временной интервал между импульсами или число импульсов в единицу времени – измеряется скорость вращения. Как это выглядит «живьем» можно увидеть, разобрав механическую компьютерную мышь (с шариком).

Схема подключения датчика к микроконтроллеру показана на рис. 79.

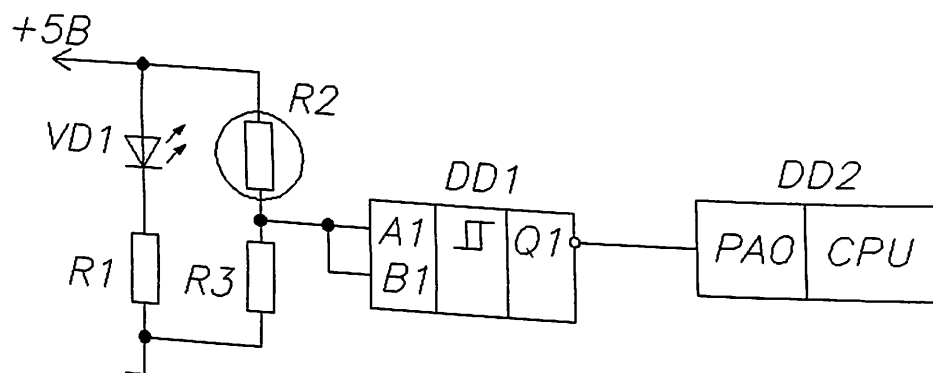


Рис. 79. Подключение инкрементного датчика к микроконтроллеру

Излучатель оптопары – светодиод $VD1$, включенный через резистор $R1$, приемник – фоторезистор $R2$, включенный по схеме делителя напряжения с резистором $R3$. Пока фоторезистор не освещен, его темновое сопротивление достаточно велико, чтобы сигнал на входе триггера Шмитта $DD1$ был ниже порога срабатывания. При попадании на фоторезистор света его сопротивление резко падает, и на вход триггера Шмитта поступает импульс, который с выхода триггера попадает на вход микроконтроллера. Триггер выступает в роли формирователя, который из «некрасивого» входного импульса делает аккуратный цифровой с переходом сначала из высокого уровня в низкий, а затем наоборот.

Инкрементный датчик может использоваться только при постоянном направлении вращения диска. В случае реверса, например, в той же компьютерной «мышь», микроконтроллер продолжит увеличивать угол поворота, в то время как тот уменьшается. В таких случаях используют инкрементные датчики, распознающие направление вращения. Один из вариантов (примером снова является компьютерная «мышь») – с дифференциальным фотоприемником. Схема подключения показана на рис. 80.

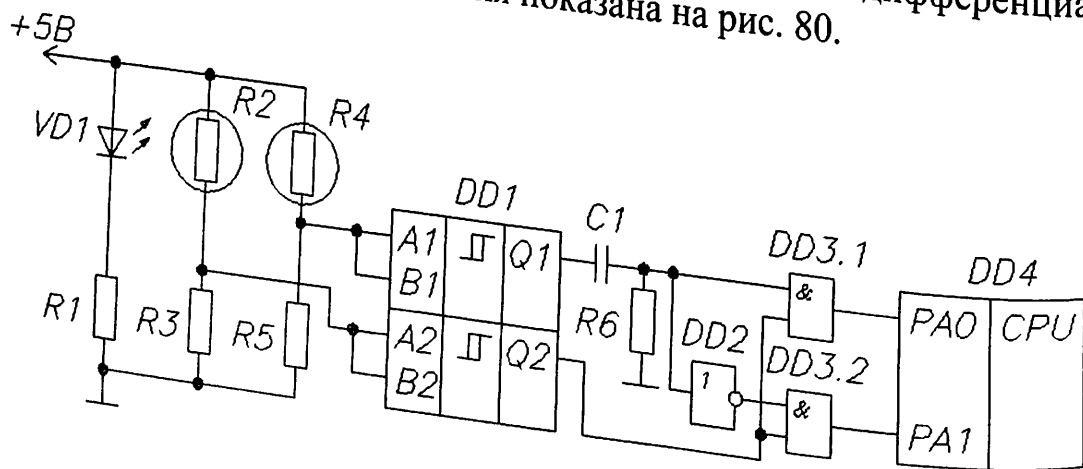


Рис. 80

Чтобы разобраться, как происходит определение направления вращения, рассмотрим диаграмму на рис. 81 [7]. Предположим, что при вращении по часовой стрелке (*CW, clockwise*) сначала появляется импульс на выходе триггера Шмитта $Q1$, затем на выходе $Q2$. Сигнал с выхода $Q1$ проходит через дифференцирующую цепь $R6C1$ ($Q1-RC$ на рисунке), затем разветвляется на два сигнала, один из которых проходит через элемент НЕ $DD2$. Полученные таким образом два сигнала умножаются на сигнал с выхода $Q2$. В результате на входе $PA0$ импульсы отсутствуют, на входе $PA1$ будут импульсы положительной полярности. При вращении диска против часовой стрелки (*CCW, counter-clockwise*) импульсы появятся на выходе $PA0$. Таким образом, микроконтроллер, складывая или вычитая импульсы, может постоянно отслеживать позицию диска.

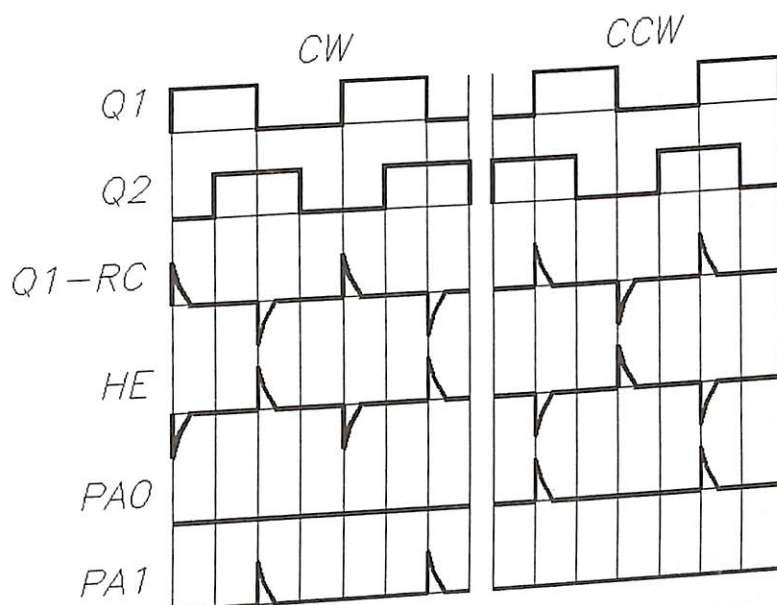


Рис. 81

В другом варианте аналогичного датчика на прозрачный стеклянный диск наносят два ряда непрозрачных штрихов, один из которых смещен относительно другого. Каждый ряд считывается своим фотоприемником. Для определения направления вращения может использоваться такая же схема, как на рис. 80. В некоторых микроконтроллерах, например 8XC196МС, предусмотрен режим квадратурного счета встроенного счетчика, то есть выходы фотоприемников подключаются к соответствующим входам микроконтроллера.

Рассмотренные импульсные датчики позволяют измерять только относительное угловое перемещение (кстати, они могут использоваться и для измерения линейных перемещений). После выключения питания результат измерения обнуляется. При использовании кодового датчика можно отслеживать абсолютную позицию объекта. Он представляет собой диск с прозрачными и затемненными участками, расположенными на дорожках, количество которых равно количеству разрядов кода. Напротив каждой дорожки установлен фотоприемник. Все фотоприемники работают с одним источником света. Сигналы с выходов фотоприемников через триггеры Шмитта подаются на входы микроконтроллера. Обычно используется код Грея.

При статических измерениях некоторых величин возможно подключение резистивных преобразователей к микроконтроллеру без использования АЦП. В этом случае сопротивление датчика преобразуется в длительность импульса, которая измеряется микроконтроллером (используется встроенный в него таймер). Для преобразования в длительность датчик в комбинации с конденсатором подключают к таймеру или одновибратору. На рис. 82 показан пример схемы на одновибраторе K155АГ1.

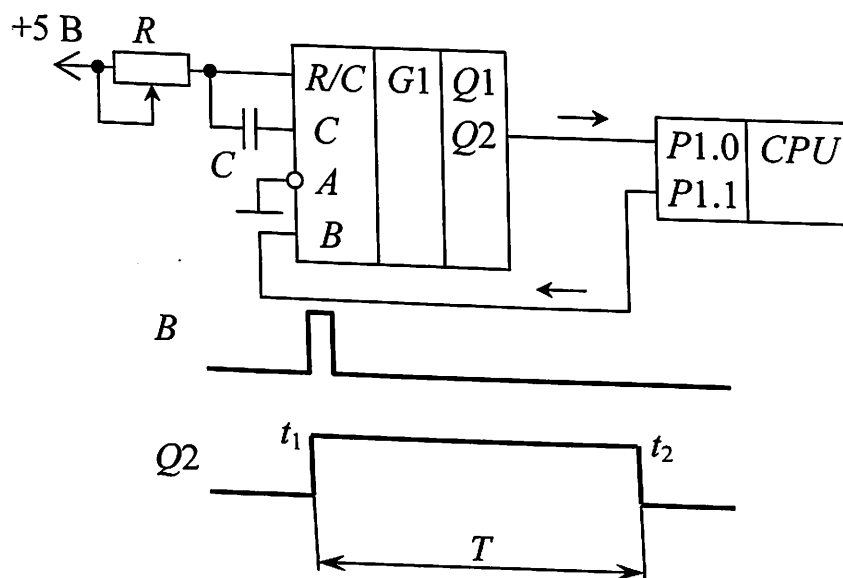


Рис. 82

Одновибратор запускается импульсом, подаваемым на вход B . В этот момент микроконтроллер делает первый отсчет времени t_1 . Затем микроконтроллер опрашивает линию $P1.0$ до появления на ней сигнала «0». В этот момент делается второй отсчет времени t_2 . Далее вычисляется длительность импульса $T = t_1 - t_2$, по которой рассчитывается сопротивление $R = T/(0,7C)$ и измеряемая величина.

Для одновибратора K155АГ1 величина подключаемого сопротивления может изменяться в пределах 2...40 кОм, емкости – 10 пФ...10 мкФ. Максимальная длительность импульса при этом $T = 40 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,4$ с. При такой длительности цикла опроса датчика (время выполнения программы микроконтроллером будет намного меньше и им можно пренебречь) частота дискретизации входного сигнала составит 2,5 Гц. Это значит, что такой способ пригоден преимущественно для статических измерений. Обычно его используют для измерения температуры терморезисторами, освещенности фоторезисторами, линейных и угловых перемещений реостатными датчиками.

Датчики, имеющие выходной сигнал в виде постоянного напряжения (например, термопары), при статических измерениях можно подключать к микроконтроллеру без АЦП с помощью преобразования напряжения в длительность импульса. Принцип преобразования показан на рис. 83.

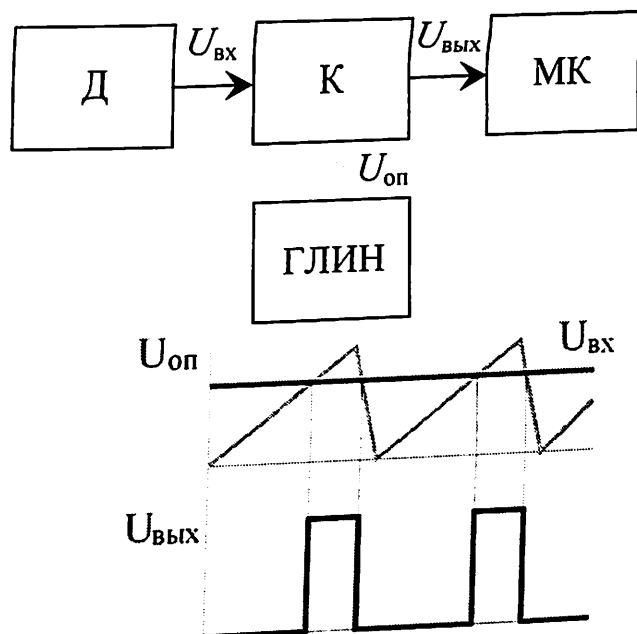


Рис. 83

Сигнал $U_{вх}$ от датчика Д поступает на вход компаратора К. На второй вход компаратора подается опорное напряжение пилообразной формы $U_{оп}$ от генератора линейно изменяющегося напряжения ГЛИН. В момент, когда опорное напряжение превышает входное, на выходе компаратора появляется импульс $U_{вых}$, длительность которого обратно пропорциональна величине $U_{вх}$. Длительность импульса измеряется микроконтроллером и пересчитывается в единицы измеряемой величины.

Пример такой схемы показан на рис. 84 (схема взята с сайта svv.on.ufanet.ru).

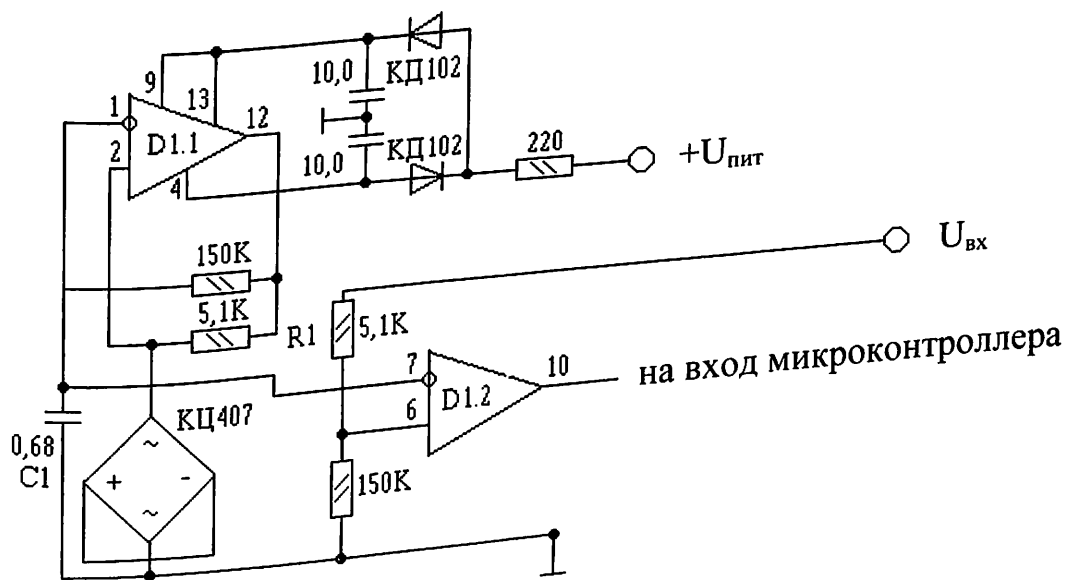


Рис. 84

Устройство предназначено для измерения сигналов постоянного напряжения в диапазоне до 1 В. По качеству работы примерно соответствует 10-разрядному АЦП.

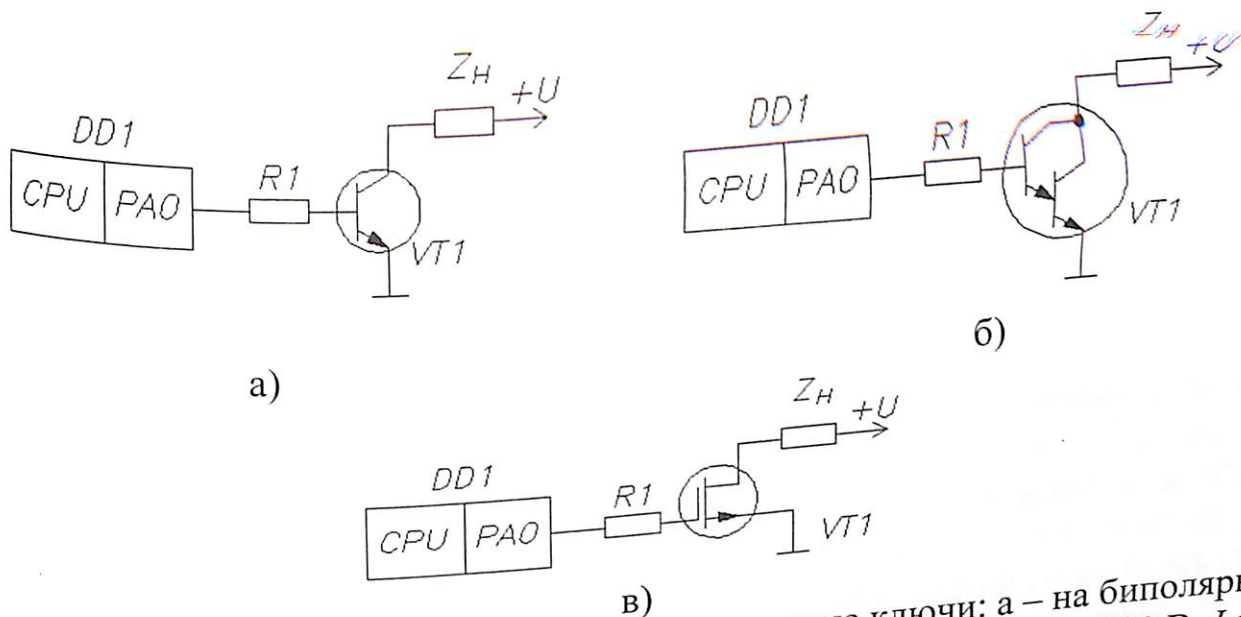


Рис. 86. Подключение нагрузки через транзисторные ключи: а – на биполярном транзисторе ($U \leq 30$ В, $I \leq 0,5$ А); б – на составном транзисторе ($U \leq 100$ В, $I \leq 10$ А и более); в – на МОП-транзисторе ($U \leq 100$ В, $I \leq 10$ А и более)

Резистор $R1$ служит для задания требуемого тока базы транзистора. Его величина выбирается следующим образом. Если нагрузка потребляет ток I_n , а выходной ток схемы управления (порта контроллера) $I_{\text{вых}}$, то требуемый коэффициент усиления транзистора по току

$$h_{21\Omega} = I_{\text{вых}} / I_n.$$

По полученному коэффициенту усиления, току коллектора и напряжению питания нагрузки (U на рис. 86 – напряжение между коллектором и эмиттером) выбирается транзистор. Затем с учетом падения напряжения на базовом переходе транзистора $U_6 = 0,7$ В определяется $R1$:

$$R1 = (U_1 - U_6) / I_{\text{вых}},$$

где U_1 – напряжение, соответствующее логической единице на управляющем выходе контроллера, обычно 2,4...5 В.

Например, требуется коммутировать от порта микроконтроллера ($I_{\text{вых}} = 5$ мА) нагрузку в виде реле РЭС-9 с напряжением питания катушки $U_{\text{пит}} = 12$ В и потребляемым током $I_n = 80$ мА. Требуемый коэффициент усиления транзистора

$$h_{21\Omega} = 80 / 5 = 16.$$

В данном случае подходит практически любой маломощный транзистор, например КТ315. Значение токоограничивающего резистора:

$$R1 = (2,4 - 0,7) / 0,005 = 340 \text{ Ом}.$$

Ближайшее большее стандартное значение 470 Ом, что и выбираем.

3. $U \leq 1000$ В, $I \leq 100$ А

Нагрузка подключается через тиристор, управляемый сигналом с выхода транзисторного усилителя (рис. 87).

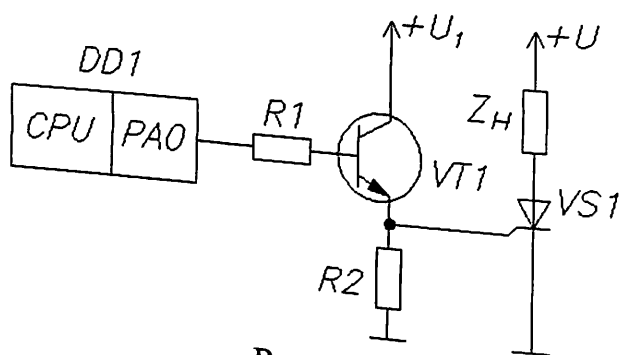


Рис. 87

Такая схема может использоваться и в цепях переменного тока, однако, следует учитывать, что при отсутствии прямого напряжения (при переходе переменного тока через ноль) тиристор закрывается, и его снова нужно открыть импульсом на управляющем выводе. Поэтому дополнительно потребуется «датчик нуля», срабатывающий при нулевом значении переменного напряжения. Для своих контроллеров AVR фирма *Atmel* рекомендует программный датчик нуля (рис. 88).

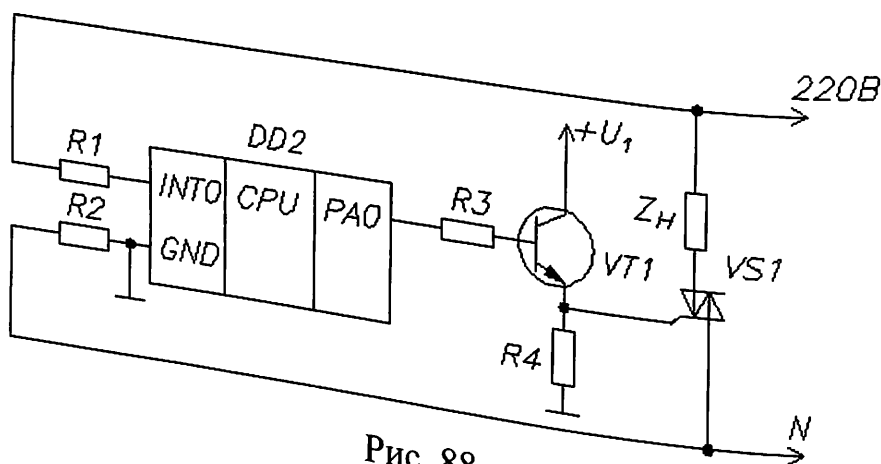


Рис. 88

Здесь используется работа по прерываниям (см. далее в главе «Прерывания»). Сигнал от сетевого питания через резисторы $R1$ и $R2$ с большим сопротивлением (1 МОм) поступает на вход $INT0$ и дает сигнал контроллеру о переходе напряжения через ноль. **ВНИМАНИЕ! В ЭТОЙ СХЕМЕ НОЛЬ И ФАЗУ СЕТЕВОГО НАПЯЖЕНИЯ НЕЛЬЗЯ МЕНЯТЬ МЕСТАМИ!**

4. Коммутация любой нагрузки с гальванической развязкой. С помощью реле можно коммутировать нагрузку с напряжением до 250 В и током до 1 А. С помощью реле можно коммутировать нагрузку с напряжением до 250 В и током до 1 А. С помощью реле можно коммутировать нагрузку с напряжением до 250 В и током до 1 А.

4. Коммутация любой нагрузки с гальванической развязкой между цепями питания и управления может осуществляться с использованием реле и оптопар. С помощью реле можно управлять нагрузкой, питаемой также и переменным током. Схема с использованием электромагнитного реле показана на рис. 89.

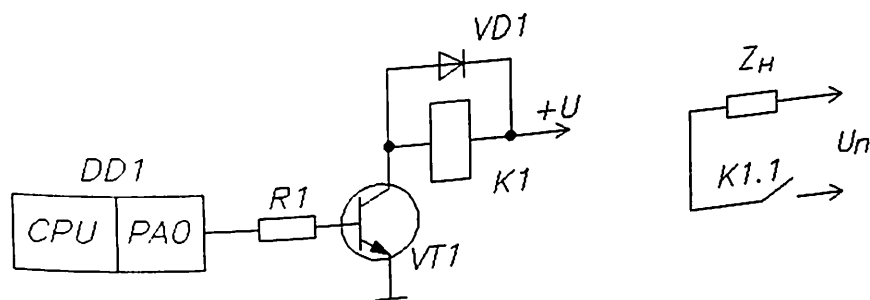


Рис. 89

Включение нагрузки производится в два этапа. Сначала командой от микроконтроллера включается транзисторный ключ $VT1$, который подключает к отдельному источнику питания катушку реле $K1$. Реле срабатывает и замыкает нормально открытый контакт $K1.1$, который находится в силовой цепи нагрузки. Параллельно катушке реле в обратном по отношению к источнику питания направлении включен диод $VD1$, который предназначен для закорачивания на себя возникающей в катушке реле ЭДС самоиндукции. Таким образом, транзистор защищается от обратного напряжения самоиндукции.

Таким способом управляют различными видами нагрузки постоянного и переменного тока, требующими только включения-выключения – нагревательными элементами, двигателями, осветительными устройствами.

Оптопары также позволяют развязать силовые цепи и слаботочные цепи управления (это делается для защиты цифровой схемы от помех и бросков напряжения, возникающих в силовой части системы). Схема с использованием оптопар на транзисторе показана на рис. 90.

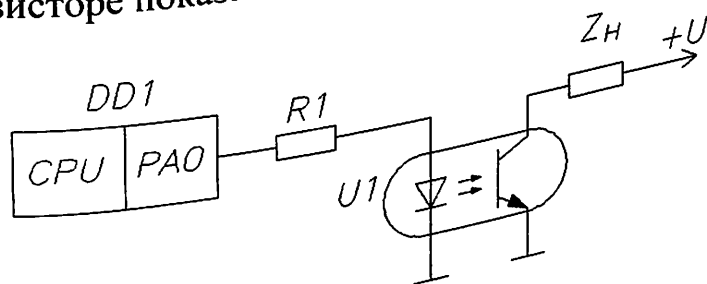


Рис. 90

Оптопары на транзисторах обеспечивают питание нагрузки напряжением до 40 В и током до 160 мА (бывает и больше, при разработке схемы требуется подбирать элементы по паспортным данным). Используются также оптореле на тиристорах, которые позволяют коммутировать нагрузку в цепях переменного тока.

На рис. 91 показан пример схемы управления нагрузкой переменного тока на симисторе с гальванической развязкой, осуществляемой с помощью оптопары [3].

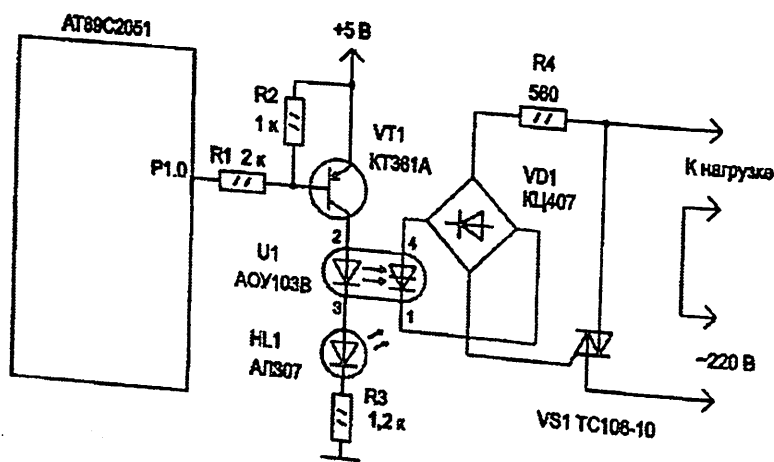


Рис. 91

Чтобы каждый раз после перехода питающего напряжения через ноль заново открывать симистор сигнал с выхода микроконтроллера имеет вид коротких импульсов с частотой на порядок или более выше сетевой частоты. Теперь рассмотрим некоторые примеры подключения устройств индикации и электродвигателей.

Устройства индикации

Самый распространенный элемент индикации в системах на микроконтроллерах это, конечно, светодиод. Его подключение к цифровой схеме уже рассмотрено в главе «Язык цифровых схем».

Другие сигнальные элементы (лампы, звонки и т. п.) коммутируют в зависимости от потребляемого питания, как показано выше.

Сегментный цифровой индикатор (см. гл. «Язык цифровых схем») подключают, как показано на рис. 92 (схема с общим анодом) [3], если выходной ток портов микроконтроллера достаточен для зажигания сегментов индикатора.

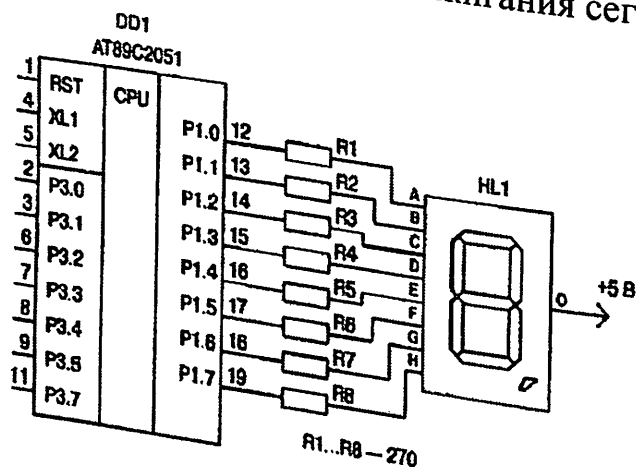


Рис. 92

Комбинация зажигаемых сегментов, конечно же, не соответствует двоичному представлению отображаемой цифры (табл. 2). Единственное исключение — цифра 7.

Табл. 2.

Отображаемая цифра	Двоичное представление	Комбинация для зажигания сегментов	Комбинация в десятичном представлении
0	00000000	00111111	63
1	00000001	00000110	6
2	00000010	01011011	91
3	00000011	01001111	79
4	00000100	01100110	102
5	00000101	01101101	109
6	00000110	01111101	125
7	00000111	00000111	7
8	00001000	01111111	127
9	00001001	01101111	111

Если для отображения информации одного индикатора недостаточно, требуется подключать несколько. В этом случае для каждого индикатора потребуется восемь линий ввода-вывода, поэтому используют режим динамической индикации. Все индикаторы подключаются параллельно к одному и тому же порту микроконтроллера, но питание (и соответственно комбинация зажигаемых сегментов) подается на них по очереди. В каждый момент времени горит только один индикатор, но при достаточно высокой частоте переключения человеческий глаз воспринимает мерцание индикаторов как непрерывное свечение. Для этого частота переключения должна быть не менее 48 Гц. Схема подключения четырех индикаторов в режиме динамической индикации показана на рис. 93 [3].

Здесь индикаторы *HL1* – *HL4* подключены параллельно к порту *P1* микроконтроллера через резисторы *R1* – *R8*. Включение индикаторов осуществляется транзисторными ключами *VT1* – *VT4* по сигналам с выходов микроконтроллера *P3.0* и *P3.1*. Для управления четырьмя индикаторами с помощью двух линий сигналы на транзисторные ключи поступают через дешифратор *DD2*.

Управление жидкокристаллическими индикаторами осуществляется аналогично с учетом того, что они потребляют микроскопический ток, измеряемый наноамперами. В связи с этим на схеме на рис. 93 не потребуются резисторы *R1* – *R8* и транзисторные ключи *VT1* – *VT4*. Выводы *O* индикаторов будут подсоединены непосредственно к линиям *Q0* – *Q3* дешифратора.

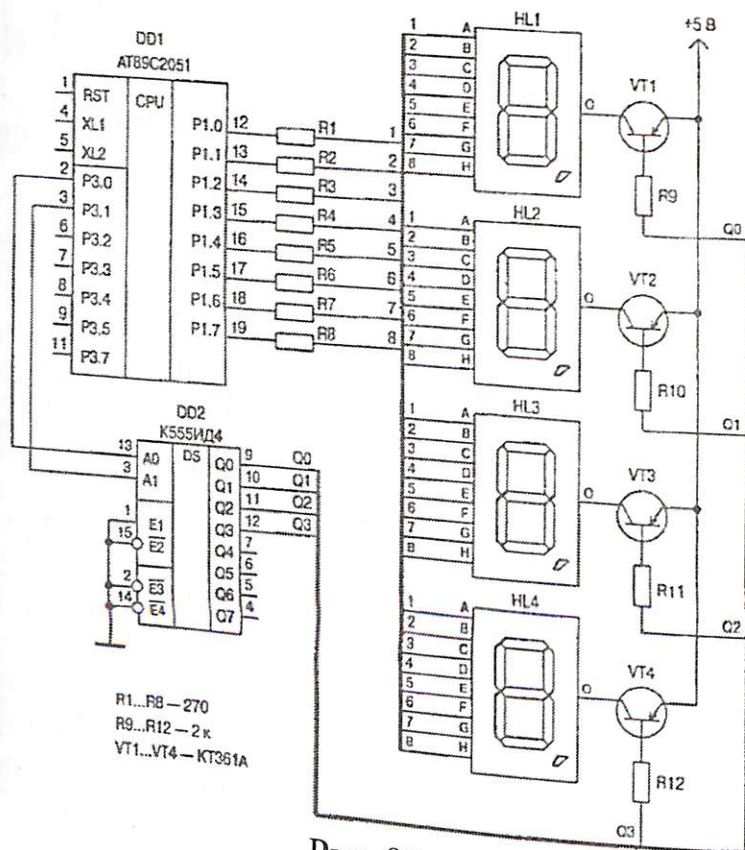


Рис. 93

Сегментные или мозаичные многоразрядные индикаторы подключаются к микроконтроллеру относительно просто. В их составе имеется собственный микроконтроллер, данные к которому передаются по параллельному или последовательному интерфейсу. Способы подключения описываются в руководствах пользователя на конкретную модель индикатора. Пример подключения 16-знакового мозаичного ЖКИ DV-16100 производства Data Vision с параллельным интерфейсом показан на рис. 94 [5].

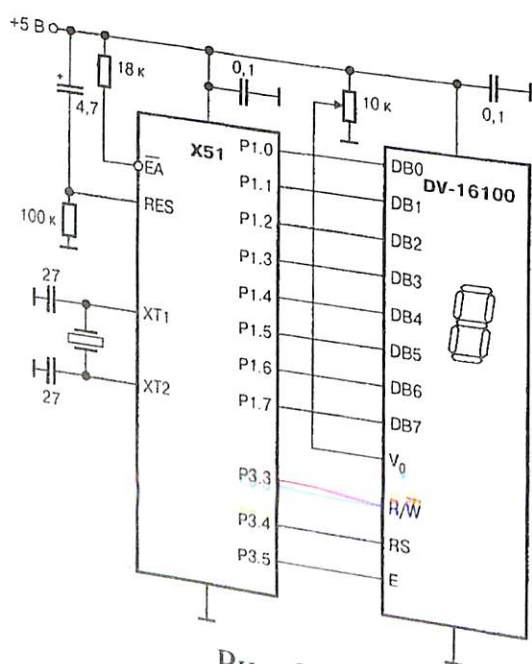


Рис. 94

Электродвигатели

Для управления электродвигателем требуется реализация следующих функций:

- включение и выключение;
- изменение направления вращения (реверс);
- изменение скорости вращения.

Включение и выключение электродвигателя осуществляется подходящей по параметрам питания схемой коммутации из числа уже рассмотренных. Другие функции реализуются в зависимости от типа двигателя.

Двигатели постоянного тока.

Для изменения направления вращения ДПТ требуется изменить полярность питающего напряжения. Обычно это реализуется схемой с четырьмя ключами (рис. 95) [9].

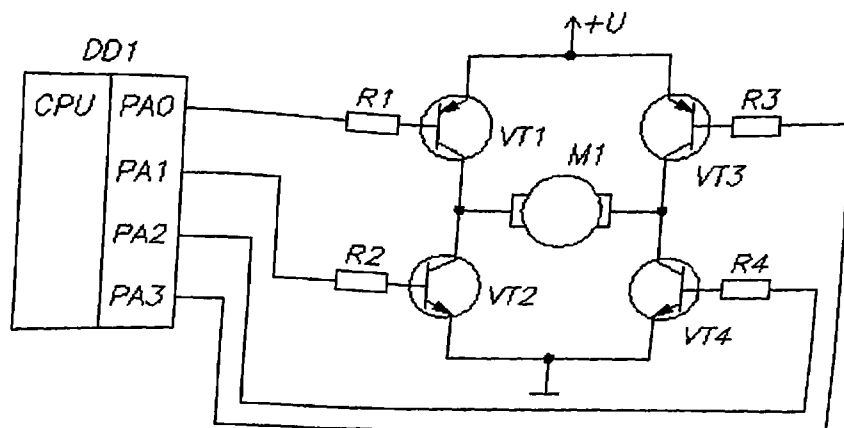


Рис. 95

Из рисунка видно, что при коммутации двигателя ключами $VT1$ и $VT4$ двигатель будет вращаться в одну сторону, ключами $VT2$ и $VT3$ – в другую. Выбор ключей зависит от параметров питания двигателя. Это могут быть не только транзисторные ключи, но и контакты реле. Такую схему называют *H*-мост.

С использованием такой схемы кроме реверсирования можно управлять скоростью вращения двигателя. Регулирование величины питающего напряжения осуществляется с помощью ШИМ (см. гл. «Язык цифровых схем»).

Маломощными двигателями можно управлять с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), как показано на рис. 96 [9].

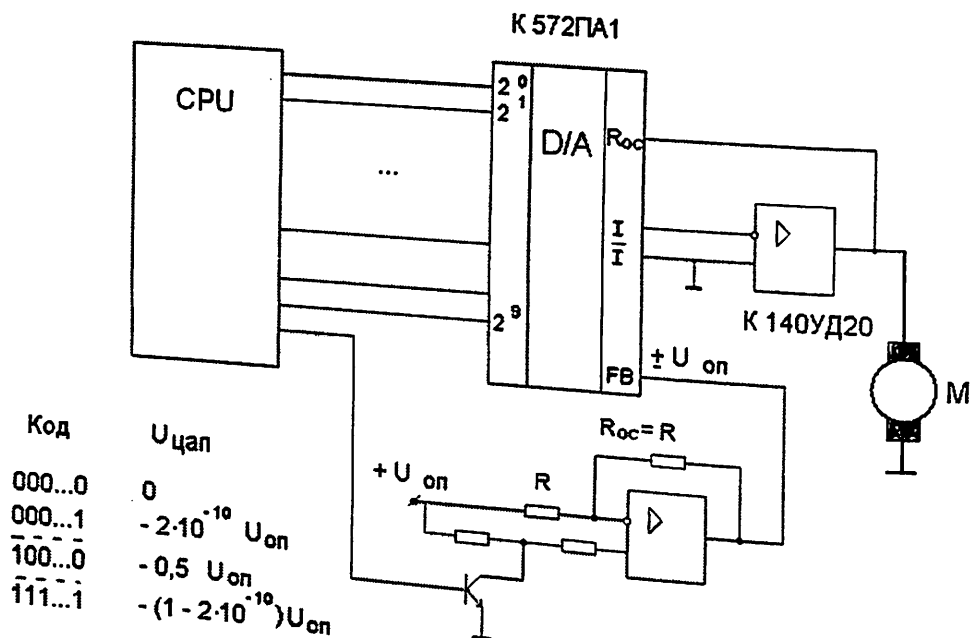


Рис. 96

На рисунке показана схема включения ЦАП с двухквадрантным умножением. Напряжение на выходе $U_{цп}$ зависит от входного кода, а полярность переключается цепочкой на операционном усилителе внизу схемы.

В другом варианте схемы (рис. 97) полярность выходного напряжения также как и величина зависит от входного кода [9].

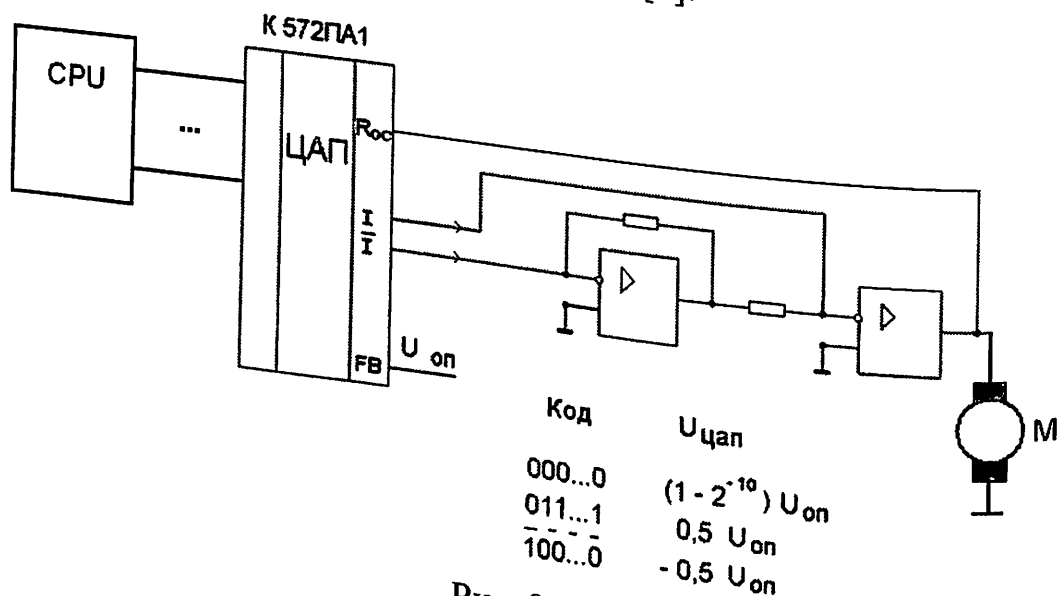


Рис. 97

Однофазные двигатели переменного тока [9]

При управлении от микроконтроллера наиболее удобен амплитудный метод, когда скоростью вращения управляют изменением действующего значения питающего напряжения. На рис. 98 показана схема управления с симисторным ключом. Здесь для регулирования величины действующего напряжения на двигателе используется фазовый метод (см. гл. «Язык цифровых схем»).

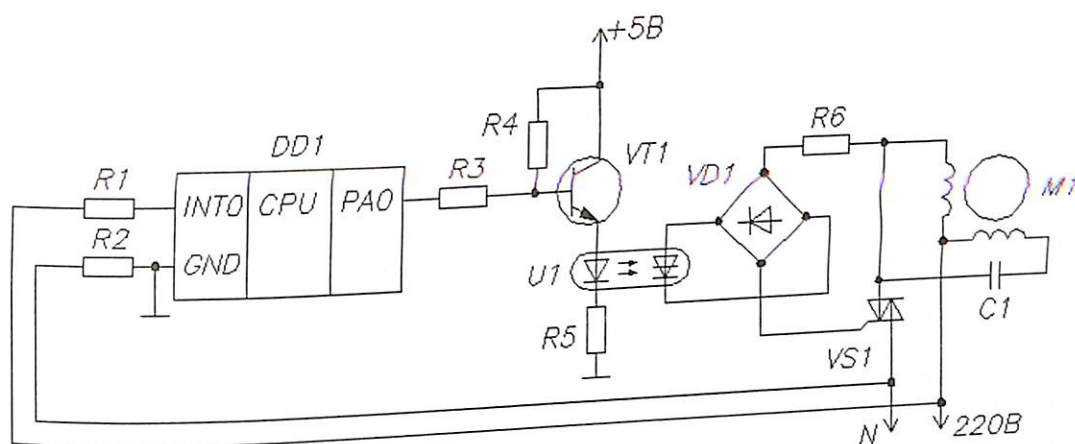


Рис. 98

Схема скомпонована из фрагментов схем на рис. 88 и 91.

Для изменения направления вращения обмотки управления и возбуждения двигателя меняют местами (обмотка возбуждения подключена к сети через фазосдвигающий конденсатор $C1$). Такое переключение может быть реализовано с помощью реле. На досуге попробуйте изобразить такую схему самостоятельно.

Трехфазные двигатели переменного тока [9]

Для регулирования скорости вращения используется изменение частоты питающего напряжения. С этой целью однофазное переменное напряжение выпрямляется и соответствующим образом коммутируется шестью ключами (рис. 99), которые управляются от микроконтроллера.

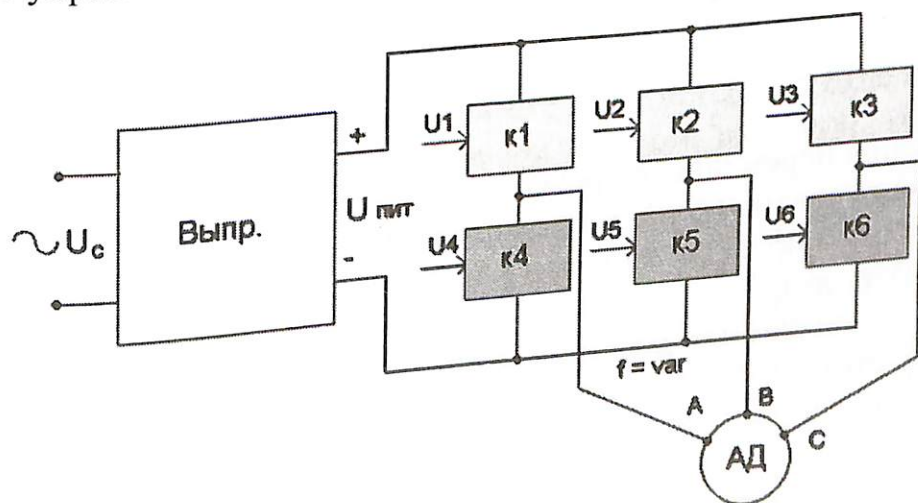


Рис. 99

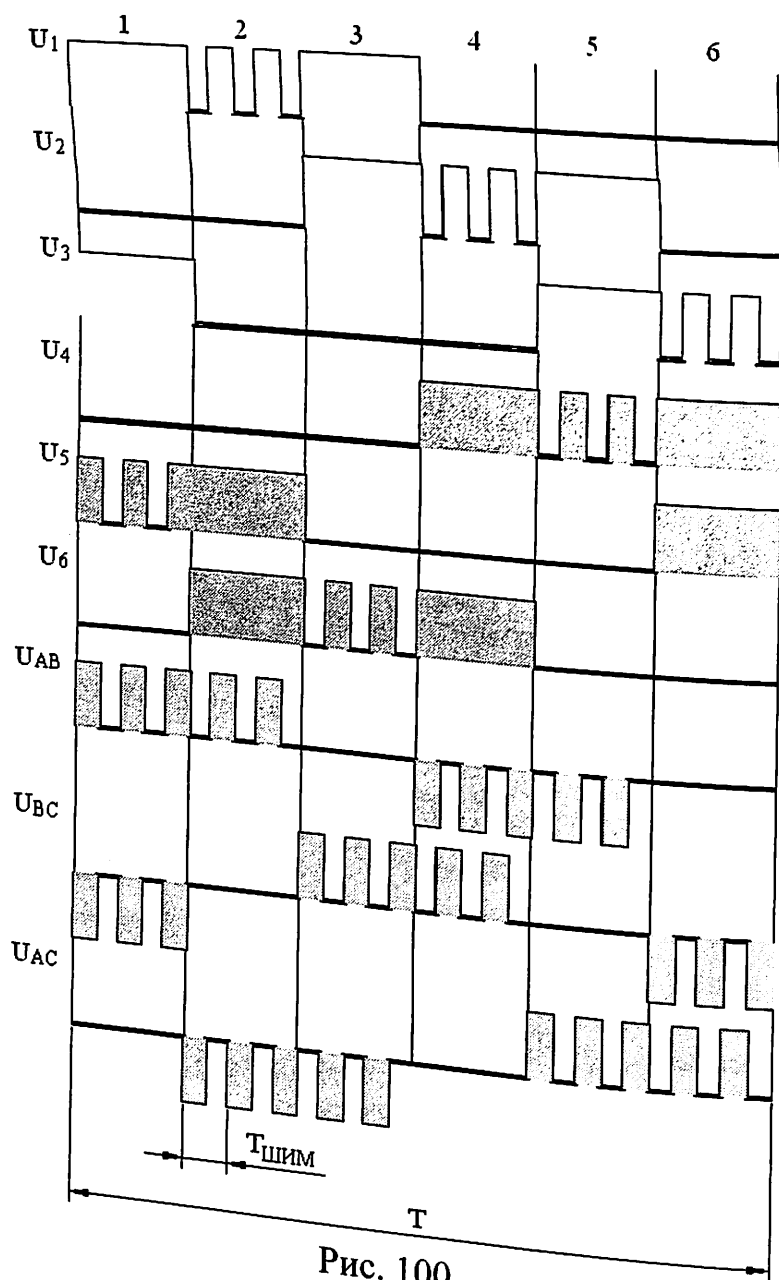


Рис. 100

Для создания переменного трехфазного напряжения весь период питания T делится на шесть тактов (фаз) путем коммутации ключей $K1 - K6$ таким образом, что в каждый такт включены три ключа: один «верхний» ($K1 - K3$, обозначены желтым) и два «нижних» ($K4 - K6$, обозначены зеленым), либо один «нижний» и два «верхних». Для нормальной работы двигателя одновременно с частотой требуется изменять амплитуду питающего напряжения, чтобы их отношение оставалось постоянным. Для изменения амплитуды напряжения в каждый такт на последовательный ключ – «верхний» или «нижний» (тот, который работает один), подается ШИМ задаваемой скважности. Диаграмма напряжений показана на рис. 100.

Алгоритм управления достаточно сложный. На практике для его реализации используют специализированные микроконтроллеры или преобразователи частоты (см. рис. 64).

Шаговые двигатели

Скоростью вращения шаговых двигателей управляют частотой переключения обмоток (частотой тактовых импульсов), направлением вращения – поочередностью переключения обмоток. Используется несколько способов управления шаговыми двигателями:

- непосредственно от микроконтроллера;
- от специального микроконтроллера;
- от микроконтроллера через специальные микросхемы (драйверы).

При управлении непосредственно от микроконтроллера биполярные и униполярные двигатели включаются по разным схемам. У биполярного двигателя в процессе работы требуется изменение полярности питания обмоток, поэтому каждая из них подключается по схеме с четырьмя ключами (H-мост), как показано на рис. 101 [10]. Ключи управляются микроконтроллером по требуемому алгоритму. Всего для одного двигателя потребуется 8 ключей, например, транзисторных или мостовой драйвер в интегральном исполнении, например L293 (KP1128KT3A) и L298 фирмы *SGS-Thomson*.

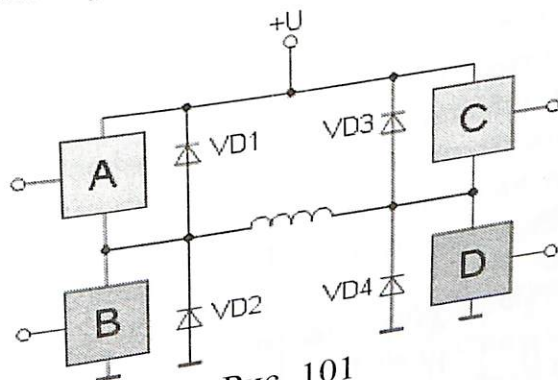


Рис. 101

При управлении униполярным двигателем с четырьмя отдельными обмотками каждая из них коммутируется своим ключом, например транзисторным, как показано на рис. 102 [8].



Рис. 102

Если униполярный двигатель имеет обмотки со средними выводами, их коммутируют, как показано на рис. 103 [10].

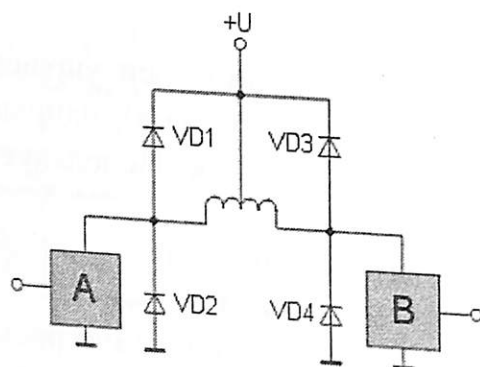


Рис. 103

Такие схемы включения пригодны для реализации разных режимов работы – волнового, шагового и полшагового. Волновой режим наиболее простой, но обеспечивает минимальный крутящий момент и невысокую плавность. В шаговом режиме момент максимальный, в полшаговом повышена плавность работы за счет деления шага в два раза. Последовательность включения обмоток униполярного двигателя для перечисленных режимов приведена в табл. 3 – 5.

Те же режимы, но с меньшей загрузкой микроконтроллера можно реализовать с помощью специальных микросхем, выпускаемых различными фирмами. Пример управления биполярным двигателем с помощью драйвера L297 фирмы SGS-Thomson показан на рис. 104 [10]. Назначение управляющих выводов: *DIRECTION* – направление вращения, *CLOCK* – тактовые импульсы, *HALF/FULL* – полшаговый / шаговый режим, *ENABLE* – включение-выключение.

Табл. 3. Волновой режим

Такты	Фазы			
	1	2	3	4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Табл. 4. Шаговый режим

Такты	Фазы			
	1	2	3	4
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	1

Табл. 5. Полушаговый режим

Такты	Фазы			
	1	2	3	4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

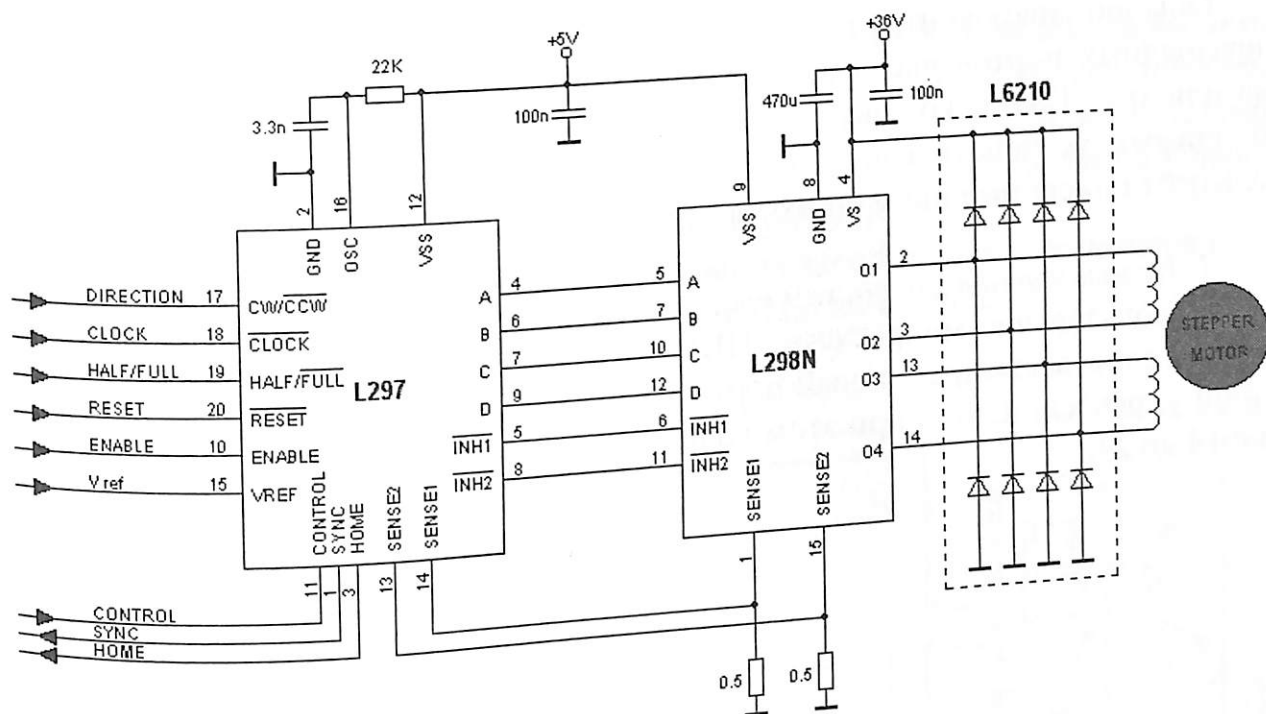


Рис. 104

Некоторые микросхемы предназначены специально для работы в микрошаговом режиме. Примером может служить микросхема A3955 фирмы *Allegro*. Она имеет встроенный 3-битный нелинейный ЦАП для задания изменяющегося по синусоидальному закону тока фазы и позволяет делить шаг на 8 частей.

Иногда для управления шаговыми двигателями используют специальные микроконтроллеры или адаптируют с помощью прошивки специальной программы дешевые модели микроконтроллеров общего назначения. Этот вариант также заслуживает внимания, так как зачастую является наиболее дешевым решением, особенно в системах с несколькими шаговыми приводами. Это позволяет разгрузить основной микроконтроллер, который будет только задавать команды управления двигателями, а алгоритм переключения обмоток будет реализовываться отдельными микроконтроллерами. Пример: использование дешевого микроконтроллера PIC12C508 в качестве драйвера биполярного шагового двигателя, показанное на рис. 105 (автор *Dana Peterson, Peterson Engineering*, США). Входы I0 и I1 служат для задания вида работы (ротор свободно вращается, ротор заторможен, вращение в ту или иную сторону).

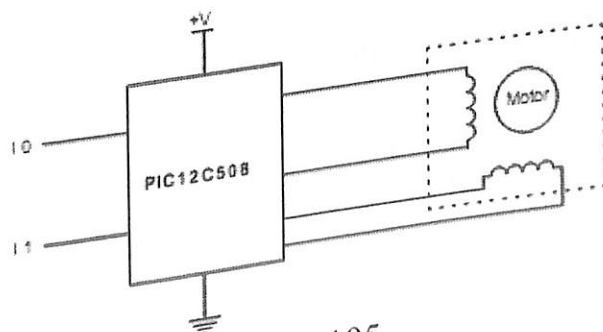


Рис. 105

Обычно микроконтроллер имеет от одного до шести параллельных восьмиразрядных портов ввода-вывода, причем в недорогих ходовых моделях их два или три. Такого количества часто недостаточно для подключения всех необходимых устройств ввода-вывода. Для экономии линий ввода-вывода используют описанные ниже способы.

1. Использование микросхем программируемых параллельных интерфейсов.

Использование микросхемы ППИ КР580ВВ55А (рис. 106) позволяет расширить один восьмиразрядный порт до трех. Для этого потребуется еще шесть линий управления, но и при этом количество линий ввода-вывода увеличивается с 14 до 24.

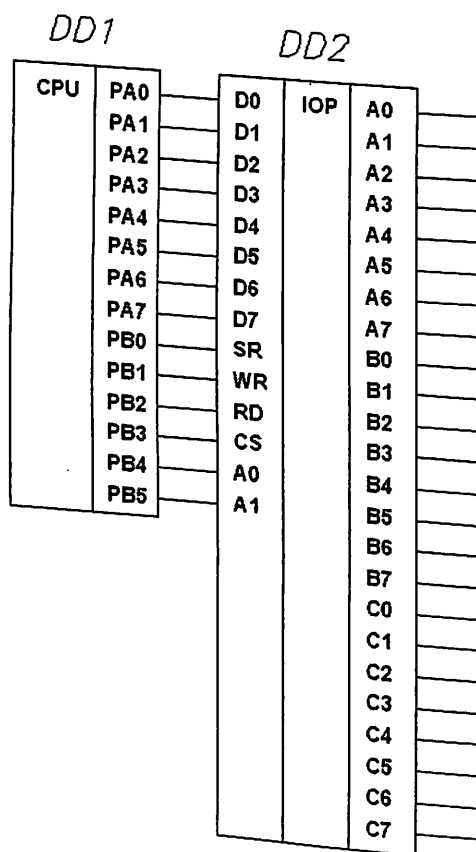


Рис. 106

2. Использование шифраторов и дешифраторов.

На рис. 72 семь клавиш подключены к трем входным линиям микроконтроллера. Таким же способом можно подключать и некоторые другие устройства ввода.

Дешифраторы используют для уменьшения количества линий вывода. Например, на рис. 93 двумя линиями микроконтроллера коммутируются четыре сегментных индикатора.

3. Использование одних и тех же линий как для ввода, так для вывода.

Этот прием обычно используют в схемах с динамической индикацией. Одновременно с индикаторами к тем же линиям микроконтроллера подключают

клавиши, состояние которых опрашивают в промежутках между зажиганием индикаторов. Пример такой схемы показан на рис. 107 [4]. Здесь одновременно с шестью индикаторами подключено шестнадцать клавиш по схеме со сканированием (матрица 8x2). Кроме того, для уменьшения количества линий управления с восьми до трех используется дешифратор DD2.

Диоды VD1 – VD8 нужны для исключения закорачивания сегментов индикаторов при одновременном нажатии двух или более клавиш.

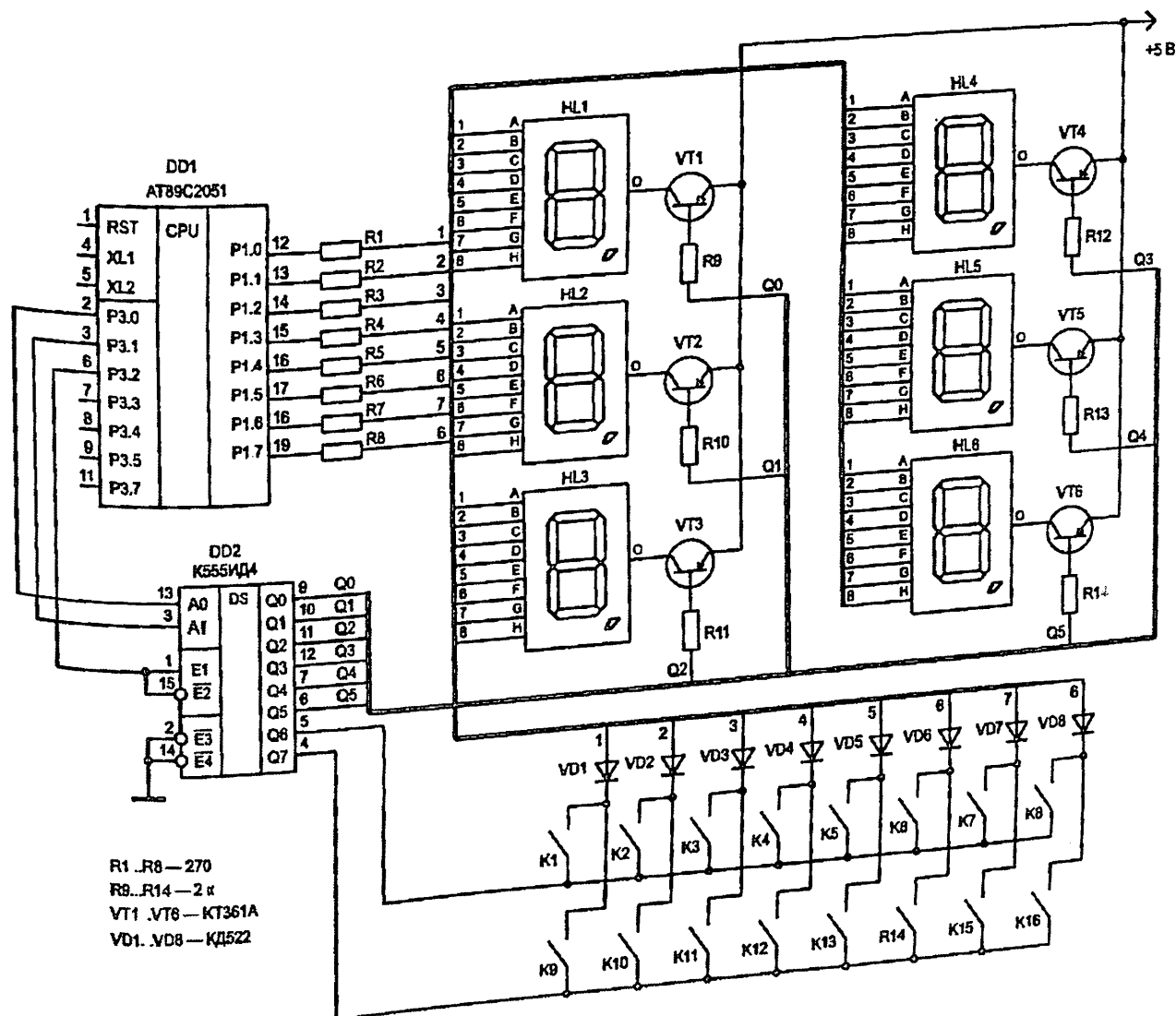


Рис. 107

4. Переход от параллельных интерфейсов к последовательным.

Многие цифровые устройства (датчики, многоразрядные и многострочные индикаторы, драйверы приводов и т. д.) используют последовательные интерфейсы для обмена данными. Это позволяет, хотя и в ущерб скорости, передавать данные с любой разрядностью по одному проводу. Наиболее часто используются следующие интерфейсы. Это будет рассмотрено в следующей главе.

Теперь рассмотрим, как будет выглядеть схема управления установкой на рис. 7 при использовании микроконтроллера (рис. 108).

Силовая часть схемы сохранилась, как на рис. 45, но вместо схемы управления на логических элементах использован микроконтроллер *DD1*, вместо контактных датчиков уровня *SL1* и *SL2* – бесконтактные с открытым коллектором. Источник питания в это раз показан полностью. Он выполнен на основе микросхемы стабилизатора напряжения *DA1*.

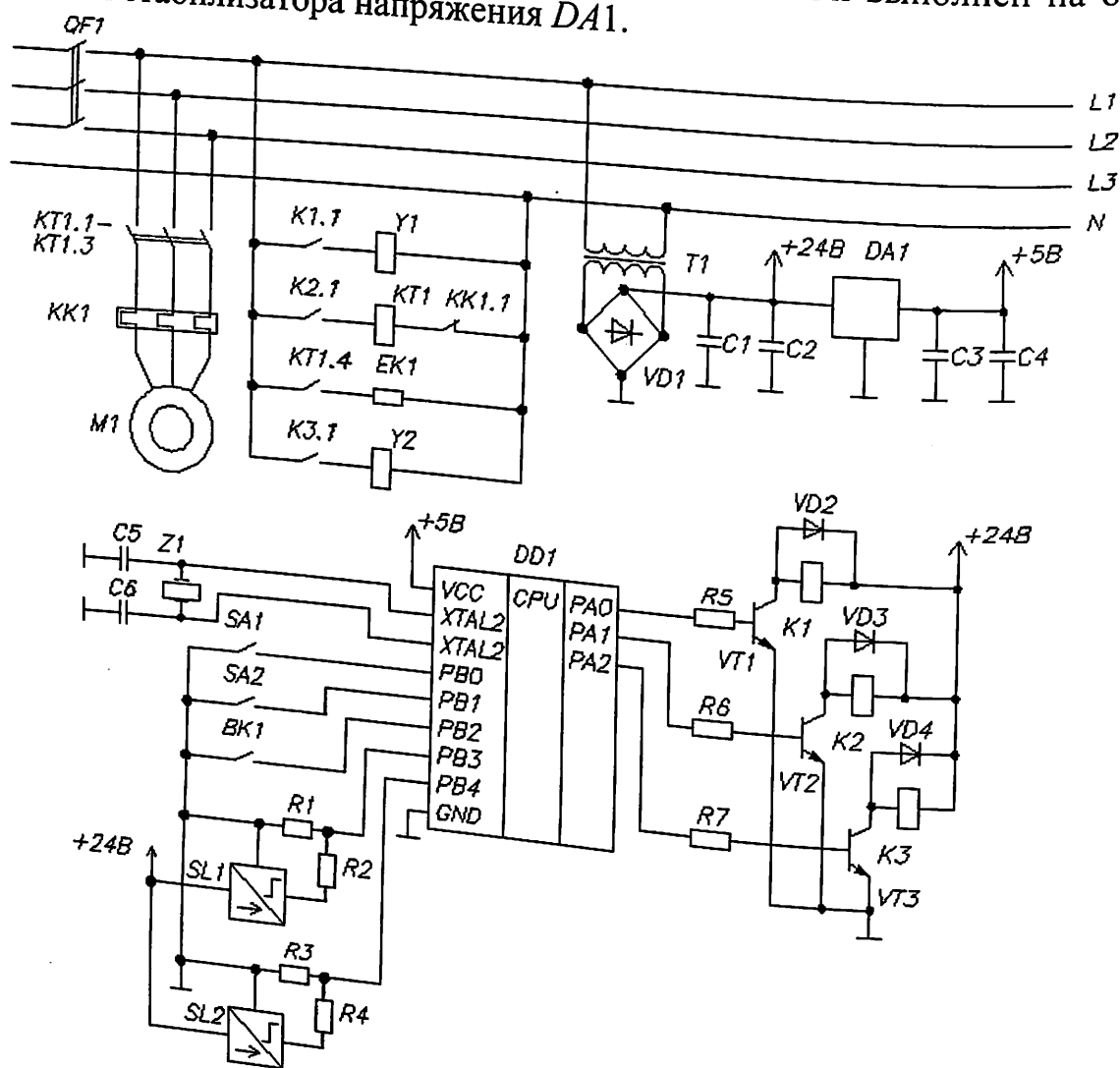


Рис. 108

Персональный компьютер в системе управления

Как вы уже могли убедиться, технологические установки можно успешно автоматизировать с использованием ПЛК, а в некоторых случаях на основе микроконтроллера. Спрашивается, что даст использование компьютера?

Существует два основных варианта использования ПК в системах автоматизации¹¹.

Один вариант – это то, что принято называть *SCADA* (англ. *Supervisory Control And Data Acquisition*, по-русски – диспетчерское управление и сбор данных). Обычно эту аббревиатуру используют как название программного обеспечения для диспетчера, управляющего автоматизированным оборудованием. Однако, где программа, там и компьютер, там и средства связи компьютера с оборудованием. В итоге получается аппаратно-программный комплекс для диспетчерского управления. При этом диспетчер может наблюдать на мониторе за ходом технологического процесса и при необходимости вмешиваться в него, передавая с клавиатуры команды и настроечные параметры. Также на экране и акустически может отображаться аварийная сигнализация, вывод тревожных сообщений, текущие значения параметров, может вестись лог (отчет) о функционировании и т. д.

Если мы хотим преобразовать разработанную на ПЛК установку (рис. 67) в *SCADA*-систему, мы должны связать ее с компьютером. Чаще всего для этого используют двухпроводный интерфейс *RS-485*. Для отображения текущих значений температуры вместо контактного датчика потребуется термопара *BK1*, а срабатывание электротеплового реле должно фиксироваться контроллером как аварийный сигнал. Для этого к одному из дискретных входов подключен контакт реле *KK1.2*. Сигнализация об аварии ПЛК встроена в сам контроллер. Вместо программируемого реле *ПР110* используем *ОВЕН ПЛК150*. Получившаяся схема показана на рис. 109. Компьютер на схеме обозначен *АЗ*. На его экране диспетчер будет видеть изображение, выглядящее примерно как показано на рис. 110. Клапаны, датчики уровня, привод и нагреватель при включении выделяются цветом, возле датчика температуры отображается текущее значение параметра.

¹¹ Здесь мы не рассматриваем использование ПК для программирования и технического обслуживания систем управления.

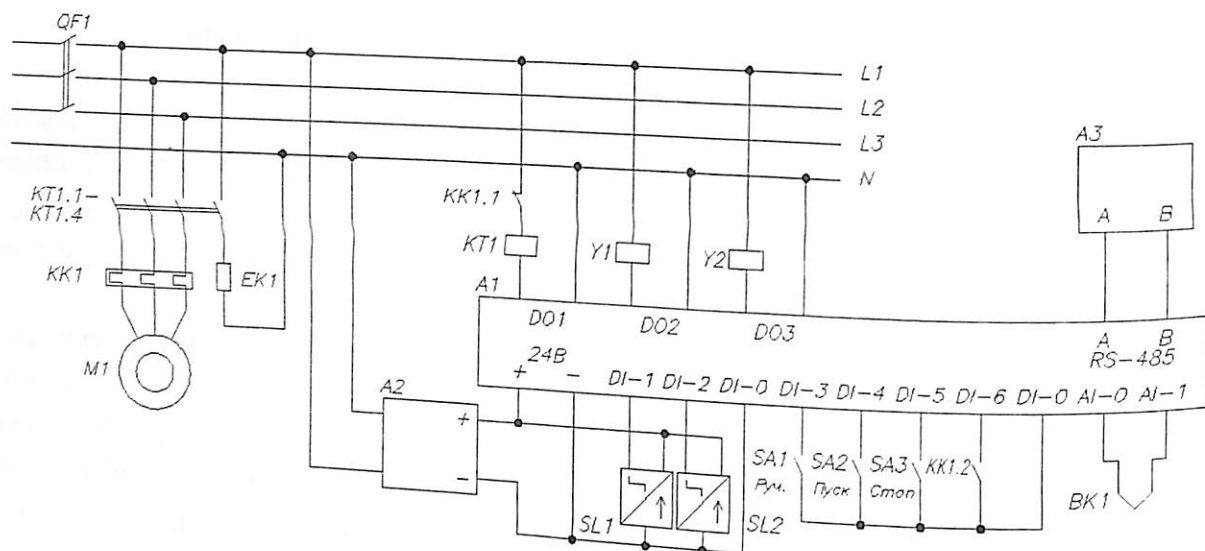


Рис. 109

Установка ПНХ-34

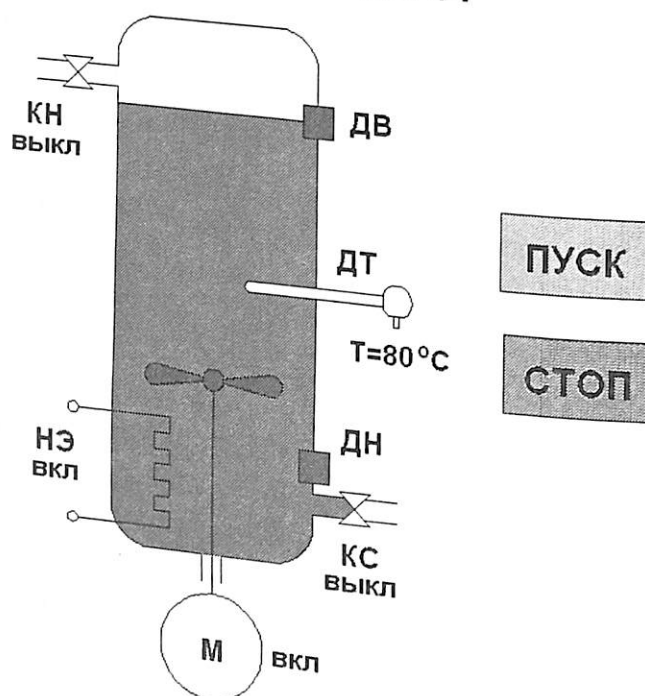


Рис. 110

Получившаяся система хоть и работоспособна, но внедрять ее в производство в таком виде не стоит. Так как SCADA-системы подразумевают удаленное управление процессом, оператор должен быть уверен, что исполнительный элемент действительно сработал, а не просто получил команду. У него просто нет возможности «пойти и посмотреть». То есть в систему нужно ввести квитирование¹² – подтверждение выполнения команды. Кроме того должна быть возможность отдельного включения каждого элемента (напомним, что в нашей системе привод мешалки и нагревательный элемент включаются вместе одним контактором) и работы в ручном режиме как с рабочего места диспетчера так и с пульта непосредственно на установке. Поэтому таблицу ресурсов на с. 48 уточним как показано ниже.

¹² Термин имеет то же происхождение, что и слово «квитанция»

Устройства ввода	Устройства вывода
1. Кнопка «Ручное» <i>SA1</i> Сухой контакт	1. Привод мешалки <i>M1</i> 3-фазный; 380 В; 2,5 кВт контактор <i>KT1</i>
2. Кнопка «Пуск» <i>SA2</i> Сухой контакт	2. Нагревательный элемент <i>EK1</i> 220 В; 2,5 кВт контактор <i>KT2</i>
3. Кнопка «Стоп» <i>SA3</i> Сухой контакт	3. Клапан наполнения <i>Y1</i> 220 В; 100 мА
4. Кнопка «Наполнение» <i>SA4</i> Сухой контакт	4. Клапан слива <i>Y2</i> 220 В; 100 мА
5. Кнопка «Слив» <i>SA5</i> Сухой контакт	
6. Кнопка «Нагрев» <i>SA6</i> Сухой контакт	
7. Кнопка «Перемешивание» <i>SA7</i> Сухой контакт	
8. Датчик уровня нижний <i>SL1</i> 24 В; открытый коллектор <i>NPN</i>	
9. Датчик уровня верхний <i>SL2</i> 24 В; открытый коллектор <i>NPN</i>	
10. Датчик температуры Термопара <i>BK1</i>	
11. Подтверждение включения клапана наполнения – индуктивный датчик положения клапана <i>SL3</i> 24 В; открытый коллектор <i>NPN</i>	
12. Подтверждение включения клапана слива – индуктивный датчик положения клапана <i>SL4</i> 24 В; открытый коллектор <i>NPN</i>	
13. Подтверждение включения контактора нагревателя – сухой контакт в составе контактора (подтверждение начала нагрева – по изменению температуры)	
14. Подтверждение включения контактора привода – сухой контакт в составе контактора	
15. Подтверждение вращения двигателя мешалки – индуктивный датчик с прерывателем на валу привода <i>SL5</i> 24 В; открытый коллектор <i>NPN</i>	

В результате получим, что система управления должна иметь 4 дискретных выхода типа «электромагнитное реле», 9 входов для подключения датчиков с выходом типа «сухой контакт», 5 входов для подключения датчиков с выходом типа «открытый коллектор», 1 аналоговый вход для подключения термопары. В составе ОВЕН ПЛК150 входов недостаточно, поэтому добавим в систему модуль ОВЕН МК110-24.8Д.4Р на 8 дискретных входов и 4 релейных выхода. Модуль имеет интерфейс RS-485.

Система приобретает вид, показанный на рис. 111. Здесь А1 – ПЛК150, А2 – источник питания, А3 – компьютер, А4 – модуль МК110.

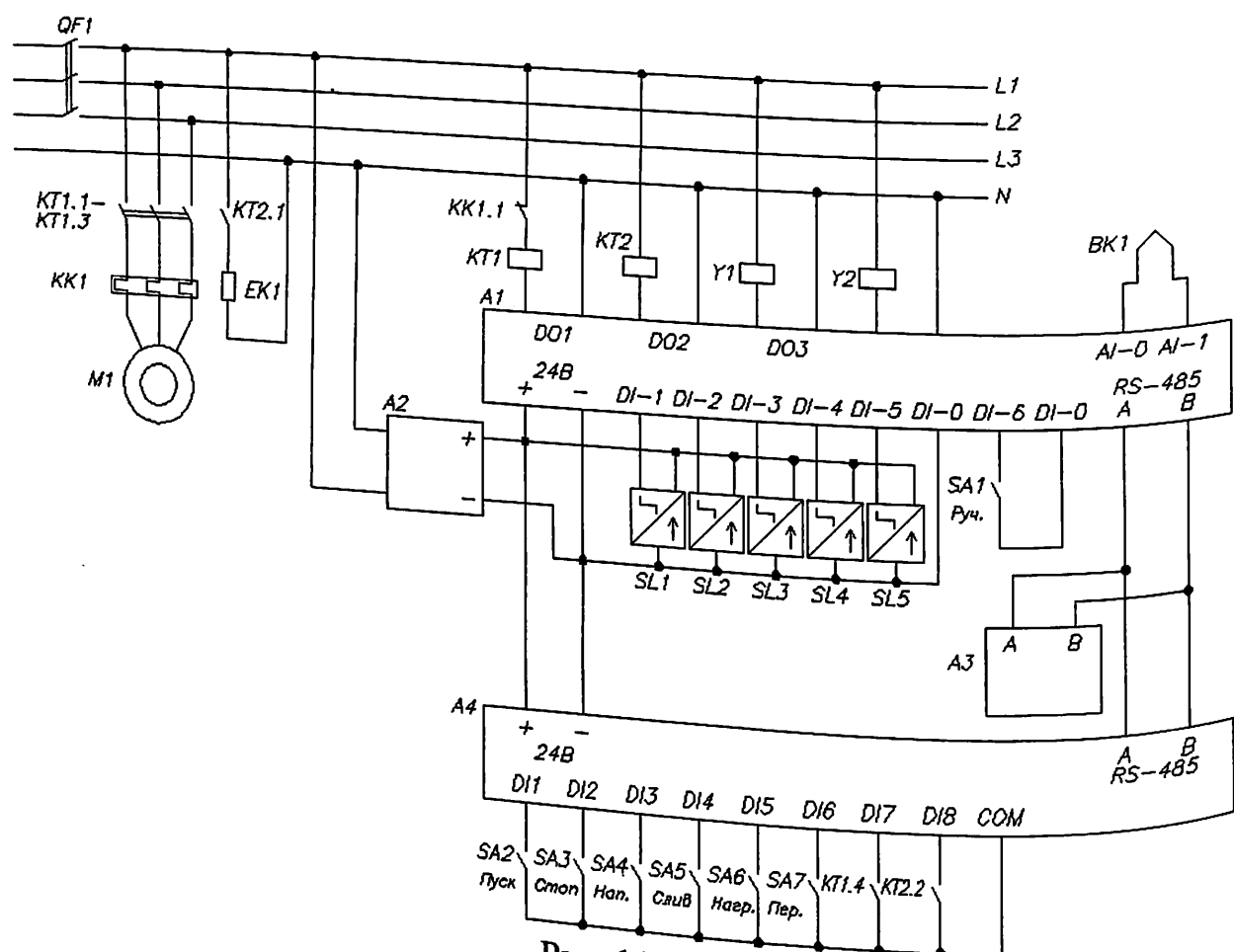


Рис. 111

На подключение контакта электротеплового реле входов уже не остается, но об отключении двигателя можно судить по датчику подтверждения вращения.

На экранный интерфейс оператора добавятся элементы в виде сигнализации и кнопок ручного дистанционного управления (рис. 112).

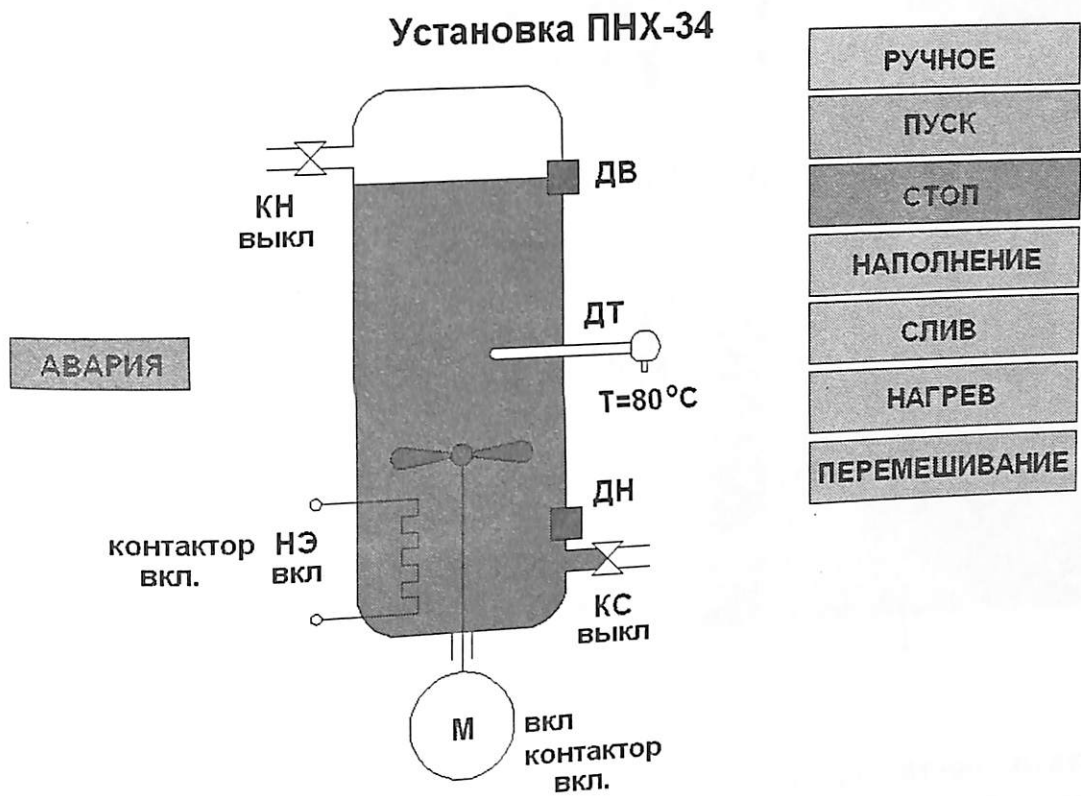


Рис. 112

Компьютер в составе *SCADA*-системы может быть как в «обычном» исполнении, так и в промышленном варианте. Под промышленным компьютером понимается ПК, предназначенный для управления оборудованием. Он, в принципе, может быть абсолютно любым по исполнению, однако значительная часть выполняется либо в специальном защищенном корпусе (рис. 113), либо в корпусе для размещения в стандартной 19-дюймовой стойке (рис. 114).

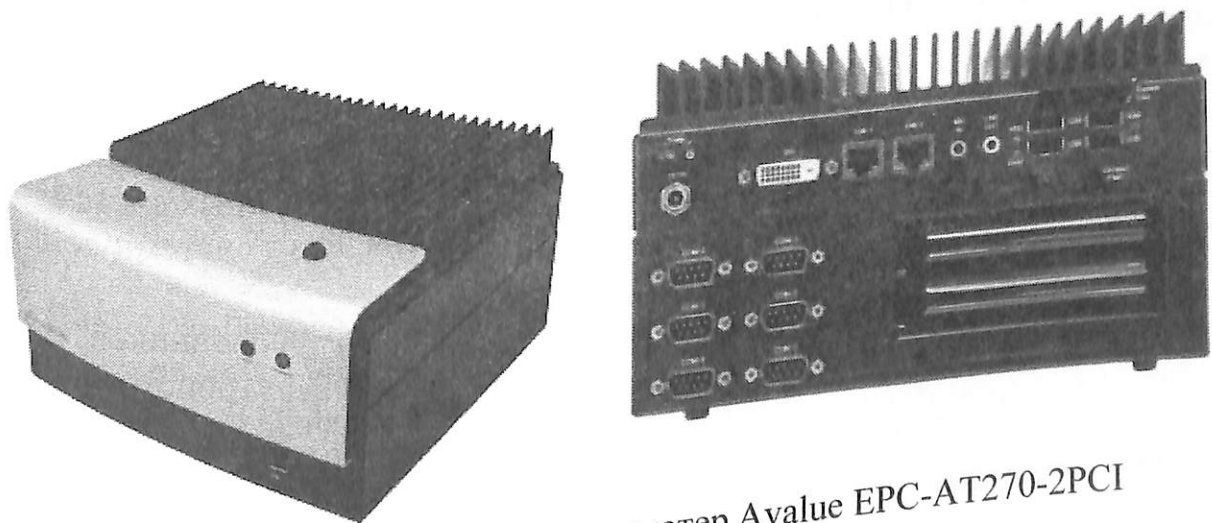


Рис. 113. Промышленный компьютер Avalue EPC-AT270-2PCI

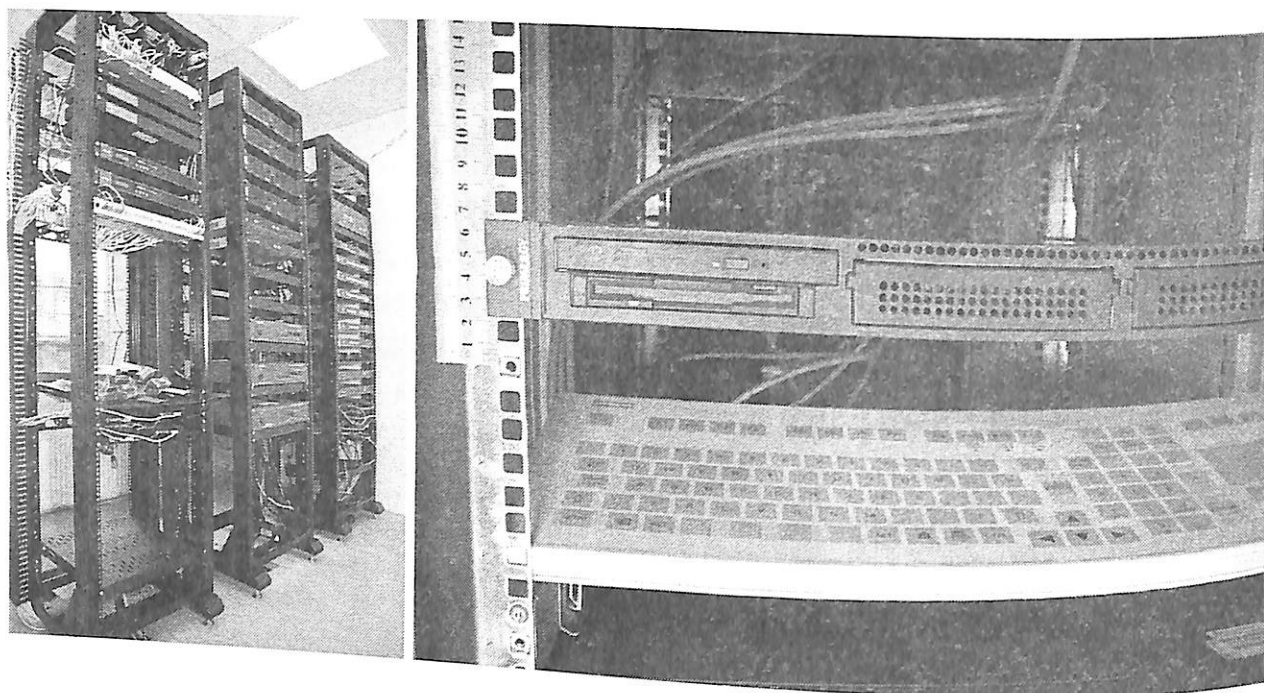


Рис. 114

Кстати, промышленный компьютер в собственном корпусе или в виде встраиваемой системы – это и есть второй вариант применения ПК в системах автоматизации. В отличие от *SCADA*-системы в этом случае ПК работает без непосредственного участия диспетчера, зачастую даже монитор подключается только при техническом обслуживании или программировании. Система по сравнению с ее аналогом на базе ПЛК имеет более высокую производительность, однако, сложность ее намного выше.

Материнские платы для промышленных компьютеров могут иметь различное исполнение (**форм-фактор**). Не станем перечислять все, интересующие могут найти эту информацию самостоятельно, хотя бы в Википедии. Здесь стоит отметить *ATX (Intel)* – стандарт для обычных материнских плат настольных компьютеров; *MicroPC* – стандарт для промышленных *IBM-совместимых* компьютеров, работающих в жестких условиях; *PC/104 PC/104+* – системные платы для промышленных компьютеров и встроенных систем.

Внешние устройства подключаются к таким платам через системную шину *ISA (MicroPC, PC/104)* или *PCI (ATX, PC/104+)*.

Системная шина (*system bus*) или магистраль – набор проводников, по которым осуществляется обмен данными всех подключенных устройств с микропроцессором (рис.115). На рисунке аббревиатурами обозначены:

МП (*CPU, Central Processor Unit*, центральное процессорное устройство) – микропроцессор;

ГТИ – тактовый генератор (генератор тактовых импульсов), формирует периодическую последовательность импульсов для синхронизации выполнения команд микропроцессором;

СК – системный контроллер (контроллер шины), формирует системную шину на основе шины микропроцессора;

ПЗУ (*ROM, Read Only Memory*, память только для чтения) – постоянное запоминающее устройство или память команд, содержит программу работы системы;

ОЗУ (*RAM, Random Access Memory*, память произвольного доступа) – оперативное запоминающее устройство, память данных, предназначено для временного хранения данных, с которыми работает система;

КК – контроллер клавиатуры (К), организует ввод данных с клавиатуры;

КД – контроллер дисплея (Д), организует вывод данных на дисплей;

ПВВ – порт ввода-вывода, осуществляет сопряжение устройств ввода-вывода (УВВ) с системной шиной, может состоять из двух отдельных элементов – порта ввода и порта вывода.

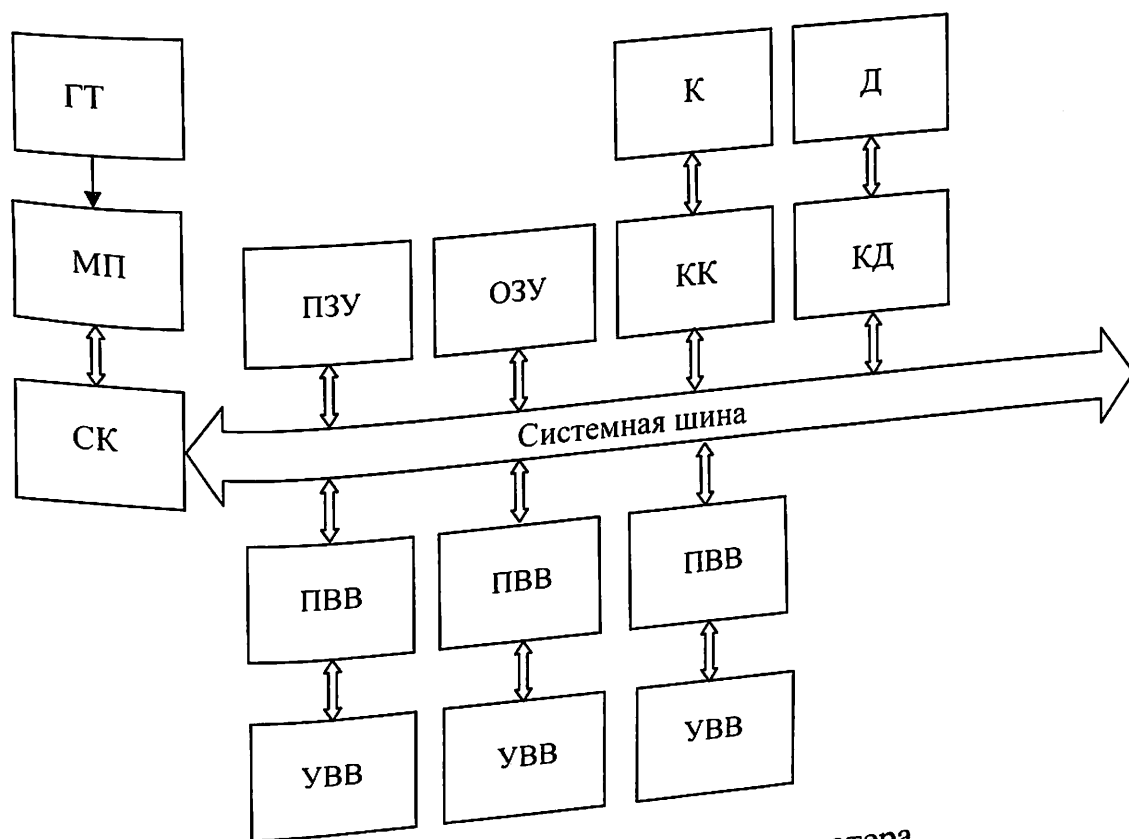


Рис. 115. Структура компьютера

Наиболее распространенный вариант архитектуры системной шины состоит из трех частей – **шины данных (D)**, **шины адреса (A)** и **шины управления (C)**. Каждому устройству, подключенному к шине, соответствует уникальный адрес – двоичная комбинация для обращения к устройству. Количество возможных адресов, а значит и подключаемых устройств равно $2^N - 1$, где N – число разрядов адресной комбинации.

Системные шины могут быть: **параллельными** (данные передаются в параллельном формате, число проводков соответствует числу разрядов двоичной комбинации) и **последовательными** (все разряды двоичной комбинации передаются поочередно по одному проводу). Первые обеспечивают более высокую скорость, вторые требуют меньшего количества проводов, что существенно в распределенных системах;

демультиплексированными (имеются отдельные шины данных, адреса и управления) и мультиплексированными (адрес, данные и сигналы управления передаются поочередно по одним и тем же линиям). Первые обеспечивают более высокую скорость и меньшую сложность подключения устройств ввода-вывода, вторые требуют меньшего количества проводов;

однонаправленные (обеспечивают передачу сигналов только в одном направлении) и двунаправленные (обеспечивают передачу сигналов в двух направлениях). Например, шина адреса однонаправленная, а шины данных и управления двунаправленные.

Разновидность системной шины зависит от используемых микропроцессора и системного контроллера.

Основные характеристики шин:

1) *разрядность* – количество разрядов в двоичной комбинации данных, адреса или количество сигналов управления. Для шины данных обычно кратно восьми битам (1 байту);

2) *тактовая частота* – частота выполнения команд машинного цикла. Задается тактовым генератором или контроллером шины и может быть примерно от 2 МГц до 33 МГц и более;

3) *скорость обмена данными*. Измеряется в бит/с и представляет собой произведение разрядности и тактовой частоты.

Устройство ввода-вывода, подключаемое к системной шине, называют **устройством сопряжения**. Оно имеет в составе операционную часть для выполнения своих основных функций и интерфейсную часть для взаимодействия с компьютером.

Устройство сопряжения через системную шину представляет собой одноплатную конструкцию, которая втыкается одной стороной с так называемым ножевым разъемом в гнездо (слот расширения) на системной плате компьютера (рис. 116). Для этого системный блок, естественно, потребуется вскрыть.

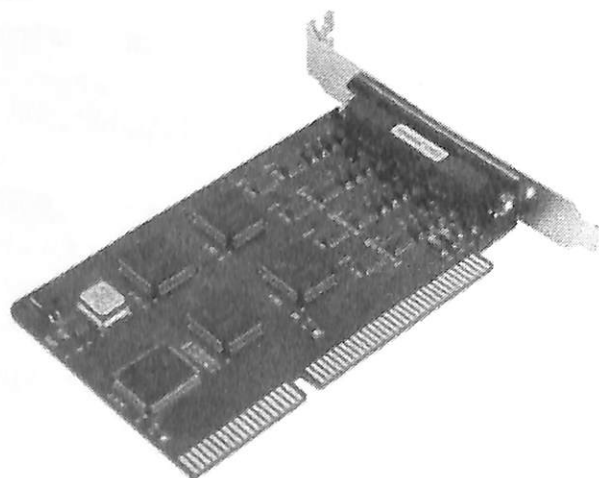


Рис. 116

Шина ISA (*Industry Standard Architecture*): параллельная, демультиплексированная, разрядность шины данных – 8 или 16 бит (8 по стандарту, 16 – расширенный вариант, в котором слот состоит из двух блоков, основного восьмиразрядного и дополнительного); разрядность шины адреса – 24 бит (для уст-

роЙств ввода-вывода используется 10); тактовая частота 8 МГц; скорость обмена данными (произведение разрядности шины данных и тактовой частоты) 16 Мбайт/с¹³.

Шина *PCI* (*Peripheral Component Interconnect*): параллельная, мультиплексированная (совмещены шины адреса, данных и часть шины управления), разрядность шины данных – 32 или 64 бит (64 – расширенный серверный вариант); разрядность шины адреса – 32 бит; тактовая частота 33 МГц; скорость обмена данными (произведение разрядности шины данных и тактовой частоты) 132 Мбайт/с (для 32-разрядной шины).

На рис. 117 показано расположение на системной плате различных слотов расширения [11].

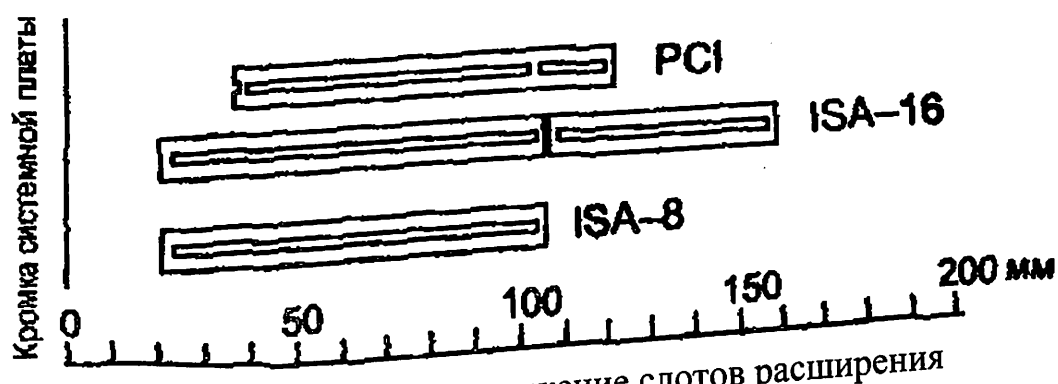


Рис. 117. Вид и расположение слотов расширения

Достоинства интерфейса системной шины:

- 1) высокая скорость обмена;
- 2) отсутствие необходимости в отдельном корпусе и источнике питания (выводы питания 5 и 12 В имеются непосредственно в слоте расширения).

Недостатки:

- 1) низкая помехозащищенность из-за соседства с высокочастотными цифровыми узлами компьютера;
- 2) сложность устройства сопряжения ограничивается размером платы (для шины *ISA* показана на рис. 118, для *PCI* на рис. 119);
- 3) для подключения устройства сопряжения требуется вскрытие системного блока компьютера.

¹³ Значение скорости обмена, полученное таким способом, является теоретически возможным пределом. Реальная скорость будет раза в два ниже из-за системных прерываний, регенерации памяти и других служебных операций.

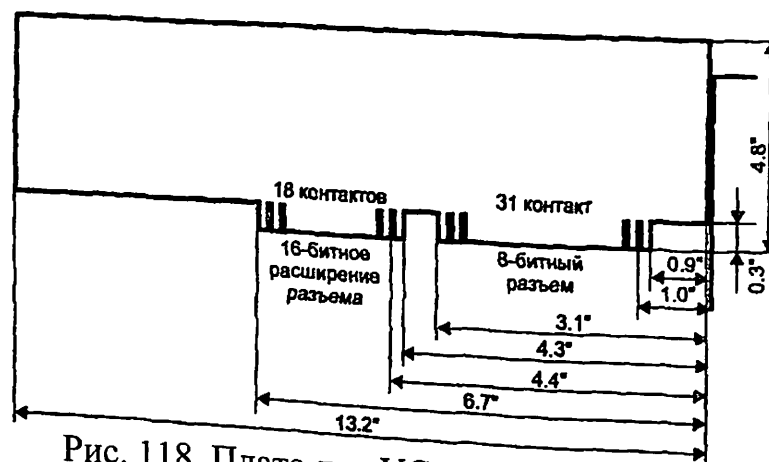


Рис. 118. Плата для УС через шину ISA

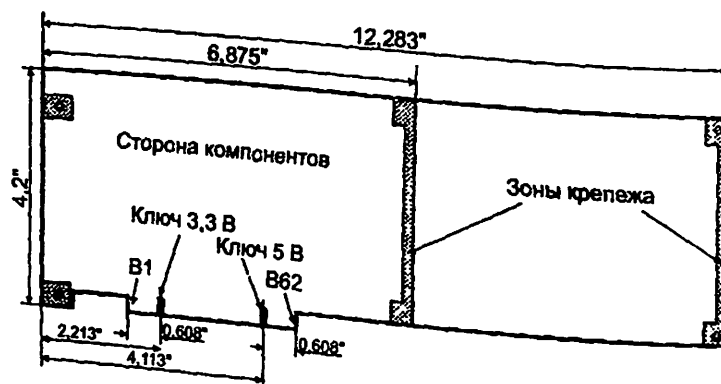


Рис. 119. Плата для УС через шину PCI

Устройство сопряжения через системную шину может работать в трех режимах:

- 1) асинхронный обмен – система работает в том темпе, который позволяет медленное по сравнению с компьютером УС, обмен данными производится по мере их готовности;
- 2) обмен по прерываниям – обмен данными производится по мере их готовности, в промежутках между обменами данными компьютер может выполнять другие задачи;
- 3) прямой доступ к памяти – УС обменивается данными непосредственно с оперативной памятью ПЭВМ.

Структура УС через шину ISA при асинхронном обмене выглядит, как показано на рис. 120 [12].

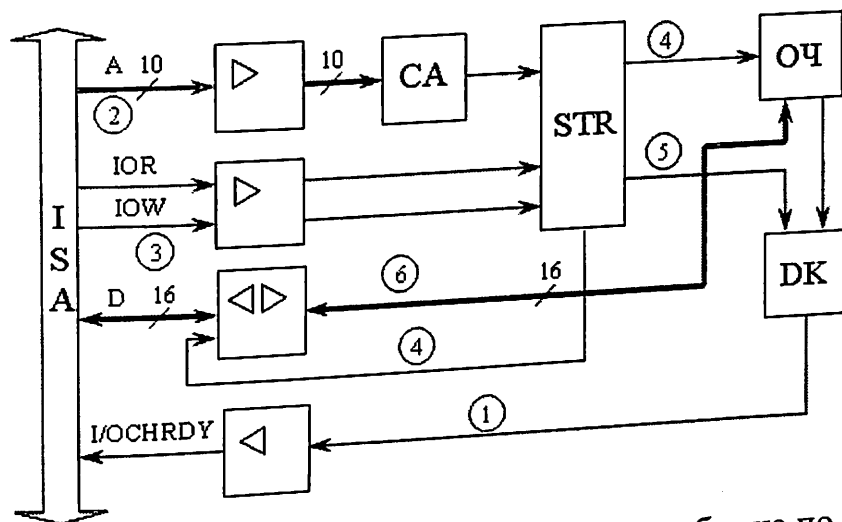


Рис. 120. Структура УС для асинхронного обмена по ISA

На рисунке показаны только элементы и сигналы, необходимые для понимания процедуры обмена. Используются следующие обозначения элементов: $\triangleright$, $\triangleleft$ и $\triangleleft\triangleright$ – шинные буферы для согласования электрических параметров сигналов на шине и в УС; CA – селектор адреса, при появлении на шине адреса нужной комбинации «отзывается» на нее; STR – устройство для выработки внутренних стробов, вырабатывает сигналы управления элементами УС; DK – формирователь сигнала готовности операционной части к обмену информацией; ОЧ – операционная часть устройства сопряжения. Асинхронный обмен данными производится в следующем порядке:

- 1) операционная часть через формирователь DK подает на линию шины управления *I/OCHRDY* (*Input/Output Check Ready* – проверка готовности к операциям ввода-вывода) сигнал готовности к обмену (флаг готовности);
- 2) при обнаружении этого сигнала (в результате постоянного опроса состояния шины) компьютер передает адрес устройства сопряжения;
- 3) передается сигнал, соответствующий роду работы: IOR – чтение или IOW – запись;
- 4) на основании сигналов адреса и рода работы устройство STR формирует сигнал, открывающий буфер обмена (обозначен $\triangleleft\triangleright$) в нужную сторону;
- 5) флаг готовности сбрасывается в исходное состояние;
- 6) выполняется передача данных в нужном направлении, после чего цикл заканчивается.

Интерфейсная часть УС для PCI будет гораздо сложнее, так как требуется демультиплексирование шины. Его упрощенная структура показана на рис. 121.

Здесь в состав ИЧ входят демультиплексоры ДМ для разделения сигналов адреса и данных и сигналов рода работы.

Асинхронный обмен данными производится в следующем порядке:

- 1) компьютер формирует на шине управления сигнал начала обмена FRAME;
- 2) компьютер передает адрес устройства сопряжения;
- 3) компьютер передает по линиям C/BE сигнал рода работы (чтение или запись);

- 4) операционная часть через формирователь ДК подает на линию шины управления *DEVCEL* сигнал готовности к обмену (флаг готовности);
- 5) компьютер отвечает сигналом *IRDY*;
- 6) устройство сопряжения подтверждает готовность сигналом *TRDY*;
- 7) выполняется передача данных в нужном направлении, после чего цикл заканчивается.

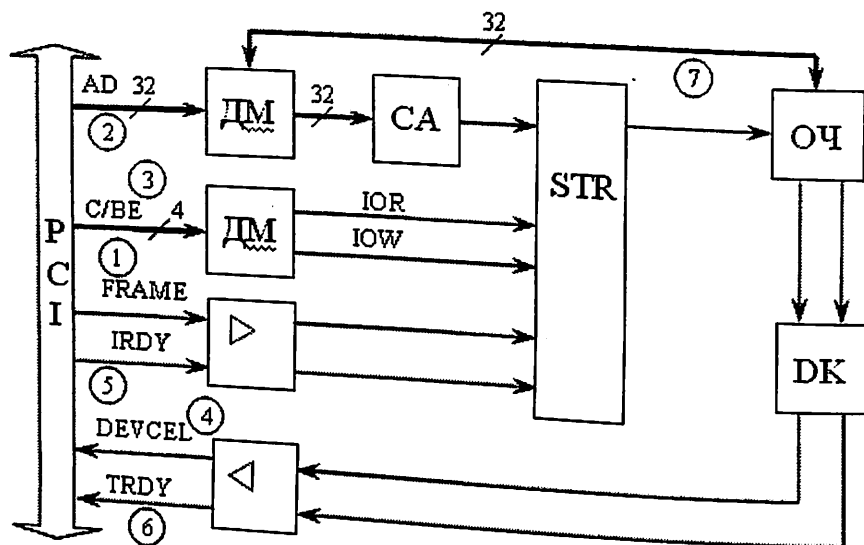


Рис. 121. Структура УС для асинхронного обмена по *PCI*

На самом деле цикл обмена сложнее, так же как и структура УС, однако для понимания принципа работы достаточно и такого упрощенного описания.

Недостаток асинхронного обмена заключается в необходимости постоянного опроса шины управления для проверки флага готовности. Если УС обменивается данными с ПЭВМ эпизодически, то компьютер большую часть времени «простаивает», занимаясь циклическим опросом флага готовности. В это время его можно загрузить выполнением других задач (то есть реализовать многозадачный режим), но при этом УС должно сообщать о своей готовности к обмену не с помощью флага, а специальным сигналом – прерыванием.

Прерывание – сигнал для процессора, после которого он приостанавливает работу над текущей задачей, сохраняет в памяти промежуточные данные и переходит к программе обработки прерывания, то есть в нашем случае к работе с УС. После обработки прерывания компьютер возвращается к прежней задаче. Подробнее прерывания и их использование будут рассмотрены в следующей главе.

Для реализации обмена по прерываниям сигнал готовности подается не на флаги, а на линии системной шины, обозначаемые *IRQ* (*Interrupt ReQuest* – запрос на прерывание).

Интерфейсная часть УС для *ISA* может быть построена на дискретных элементах, подобно аналогичным элементам микропроцессорных систем. Для *PCI* это практически невозможно из-за высокой сложности, поэтому на практике интерфейсную часть выполняют на ПЛМ (программируемая логическая матрица) или используют специальные микросхемы межинтерфейсных мостов *PCI-DSP Bridge Controller* или *ISA-DSP Bridge Controller*. При этом операционная

часть системы выполняется на микроконтроллере. В качестве примера рассмотрим подключение системы на рис. 108 к компьютеру (рис. 122). Показана только управляющая часть, силовая остается без изменения.

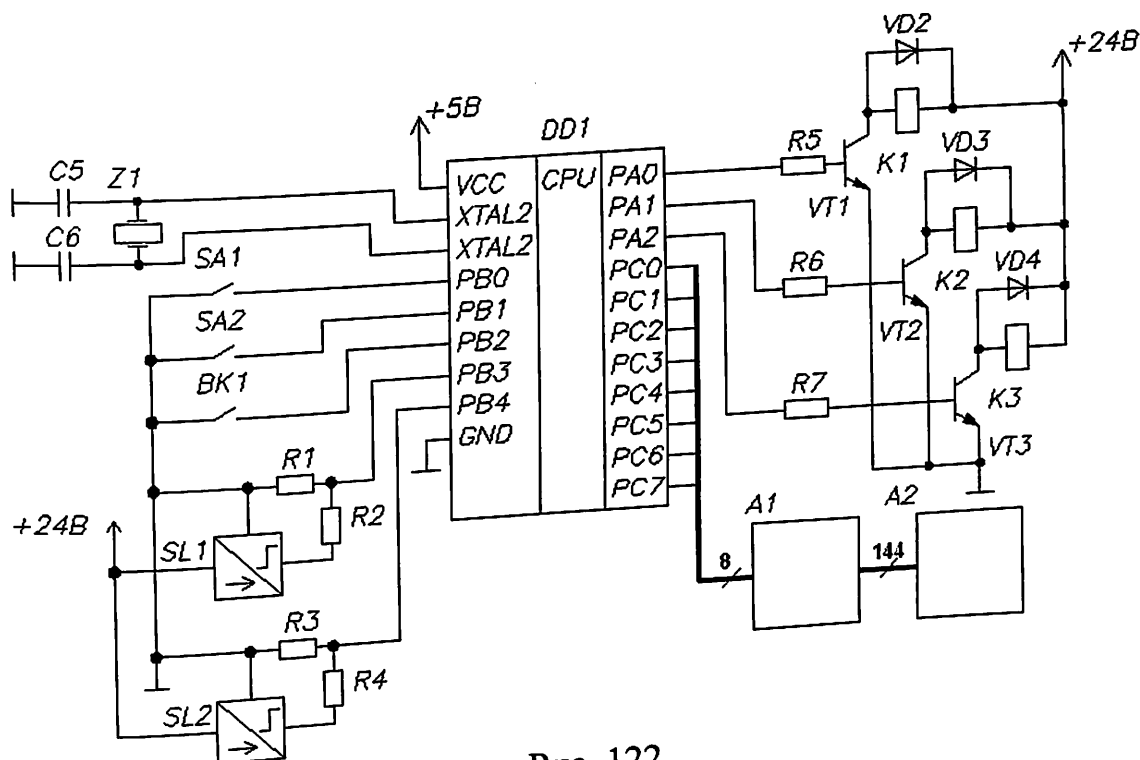


Рис. 122

Ранее разработанная схема на микроконтроллере подключается 8-жильным шлейфом через порт $PC0...PC7$ к плате *PCI-DSP Bridge Controller PCI2040* (A1), которая вставлена в слот материнской платы компьютера A2 на основе *PC/104+*¹⁴.

Прерывания

Мы уже упоминали режим обмена данными по прерываниям между устройством сопряжения и персональным компьютером (см. предыдущую главу). Теперь рассмотрим эту процедуру более подробно.

Предположим, что контроллер управляет одновременно двумя установками или двумя частями одной установки, причем одна из них работает постоянно, а на другую нужно переключаться по мере необходимости. Можно заставить контроллер постоянно проверять входные сигналы от обеих установок, но большую часть времени это только будет загружать контроллер лишними операциями. Поэтому вместо постоянного опроса можно подать на специальный вход контроллера сигнал от «спящей» установки, который будет свидетельствовать о ее «пробуждении». Только тогда контроллер переключится на работу по управлению этой установкой. Такой вход называется входом внешнего прерывания (например, входы $INT0$, $INT1$, $INT2$ на рис. 68).

¹⁴ Особого смысла это не имеет, так как рассматриваемая система не требует мощных вычислительных ресурсов. Хотя, к плате *PCI2040* можно подключить еще три контроллера, и ее применение может стать оправданным.

Другой пример – устройства, включаемые в определенное время или спустя определенные интервалы времени с начала работы. Скажем, в системе, которую мы постоянно используем в качестве примера, нужно выдержать интервал времени между срабатыванием датчика температуры и включением клапана слива. Можно прописать в программе постоянное обращение к часам реального времени для отмеривания нужного промежутка, а можно запрограммировать встроенный таймер так, чтобы он запускался при срабатывании датчика температуры, а после обнуления формировал внутреннее прерывание, по которому контроллер включит клапан¹⁵.

Итак, прерывание – сигнал для контроллера, после которого он приостанавливает работу над текущей задачей, сохраняет в памяти промежуточные данные и переходит к программе обработки прерывания. После обработки прерывания контроллер возвращается к прежней задаче. Прерывания имеют статус, называемый приоритетом. Если одновременно поступают запросы на прерывание от двух устройств, выполняется то, которое поступает на линию с самым высоким приоритетом. Это можно изобразить в виде графика, как показано на рис. 123.

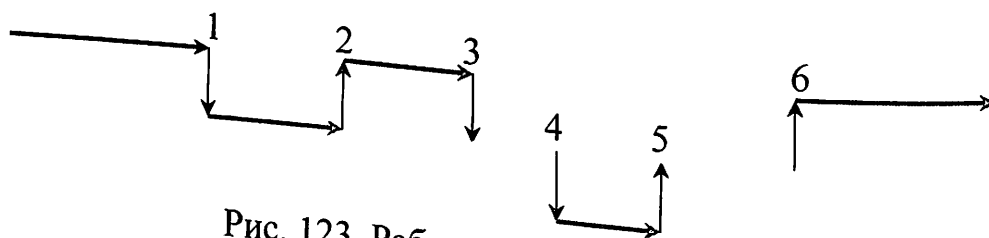


Рис. 123. Работа по прерываниям

На графике контроллер обрабатывает первую задачу. В момент времени 1 он получает сигнал прерывания и переходит ко второй задаче (показана ниже). В момент времени 2 работа над второй задачей заканчивается, и процессор возвращается к первой задаче. В момент времени 3 он получает новое прерывание и переходит к выполнению третьей задачи. В момент времени 4 работа над третьей задачей еще не закончена, но контроллер получает новое прерывание, имеющее более высокий приоритет по сравнению с предыдущим, поэтому выполняется переход к четвертой задаче. Возврат к третьей задаче произойдет в момент времени 5, и в момент времени 6 – снова к первой задаче.

¹⁵ Про часы и таймеры – дальше в следующей главе.

Счетчики, таймеры и компараторы

Ранее мы рассмотрели вопросы подключения к микроконтроллеру импульсных датчиков (инкрементальных энкодеров). Обычно их изготавливают в виде законченных конструктивных узлов, используемых в качестве датчиков угла поворота (рис. 124).



Рис. 124. Энкодер *Omron E6A2-C*

Сигнал с выхода энкодера имеет вид импульсов, которые нужно подсчитывать и вычислять угол поворота. Для этого контроллер может программно опрашивать вход, к которому подключен энкодер, фиксировать моменты перехода из «0» в «1» и наоборот и таким образом подсчитывать число импульсов. Энкодер, показанный на рис. 124 вырабатывает до 500 импульсов на оборот при скорости вращения до 5000 об/мин, то есть частота импульсов на входе контроллера может быть около 41,6 кГц. Получается, что для корректного счета импульсов методом программного опроса входа частота этого опроса должна быть около 100 кГц, то есть контроллер должен считывать состояние порта каждые 10 мкс. Если учесть, что контроллер должен выполнять еще какие-то функции, то задача становится трудноразрешимой. Поэтому имеет смысл вводить в состав контроллера аппаратные счетчики, которые передают в программу уже готовый результат счета. Практически во всех ПЛК дискретные входы могут работать в счетном режиме. Например, ОВЕН ПЛК150 при использовании аппаратного счетчика может работать с импульсами частотой до 10 кГц, а в программном режиме – только до 1 кГц.

Аналогичная ситуация возникает с выводом на выход контроллера импульсов с заданной частотой или отсчетом заданных интервалов времени. Если требуется управлять внешним устройством в импульсном режиме (например, шаговым двигателем), потребуется выводить заданное число импульсов с заданной частотой. Можно выполнять это программно, но при высоких частотах следования импульсов это прилично загрузит вычислительное ядро. Поэтому полезной частью контроллера являются часы реального времени (RTC, *Real Time Clock*) и таймеры. Часы с собственным энергонезависимым питанием (проще говоря, батарейкой) выполняют функцию собственно часов и календаря. Наличие часов позволяет управлять оборудованием по расписанию.

Таймер отсчитывает временные интервалы, формируя определенное количество импульсов с определенной частотой. Например, при частоте следования импульсов 32,768 кГц (стандартная частота генератора в часах) для отсчета ин-

тервала в 1,5 с потребуется 49152 импульса. Разрешающая способность таймера (минимальный интервал времени) составит $1/32768 = 30,5$ мкс. Импульсы для отсчета времени нужно считать. Для этого в составе таймера имеется счетчик, значение которого при каждом импульсе будет уменьшаться на единицу. Загрузив в счетчик число 49152, мы получим через 1,5 с сигнал таймера (например, в виде внутреннего прерывания). Чтобы загружаемое число импульсов «поместилось» в счетчик таймера в двоичной форме, счетчик должен иметь достаточное число двоичных разрядов. Скажем, для числа 49152 потребуется 16 разрядов (т. е. потребуется 16-разрядный счетчик). Такой счетчик позволит вывести 65535 импульсов, то есть отсчитать интервал около 2 с (при частоте 32,768 кГц, при большей частоте интервал будет меньше, но его можно задать точнее).

Так как таймер генерирует импульсы заданной частоты, их можно выводить на выход контроллера. Правда, в таймерном режиме контроллер не сможет генерировать любую частоту, так как нужная частота получается делением базовой (максимальной) частоты на целое число, загружаемое в тот же счетчик таймера. Если загрузить в счетчик число 4, то при каждом импульсе базового генератора это число будет уменьшаться на единицу. По достижении нуля импульс от генератора появится на выходе, и отсчет импульсов начнется сначала. В результате на выходе будет появляться каждый четвертый импульс, базовая частота будет поделена на 4. Такой принцип работы приводит к тому, что при базовой частоте 32,768 кГц можно генерировать частоты 32,768 кГц; 16,384 кГц; 10,923 кГц и так далее до 0,5 Гц (при 16-счетчике максимальное загружаемое число 65535).

Компаратор задействует два аналоговых входа. Когда уровень сигнала на одном входе достигнет уровня на втором, компаратор сообщит об этом контроллеру внутренним прерыванием. Аналогично он сообщит о снижении уровня ниже определенного предела, обусловленного гистерезисом компаратора. Такая функция полезна при работе с величинами, для которых заданы пороговые значения. Например, в системе на рис. 7 вместо дискретного датчика температуры можно использовать непрерывный (терморезистор или термопару) и задействовать компаратор контроллера.

Как видите, такие внешне разнородные элементы как счетчики, таймеры и компараторы позволяют уменьшить программную загрузку контроллера за счет использования аппаратных средств обработки сигнала.

Как утверждается в статье [13], коммуникационные возможности являются одним из основных факторов, влияющих на выбор контроллера. Мы уже рассмотрели системы *SCADA*, где ПЛК взаимодействует с персональным компьютером на рабочем месте диспетчера. Аналогичным образом контроллер может обмениваться информацией с другими устройствами – датчиками, исполнительными устройствами, модулями расширения, другими ПЛК и т. д. Объединяя контроллеры друг с другом, можно получить целую сеть устройств, обменивающихся информацией в масштабах участка, цеха, предприятия, населенного пункта, отрасли... В общем, коммуникации это инструмент завоевания мира компьютерами.

В настоящее время в цифровых системах управления для обмена данными используют различные интерфейсы.

Интерфейс – совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных свойств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных элементов в системах при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных элементов.

Здесь под электрической совместимостью подразумевается соответствие уровней сигналов на входах и выходах взаимодействующих устройств, под конструктивной – соответствующий каждому интерфейсу стандартный разъем. Информационная совместимость обозначает соответствие «языков общения» взаимодействующих устройств. Для обмена данными используют последовательные интерфейсы (о различии между параллельным и последовательным представлением цифровых данных см. на с. 17). «Язык» последовательного интерфейса называют **протокол**. Один и тот же интерфейс может использовать разные протоколы.

Наиболее часто в контроллерах (особенно в российских ПЛК) встречаются коммуникационные интерфейсы *RS-232* и *RS-485*, использующие протоколы *ModBus-RTU*, *ModBus-ASCII* и внутренние протоколы (ПЛК *ОВЕН* могут использовать собственный протокол *ОВЕН*).

Также часто имеется сетевой интерфейс *Ethernet*, при этом может использоваться протокол *ModBus-TCP*.

В ПЛК западных производителей нередко интерфейсы *CAN*, *Profibus* и другие с соответствующими протоколами.

В микроконтроллерах и датчиках могут присутствовать и другие интерфейсы (*UART*, *SPI*, *1-Wire*, *I2C* и др.).

Рассмотрим их более подробно.

Основные интерфейсы и протоколы

Сначала давайте разберемся, какие характеристики интерфейсов позволяют отличать их друг от друга. В первую очередь это характеристики кабельной линии, то есть число проводов, тип кабеля и его длина. Не менее важны скорость обмена данными и количество подключаемых к линии устройств. Значения уровней сигналов не так важны, так как для выбора интерфейса это практически не имеет значения, а вопросы согласования разных интерфейсов мы не рассматриваем. Характеристики наиболее распространенных интерфейсов сведем в табл. 6.

Табл. 6

Интерфейс	Линия связи	Длина линии, м	Скорость обмена, бит/с	Количество устройств
RS-232	4 провода: данные (прием) данные (передача) общий экран	15	300	1
UART			600	
			1200	
			2400	
			4800	
			9600	
			19200	
			38400	
			57600	
			115200	
RS-485	2 провода (витая пара)	1200	до 10 Мбит/с	32
Ethernet	коаксиальный кабель	до 1000	до 10 Мбит/с	1024
	витая пара	до 2 км	до 10 Мбит/с	
CAN	оптоволоконно	до 10 км	до 10 Гбит/с	127
	витая пара	до 10 км	до 1 Мбит/с	
Profibus	оптоволоконно	до 10 км	до 1 Мбит/с	32
	двухпроводный экра- нированный кабель	до 1200	до 12 Мбит/с	
Foundation fieldbus	витая пара	до 1900	31,25 Мбит/с 100 Мбит/с	32
интерфейсы микроконтроллеров и датчиков				
SPI	4 провода: данные (прием) данные (передача) такты	до 2	до 3 Мбит/с	1 или несколько
	выбор ведомого			
1-Wire	2 провода	до 300	до 125 кбит/с	32
I2C	2 провода	до 2	до 3,4 Мбит/с	128
UART				

см. RS-232

см. RS-232

Приведенные в таблице данные являются не просто ориентировочными, а очень ориентировочными. Уверенность может быть разве что в характери-

ках интерфейса RS-232. В остальных случаях нужно учитывать, что скорость обмена зависит от типа линии связи и ее длины, количество подключаемых устройств для интерфейсов, образующих сети (*Ethernet, Profibus, Foundation fieldbus*), приведено для одного сегмента сети, и вообще все характеристики отличаются для разных версий и реализаций на физическом уровне.

Инженеру, не являющемуся специалистом в области автоматизации производства, нужно знать следующее:

1) при выборе контроллера следует учитывать возможность его связи с внешним миром и, следовательно, интерфейс для связи (обычно «внешний мир» с какими-то возможностями связи уже есть в наличии);

2) в техническом описании контроллера приведены имеющиеся интерфейсы и поддерживаемые протоколы, нужно только примерно представлять, что потребуется при их использовании и что можно при этом получить;

3) при проектировании системы на ПЛК с датчиками, имеющими последовательные интерфейсы (*UART, SPI, 1-Wire, I2C* и др.) потребуется контроллер соответствующего интерфейса (например, в виде микросхемы или конструктивно оформленного блока) или микроконтроллер, который его поддерживает.

Рассмотрим наиболее популярные интерфейсы. RS-232 (*EIA/TIA-232*) является наиболее старым из используемых в настоящее время. Первый стандарт на него появился в 1962 году. Сейчас действует последний стандарт *RS-232E (EIA/TIA-232E)*, принятый в 1991 г.

Интерфейс обеспечивает связь между двумя устройствами (точка – точка) по двухпроводной (симплексный режим¹⁶) или четырехпроводной (дуплексный режим) линии (рис. 125), однако можно использовать и другие сигналы интерфейса, перечисленные в таблице 7. Длина линии до 15м.

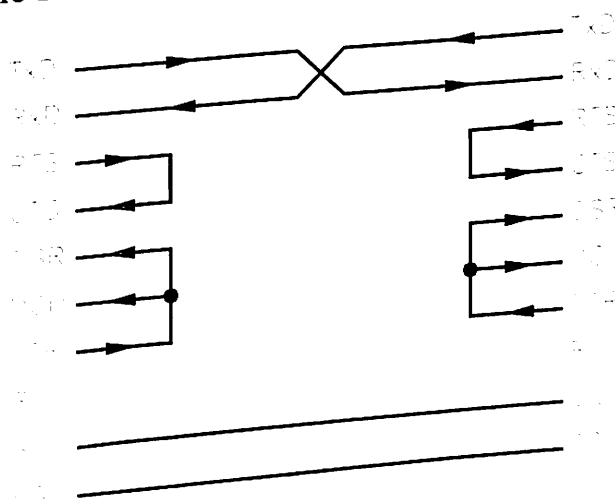


Рис. 125. Схема 4-проводной линии связи

¹⁶ В симплексном режиме устройство сопряжения работает только на прием или только на передачу сигналов. В дуплексном – производит одновременный обмен сигналами с компьютером (поочередный обмен называют полудуплексом).

Табл. 7. Назначение линий интерфейса

Линия	Контакт	I/O	Назначение
FG	—	—	Защитное заземление (экран)
—TxD	3	O	Данные, передаваемые компьютером
—RxD	2	I	Данные, принимаемые компьютером
RTS	7	O	Сигнал запроса передачи
CTS	8	I	Готовность приемника
DSR	6	I	Готовность данных
SG	5	—	Сигнальное заземление
DCD	1	I	Обнаружение несущей данных
DTR	4	O	Готовность выходных данных
RI	9	I	Индикатор вызова

Сигналы передаются специально выбранными уровнями, обеспечивающими высокую помехоустойчивость: логический 0 – от +5 до +15В (передатчик) и от +3 до +25В (приемник); логическая 1 – от –5 до –15В (передатчик) и от –3 до –25В (приемник). Скорости обмена фиксированы¹⁷ (см. табл. 6). В микроконтроллерах встречается интерфейс *UART*, который отличается от *RS-232* только уровнями сигналов (используются обычные уровни ТТЛ).

Протокол тоже является максимально простым по сравнению с другими разновидностями. Данные в *RS-232* передаются в последовательном коде по-байтно. Формат передаваемых данных показан на рис. 126. Данные (7 или 8 бит) обрамляются стартовым битом, битом четности (нечетности) и 1 или 2 стоповыми битами. Бит четности служит для проверки правильности приема байта. Если байт содержит четное число битов со значением 1, то бит четности равен 0 и наоборот. Режимы работы (скорость, наличие бита четности или неграммно, число битов данных, число стоповых битов) могут задаваться про-

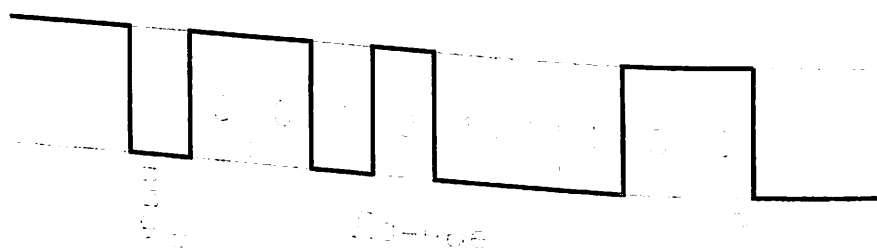


Рис. 126. Формат передачи данных

RS-232 можно использовать, например, для связи ПЛК и микроконтроллера с компьютером. В случае использования микроконтроллера с интерфейсом *UART* потребуется согласование уровней (рис. 127).

¹⁷ В документации можно встретить скорость обмена, измеряемую в бодах. 1 бод = 1 бит/с.

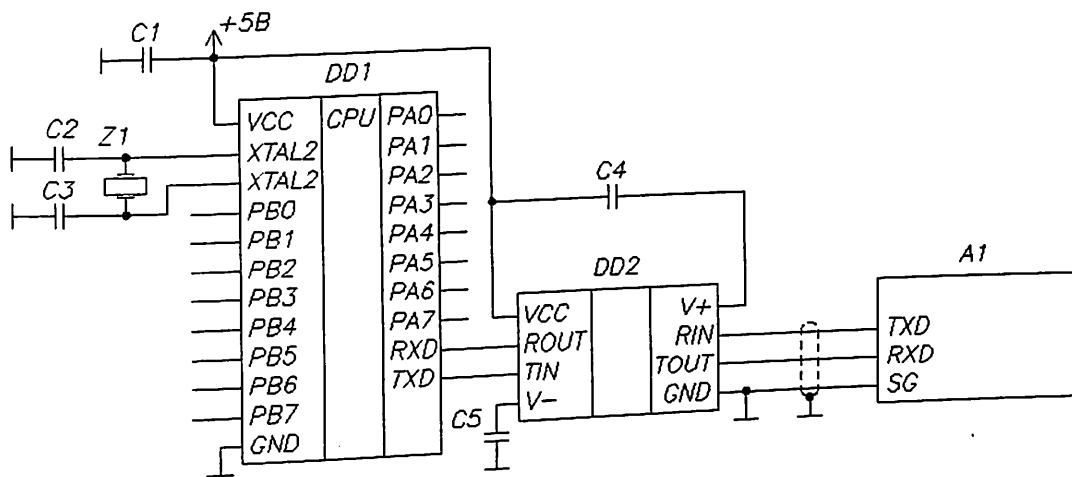


Рис. 127

Сигналы с уровнями ТТЛ с выхода микроконтроллера *DD1* преобразуются в сигналы с уровнями *RS-232* микросхемой *MAX232A (DD2)* и передаются на компьютер *A1*.

RS-485 (EIA/TIA-485) обеспечивает многоточечную связь (*multi-point*) с числом узлов до 32 (при наличии магистральных усилителей до 256) на расстоянии до 1200 м по двухпроводной линии (витой паре¹⁸). Такая большая длина линии возможна благодаря помехоустойчивому дифференциальному способу передачи информации. Логический ноль и единица распознаются не как уровни сигнала, а как разность уровней в линиях: если уровень сигнала в линии А больше уровня в линии В на 200 мВ и более, сигнал распознается как «1»; если меньше на 200 мВ и более – как «0». Абсолютные значения уровней, подверженные помехам, могут колебаться в широких пределах (от минус 7 до +12 В). Стандартом оговорены скорости обмена 62,5 кбит/с, 375 кбит/с, 2400 кбит/с, хотя возможны и большие значения (до 10 Мбит/с).

Часто используемый протокол в сетях *RS-485 – Modbus*. Данные пересылаются пакетами (*ADU*) размером до 256 байт, в которые входят адрес приемного устройства, данные, дополнительные разряды для обнаружения ошибок (вместо бита четности в протоколе *RS-232*), символы начала и окончания сообщения.

Протокол может присутствовать в двух вариантах:
– *Modbus-ASCII* – для обмена используются только *ASCII* символы (передаются их номера в кодировочной таблице). Для проверки целостности используется однобайтовая контрольная сумма. Начало и конец сообщения помечаются специальными символами (начало сообщения «:», конец сообщения *CR/LF*);
– *Modbus-RTU* – обмен произвольными двоичными комбинациями. Сообщения разделяются по паузе в линии. Сообщение должно начинаться и заканчиваться интервалом тишины, длительностью не менее 3,5 символов при данной скорости передачи. Во время передачи сообщения не должно быть пауз длительностью более 1,5 символов. Для проверки целостности используется контрольная сумма.

В сетях *TCP/IP* (интерфейс *Ethernet*) используют также протокол *Modbus-TCP*, имеющий несколько другой формат пакета без проверки целостности.

¹⁸ Два провода в витой паре скручены для уменьшения помех от внешних источников.

Немного о программировании

Чтобы система управления могла правильно реализовать требуемый алгоритм, ее нужно запрограммировать, то есть составить программу и загрузить ее в контроллер. Если в прежние времена этим занимались программисты, то сейчас такую работу выполняют инженеры-проектировщики систем управления.

Что представляет собой программа для персонального компьютера, все хорошо представляют. Это последовательность операторов на каком-либо языке, часто сопровождаемая графическим конструктором интерфейса. Популярностью пользуются такие среды разработки, как *Delphi* и *C++ Builder*.

Для программирования микроконтроллеров чаще всего используют языки ассемблера и С. Программа также имеет вид строк операторов.

В случае с ПЛК подход несколько другой. Обычно для автоматизации обору-дования требуются менее сложные алгоритмы, чем может потребоваться для систем на ПК или микроконтроллерах. Поэтому языки программирования могут быть более простыми и наглядными.

Для программирования ПЛК используются графические и текстовые языки стандарта МЭК 61131-3. К ним относятся следующие.

1. *LD (Ladder Diagram*, лестничные диаграммы) или РКС (релейно-контактные схемы) – графический язык. Представляет собой программную реализацию электрических схем на базе электромагнитных реле.

2. *FBD (Function Block Diagram*, функциональные блочные диаграммы) – графический язык. Функциональный блок выражает некую подпрограмму. Каждый блок имеет входы и выходы. Программа создается путем соединения множества блоков. Блоки могут представлять собой логические элементы, которые при программировании составляют в схему, реализующую логическую функцию, как это рассматривалось для систем с жесткой логикой. Процедура программирования в этом случае начинается с составления таблицы состояний, затем записывают и минимизируют логическую функцию. Также полезным может быть методика замены релейно-контактных элементов на соответствующие логические структуры.

3. *SFC (Sequential Function Chart*, последовательностные функциональные диаграммы) – графический высокоуровневый язык. Создан на базе математического аппарата сетей Петри. Описывает последовательность состояний и условный переходов.

4. *ST (Structured Text*, структурированный текст) – текстовый Паскалеподобный язык программирования.

В большинстве ПЛК программа загружается с ПЭВМ через соответствующий интерфейс (например *USB*, *RS-232*, *Ethernet*), хотя в некоторых из них может быть заранее записан набор программ, выбираемых с клавиатуры. Для разработки и загрузки программы используется среда программирования, которая содержит интерфейс программирования и часто симулятор выполнения программы для ее отладки до загрузки в контроллер. Например, ведущие произво-

дители ПЛК используют либо собственные среды программирования, либо среды других производителей:

Siemens – Simatic Step 7;
GE – Proficy ME;
Schneider Electric – Concept, Unity Pro;
Mitsubishi Electric – MELSOFT GX Works2;
Beckhoff – TwinCAT;
Allen Bradley – RSLogix 5000;
OBEH, ABB – CoDeSys (разработчик 3S-Smart Software Solutions GmbH);
Omron – CX-One;
Koyo – DirectSOFT;
ICP DAS – ISaGRAF (разработчик ICS Triplex).

Ступеньки лестничной диаграммы

Наиболее простыми и наглядными являются языки лестничных диаграмм (язык релейно-контактных схем или РКС) [14, 15] и язык функциональных диаграмм, использующие привычное для инженера графическое представление программы. Рассмотрим пример составления программы на языке РКС без привязки к определенной среде программирования.

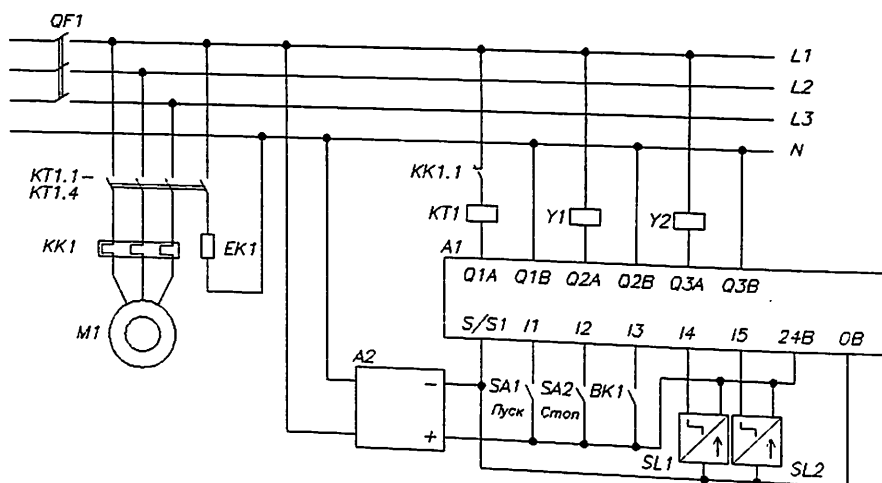
Программа изображается в виде схемы, реализующей логику работы ПЛК, как если бы он состоял из набора виртуальных реле, контактов и кнопок. При запуске такой программы виртуальные кнопки соответствуют дискретным входам ПЛК, катушки виртуальных реле – дискретным выходам. Элементами программы являются:

- | — нормально разомкнутые контакты;
- |/| — нормально замкнутые контакты;
- () — катушки реле;
- (/) — инверсные катушки реле (отличаются от обычных противоположным действием, то есть при срабатывании замыкают свои нормально замкнутые контакты и размыкают нормально разомкнутые);
- (S) — и —(R) — катушки Set и Reset, в совокупности работающие как триггер (то есть сработавшую катушку S можно отключить только срабатыванием катушки R).

Элементы размещаются между двумя вертикальными линиями, имитирующими шины питания схемы.

Если мы хотим составить программу для ПЛК или интеллектуального реле, мы можем сначала составить две схемы. Одна из них – схема подключения элементов к ПЛК, другая – релейно-контактная схема без ПЛК. Затем вторая схема изображается в среде программирования в виде лестничной диаграммы. При запуске программы она будет выполнять запрограммированные функции.

Рассмотрим в качестве примера систему на рис. 67, релейно-контактный вариант которой показан на рис. 12. Будем составлять лестничную диаграмму последовательно в соответствии с алгоритмом работы системы.



1. При нажатии на кнопку «Пуск» SA1 срабатывает выход, к которому подключен клапан наполнения Y1 (рис. 128).

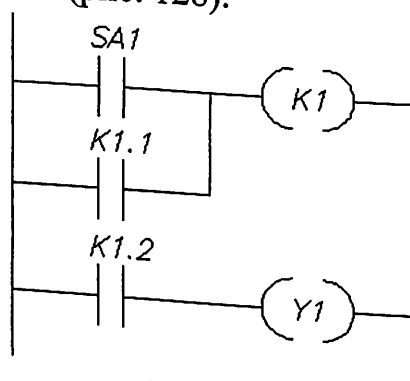


Рис. 128

2. При достижении верхнего датчика уровня SL1 клапан наполнения отключается, включаются нагреватель EK1 и привод M1 контактором KT1 (рис. 129).

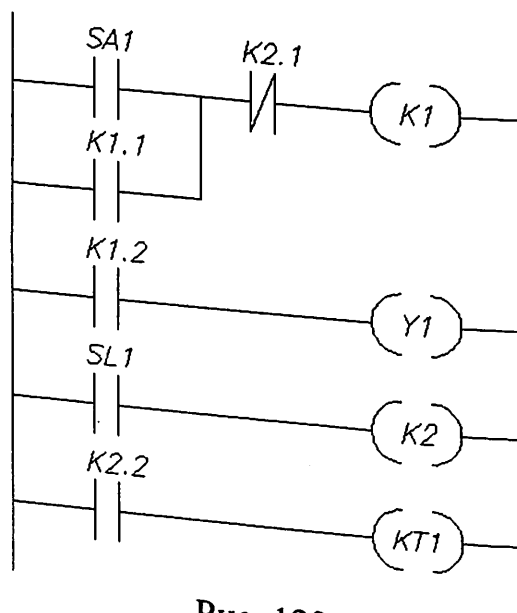


Рис. 129

3. По достижении заданной температуры срабатывает термодатчик BK1, отключаются нагреватель и привод, и включается клапан слива Y2 (рис. 130).

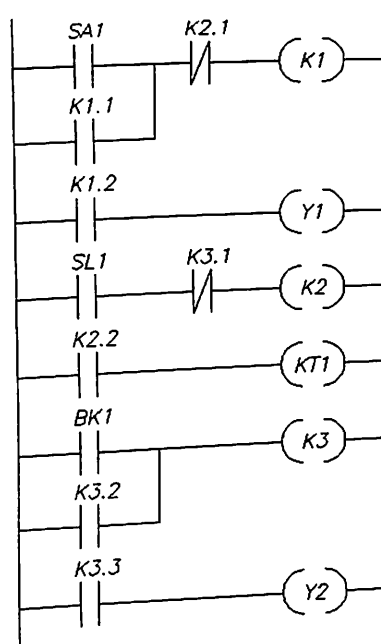


Рис. 130

4. При срабатывании нижнего датчика уровня *SL2* клапан слива отключается. Здесь же добавим возможность отключения всех исполнительных устройств при нажатии кнопки «Стоп» *SA2*. Получим практически готовую диаграмму (рис. 131). Чтобы диаграмма была готова к работе нужно исключить реакцию на случайное нажатие кнопки «Пуск» в ходе работы и ввести паузу между срабатыванием датчика температуры и включением клапана слива. Результат показан на рис. 132.

На всех рисунках *K1*, *K2* и т. д. – виртуальные реле, на рис. 132 введен функциональный блок – таймер с временем задержки $T = pause$. Он включается при замыкании цепи и сбрасывается сигналом *Reset*. В разных средах программирования таймер может изображаться по-разному, здесь приведен только абстрактный пример.

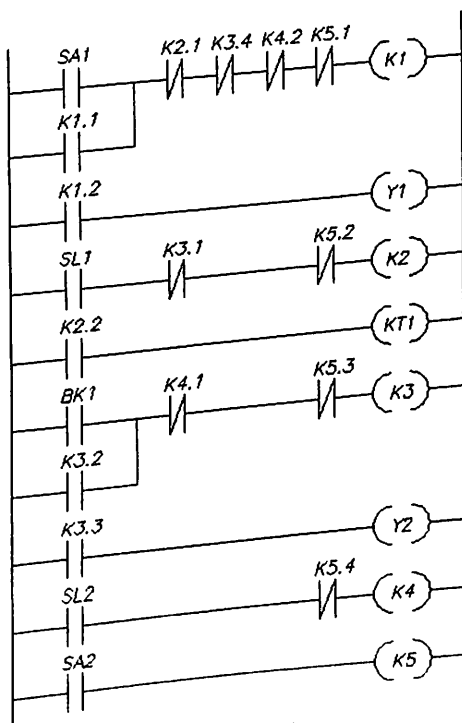


Рис. 131

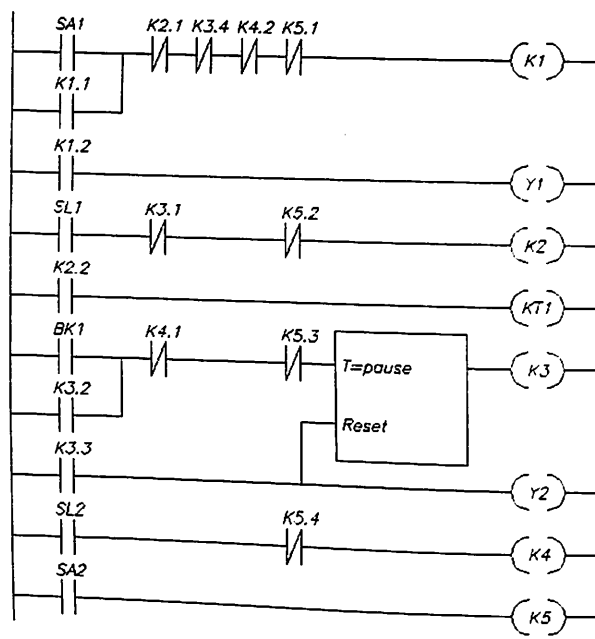


Рис. 132

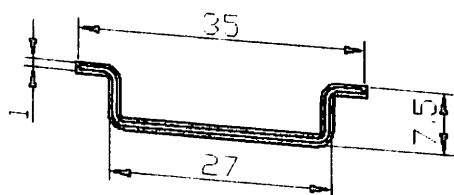
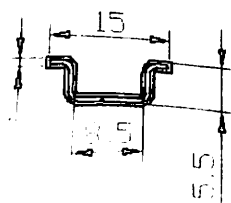
Конструктив системы

Чтобы закончить разговор о цифровых системах управления, нужно рассмотреть еще один небольшой, но достаточно важный вопрос.

Предположим, что мы хотим реализовать систему, схема которой показана на рис. 111. Кроме элементов, показанных на схеме и перечисленных в таблице ресурсов, потребуются провода, витая пара для подключения системы к компьютеру, а также то, что инженеры называют словом «конструктив». В данном случае это ящик с панелью, на которой расположены органы управления (кнопки) и дверцей, за которой находятся ПЛК, модуль расширения и источник питания. Ящик может крепиться на стену или непосредственно на корпус установки.

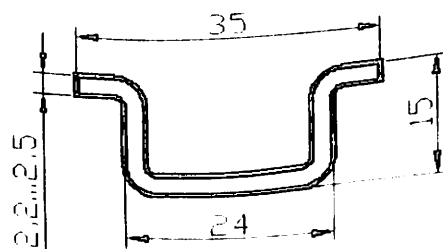
Разработчики ПЛК и стандартов на них и сопутствующее оборудование пользуются очень приятным для монтажа правилом – все блоки имеют однотипное крепление, все электрические соединения осуществляются без паяльника, винтами.

Чтобы крепить блоки внутри общего корпуса, они имеют элементы для установки на так называемую DIN-рейку. Это планка, которая крепится к стене или задней панели шкафа, и на нее как на направляющую ставятся все устройства. Размеры и форма реек стандартизованы, используют рейки трех типов: омега-тип (рис. 133), G-тип (рис. 134) и C-тип (рис. 135).



TH35-7,5

Рис. 133



TH35-15

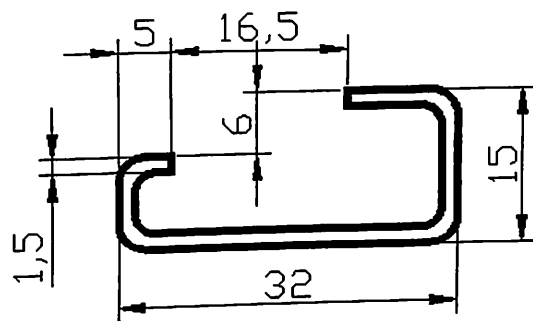


Рис. 134. Рейка типа G32

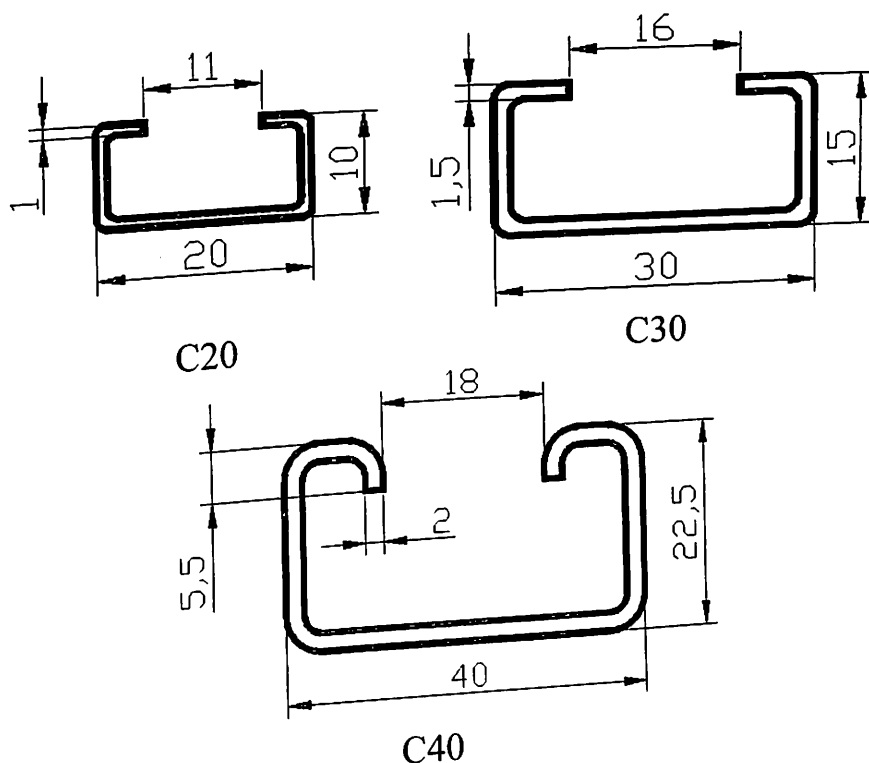


Рис. 135

Наиболее часто для установки ПЛК и блоков используется рейка TH35-7,5, которая выпускается в виде кусков длиной по 2 м. Естественно, отрезать можно кусок любой нужной длины. Блоки имеют четыре зажима, верхние неподвижны, нижние подпружинены. Блок цепляют верхними зажимами за рейку (рис. 136), нижние оттягивают отверткой и зацепляют за нижний край рейки. Чтобы блок после установки не ползал вдоль рейки, по краям ставят фиксаторы (рис. 137).

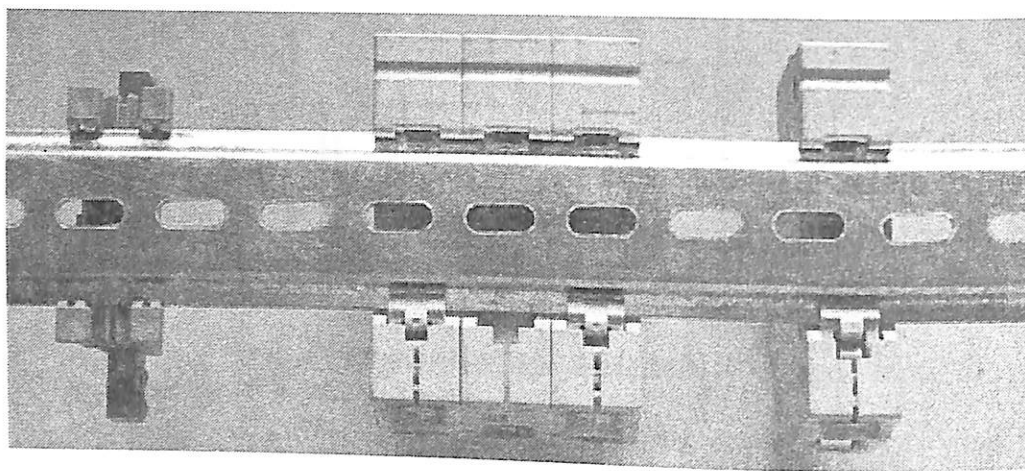


Рис. 136

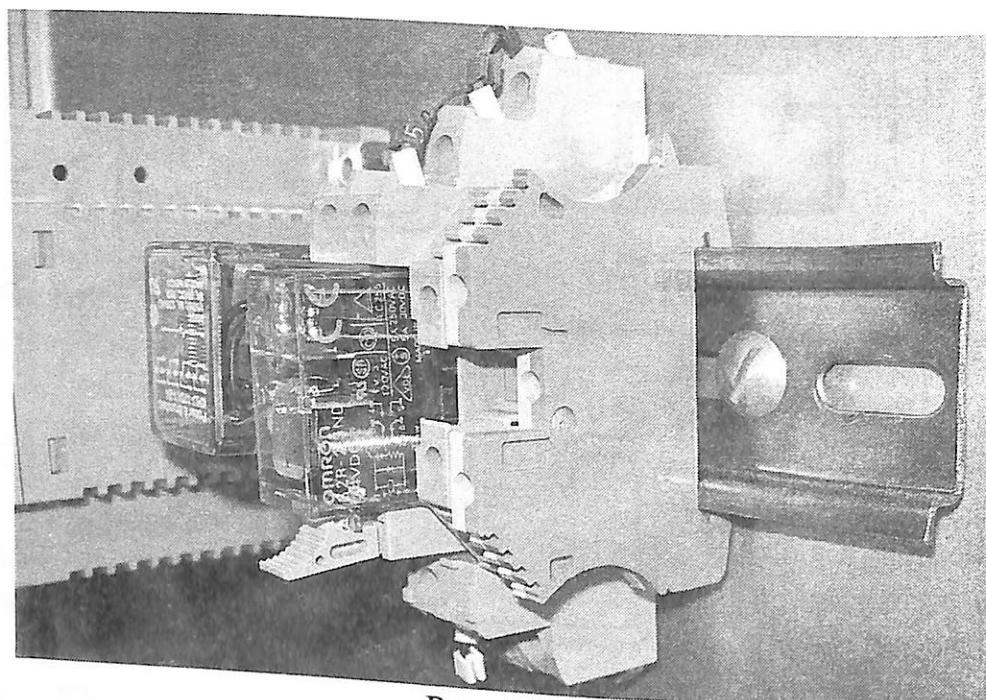


Рис. 137

В рассматриваемом примере на рейку нужно установить контроллер ОВЕН ПЛК150 размером 105x90x65, модуль ОВЕН МК110-24.8Д.4Р размером 63x110x75, источник питания ОВЕН БП15Б-Д2-24 размером 36x90x58 и контактор размером 35x86x66. Размещение в два ряда показано на рис. 138.

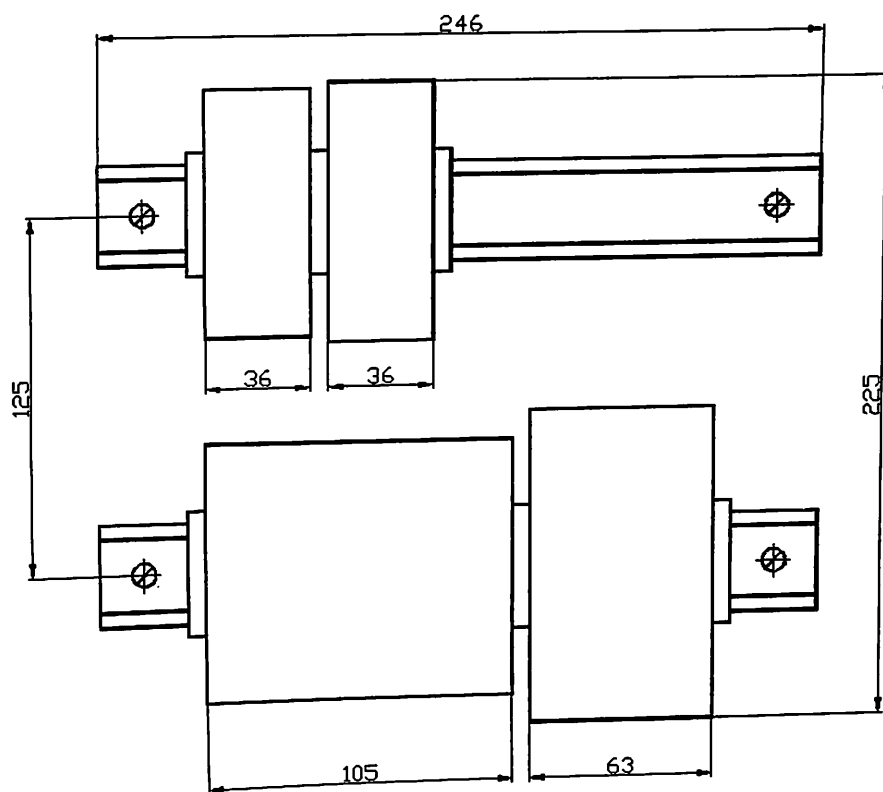


Рис. 138

Для установки можно подобрать готовый шкаф с панелью управления, которых в продаже имеется достаточно много. Внешне получится что-то похожее на рис. 139.

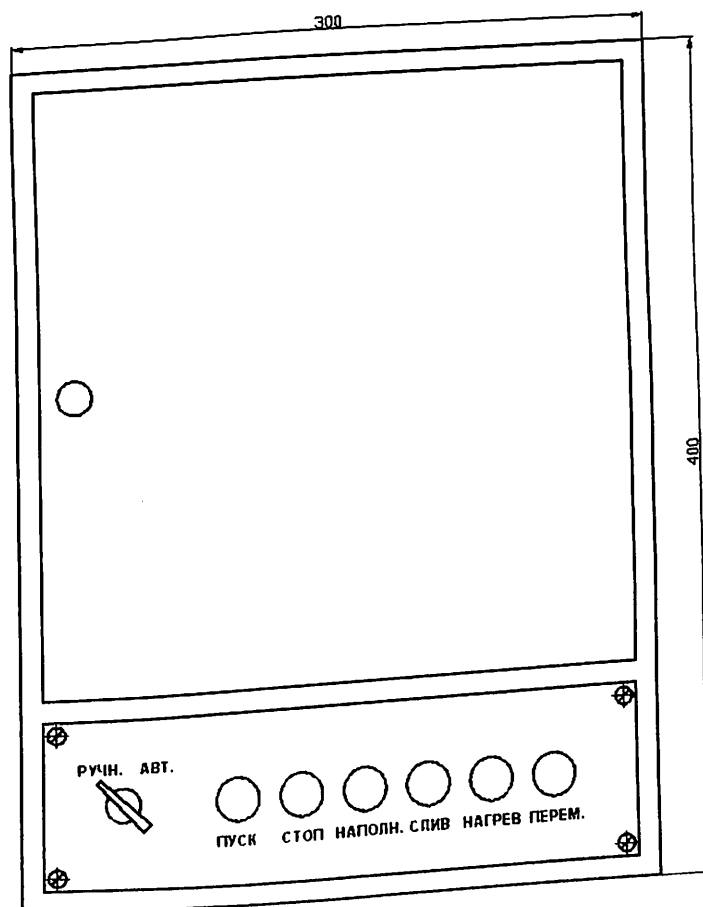


Рис. 139

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Компенсация холодного спада в практике применения термоэлектрических преобразователей / «Новости электроники», 2007, №15. – С. 28 – 32.
2. www.spetspribor.info
3. Белов, А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 304 с.
4. Белов, А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и техника, 2006. – 256 с.
5. Фрунзе, А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! В 3-х т. Т1. – М.: ООО «ИД СКИМЕН», 2002. – 336 с.
6. Shyam Sunder Tiwari. Simple Interface Connects Sensor Output To Microcontroller // <http://electronicdesign.com/analog/simple-interface-connects-sensor-output-microcontroller>
7. Дискретные средства преобразования и сбора измерительной информации / А.А. Абдулаев, И.А. Набиев, М.Ш. Гусейнов, Д.Г. Исаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 144 с.
8. Ан, Пей. Сопряжение ПК с внешними устройствами. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
9. Леонтьев, А.Г. Микропроцессорные электромеханические системы. Учебное пособие – СПбГТУ (электронное издание)
10. Ридико, Л.И. Раз шажок, два шажок... /Схемотехника, 2001, № 6 – 9.
11. Гук, М. Интерфейсы ПК: справочник. – СПб.: ЗАО «Издательство «Питер», 1999. – 416 с.
12. Новиков, Ю.В., Калашников, О.А., Гуляев, С.Э. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC. – М.: ЭКОМ, 1998. – 224 с.
13. П. Нестеренко. Программируемые логические контроллеры в России: реальность и перспективы / Элементы и компоненты, 2009, №4. – С. 22 – 29.
14. Минаев И.Г., Самойленко В.В. Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера. – Ставрополь: АРГУС, 2009. – 100 с.
15. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.
16. Системы управления техническими объектами/ Минченя В.Т., Савченко А.Л., Липкин Н.А., Асимов Р.М.–Минск: Энциклопедикс, 2015. – 120 с.