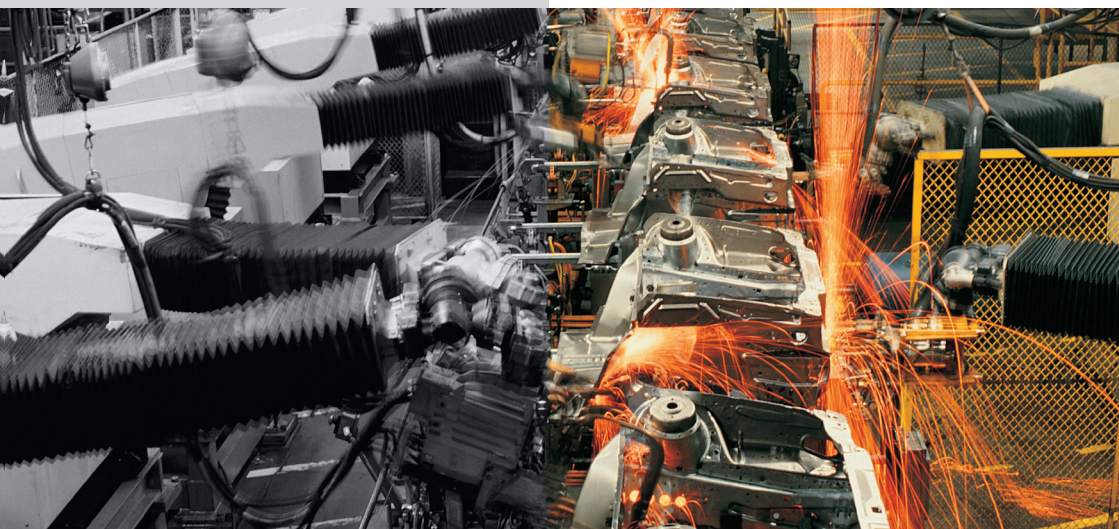


Д.А. Семистенов



# МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ



Тольятти  
Издательство ТГУ  
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением  
и родственные процессы»

Д.А. Семистенов

**МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
СВАРОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Учебное пособие

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2013

УДК 621.791.03:004.31

ББК 30.61:32.81

С306

Рецензенты:

канд. техн. наук, руководитель отдела закупок оборудования  
и услуг ООО «Джейко Раша» *Д.А. Яковлев*;

канд. техн. наук, профессор Тольяттинского государственного  
университета *Г.М. Короткова*.

**С306** Семистенов, Д.А. Микропроцессорное управление сварочными системами : учеб. пособие / Д.А. Семистенов. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. — 116 с. : обл.

В учебном пособии изложены основы построения микропроцессоров и микроконтроллеров. Рассмотрены возможности их применения в сварочных источниках питания, системах автоматического управления сварочным оборудованием и его элементами, устройствах регистрации параметров процессов. Описаны управляющие сигналы систем управления и их интерфейсы.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 150100.68 «Материаловедение и технологии материалов» (магистерская программа «Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов»). Может быть полезно для студентов специальности 150202.65 «Оборудование и технология сварочного производства», а также студентов магистратуры и бакалавриата, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение» и специализирующихся в области сварки и пайки.

УДК 621.791.03:004.31

ББК 30.61:32.81

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский  
государственный университет», 2013

## **ВВЕДЕНИЕ**

Подавляющее большинство современных электронных устройств созданы на базе цифровых систем, управляемых процессорами и микропроцессорами. Не являются исключением и современные источники питания сварочной дуги, устройства слежения и управления положением дуги, оборудование для автоматизации сварочных процессов.

Современные сварочные источники питания, построенные на базе микропроцессорной техники, обладают рядом существенных технических и технологических преимуществ перед источниками предыдущего поколения. К ним относятся малые массогабаритные показатели, высокая стабильность дуги, незначительное разбрызгивание электродного металла, высокая производительность, небольшое тепловложение в свариваемый металл, удобство и простота настройки оборудования для решаемых задач.

Квалифицированный специалист в области сварки должен разбираться в основах построения современного сварочного оборудования, подходах к управлению сварочными процессами и принципах автоматизации с применением цифровых устройств, а также знать их преимущественные особенности.

Учебное пособие направлено на систематизацию знаний студентов и специалистов сварочного производства в отношении современных сварочных источников питания, систем управления работой автоматического сварочного оборудования и его узлов, устройств регистрации физических параметров сварочных процессов.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРОПРОЦЕССОРАХ И УСТРОЙСТВАХ НА ИХ БАЗЕ

Вся схемотехника разделяется на две большие области (рис. 1.1): аналоговую и цифровую. Аналоговая схемотехника характеризуется максимальным быстродействием, малым потреблением энергии и малой стабильностью параметров. Цифровая схемотехника обладает прекрасной повторяемостью параметров, что привело к её развитию в последние десятилетия.

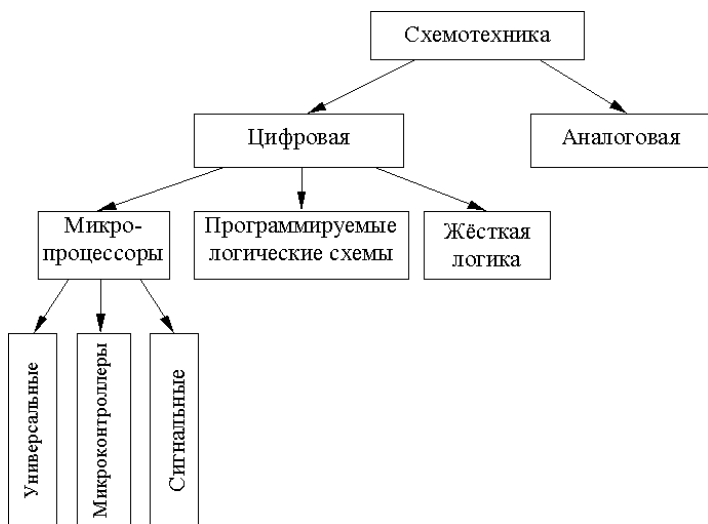


Рис. 1.1. Классификация видов схемотехники

ЭВМ получили широкое распространение начиная с 50-х годов. Прежде это были очень большие и дорогие устройства. Размеры и форма цифровых ЭВМ неузнаваемо изменились в результате разработки микропроцессоров, появившихся в начале 70-х годов.

По мере развития цифровых микросхем их быстродействие достигло впечатляющих результатов. Однако часто для решаемых задач управления сварочными системами не требуется такого быстродействия.

В современном мире трудно найти область техники, где не применялись бы микропроцессоры. Они применяются при вычислениях, выполняют функции управления, используются при обработке звука и изображения. В зависимости от области применения микропроцессора меняются требования к нему. Это накладывает отпечаток на внутреннюю структуру микропроцессора. В настоящее время определилось три направления развития микропроцессоров:

- универсальные микропроцессоры;
- микроконтроллеры;
- сигнальные микропроцессоры.

Универсальные микропроцессоры используются для построения вычислительных машин. В них используются самые передовые решения по повышению быстродействия, не обращая особого внимания на габариты, стоимость и потребляемую энергию.

Для управления малогабаритными и дешёвыми устройствами связи используются однокристалльные микроЭВМ, которые в настоящее время называются микроконтроллерами. В микроконтроллерах, наоборот, максимальное внимание уделяется именно габаритам, стоимости и потребляемой энергии.

Еще один класс микропроцессоров решает задачи, которые традиционно решала аналоговая схемотехника. Это сигнальные процессоры. К сигнальным процессорам предъявляются специфические требования. От них требуются максимальное быстродействие, малые габариты, легкая стыковка с аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, большая разрядность обрабатываемых данных и небольшой набор математических операций, обязательно включающий операцию умножения-накопления и аппаратную организацию циклов.

## 1.1. Общая характеристика микропроцессора

Микропроцессор (МП) базируется на логических схемах, используемых для манипулирования данными и выполнения вычислений под управлением программы.

Структурная схема МП (рис. 1.2) дает возможность наглядно рассмотреть его работу по выполнению двух основных функций: обработке и манипулированию данными. Ее использование часто существенно облегчает понимание того, как микропроцессор решает поставленные задачи. Для рассмотрения принципов работы МП будем пользоваться следующей структурной схемой.

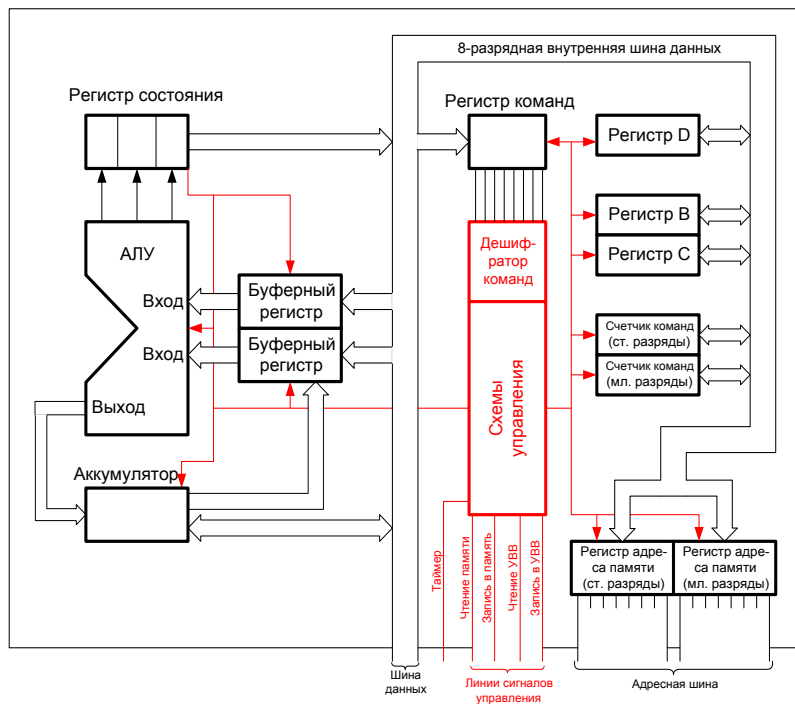


Рис. 1.2. Структурная схема микропроцессора

Изображенный на этом рисунке 8-разрядный МП с регистрами приведен в качестве типичного примера микропроцессора и не является какой-либо конкретной моделью. На практике при

работе с тем или иным микропроцессором пользователю должна быть представлена соответствующая документация, включающая и структурную схему.

Согласно структурной схеме (рис. 1.2) микропроцессор состоит из трех основных блоков: арифметико-логическое устройство (АЛУ), нескольких регистров и устройства управления. Для передачи данных между этими блоками микропроцессора используется внутренняя шина данных.

### *Арифметико-логическое устройство (АЛУ)*

АЛУ выполняет одну из главных функций микропроцессора – обработку данных. В соответствии со структурной схемой АЛУ имеет два входных порта и один выходной. Назначение входного порта – ввод данных в АЛУ, а выходного – вывод. Как правило, такие схемы имеют один или несколько входных портов и единственный выходной. Входные порты снабжены буферами, роль которых выполняют регистры временного хранения данных (буферные регистры). Каждый порт соединен со своим буферным регистром, способным хранить для АЛУ одно слово данных. Два входных порта позволяют АЛУ принимать данные или с внутренней шины данных МП, или из специального регистра, именуемого аккумулятором. Единственный выходной порт АЛУ предоставляет последнему возможность пересылать слово данных в аккумулятор.

Аккумулятор предназначен для хранения слова данных, посланного в него из выходного порта АЛУ или извлеченного из памяти. Когда, например, АЛУ складывает два слова данных, одно из них находится в аккумуляторе. После выполнения сложения результат – слово данных – посылается в аккумулятор на хранение.

АЛУ оперирует одним или двумя словами в зависимости от вида выполняемой операции; соответственно, он использует и входные порты. Например, поскольку для сложения требуется два слова данных, эту операцию АЛУ производит, пользуясь обоими входными портами. А при инвертировании слова АЛУ ограничивается одним входным портом.

АЛУ необходимо использовать в тех случаях, когда требуется изменить или проверить значение слова данных. Перечень фун-



кий АЛУ зависит от типа МП. Функции АЛУ определяют архитектуру микропроцессора в целом. Типичными операциями, выполняемыми АЛУ большинства микропроцессоров, являются следующие: сложение, вычитание, И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, НЕ, сдвиг вправо, сдвиг влево, приращение положительное, приращение отрицательное.

### *Регистры микропроцессора (МП)*

Регистры являются важной составной частью любого МП. Они участвуют в реализации основных логических функций МП независимо от количества регистров. Начнем с рассмотрения шести основных регистров.

Каждый регистр МП может использоваться для временного хранения одного слова данных. Некоторые регистры имеют специальное назначение, другие – многоцелевое. Регистры последнего типа называют регистрами общего назначения и могут использоваться программистом по его усмотрению.

Количество и назначение регистров в МП зависит от его архитектуры, однако почти все микропроцессоры имеют шесть основных регистров: состояния, буферные, команд, адреса памяти, счетчик команд и аккумулятор.

В процессе ознакомления с каждым из основных регистров следует обратить внимание на то, какое влияние оказывает именно этот регистр на данные, проходящие «сквозь» микропроцессор. Без понимания этого влияния невозможно получить правильное представление о функционировании МП.

### *Аккумулятор*

Аккумулятор – главный регистр МП при различных манипуляциях с данными. Большинство логических и арифметических операций осуществляется путем использования АЛУ и аккумулятора. Любая из таких операций над двумя словами данных (операндами) предполагает размещение одного из них в аккумуляторе, а другого – в памяти или еще каком-либо регистре. Так, при сложении двух слов, называемых условно *A* и *B* и расположенных в аккумуляторе и памяти соответственно, результирующая сумма *C* загружается в аккумулятор, замещая слово *A*. Результат операции АЛУ тоже обычно

размещается в аккумуляторе. Следует помнить, что исходное содержимое при этом теряется.

Операцией другого типа, использующей аккумулятор, является программируемая передача данных из одной части микропроцессора в другую. Речь идет о пересылке данных между портом ввода-вывода и областью памяти, между двумя областями памяти и т. п. Выполнение операции «программируемая передача данных» осуществляется в два этапа: сначала выполняется пересылка данных из источника в аккумулятор, а затем из аккумулятора — в пункт назначения.

Выше было показано, что МП позволяет использовать АЛУ для объединения данных в аккумуляторе с другими данными. Однако МП может выполнять некоторые действия над данными непосредственно в аккумуляторе. Например, аккумулятор может быть очищен путем записи двоичных нулей во все его разряды, установлен в единичное состояние посредством записи двоичных единиц во все разряды. Содержимое аккумулятора можно сдвигать влево или вправо, получать его инвертированное значение, а также выполнять другие операции.

Аккумулятор является наиболее универсальным регистром МП: для выполнения любой операции над данными их прежде всего необходимо поместить в аккумулятор. Как показано на структурной схеме, данные поступают в аккумулятор с внутренней шины данных МП. В свою очередь аккумулятор может посылать данные на эту шину.

Количество разрядов аккумулятора соответствует длине слова микропроцессора (в нашем случае 8 бит). Однако некоторые МП имеют аккумуляторы двойной длины. Такой аккумулятор можно рассматривать как одно устройство или как два отдельных аккумулятора. В первом случае второй аккумулятор пары используется для записи дополнительных битов, появляющихся при выполнении некоторых арифметических операций. Например, при умножении двух 8-битовых слов результат — 16-битовое слово — размещается в аккумуляторе двойной длины.

У некоторых МП имеется группа аккумуляторов. Если, например, два — аккумуляторы *A* и *B*, то аккумулятор должен располагать двумя различными командами для загрузки в них данных с выхода

АЛУ: одной командой — для записи данных в аккумулятор *A*, другой — для записи данных в аккумулятор *B*. Кроме того, должны быть две соответствующие команды очистки этих аккумуляторов.

Преимущество «многоаккумуляторных» МП по сравнению с «одноаккумуляторными» в том, что первые предоставляют возможность выполнения операций с передачей данных от аккумулятора к аккумулятору. Данные могут временно храниться в одном аккумуляторе, пока другой используется для выполнения каких-либо других действий. Когда вновь возникает необходимость в данных, содержащихся в первом аккумуляторе, пересылать их не нужно, поскольку они уже находятся там.

Что же касается функционирования МП с одним аккумулятором, то операции выполняются именно над его содержимым, и по завершении очередной операции результат приходится дописывать в память или в другой регистр. Во многих случаях это совпадает с намерениями программиста. Однако в некоторых случаях наличие двух аккумуляторов может сократить число необходимых операций.

### *Счетчик команд*

Счетчик команд — один из наиболее важных регистров МП. Как известно, программа — это последовательность команд, хранимых в памяти микроЭВМ и предназначенных для того, чтобы инструктировать машину, как решать поставленную задачу. Для корректного выполнения последней, команды должны поступать в строго определенном порядке. На счетчике команд лежит ответственность следить за тем, какая команда выполняется, а какая подлежит выполнению следующей. Часто счетчик команд имеет намного больше разрядов, чем длина слова данных МП. Так, в большинстве 8-разрядных МП, адресующихся к памяти объемом 65К, число разрядов счетчика команд равно 16. И на это имеются достаточно веские основания. В любой из 65536 областей памяти микроЭВМ общего назначения может находиться информация о том или ином шаге программы, т. е. в пределах диапазона значений адресов от 0 до 65535 программа может начаться и закончиться в любом месте. Чтобы обратиться к любому из этих адресов, счетчик команд должен располагать 16 двоичными разрядами.

Согласно структурной схеме МП счетчик команд соединен с внутренней шиной данных МП. Теоретически этот счетчик может получать данные об адресах программы из любого блока МП, подключенного к внутренней шине. Однако на практике данные обычно поступают в счетчик команд из памяти микроЭВМ.

Когда МП начинает работать, по команде начальной установки в счетчик команд загружаются данные из области памяти, заданной проектировщиком МП. Перед пуском программы необходимо поместить начальный адрес для программы в область памяти, указанную проектировщиком. Когда программа начинает выполняться, первым значением содержимого счетчика команд является этот, заранее определенный адрес.

В отличие от аккумулятора счетчик команд не может выполнять операции различного типа. Набор команд, его использующих, крайне ограничен по сравнению с подобным набором для аккумулятора.

Перед выполнением программы счетчик команд необходимо загрузить числом — адресом области памяти, содержащей первую команду программы. Обратите внимание, что на структурной схеме регистр адреса памяти и адресная шина расположены ниже счетчика команд. Адрес области памяти, содержащей первую команду программы, посылается из счетчика команд в регистр адреса памяти, после чего содержимое обоих регистров становится одинаковым. Длина регистра адреса памяти равна 16 разрядам.

Адрес местоположения первой команды программы посылается по адресной шине к схемам управления памятью, в результате чего считывается содержимое области с указанным адресом. Этим содержимым, конечно, должна быть команда. Память пересылает эту команду в специальный регистр блока МП, называемый регистром команд.

После извлечения команды из памяти МП автоматически дает приращение содержимому счетчика команд. Это приращение счетчик команд получает как раз в тот момент, когда МП начинает выполнять команду, только что извлеченную из памяти. Следовательно, начиная с этого момента, счетчик команд «указывает», какой будет следующая команда. Счетчик команд содержит адрес следующей выполняемой команды на протяжении всего времени

выполнения текущей команды. Об этом важно помнить, потому что, программируя работу микроЭВМ, вы можете столкнуться с необходимостью использования текущего значения счетчика команд. При этом необходимо четко сознавать, что в каждый данный момент счетчик команд указывает не текущую выполненную команду, а команду, следующую за ней.

Счетчик команд может быть загружен иным содержимым при выполнении особой группы команд. Может возникнуть необходимость выполнить часть программы, которая «выпадает» из последовательности команд основной или главной программы (например, подпрограммы). После того, как в счетчик команд записан начальный адрес подпрограммы, счетчик получает приращение по мере выполнения команд этой подпрограммы. Так продолжается до тех пор, пока не встретится команда возврата в главную программу.

### *Регистр адреса памяти*

При каждом обращении к памяти микроЭВМ регистр адреса памяти указывает адрес области памяти, которая подлежит использованию МП. Регистр адреса памяти содержит двоичное число — адрес области памяти. Выход этого регистра называется адресной шиной и используется для выбора области памяти или в некоторых случаях — выбора порта ввода-вывода.

В течение подцикла выборки команды из памяти регистры адреса памяти и счетчика команд имеют одинаковое содержимое, т. е. размер адреса памяти указывает местоположение команды, извлекаемой из памяти. После декодирования команды счетчик команд получает приращение. Что же касается регистра адреса памяти, то он приращения не получает.

В течение подцикла выполнения команды содержимое регистра адреса памяти зависит от выполнения команды. Если в соответствии с командой МП должен произвести еще одно обращение к памяти, то регистр адреса памяти подлежит вторичному использованию в процессе обработки этой команды. Для некоторых команд адресация к памяти не требуется. Такова, например, команда очистки аккумулятора. При обработке таких команд регистр адреса памяти используется лишь один раз — в течение подцикла выборки команды из памяти.

В большинстве МП регистры адреса памяти и счетчика команд имеют одинаковое число разрядов. Как и счетчик команд, регистр адреса памяти должен располагать количеством разрядов, достаточным для адресации к любой области памяти микро-ЭВМ. У большинства 8-разрядных микропроцессоров количество разрядов регистра адреса памяти равно 16. Такой регистр можно разделить на два отдельных регистра, каждый из которых имеет независимое подключение к шине данных МП. Один из этих регистров называют регистром старшего байта (СБ), другой – регистром младшего байта (МБ).

Поскольку регистр адреса памяти подключен к внутренней шине данных МП, он может загружаться от различных источников. Большинство МП располагают командами, позволяющими загружать этот регистр содержимым счетчика команд, регистра общего назначения или какой-либо области памяти. Некоторые команды предоставляют возможность изменять содержимое регистра адреса памяти путем выполнения вычислений: новое значение содержимого этого регистра получается путем сложения или вычитания содержимого счетчика команд с числом, указанным в самой команде. Адресация такого типа получила название адресации с использованием смещения.

### *Регистр команд*

Регистр команд предназначен исключительно для хранения текущей выполняемой команды, причем эта функция реализуется МП автоматически с началом цикла выборка-выполнение, называемого также машинным циклом.

Как уже отмечалось, машинный цикл состоит из двух подциклов – выборки и выполнения. За исключением загрузки команды, в период подцикла выборки программист не может по-другому использовать регистр команд. Согласно структурной схеме МП, этот регистр соединен с внутренней шиной данных, однако он только принимает данные – посылать данные на шину он не может.

Несмотря на ограниченность функций, регистр команд играет важную роль в работе МП, поскольку выход этого регистра является частью дешифратора команд.

Вспомним еще раз последовательность реализации цикла выборка-выполнение. Сначала команда извлекается из памяти, затем счетчик команд настраивается на указание следующей команды, подлежащей выполнению. При извлечении команды из соответствующей области памяти копия команды помещается на внутреннюю шину данных и пересылается в регистр команд. После этого начинается подцикл выполнения команды, в течение которого дешифратор команд «читает» содержимое регистра команд, сообщая МП, что делать для реализации операций команды.

Число разрядов регистра команд зависит от типа МП: иногда оно совпадает с числом разряда слова данных, в других случаях меньше.

### *Регистр состояния*

Наличием регистра состояния вычислительная машина отличается от калькулятора. Этот регистр предназначен для хранения результатов некоторых проверок, осуществляемых в процессе выполнения программы. Разряды регистра состояния принимают то или иное значение при выполнении операций, использующих АЛУ и некоторые регистры.

Запоминание результатов упомянутых проверок позволяет использовать программы, содержащие переходы (нарушения естественной последовательности выполнения команд).

При наличии в программе перехода выполнение программы начинается с некоторой новой области памяти, т. е. счетчик команд загружается новым числом. В случае условного перехода такое действие имеет место, если результаты определенных проверок совпадают с ожидаемыми значениями. Указанные результаты находятся в регистре состояния.

Регистр состояния предоставляет программисту возможность организовать работу МП так, чтобы при определенных условиях менялся порядок выполнения команд. Можно сказать, что МП принимает решение о том или ином продолжении хода вычислений в зависимости от указанных условий.

Итак, использование содержимого разрядов состояния привело к появлению нового набора команд МП. Эти команды предназначены для изменения хода выполнения программы в соответствии

со значением, принимаемым тем или иным разрядом состояния. Традиционный способ использования этих специальных команд предполагает загрузку счетчика команд новым содержимым, если значение определенного разряда состояния становится равным 1.

В некоторых МП предусмотрены специальные команды для сброса или очистки всех разрядов состояния. Однако имеются МП, допускающие «только чтение» содержимого регистра состояния. Чтобы понять, как пользоваться «нестандартными» разрядами регистра состояния, необходимо в каждом конкретном случае обращаться к технической документации интересующей вас модели МП.

Не все разряды регистра состояния используются МП. В неиспользуемые разряды регистра состояния обычно «навсегда» записываются двоичные единицы. Применительно к МП, рассматриваемому нами, слово состояния – содержимое одноименного регистра – имеет только три используемых разряда. Пять младших разрядов 8-разрядного слова имеют постоянные единичные значения. В результате содержимое регистра состояния может быть загружено во внутреннюю шину данных МП, однако регистр состояния не имеет возможности принимать данные, поступающие по шине. Как следствие этого, если, например, записываемый в аккумулятор результат операции – положительное число без переноса, то слово состояния равно 00011111. Если же результат операции – отрицательное число без переноса, то в регистре состояния формируется число 01011111.

### ***Буферные регистры АЛУ***

На структурной схеме МП показаны два буферных регистра, каждый из которых предназначен для временного хранения одного слова данных. Один из этих регистров (ближайший к аккумулятору на схеме) называется буфером аккумулятора АЛУ. Во второй регистр на временное хранение поступают данные с внутренней шины МП. Необходимость в таком регистре вызвана отсутствием в АЛУ своего запоминающего устройства. В состав АЛУ включены только комбинационные схемы, поэтому при поступлении исходных данных на входе АЛУ немедленно появляются результирующие данные на его выходе как следствие выполнения операций данной программы.

АЛУ должно получать данные с внутренней шины МП, модифицировать их, а затем помещать обработанные данные в аккумулятор.



Но это неосуществимо без регистра временного хранения данных. Вот почему столь существенна его роль в функционировании МП. Буферные регистры не могут быть использованы программистом.

Если на вход описанного выше буферного регистра могут поступать данные только с внутренней шины данных МП, то на вход другого буферного регистра — буфера аккумулятора — данные могут поступать, кроме того, и с выхода аккумулятора. Когда в арифметической или логической операции АЛУ участвует два слова, одно из них поступает из аккумулятора. Результат подобной операции помещается в аккумулятор. Буфер аккумулятора позволяет избежать ситуации, при которой вход и выход АЛУ одновременно подсоединены к одной и той же точке схемы. Буфер аккумулятора также недоступен программисту для использования.

### *Регистры общего назначения*

Все МП имеют 6 основных регистров. Кроме того, МП располагают регистрами, предоставляемыми в распоряжение пользователей. Эти регистры получили название регистров общего назначения. В некоторых МП они служат в качестве запоминающих устройств, в других функциональные возможности этих регистров не уступают возможностям аккумулятора. Последнее достигается в том случае, если АЛУ может помещать в них данные. Гипотетический МП, рассматриваемый нами, имеет три регистра общего назначения: В, С, D. Поскольку в нашем случае АЛУ не помещает данные в эти три регистра, последние не обладают функциональными возможностями аккумулятора. Тем не менее при выполнении многих команд используются эти регистры общего назначения.

Для реализации многих операций использование 8-разрядных регистров В, С и D идентично. Выбор конкретного регистра для выполнения определенного вида работ определяется лишь тем, какой из них доступен и кажется наиболее удобным. Обычно операции, использующие эти регистры, влияют на содержимое регистра состояния. Следовательно, любой из регистров В, С и D можно использовать в качестве счетчика отрицательных приращений. Так, если содержимое используемого для этих целей регистра D становится равным нулю, разряд нулевого результата регистра состояния принимает единичное значение.

Регистры В и С совместно могут выполнять функции 16-разрядного регистра специального назначения. Будем называть их регистровой парой ВС. Рассматриваемый нами МП обладает адресацией такого типа, при которой содержимое пары регистров ВС загружается в регистр адреса памяти. Это позволяет выполнять регистровые арифметические операции с помощью 16-разрядного регистра. Так, можно задавать приращение содержимому пары регистров ВС, а затем использовать это содержимое для адресации памяти.

Следует помнить, что регистры В и С в любое время могут функционировать и как независимые регистры. Таким образом, регистры В и С можно использовать совместно или раздельно, а регистр D всегда выступает в роли отдельного 8-разрядного регистра.

### *Схемы управления*

Роль схем управления в микропроцессоре чрезвычайно важна и заключается в поддержании требуемой последовательности функционирования всех стальных его звеньев. По «распоряжению» схем управления очередная команда извлекается из регистра команд, определяется, что необходимо сделать с данными, а затем генерируется последовательность действий по выполнению поставленной задачи.

Обычно работа схем управления микропрограммируется. Это свидетельствует о сходстве архитектуры системы управления МП с архитектурой некоторого МП специального назначения. Можно сказать, что схемы управления – это маленький МП внутри микропроцессора. Одна из главных функций схем управления – декодирование команды, находящейся в регистре команд, посредством дешифратора команд, который в результате выдает сигналы, необходимые для выполнения команды.

Схемы управления соединяются со всеми узлами МП, а также с внешними блоками (памяти и ввода-вывода) посредством линий.

Одной из важных входных линий управления, соединяющих МП с внешними устройствами, является линия связи с генератором тактовых импульсов (таймером), синхронизирующим во времени работу МП. В качестве источника тактовых импульсов обычно используется кварцевый генератор – внешний или внутренний, встроенный в МП.

Помимо указанных выше действий схемы управления выполняют некоторые другие специальные функции, такие как управление последовательностью включения питания, управление процессами прерываний. Прерывание — это своего рода запрос, поступающий на схемы управления от других устройств (памяти, ввода-вывода). Прерывание связано с использованием внутренней шины данных МП. Схемы управления принимают решение, когда и в какой последовательности другие устройства могут использоваться внутренней шиной данных.

### ***Внутренняя шина данных МП***

Структурная схема МП (первая) показывает, что 8-разрядная внутренняя шина данных соединяет между собой АЛУ и регистры, осуществляя передачу данных внутри МП. Хотя сигналы управления и играют жизненно важную роль в процессе передачи данных по внутренней шине, тракт их передачи не принадлежит шине данных.

Каждый функциональный блок МП всегда подключен к внутренней шине данных, однако воспользоваться ею может только после получения соответствующего сигнала от схем управления.

Почти все функциональные узлы МП имеют двухстороннюю связь с внутренней шиной данных, т. е. они могут и посылать данные на шину, и принимать с нее данные. Внутренняя шина данных представляет собой линию двухсторонней связи. Следует помнить, что по шине передаются слова данных, а не отдельные биты. Так, в 16-разрядном МП все пересылки по шине осуществляются группой из 2 байт (16 бит).

## **1.2. Основные типовые компоненты микроконтроллеров**

Микроконтроллер — компьютер на одной микросхеме. Он предназначен для управления различными электронными устройствами и осуществления взаимодействия между ними в соответствии с заложенной в микроконтроллер программой. В отличие от микропроцессоров, используемых в персональных компьютерах, микроконтроллеры содержат встроенные дополнительные устройства. Эти устройства выполняют свои задачи под управлением микропроцессорного ядра микроконтроллера.

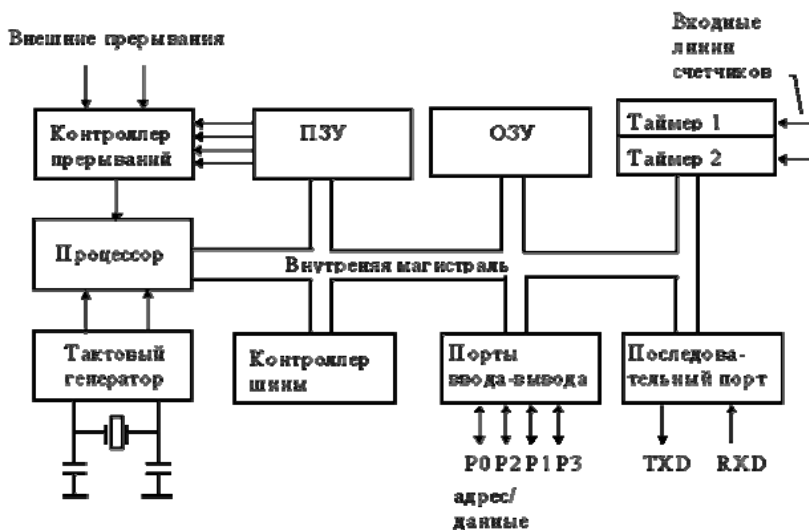


Рис. 1.3. Структурная схема микроконтроллера MCS-51

К наиболее распространенным встроенным устройствам относятся устройства памяти и порты ввода/вывода (I/O), интерфейсы связи, таймеры, системные часы (рис. 1.3). Устройства памяти включают оперативную память (RAM), постоянные запоминающие устройства (ROM), перепрограммируемую ROM (EPROM), электрически перепрограммируемую ROM (EEPROM). Таймеры включают и часы реального времени, и таймеры прерываний. Средства I/O включают последовательные порты связи, параллельные порты (I/O линии), аналого-цифровые преобразователи (A/D), цифроаналоговые преобразователи (D/A), драйверы жидкокристаллического дисплея (LCD) или драйверы вакуумного флуоресцентного дисплея (VFD). Встроенные устройства обладают повышенной надежностью, поскольку они не требуют никаких внешних электрических цепей.

Контроллером обычно называют плату, построенную на основе микроконтроллера.

Микроконтроллеры можно встретить в огромном количестве современных промышленных и бытовых приборов: станках, автомобилях, телефонах, телевизорах, холодильниках, стиральных машинах... и даже кофеварках. Среди производителей микрокон-

троллеров можно назвать Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies (бывшая Siemens Semiconductor Group) и многих других.

Основным классификационным признаком микроконтроллеров является разрядность данных, обрабатываемых арифметико-логическим устройством (АЛУ). По этому признаку они делятся на 4-, 8-, 16-, 32- и 64-разрядные. Сегодня наибольшая доля мирового рынка микроконтроллеров принадлежит 8-разрядным устройствам (около 50 % в стоимостном выражении). За ними следуют 16-разрядные и DSP-микроконтроллеры (DSP – Digital Signal Processor – цифровой сигнальный процессор), ориентированные на использование в системах обработки сигналов (каждая из групп занимает примерно по 20% рынка). Внутри каждой группы микроконтроллеры делятся на CISC- и RISC-устройства.

Тактовая частота, или скорость шины, определяет, сколько вычислений может быть выполнено за единицу времени. В основном производительность микроконтроллера и потребляемая им мощность увеличиваются с повышением тактовой частоты.

### ***Память программ и данных***

В МК используется три основных вида памяти. Память программ представляет собой постоянную память (ПЗУ), предназначенную для хранения программного кода (команд) и констант. Ее содержимое в ходе выполнения программы не изменяется. Память данных предназначена для хранения переменных в процессе выполнения программы и представляет собой ОЗУ. Регистры МК – вид памяти, включающий внутренние регистры процессора и регистры, которые служат для управления периферийными устройствами (регистры специальных функций).

### ***Память программ***

Основным свойством памяти программ является ее энергонезависимость, то есть возможность хранения программы при отсутствии питания. С точки зрения пользователей МК следует различать следующие типы энергонезависимой памяти программ.

*ПЗУ масочного типа – mask-ROM.* Содержимое ячеек ПЗУ этого типа заносится при ее изготовлении с помощью масок и не может

быть впоследствии заменено или допрограммировано. Поэтому МК с таким типом памяти программ следует использовать только после достаточно длительной опытной эксплуатации. Основным недостатком данной памяти является необходимость значительных затрат на создание нового комплекта фотошаблонов и их внедрение в производство. Обычно такой процесс занимает 2–3 месяца и является экономически выгодным только при выпуске десятков тысяч приборов. ПЗУ масочного типа обеспечивают высокую надежность хранения информации по причине программирования в заводских условиях с последующим контролем результата.

*ПЗУ, программируемые пользователем, с ультрафиолетовым стиранием – EPROM (Erasable Programmable ROM).* ПЗУ данного типа программируются электрическими сигналами и стираются с помощью ультрафиолетового облучения. Ячейка памяти EPROM представляет собой МОП-транзистор с «плавающим» затвором, заряд на который переносится с управляющего затвора при подаче соответствующих электрических сигналов. Для стирания содержимого ячейки она облучается ультрафиолетовым светом, который сообщает заряду на плавающем затворе энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера и стекания на подложку. Этот процесс может занимать от нескольких секунд до нескольких минут. МК с EPROM допускают многократное программирование и выпускаются в керамическом корпусе с кварцевым окошком для доступа ультрафиолетового света. Такой корпус стоит довольно дорого, что значительно увеличивает стоимость МК. Для уменьшения стоимости МК с EPROM его заключают в корпус без окошка (версия EPROM с однократным программированием).

*ПЗУ, однократно программируемые пользователем, – OTPROM (One-Time Programmable ROM).* Представляют собой версию EPROM, выполненную в корпусе без окошка для уменьшения стоимости МК на его основе. Сокращение стоимости при использовании таких корпусов настолько значительно, что в последнее время эти версии EPROM часто используют вместо масочных ПЗУ.

*ПЗУ, программируемые пользователем, с электрическим стиранием – EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM).* ПЗУ данного типа можно считать новым поколением EPROM, в которых стира-

ние ячеек памяти производится также электрическими сигналами за счет использования туннельных механизмов. Применение EEPROM позволяет стирать и программировать МК, не снимая его с платы. Таким способом можно производить отладку и модернизацию программного обеспечения. Это дает огромный выигрыш на начальных стадиях разработки микроконтроллерных систем или в процессе их изучения, когда много времени уходит на поиск причин неработоспособности системы и выполнение циклов стирания-программирования памяти программ. По цене EEPROM занимают среднее положение между OTPROM и EPROM. Технология программирования памяти EEPROM допускает побайтовое стирание и программирование ячеек. Несмотря на очевидные преимущества EEPROM, только в редких моделях МК такая память используется для хранения программ. Связано это с тем, что, во-первых, EEPROM имеют ограниченный объем памяти. Во-вторых, почти одновременно с EEPROM появились Flash-ПЗУ, которые при сходных потребительских характеристиках имеют более низкую стоимость.

*ПЗУ с электрическим стиранием типа Flash – Flash-ROM.* Функционально Flash-память мало отличается от EEPROM. Основное различие состоит в способе стирания записанной информации. В памяти EEPROM стирание производится отдельно для каждой ячейки, а во Flash-памяти стирать можно только целыми блоками. Если необходимо изменить содержимое одной ячейки Flash-памяти, требуется перепрограммировать весь блок. Упрощение декодирующих схем по сравнению с EEPROM привело к тому, что МК с Flash-памятью стали конкурентоспособными по отношению не только к МК с однократно программируемыми ПЗУ, но и с масочными ПЗУ также.

### ***Память данных***

Память данных МК выполняется, как правило, на основе статического ОЗУ. Термин «статическое» означает, что содержимое ячеек ОЗУ сохраняется при снижении тактовой частоты МК до сколь угодно малых значений (с целью снижения энергопотребления). Большинство МК имеют такой параметр, как «напряжение хранения информации» – USTANDBY. При снижении напряжения питания ниже минимально допустимого уровня UDDMIN, но выше

уровня USTANDBY работа программы МК выполняться не будет, но информация в ОЗУ сохраняется. При восстановлении напряжения питания можно будет сбросить МК и продолжить выполнение программы без потери данных. Уровень напряжения хранения составляет обычно около 1 В, что позволяет в случае необходимости перевести МК на питание от автономного источника (батареи) и сохранить в этом режиме данные ОЗУ.

Объем памяти данных МК, как правило, невелик и составляет обычно десятки и сотни байт. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке программ для МК. Так, при программировании МК константы, если возможно, не хранятся как переменные, а заносятся в ПЗУ программ. Максимально используются аппаратные возможности МК, в частности таймеры. Прикладные программы должны ориентироваться на работу без использования больших массивов данных.

### *Регистры МК*

Как и все МПС, МК имеют набор регистров, которые используются для управления его ресурсами. В их число обычно входят регистры: процессора (аккумулятор, регистры состояния, индексные регистры); управления (регистры управления прерываниями, таймером); обеспечивающие ввод/вывод данных (регистры данных портов; управления параллельным, последовательным или аналоговым вводом/выводом). Обращение к этим регистрам может производиться по-разному.

В МК с RISC-процессором все регистры (часто и аккумулятор) располагаются по явно задаваемым адресам. Это обеспечивает более высокую гибкость при работе процессора.

Одним из важных вопросов является размещение регистров в адресном пространстве МК. В некоторых МК все регистры и память данных располагаются в одном адресном пространстве. Это означает, что память данных совмещена с регистрами. Такой подход называется «отображением ресурсов МК на память».

В других МК адресное пространство устройств ввода/вывода отделено от общего пространства памяти. Отдельное пространство ввода/вывода дает некоторое преимущество процессорам с гар-



вардской архитектурой, обеспечивая возможность считывать команду во время обращения к регистру ввода/вывода.

### ***Стек МК***

В микроконтроллерах ОЗУ данных используется также для организации вызова подпрограмм и обработки прерываний. При этих операциях содержимое программного счетчика и основных регистров (аккумулятор, регистр состояния и другие) сохраняется и затем восстанавливается при возврате к основной программе.

В фоннеймановской архитектуре единая область памяти используется, в том числе, и для реализации стека. При этом снижается производительность устройства, так как одновременный доступ к различным видам памяти невозможен. В частности, при выполнении команды вызова подпрограммы следующая команда выбирается после того, как в стек будет помещено содержимое программного счетчика.

В гарвардской архитектуре стековые операции производятся в специально выделенной для этой цели памяти. Это означает, что при выполнении программы вызова подпрограмм процессор с гарвардской архитектурой производит несколько действий одновременно.

Необходимо помнить, что МК обеих архитектур имеют ограниченную емкость памяти для хранения данных. Если в процессоре имеется отдельный стек и объем записанных в него данных превышает его емкость, то происходит циклическое изменение содержимого указателя стека и он начинает ссылаться на ранее заполненную ячейку стека. Это означает, что после слишком большого количества вызовов подпрограмм в стеке окажется неправильный адрес возврата. Если МК использует общую область памяти для размещения данных и стека, то существует опасность, что при переполнении стека произойдет запись в область данных либо будет сделана попытка записи загружаемых в стек данных в область ПЗУ.

### ***Внешняя память***

Несмотря на существующую тенденцию по переходу к закрытой архитектуре МК, в некоторых случаях возникает необходимость подключения дополнительной внешней памяти (как памяти программ, так и данных).

МК может содержать специальные аппаратные средства для подключения внешней памяти.

Второй, более универсальный, способ заключается в том, чтобы использовать порты ввода/вывода для подключения внешней памяти и реализовать обращение к памяти программными средствами. Такой способ позволяет задействовать простые устройства ввода/вывода без реализации сложных шинных интерфейсов, однако приводит к снижению быстродействия системы при обращении к внешней памяти.

### *Порты ввода/вывода*

Каждый МК имеет некоторое количество линий ввода/вывода, которые объединены в многоуровневые (чаще 8-уровневые) параллельные порты ввода/вывода. В памяти МК каждому порту ввода/вывода соответствует свой адрес регистра данных. Обращение к регистру данных порта ввода/вывода производится теми же командами, что и обращение к памяти данных. Кроме того, во многих МК отдельные разряды портов могут быть опрошены или установлены командами битового процессора.

В зависимости от реализуемых функций различают следующие типы параллельных портов:

- однонаправленные порты, предназначенные только для ввода или только для вывода информации;
- двунаправленные порты, направление передачи которых (ввод или вывод) определяется в процессе инициализации МК;
- порты с альтернативной функцией (мультиплексированные порты). Отдельные линии этих портов используются совместно со встроенными периферийными устройствами МК, такими как таймеры, АЦП, контроллеры последовательных интерфейсов;
- порты с программно управляемой схмотехникой входного/выходного буфера.

Порты выполняют роль устройств временного согласования функционирования МК и объекта управления, которые в общем случае работают асинхронно. Различают три типа алгоритмов обмена информацией между МК и внешним устройством через параллельные порты ввода/вывода:

- режим простого программного ввода/вывода;
- режим ввода/вывода со стробированием;
- режим ввода/вывода с полным набором сигналов подтверждения обмена.

Микропроцессорное устройство (МПУ) представляет собой функционально и конструктивно законченное изделие, состоящее из нескольких [микросхем](#), в состав которых входит микропроцессор; оно предназначено для выполнения определённого набора функций: получение, обработка, передача, преобразование информации и управление.

Микропроцессорная система (МПС) представляет собой функционально законченное изделие, состоящее из одного или нескольких устройств, включая микропроцессоры и микроконтроллеры.

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация и назначение микропроцессоров.
2. Опишите структуру и составные элементы микропроцессора.
3. Что такое арифметико-логическое устройство?
4. Назовите регистры микропроцессора и их назначение.
5. Что называется микроконтроллером?
6. Назначение и характеристики портов ввода/вывода.
7. Чем отличаются друг от друга микропроцессор, микроконтроллер, микропроцессорная система, микропроцессорное устройство?

## **2. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ В СВАРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

В сварочной технике основное распространение МПС получили в инверторных сварочных источниках питания. Их применение позволяет, по сравнению с трансформаторными сварочными аппаратами, уменьшить размеры оборудования и сформировать выходную вольтамперную характеристику оптимальной формы, обеспечить синергетические процессы и максимальным образом удовлетворить требования к дуговым процессам, например процессу управляемого каплепереноса.

Преимущества сварочного оборудования с микропроцессорным управлением:

- управление формой и параметрами импульсов сварочного тока, обеспечивающее оптимальное течение сварочного процесса, т. е. для каждого типоразмера проволоки и материала сварочные свойства источника устанавливаются оптимальными для получения наилучших результатов сварки. Точное управление параметрами сварочного процесса, их слаженное взаимодействие, мгновенная реакция на возможные отклонения параметров дуги, простота использования;
- синергетическое управление решает проблему установки правильного соотношения скорости подачи и напряжения при обычной полуавтоматической сварке. При нем напряжение дуги подстраивается автоматически под установленную скорость подачи проволоки. При необходимости напряжение можно откорректировать;
- передача данных обеспечивает точное отслеживание сварочных параметров и соответствие их заданной программе и, как следствие, высокое качество и повторяемость сварных швов;

– применение заложенных сварочных программ, включая стандартные режимы, для сварки широкого спектра материалов. Синергетические программы адаптивны, т. е. имеют программные обратные связи для коррекции возникающих отклонений сварочного процесса;

– применение модульной компоновочной схемы сварочной системы, объединяющей на единой коммутационной платформе различные виды оборудования: источники, блоки управления, механизмы подачи проволоки, дополнительные модули подключения к локальным компьютерным сетям для дистанционного контроля работы оборудования и диагностики, или использование источника в роботизированной или автоматизированной технике.

## **2.1. Источники питания сварочной дуги**

В настоящее время мировые лидеры по производству сварочного оборудования переводят номенклатуру производимого оборудования на элементную базу с микропроцессорным управлением.

Контроль процесса сварки и регулирование режимов осуществляются с панели управления. Например, серия установок для ручной сварки ESAB предполагает наличие выносного блока управления Aristo Pendant U8, позволяющего программировать сварочные процессы и хранить до 256 индивидуальных программ.

Инверторы для сварки плавящимся электродом выпускает ряд фирм (во многих таких изделиях реализованы решения на принципах синергетики): ESAB – Caddy Arc, Fronius – Trans Puls Synergic, КЕМРПИ – PRO и др.

На рис. 2.1 показана полная структурная схема источника питания для сварочной дуги с микропроцессорным управлением режимами работы.

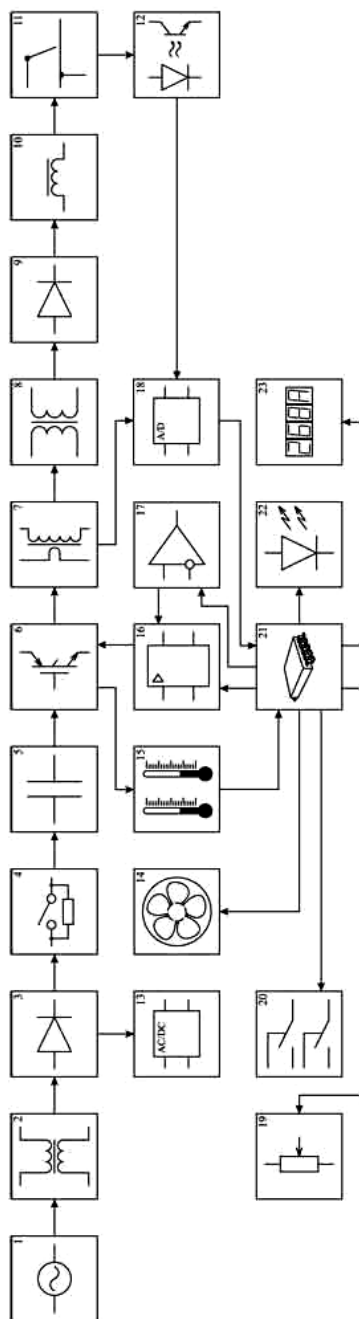


Рис. 2.1. Структурная схема источника питания для сварочной дуги с микропроцессорным управлением

В составе устройства на рис. 2.1: 1 – источник электропитания; 2 – фильтр, обеспечивающий электромагнитную совместимость разрабатываемого устройства с иными устройствами, включенными в эту же сеть; 3 – однофазный либо трехфазный выпрямитель сетевого напряжения; 4 – схема плавного заряда конденсаторов низкочастотного фильтра; 5 – низкочастотный фильтр; 6 – полупроводниковый инвертор повышенной частоты; 7 – датчик тока; 8 – высокочастотный силовой трансформатор; 9 – сильноточный выпрямитель; 10 – накопительный элемент; 11 – свариваемая деталь; 12 – устройство обратной связи по напряжению; 13 – дополнительный источник питания; 14 – устройство принудительного охлаждения полупроводниковых элементов; 15 – датчики температуры; 16 – драйвер управления силовыми ключами (при необходимости – с гальванической развязкой через трансформатор); 17 – широтно-импульсный модулятор (ШИМ) – контроллер; 18 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 19 – регулятор тока; 20 – переключатели выбора режимов работы; 21 – микропроцессор; 22 – устройство световой индикации; 23 – устройство цифровой индикации.

Для управления источником питания необходимо сформировать замкнутый цикл работы с использованием обратных связей, главным образом с целью обеспечения требуемых значений выходного напряжения и тока, а также реализации его защитных и сервисных функций.

Обратная связь по току осуществляется с помощью датчика тока, включенного в цепь первичной обмотки силового трансформатора либо в цепь его вторичной обмотки. Обратная связь по напряжению реализуется через оптопару с нормированным коэффициентом передачи. Таким образом, программное обеспечение основано на анализе текущих величин тока и напряжения и приведении их в соответствие с требуемыми величинами на разных этапах процесса электросварки. Данное ПО формирует оптимальную форму внешней характеристики источника питания (рис. 2.2).

**Технические характеристики микропроцессорного источника питания (на примере источника питания Форсаж-302)**

1. При сварке плавящимся электродом в защитной среде  $\text{CO}_2$ :
  - наклон внешней ВАХ источника питания  $\partial U/\partial I$  от 0,01 до 0,04 В/А;
  - скорость нарастания тока КЗ  $di/dt$  от 60 до 160 кА/с;
  - базовый ток источника питания  $I_b$  от 5 до 30 А;
  - напряжение источника питания  $U$  от 17 до 30 В;
2. При ручной дуговой сварке:
  - наклон внешней ВАХ источника питания  $\partial U/\partial I$  от 0,35 до 1,85 В/А;
  - наклон внешней ВАХ источника питания  $\partial U/\partial I$  при коротком замыкании от 0 до 100 ед.;
  - горячий старт 0–200 ед.;
  - напряжение источника питания  $U$  от 20 до 32 В.

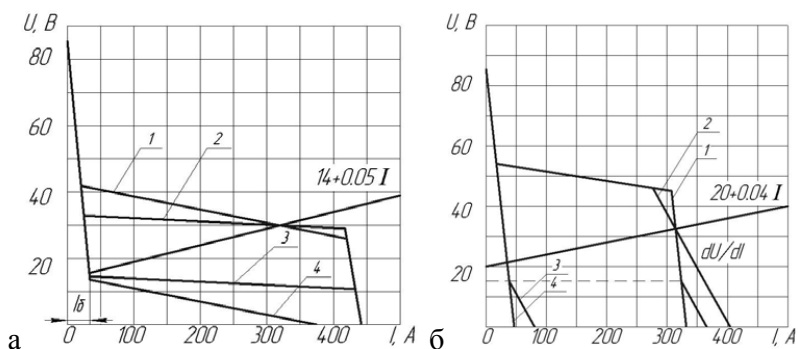


Рис. 2.2. Внешняя вольтамперная характеристика Форсаж-302:  
 а) при механизированной сварке (1 – характеристика с максимальным наклоном при максимальном сварочном напряжении; 2 – характеристика с минимальным наклоном при максимальном сварочном напряжении; 3 – характеристика с минимальным наклоном при минимальном сварочном напряжении; 4 – характеристика с максимальным наклоном при минимальном сварочном напряжении); б) при ручной дуговой сварке (1 – характеристика с минимальным наклоном при максимальном сварочном токе; 2 – характеристика с максимальным наклоном при максимальном сварочном токе; 3 – характеристика с максимальным форсированием дуги; 4 – характеристика с минимальным форсированием дуги)



Наличие сервисных функций упрощает процесс выполнения сварки, улучшает ее качество, позволяет обезопасить сварочные работы, но при этом усложняет контроль и регулировку режимов работы устройства.

- Функция Arc Force реализует кратковременное увеличение сварочного тока при уменьшении дугового промежутка до минимума, что позволяет быстро расплавить металл электрода и изделия, при увеличении дугового промежутка не допустить залипания электрода и, соответственно, стабилизировать процесс сварки. При помощи регулятора можно менять динамику поведения дуги: от «мягкой дуги», обеспечивающей малое разбрызгивание при мелкокапельном переносе, до «жесткой дуги», обеспечивающей глубокое проплавление при сварке.

- Функция Hot Start реализует кратковременное превышение сварочного тока над установленным значением в момент зажигания дуги. При помощи регулятора можно увеличить величину тока в импульсе от номинального значения до более высокого (как правило, увеличение составляет 130%).

- Функция Anti Stick реализует долговременное уменьшение тока короткого замыкания ИП при прилипании электрода к свариваемому изделию. Падение тока происходит через 1–2 секунды после прилипания. Это позволяет легко оторвать электрод от свариваемого изделия и избежать теплового пробоя силовых ключей, диодного моста, перегрева электрода и сварочных кабелей.

- Функция защиты от перегрузки по току реализуется отключением драйвера управления силовыми ключами (п. 16, рис. 2.1) в случае, если мгновенное либо усредненное за определенный промежуток времени значение тока первичной обмотки превысит установленную величину.

- Функция изменения интенсивности охлаждения реализуется регулировкой скорости вращения устройства принудительной вентиляции (п. 14, рис. 2.1), что необходимо для уменьшения температуры силовых полупроводниковых приборов, а также сердечника силового трансформатора. Блок определения температуры (п. 15, рис. 2.1) предполагает наличие дополнительного датчика температуры, расположенного в пределах корпуса, но минуемого потоком воздуха,

создаваемым искусственно. Его наличие позволяет контролировать температуру окружающей среды. Данная функция предполагает возможность кратковременного отключения драйвера управления силовыми ключами (п. 16, рис. 2.1) в случае, если максимальная скорость вращения вентилятора принудительного охлаждения (п. 14, рис. 2.1) не обеспечивает требуемую температуру охлаждаемых элементов.

- Функция защиты от повышенного или пониженного напряжения электрической сети реализует отключение схемы управления ИП, если величина его сетевого напряжения выходит за пределы, установленные стандартами. Функция реализуется при переводе дополнительного источника питания (п. 15, рис. 2.1) в режим ожидания (Stand By).

- Функция Stand By реализует ручное отключение драйвера управления силовыми ключами, но не обесточивает устройство целиком. Наличие данной функции обусловлено возникновением тех или иных технологических перерывов, в течение которых сварщик не желает выключать аппарат, настроенный для выполнения однотипных работ.

- Функция понижения выходного напряжения реализует понижение выходного напряжения ИП до величины, безопасной для жизни человека, при длительном простое. В момент касания электродом поверхности свариваемой детали осуществляется мгновенное (несколько мс) повышение напряжения до максимального значения и отработывается основной алгоритм сварки.

- Устройство цифровой индикации (п.23, рис. 2.1) реализует световую либо цифровую индикацию режимов работы источника питания, величин выходного тока и напряжения, температуры, фиксируемых датчиками, а также предупреждает сварщика об аварийной ситуации.

Алгоритм работы системы управления источником питания представлен на рис. 2.3.

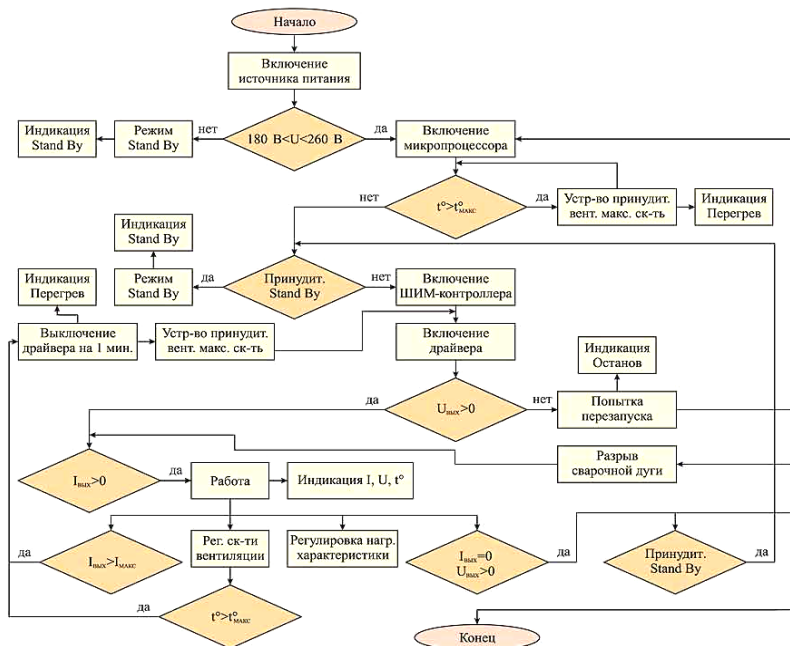


Рис. 2.3. Алгоритм работы системы управления источником питания

После включения источника питания определяется величина сетевого напряжения. Если она выходит за установленные пределы, дополнительный источник питания вводится в режим Stand By и не выполняет включение схемы управления до тех пор, пока сетевое напряжение не вернется в указанный интервал значений. Если сетевое напряжение допустимое, включается дополнительный источник питания, который, в свою очередь, включает микропроцессор. Микропроцессор выполняет проверку температуры на датчиках: при выявлении перегрева включается вентилятор на максимальную скорость, пока температура охлаждаемых элементов не достигнет необходимого значения. После этого микропроцессор включает ШИМ-контроллер и драйвер (они также могут выключаться принудительно функцией Stand By).

После включения ШИМ-контроллера и драйвера производится запуск силового каскада и выполняется проверка выходного напря-

жения с целью определения работоспособности силового каскада, импульсного трансформатора, элементов выходной цепи. Если напряжение отсутствует, источник питания перезапускается.

После удачного запуска микропроцессор ожидает изменения величины выходного тока, которое определяется датчиком тока, с целью формирования требуемой нагрузочной характеристики. При успешной проверке величины тока и напряжения на выходе источника питания выполняется расчет режима работы источника питания при соответствующем режиме сварки.

Расчет выполняется с целью формирования управляющего воздействия на силовые элементы ИП, при котором формируется необходимая форма нагрузочной характеристики. При этом используется фаззи-управление, когда управляющее воздействие микропроцессором формируется методами нечеткой логики.

Источник питания сварочной дуги может содержать систему цифровой индикации: величины сварочного тока и напряжения, в том числе входного, температуру элементов силового каскада.

При превышении установленного значения выходного тока либо перегреве одного или нескольких элементов схемы предусмотрена защита от перегрузки. При этом выполняется выключение драйвера управления силовыми ключами и на некоторое время включается вентилятор на максимальную скорость.

Разрыв дуги контролируется путем снижения сварочного тока, величина которого также детектируется датчиком тока.

Проблемы управления силовым оборудованием и, в частности, источниками питания больших мощностей связаны с необходимостью учета режимов работы, как отдельных узлов, так и устройства в целом. Большое количество факторов управления (выходной ток и напряжение) требует оценки точности алгоритма в совокупности с параметрами устройства, такими как мощность силового каскада, электромагнитная сила силового трансформатора, устойчивость к перегрузкам и др.

Неточности в проектировании алгоритма управления и формировании формы нагрузочной характеристики могут привести как к малозаметному ухудшению качества работы устройства (частое залипание электрода, «неуверенное» поддержание дуги), так и к

грубому нарушению работы (ложное или несвоевременное срабатывание сервисных функций), что может повлечь за собой выход из строя источника питания.

Решить данную проблему позволяет управление с применением методов нечеткой логики. Используя данный метод, можно отказаться от применения ШИМ (п. 17, рис. 2.1) и осуществлять управление непосредственно от фаззи-контроллера (п. 21, рис. 2.1), оснатив его специальной программой, которая посредством управления силовыми ключами будет формировать значения выходного тока и напряжения ИП (п. 6–10, рис. 2.1).

*Фаззи-контроллер* (Fuzzy-Logic Controller, FLC) – это контроллер на нечеткой логике, реализующий управление. То есть это включенная в процесс управления и работающая в реальном времени экспертная система, которая применяет фаззи-логику для преобразования качественных логических переменных.

Фаззи-контроллеры, предназначенные для регулирования температуры, а также других параметров сварочных процессов, могут использоваться как простые ПИД-регуляторы, так и выполнять более сложные функции. Функция Fuzzy Logk представляет собой алгоритм многопараметрической логики, который позволяет исключать большинство ошибок перерегулирования.

## **2.2. Оборудование для дуговой сварки**

### *Назначение и состав систем управления*

Микропроцессорные системы управления (МПСУ) сварочным оборудованием обеспечивают решение разнообразных задач для различных способов дуговой сварки. С помощью МПСУ осуществляют наведение сварочного электрода на место сварки при использовании датчиков положения сварочного инструмента, стабилизацию и управление технологическими параметрами режима сварки с целью обеспечить заданные размеры и форму шва и исключить появление внутренних дефектов. Главные их достоинства – это универсальность, многофункциональность, легкость перепрограммирования, возможность реализации любых по сложности алгоритмов управления, небольшие размеры и низкое энергопот-

ребление. В связи с этим МПСУ перспективны для использования в широком круге сварочного оборудования.

Система на рис. 2.4 не содержит обратную связь по выходным параметрам объекта сварки (геометрическим характеристикам параметров шва) и поэтому классифицируется как разомкнутая. Закрытая система управления включает в свою структуру информационные датчики, измеряющие выходные параметры объекта (пунктир на рис. 2.4). Эта информация в замкнутых системах используется для коррекции уставок по технологическим параметрам процесса. Величина корректирующих воздействий на уставку может быть вычислена через математическую модель, связывающую эти параметры с выходными параметрами качества сварки, например, геометрическими параметрами сварного шва.

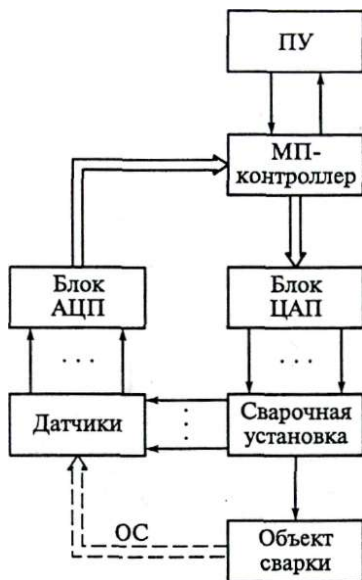


Рис. 2.4. Обобщенная структура разомкнутой МПСУ: ПУ – программное устройство; ЦАП и АЦП – цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи сигналов; ОС – обратная связь

В результате развития микропроцессоров созданы системы управления технологическими процессами, в которых обработка информации и формирование оптимальных управлений осуществля-

ются человеком с помощью МП-контроллера – многоканального информационно-управляющего устройства в автоматической системе управления технологическими процессами (АСУТП).

Типовая структура АСУТП включает устройство связи с объектом (УСО) и МП-контроллер, осуществляющий централизованное управление одним или несколькими технологическими процессами. Надежность всего комплекса определяется в этом случае надежностью УСО и МП-контроллера, и при выходе их из строя нормальное функционирование технологического оборудования невозможно.

Если МП-контроллер в АСУТП вырабатывает оптимальные регулирующие воздействия и с помощью соответствующих преобразователей передает команды управления на исполнительные модули, то такие АСУТП называют автоматизированными системами с прямым цифровым управлением (ПЦУ).

В АСУТП с ПЦУ оператор должен иметь возможность изменять уставки, контролировать избранные переменные, варьировать диапазоны допустимого изменения переменных, изменять параметры настройки и иметь доступ к управляющей программе. Для обеспечения этих функций необходимо иметь сопряжение человека и машины в виде пульта оператора и средств отображения информации. Применение МП-контроллера в режиме ПЦУ позволяет программным путем строить системы регулирования по возмущению, комбинированные системы каскадного и многосвязного регулирования, учитывающие связи между отдельными частями объекта управления. Прямое цифровое управление позволяет также реализовать не только оптимизирующие функции, но и адаптацию к изменению внешней среды и переменным параметрам объекта.

В системах с ПЦУ упрощается реализация режимов пуска и остановки процессов, переключение с ручного на автоматическое управление, операции переключения исполнительных механизмов основного и вспомогательного оборудования.

Главное требование к системам с ПЦУ – обеспечить высокую надежность работы элементов цифровой техники, в частности МП-контроллера. Особенно важно выполнение этого требования при использовании осциллятора для зажигания дуги в сварочной установке.

Несмотря на высокую надежность всех средств системы, отказы

в МП-технике возможны, и это обстоятельство необходимо учитывать при построении АСУТП с ПЦУ. При проектировании АСУТП важно тщательно проанализировать выпускаемую МП-технику и выбрать для нее надежную элементную базу при разработке схемных решений, позволяющих защитить систему от поражающего действия при зажигании и обрыве дуги.

На функциональной схеме АСУТП (рис. 2.5) представлены основные элементы сварочного автомата: сварочная аппаратура, система управления сварочной аппаратурой, блок регистрации, внешняя ЭВМ.

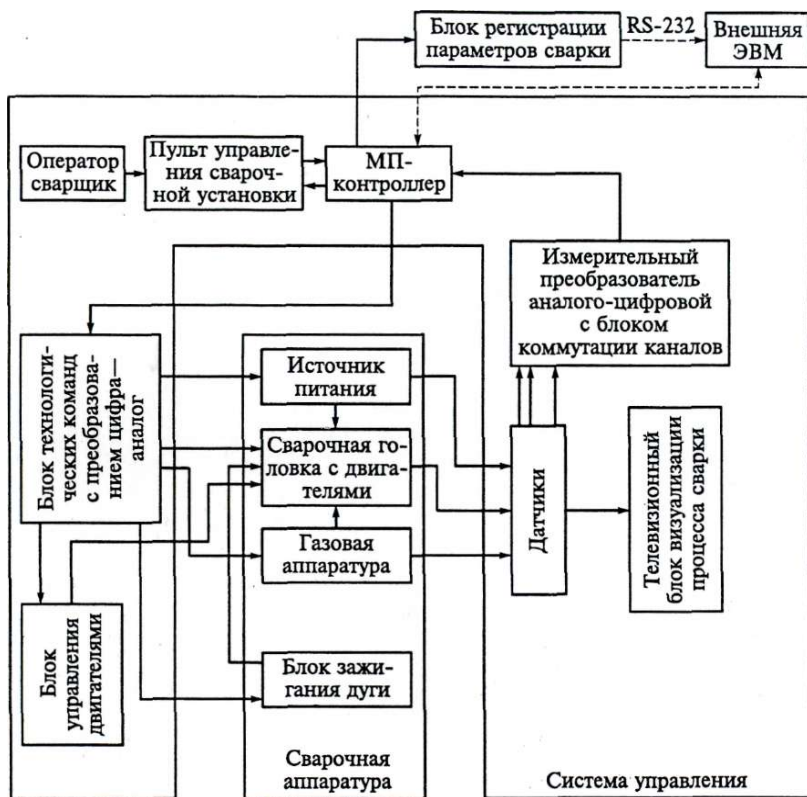


Рис. 2.5. Функциональная схема централизованной АСУТП с прямым цифровым управлением многомоторным сварочным автоматом для аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб



Сварочная аппаратура включает:

- блок зажигания дуги, предназначенный для начала процесса сварки и его последующего поддержания (в случае импульсно-дуговой сварки) без потери качества заточки электрода (технологические требования);

- газовую аппаратуру, предназначенную для редуцирования давления защитного газа, его подогрева, осушения, своевременного включения электромагнитного клапана и подачи защитного газа в зону сварки;

- сварочную головку с двигателями, предназначенную для направления сварочной горелки по заданной траектории, подачи присадочной проволоки, колебания сварочной горелки;

- источник питания с регулируемой вертикальной ВАХ на рабочем участке, предназначенный для выработки и изменения силы сварочного тока.

Система управления сварочным автоматом, предназначенная для управления циклом сварочного процесса и технологическими параметрами сварочного процесса, включает:

- МП-контроллер, предназначенный для принятия команд и установок с пульта оператора, реализации команд программы управления процессом сварки, опроса датчиков, связи с блоком технологических команд, выработки сигналов управления на двигатели сварочной установки, передачи данных на блок регистрации данных и внешнюю ЭВМ;

- пульт управления сварочной установкой, предназначенный для отображения технологических параметров режима, выбора начальных параметров, изменения параметров оператором и контроля за изменением технологических параметров в процессе сварки;

- блок технологических команд, предназначенный для изменения установок на блоках сварочной аппаратуры (под действием МП-контроллера) и передачи уставок на исполнительные устройства и механизмы сварочной аппаратуры;

- блок управления двигателями, предназначенный для распределения и передачи команд оператора с пульта управления через МП-контроллер и блок технологических команд на исполнительные механизмы сварочной аппаратуры;

- телевизионный блок визуализации процесса сварки, предназначенный для отображения зоны сварки в труднодоступных местах, визуального контроля оператором протекания процесса сварки и возможного введения корректирующих воздействий на систему;
- датчики, предназначенные для измерения значений технологических параметров в процессе сварки и преобразования этой информации для передачи в МП-контроллер;
- измерительный аналого-цифровой преобразователь с коммутацией каналов, предназначенный для измерения уровней сигнала с датчиков, преобразования сигналов датчиков в цифровой код и их передачи в МП-блок управления.

Блок регистрации предназначен для сбора, документирования параметров технологического процесса, получения паспорта качества на технологический процесс.

Внешняя ЭВМ предназначена для статистической обработки технологических параметров процесса и оптимизации протекания технологического процесса по встроенной математической модели.

### *Программное управление*

Системы программного управления параметрами сварочного оборудования и процесса при сварке можно разделить на группы по уровню их совершенства. Наиболее просты системы с жесткой программой и без ОС, которые задают и осуществляют определенный последовательный цикл операций процесса, не содержат устройств для контроля результатов управления. Такие системы вполне могут удовлетворить технолога, если свариваемая деталь имеет несложную форму и хорошо подготовлена под сварку, а процесс выполняется в одном пространственном положении. Их широко применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Более совершенны СУ, изменяющие несколько параметров процесса по заранее разработанной жесткой программе уставок. В этом случае программирование из-за отсутствия информации о результатах управления не позволяет получить качественных сварных соединений при технологических возмущениях.

Наиболее перспективны в условиях действия технологических возмущений системы программного управления с ОС по про-

граммируемым параметрам. В таких системах ОС реализуется с помощью датчиков, дающих в любой момент времени истинную информацию об изменении каждого параметра процесса. В этих системах обеспечивается режим гибкого программного управления. Они сложнее перечисленных выше систем, но обладают значительно большими возможностями в управлении процессом сварки, особенно в условиях действия случайных технологических возмущений.

При разработке программ сварочного цикла важны выбор технологической схемы сварки и определение границ участков с одинаковыми параметрами режима, что обуславливается заявленными требованиями: нужно ли получить максимальную производительность, соблюсти определенный термический цикл или обеспечить выполнение процесса при минимальных изменениях режима. Например, для неповоротного кольцевого стыка труб из коррозионно-стойкой стали в диапазоне диаметров 40...400 мм, выполняемого автоматически аргонодуговой сваркой за несколько проходов, можно составить типовую циклограмму сварочных операций (рис. 2.6).

Программа состоит из начального обдува соединения аргоном (5...10 с); включения контактора на источнике питания и возбуждения осциллятором основной дуги, обеспечивающей местный прогрев стыка (4...6 с); включения двигателя подачи присадочной проволоки и привода вращения сварочной головки, обеспечивающих требуемую скорость сварки  $V_{св}$ , скорость подачи присадочной проволоки  $V_{пр}$  и наложения рабочего участка шва.

Конечная программа требует некоторого перекрытия начала шва (8...10 с), заварки кратера и заключительного обдува стыка аргоном (10...15 с). После небольшой паузы (1...2 мин) по той же программе выполняется следующий проход шва.

Подобную программу можно применить и для прямолинейного шва при однопроходной сварке. Однако не всегда можно обойтись условием постоянства основных параметров режима сварки на рабочем участке программы. Например, для стыков труб диаметром до 40 мм при обычных скоростях сварки как в поворотном, так и в неповоротном положении наблюдается изменение температурно-

го поля в зоне сварочной ванны. При сварке неповоротных стыков труб диаметром более 100 мм из-за увеличенного объема сварочной ванны наблюдается стекание сварочной ванны, особенно при сварке на подъем. В этих случаях по периметру стыка возможны дефекты формирования шва. Температурное поле сварочной ванны изменяется по двум причинам: вследствие нестационарного теплового состояния ванны (что вызвано холодным металлом трубы в начале сварки) и вследствие встречного потока теплоты от дуги, который в зависимости от длины периметра стыка и мощности дуги подогревает сварочную ванну.

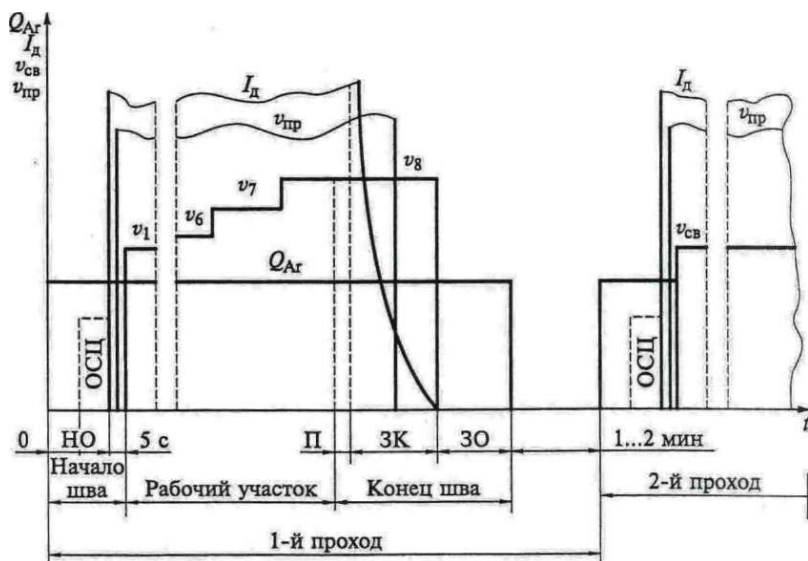


Рис. 2.6. Типовая циклограмма процесса аргодуговой сварки неповоротного кольцевого стыка трубы (показана условно):

НО – начальный обдув; ОСЦ – осциллятор; П – перекрытие;  
 ЗК – заварка кратера; ЗО – заключительный обдув;  $Q_{Ar}$  – расход аргона;  
 $I_d$  – сварочный ток;  $v_{св}$ ,  $v_{пр}$  – скорость сварки и подачи присадочной проволоки;  $v_1-v_8$  – скорость сварки в точках по периметру стыка трубы

Начальную нестационарность теплового поля при сварке многих деталей можно ликвидировать, вводя планку, на которой возбуждается дуга, но для стыка труб это неосуществимо. Можно при-

менять начальный подогрев, задерживая дугу в течение нескольких секунд на месте. Такой прием не всегда дает хороший результат, так как ширина и глубина кольцевого шва трубы изменяются по длине стыка, сваренного на постоянном режиме. Более целесообразно корректировать тепловой режим в соответствии с изменением коэффициента теплонасыщения, программно регулируя скорость сварки или ток дуги. Для труб диаметром 100 мм и более необходимо увеличить поверхностное натяжение обратной стороны сварочной ванны во избежание излишнего провисания корня шва.

Целесообразно активно воздействовать на ванну жидкого металла для получения качественного формирования шва. Одно из таких воздействий – это получение дополнительной силы путем создания разного давления газа во внутренней и внешней полостях трубы. Технология сварки в этом случае предусматривает создание с любой стороны шва герметичной камеры. Во избежание подсоса газа через стык последний необходимо загерметизировать ниточным швом с начальным проплавлением стенки трубы. Основной проход будет осуществляться с программированием давления по обе стороны стенки трубы ввиду различного направления сил, участвующих в формировании сварочной ванны. Применение активных сил позволяет отказаться от подкладок, используемых при сварке швов, где есть доступ к месту сварки с обеих сторон, и сваривать швы с односторонним доступом без разделки кромок стенки трубы или листа.

Кроме программирования по силе тока, скорости и давлению в зоне сварки для достижения требуемого качества сварки можно программно регулировать амплитуду и частоту колебаний неплавящегося электрода, а также подачу присадочной проволоки, что позволяет увеличить ширину сварочной ванны и уменьшить ее стекание. При многопроходной сварке можно программировать перемещение сварочной горелки от прохода к проходу.

На схеме рис. 2.7 показано управление семью рабочими параметрами: скоростью сварки  $V_{св}$ ; сварочным током  $I_d$ ; расходом аргона в зоне сварки; частотой колебаний сварочной головки  $a$  и углом отклонения амплитуды колебаний  $a'$  сварочной горелки от вертикали; скоростью подачи присадочной проволоки  $V_{пр}$ ; перемещением сварочной горелки по координатам  $X$  и  $Y$ . Блоки программирова-

ния БП1–БП7 перечисленных параметров можно выполнять типовыми, а в качестве их элементов применять электромеханические реле, полупроводниковые приборы и интегральные схемы.

Связь цепей малой мощности (блоков программирования по каждому параметру режима сварки) с соответствующими силовыми цепями исполнительных органов источника питания, приводов обеспечивается через типовые усилители мощности. Для реализации программы во времени периметр стыка трубы разбивают на определенное число участков, причем каждому участку соответствует нужное значение параметра режима сварки, задаваемое программноносителем, например, регулируемым резистором.

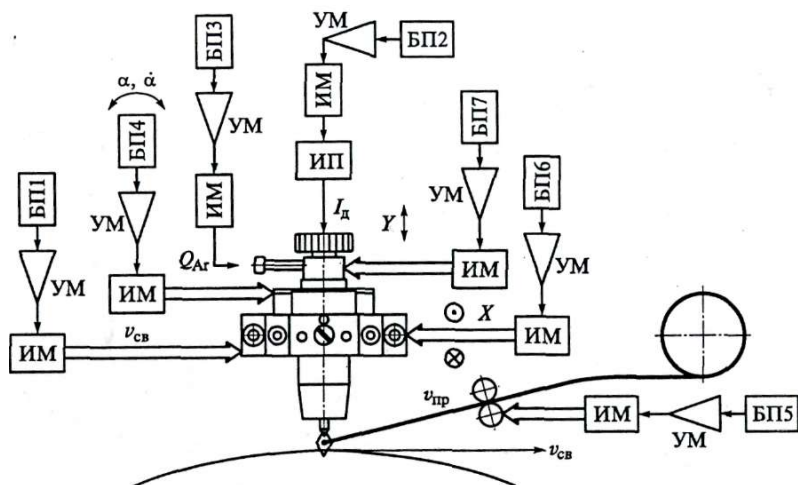


Рис. 2.7. Функциональная схема устройства сварочной головки, выполняющего рабочую программу аргодуговой сварки неповоротного стыка трубы: БП1–БП7 – блоки программирования; ИМ – исполнительный механизм; УМ – усилитель мощности;  $X$ ,  $Y$  – координаты;  $\alpha$  – угол отклонения амплитуды колебаний сварочной горелки;  $a$  – частота колебаний сварочной головки

Все блоки программирования могут быть объединены в единый блок памяти. Передача данных программы и логические операции над ними проходят по цепям малой мощности.

На рис. 2.8 представлен пример схемы заполнения разделки неповоротного стыка трубы при многопроходной сварке и приведены программы перемещения горелки по координатам  $X$  и  $Y$ .

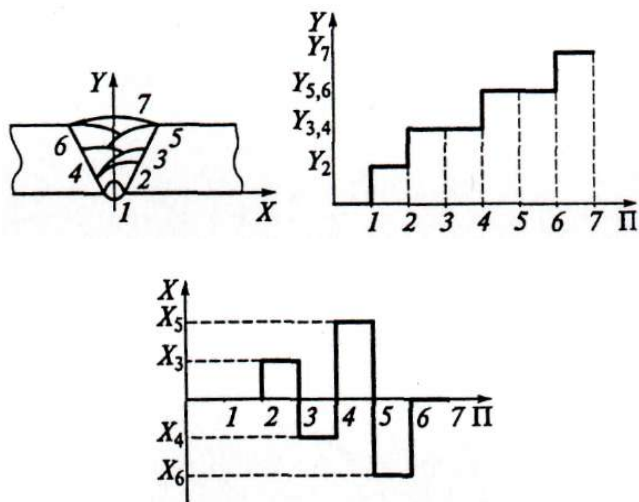


Рис. 2.8. Схемы заполнения разделки стыка (а) и перемещения (П) сварочной горелки по координатам  $X$ (б) и  $Y$ (в) при многослойной сварке: 1–7 – номера проходов при сварке

### 2.3. Оборудование для контактной сварки

Перспективным является использование в схемах управления контактной сварочной машины контроллеров, выполненных на базе микропроцессоров. Контроллеры позволяют хранить в памяти несколько десятков программ режима сварки (включая последовательность и длительность операций); значения токов сварки, подогрева, отжига; сварочного и ковочного усилий сжатия и т. п. Требуемую программу режима может активизировать оператор, включая клавиши терминала в зависимости от марки материала и толщины свариваемого изделия. Согласно вызванной программе контроллер обеспечивает заданный цикл сварки.

Современные микропроцессорные средства управляющей вычислительной техники (МСУВТ) оперируют с 8- и 16-разрядными

двоичными числами, время выполнения короткой операции типа регистр-регистр составляет 1 мкс, объем памяти не превышает нескольких десятков килобайт.

Повышение вычислительной мощности МСУВТ ведет к резкому возрастанию их стоимости и, как следствие, сокращению сферы применения.

Таким образом, есть противоречие между высоким уровнем требований, предъявляемых к системам управления электросварочным оборудованием (ЭСО), и ограниченными возможностями современных МСУВТ. Разрешить это противоречие можно, максимально учитывая специфику конкретного объекта управления в структуре и параметрах будущей системы управления.

Следуя традиционной классификации ЭСО, условно выделяют три уровня МСУВТ.

К первому уровню следует отнести МП-контроллеры, предназначенные для комплектования отдельных сварочных устройств, выпускаемых большими сериями (машины переменного тока для точечной сварки). Такие контроллеры должны непосредственно встраиваться в сварочную машину и обеспечивать ее функционирование как при автономном использовании, так и в составе сборочно-сварочных линий. Существенные параметры в этом случае – надежность, технологичность изготовления, материалоемкость. В качестве элементной базы для контроллеров целесообразно использовать однокристалльные микроЭВМ, дополняемые комплектами интерфейсных больших интегральных схем (БИС).

Максимальный учет особенностей объекта управления и условий его эксплуатации на этом уровне достигается схемотехнически благодаря разработке специализированных МП-плат, конструкций, блоков питания и организации их серийного производства. Пример системы первого уровня – контроллер ККС-01, выполненный на базе однокристалльной микроЭВМ КД816ВЕ48 и предназначенный для управления точечными контактными машинами переменного тока.

Ко второму уровню МСУВТ относят системы, предназначенные для управления сложными комплексами ЭСО, объем выпуска которых не превышает нескольких десятков (точечные контактные



машины с выпрямлением во вторичном контуре, многоэлектродные машины, обрабатывающие центры типа BILLER со сварочными операциями и т. д.). На этом уровне существенно возрастают требования к вычислительной мощности МСУВТ, которые должны обеспечить параллельное ведение нескольких сварочных процессов; контроль качества соединения по заданному закону изменения параметров сварочного процесса; управление перемещением деталей и позиционированием сварочных головок; связь с устройствами отображения информации (дисплей, АЦПУ) и ЭВМ верхнего уровня; самоконтроль и контроль технологического оборудования и т. д. В качестве элементной базы систем второго уровня целесообразно использовать серийно выпускаемые комплекты МСУВТ, включающие одноплатную микроЭВМ; платы расширения памяти, ввода-вывода; пульты; блоки питания.

Специализация МСУВТ на этом уровне проводится за счет выбора требуемого комплекта плат из серийно выпускаемого набора, специфицирования их архитектуры с помощью модификаций и дополнения модулями усиления и согласования выходных сигналов собственной разработки.

Пример системы второго уровня – это комплекс СГУ ПТМ, выполненный на базе МСУВТ В7 и предназначенный для управления группой полуавтоматов для сварки дистанцирующих решеток.

К третьему уровню относят управляющие вычислительные комплексы (УВК), предназначенные для управления линиями. Такие разработки носят единичный характер и требуют совокупности схемотехнических решений. Строят УВК по иерархической структуре с распределенной вычислительной мощностью. Такие УВК могут включать элементы МСУВТ двух первых уровней. Связь между отдельными системами в составе комплекса осуществляется по последовательным каналам типа ИРПС и (или) дистанционным магистралям. Проектирование ведут в основном методом проектной компоновки. Пример одной из первых систем третьего уровня – УВК линии контактной сварки боковых стен полувагонов.

Микропроцессорный контроллер ККС-01 для машин контактной сварки предназначен для управления точечными контактными машинами переменного тока, снабженными тиристорным контак-

тором и электропневмоклапанами постоянного тока. Контроллер обеспечивает выполнение следующих функций:

- ввод и вывод на пульт в цифровой форме параметров режима сварки;

- хранение в энергонезависимой памяти оперативного запоминающего устройства (при отключении питания) 16 режимов сварки с 6-позиционной циклограммой или 4 режимов с 13-позиционной циклограммой;

- фазовое управление тиристорным контактором, при котором угол включения тиристорov вычисляют в каждом периоде напряжения сети по сигналу рассогласования между заданным и измеренным действующими значениями сварочного тока с автоматической настройкой на текущее значение коэффициента мощности и сопротивления постоянному току сварочного контура;

- измерение действующего значения сварочного тока в каждом периоде напряжения сварочной сети, вычисление среднего действующего значения тока за время нагрева и индикация этого значения на позиции «Проковка»;

- точная отработка разветвленной циклограммы сварочного процесса, включающей 19 временных интервалов, из них четыре – токовых с возможностью отдельно регулировать значение и длительность импульса тока и повторять импульсы тока (0–255 раз в каждом интервале). Длительность позиций циклограммы устанавливается в пределах 255 периодов напряжения сварочной сети и может быть сведена к нулю;

- компенсация износа электродов благодаря последовательному увеличению уставки тока через заданное число сварок;

- контроль состояния оборудования и сварочного процесса с выдачей на пульт диагностических сообщений;

- дистанционное управление от системы верхнего уровня, включая прием сигналов задания номера режима, запуска сварки, блокировки нагрева и выдачу сигналов «Отказ» и «Сварка».

По своим функциональным возможностям и технико-экономическим показателям контроллер не уступает современным зарубежным системам, таким как PS-2000 фирмы BOSCH, CT- 222A, CY-241A фирмы Miyachi и др.

Все основные функции контроллера реализуются программными средствами.

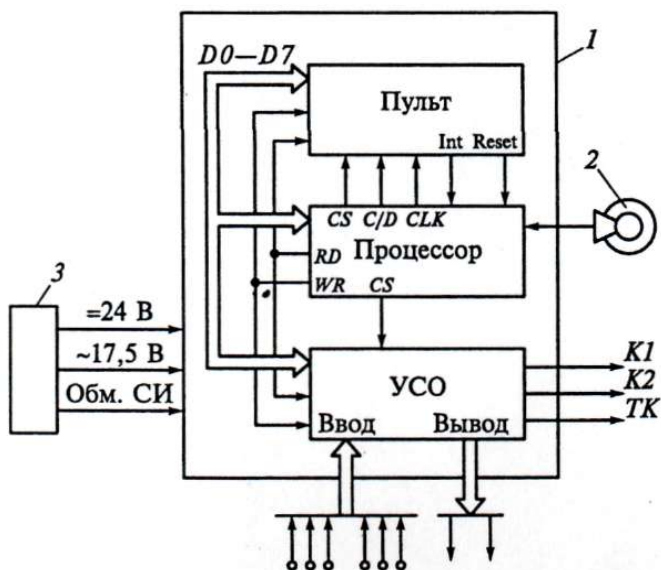


Рис. 2.9. Структурная схема МП-контроллера ККС-01: 1 – основной блок; 2 – датчик тока; 3 – блок питания; K1, K2 – электропневмоклапаны; ТК – тиристорный контактор; СИ – синхронизирующий импульс; УСО – устройство связи с объектом

В состав контроллера ККС-01 (рис. 2.9) входят три конструктивно законченных элемента: основной блок 1, датчик 2 тока, блок питания 3. В состав основного блока входят три печатные платы: устройства связи с объектом (УСО), процессор и пульт. Ядро платы процессора составляет БИС однокристалльной микроЭВМ K1816E48. Обмен информацией между платами проводится по 8-разрядной шине данных D0–D7, управляемой сигналами чтения RD, записи WR и выбора устройства CS. Ввод и вывод дискретных сигналов проводят через плату УСО. На этой плате формируют сигналы управления электропневмоклапанами K1 и K2 и тиристорным контактором. Сигнал с датчика 2 тока, пропорциональный производной сварочного тока  $i'(t)$ , поступает на плату процессора. На плате пульта установлены псевдосенсорная клавиатура из 20 клавиш и линейка из

семи цифровых 7-сегментных индикаторов. Обмен между процессором и пультом также проводится по шине данных D0—D7. На плате пульта формируются сигналы начальной установки Reset и запроса на прерывание Int. С платы процессора на пульт поступают сигналы выбора режима C/D и тактовая частота CLK. Блок питания 3 непосредственно включается в сварочную сеть. На выходе блока питания формируют переменное напряжение 17,5 В и постоянное напряжение 24 В, подаваемые в основной блок 1. Помимо напряжений питания в основной блок 1 подают сигнал переменного тока «Обм.СИ», используемый для синхронизации с сетью.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите преимущества сварочного оборудования с микропроцессорным управлением.
2. Каковы структура АСУТП и назначение ее элементов?
3. Нарисуйте циклограмму процесса аргодуговой сварки.
4. Опишите микропроцессорный контроллер ККС-01 и его функции.

## **3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

### **3.1. Электрические двигатели**

В сварочной технике широкое применение нашли электроприводы с асинхронными, шаговыми двигателями и двигателями постоянного тока. Электропривод с асинхронными двигателями чаще применяется для привода в движение сварочных тракторов, вращателей и других устройств, а с двигателями постоянного тока в подающих механизмах.

Прогресс в областях электроники и используемых в электротехнике материалов изменил ситуацию в технике привода. До сих пор в сервотехнике применялись в основном двигатели постоянного тока с постоянными магнитами.

Главный недостаток двигателей переменного тока по сравнению с двигателями постоянного тока состоит в ограниченной возможности регулирования скорости. Последние достижения в области электроники, особенно в микроконтроллерах, позволяют компенсировать этот недостаток путем использования современных средств управления.

В настоящее время происходит смещение акцентов в приводных системах от двигателей постоянного тока к двигателям переменного тока. Тенденция перехода к синхронным двигателям переменного тока особенно очевидна в сервосистемах, которые почти всегда выполнялись с использованием электроприводов постоянного тока.

В современной приводной технике во многих случаях предъявляются высокие требования:

- к погрешности позиционирования;
- погрешности стабилизации скорости;
- широкому диапазону регулирования;

- стабилизации момента вращения;
- перегрузочной способности;
- высокой динамике.

Высокие технические характеристики электроприводов необходимы при создании современного оборудования в области заготовительных и сварочных операций. Примерами могут служить координатные системы для лазерного раскроя листового металла перед сваркой, которые позволяют получать микронную точность повторения размеров заготовок при высокой скорости позиционирования (до 120 м/мин).

Принципиально перечисленных выше качеств можно добиться с использованием: двигателей постоянного тока независимого возбуждения, асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов. Ниже приводится сравнение этих двигателей по ряду параметров (рис. 3.1).

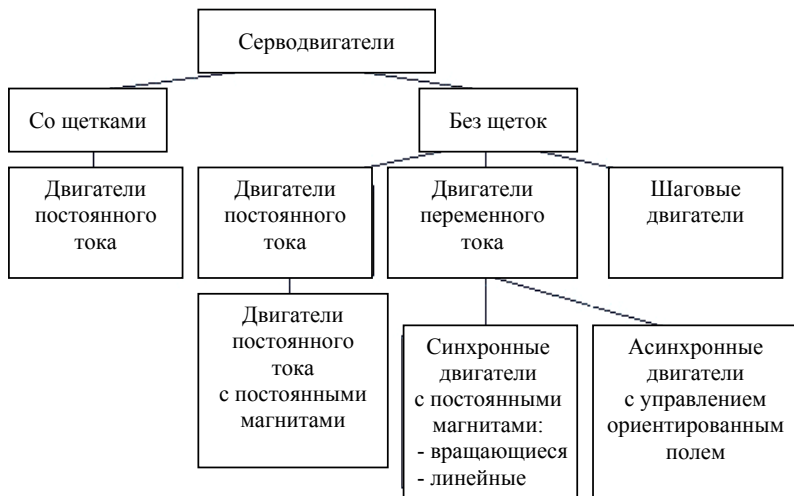


Рис. 3.1. Обзор типов серводвигателей

Дополнительные преимущества двигателей постоянного тока перед асинхронными обеспечивают появившиеся мощные постоянные магниты, изготовленные из сплавов неодим-железо-бора и самарий-

кобальта благодаря их высокой энергоемкости, могут существенно улучшить характеристики двигателя при снижении массо-габаритных показателей электрических машин. В итоге улучшаются динамические характеристики привода и снижаются его габариты.

Однако современные разработки в области управления, особенно создание следящих приводов, позволяет применять более дешевые асинхронные двигатели для создания эффективных и надежных систем управления.

### **3.2. Системы управления**

Для повышения точности, производительности и стабильности работы исполнительных устройств любого технологического и сварочного оборудования целесообразно применять сервопривод (следящий привод) – привод с управлением через отрицательные обратные связи.

Сервоприводом является любой тип механического привода (устройства, рабочего органа), имеющий в составе датчик (положения, скорости, усилия и т. п.) и блок управления приводом, автоматически поддерживающий необходимые параметры на датчике или устройстве согласно заданному внешнему значению (положению ручки управления или численному значению от других систем).

Электрические сервоприводы предназначены для управления скоростью, крутящим моментом и положением подвижных деталей механизмов. Быстрое и точное регулирование момента и скорости обеспечивается за счет использования контура обратной связи с функцией автоматической подстройки в реальном времени, которая обеспечивает превосходные динамические характеристики.

#### ***Достоинства сервопривода перед другими типами приводов***

1. Плавность и точность перемещений доступны даже на низких скоростях, разрешающая способность может выбираться пользователем в зависимости от решаемой задачи.
2. Широкий диапазон регулирования.
3. Высокая динамика.
4. Помехоустойчивость.
5. Бесшумность работы.

6. Надежность и безотказность, возможность использовать его в ответственных, не терпящих отказа устройствах.

7. Легкость монтажа конструкции.

### *Недостатки сервопривода*

1. Высокая стоимость.

2. Сложность настройки, которая иногда делает применение сервопривода необоснованным.

Более низкую стоимость при достаточно точном позиционировании приводимых элементов обеспечивают применением шагового двигателя. Однако из-за наличия обратных связей сервопривод имеет следующие преимущества перед шаговым:

- не предъявляет особых требований к электродвигателю и редуктору – они могут быть практически любого нужного типа и мощности (а шаговые двигатели, как правило, маломощны и тихоходны);

- автоматически компенсирует люфты в приводе и его износ;

- гарантирует максимальную точность (по датчику) в течение всего срока эксплуатации (у шагового двигателя происходит постепенный «уход» при износе редуктора и требуется периодическая юстировка);

- большая возможная скорость перемещения элемента (у шагового двигателя меньшая максимальная скорость по сравнению с другими типами электродвигателей);

- затраты энергии пропорциональны сопротивлению элемента (на шаговый двигатель постоянно подаётся номинальное напряжение с запасом по возможной перегрузке);

- мгновенная диагностика в случае поломки (заедания) привода.

Недостатки сервопривода в сравнении с шаговым двигателем:

- необходимость в дополнительном элементе – датчике;

- сложнее блок управления и логика его работы (требуется обработка результатов датчика и выбор управляющего воздействия, а в основе контроллера шагового двигателя – просто счётчик);

- проблема фиксирования: обычно решается постоянным притормаживанием перемещаемого элемента либо вала электродвигателя (что ведёт к потерям энергии) или применением червячных/винтовых передач (усложнением конструкции) (в шаговом двигателе каждый шаг фиксируется самим двигателем);

- сервоприводы, как правило, дороже шаговых.



Сервопривод возможно использовать и с приводом элементов на базе шагового двигателя или в дополнение к нему, до некоторой степени совместив их достоинства (у шагового двигателя – относительно большой момент и фиксация положения, а также предварительное позиционирование без обратной связи).

Благодаря современным цифровым технологиям, сервоприводы сегодня использовать намного легче, чем несколько лет назад. Цифровые технологии предлагают широкий выбор ориентированных на специальное применение возможностей, большое разнообразие устройств связи с объектами (как напрямую, так и через промышленные шины) и возможность использовать персональный компьютер для контроля, оптимизации и автоматической настройки привода.

Простейший блок управления электрического сервопривода может быть построен на схеме сравнения значений датчика обратной связи и задаваемого значения, с подачей напряжения соответствующей полярности (через реле) на электродвигатель. Более сложные схемы (на микропроцессорах) могут учитывать инерцию приводимого элемента и реализовывать плавный разгон и торможение электродвигателем для уменьшения динамических нагрузок и более точного позиционирования.

Современный сервопривод (рис. 3.2) обладает следующими техническими характеристиками:

- высокая точность за счет применения встроенного энкодера на 1280 000 имп/об удовлетворяет очень деликатным применениям сервопривода и гарантирует стабильную работу на очень низких скоростях;
- высокая динамика, например изменение скорости двигателя от  $-3000$  до  $3000$  об/мин составляет  $10$  мс (без нагрузки);
- подавление низкочастотной вибрации исполнительного механизма;
- подключение внешнего датчика положения (оптической линейки или энкодера) позволяет создать второй замкнутый контур обратной связи по положению непосредственно исполнительного механизма для задач высокоточного позиционирования;
- автоматическая плавная интерполяция между заданными позициями или режимами работы.

Power  
200W ~ 400W 1-phase/3-phase 200 ~ 230V

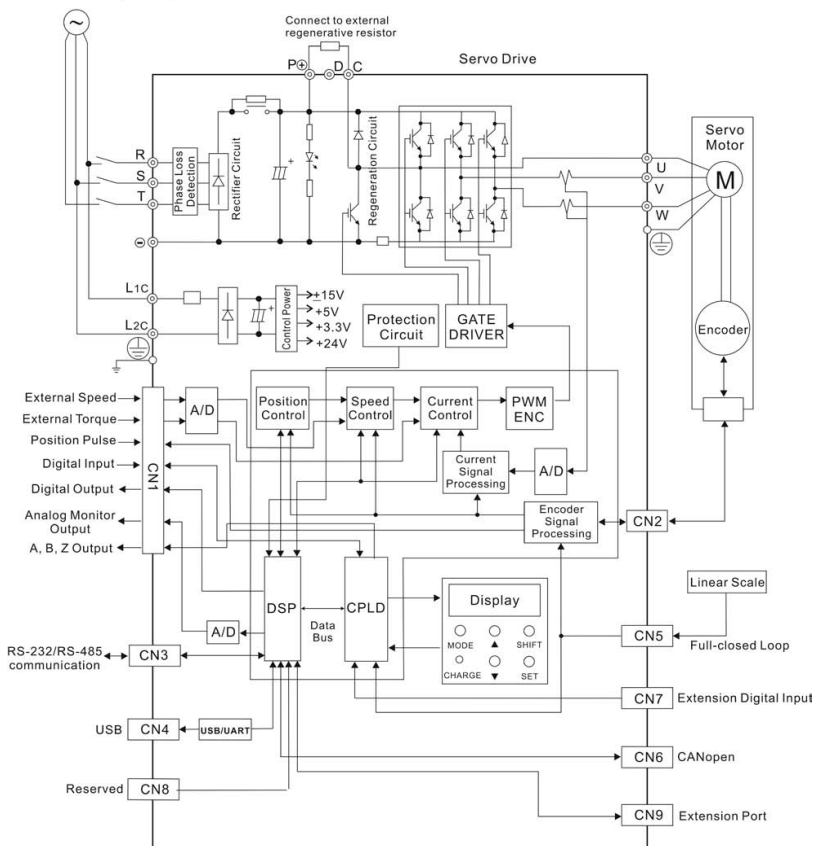


Рис. 3.2. Функциональная схема сервопривода

A/D – аналого-цифровой преобразователь, выполняет преобразование аналогового сигнала в цифровой.

Gate driver – драйвер силового моста, обеспечивает управление MOSFET и IGBT транзисторами.

PWM (Pulse-Width Modulation) – широтно-импульсная модуляция – это способ кодирования аналогового сигнала путём изменения ширины (длительности) прямоугольных импульсов несущей частоты.

DSP (Digital signal processor) – цифровой сигнальный процессор – специализированный микропроцессор, предназначенный для цифровой обработки сигналов в реальном масштабе времени.

CPLD (Complex Programmable Logic Device) – программируемая логическая интегральная схема, используемая для создания цифровых интегральных систем.

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация сервоприводов, их преимущества и недостатки.
2. Преимущества серводвигателя перед шаговым двигателем.
3. Опишите высокопроизводительный сервопривод и его технические характеристики.

## 4. УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время для решения задач контроля, регистрации процесса сварки, управления сварочным оборудованием следует применять современные цифровые универсальные приборы и устройства.

### 4.1. Регистраторы температурных полей

Многоканальный регистратор температурных полей, разработанный на кафедре «Оборудование и технологии сварочного производства и пайки» Тольяттинского государственного университета, предназначен для исследования процессов распространения тепла при сварке и наплавки путем регистрации теплового поля и его изменений в 5 точках сварных образцов при одновременной регистрации параметров сварочного тока и напряжения.

Технические характеристики:

- количество каналов измерения температуры 5 шт;
- количество каналов измерения напряжения 1 шт;
- количество каналов измерения тока 1 шт;
- тип применяемых термопар хромель-копель;
- частота опроса одного канала до 100 кГц;
- способ построения графиков линейный по времени.

Внешний вид регистратора приведен на рис. 4.1.

Структурная схема многоканального прибора для измерения температурных полей представлена на рис. 4.2.

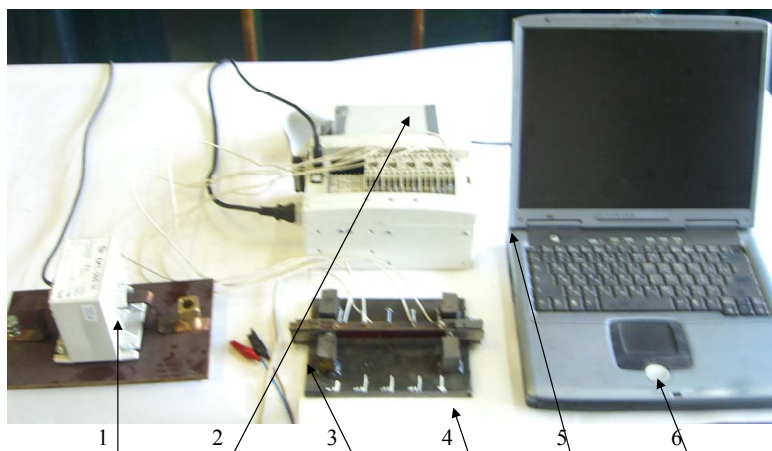


Рис. 4.1. Многоканальный прибор для измерения температурных полей:  
 1 – датчик тока (ДТ); 2 – регистратор; 3 – измеритель напряжения;  
 4 – образцедержатель; 5 – блок коммутации;  
 6 – персональный компьютер

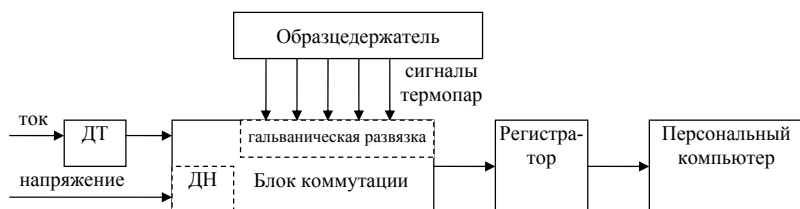


Рис. 4.2. Структурная схема многоканального прибора для измерения температурных полей

Сигналы с пяти термопар, закрепленных на образце, поступают на блоки гальванической развязки блока коммутации. Такой подход позволяет избежать влияния сварочного тока на измерение температуры в различных точках сварного образца. Датчик тока (ДТ) преобразует значение сварочного тока в нормированный сигнал величиной 0–40 мА. Значение сварочного напряжения преобразуется датчиком напряжения (ДН) в нормированный сигнал величиной 0–5 В. Блок коммутации содержит плату сбора информации, собирающую все аналоговые сигналы в одну шину, по которой она пос-

тупает на регистратор. Регистратор сохраняет информацию в памяти, после чего возможна ее передача на персональный компьютер.

Рассмотрим детально каждый узел многоканального прибора, его устройство и технические параметры.

Общий вид датчика тока показан на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Датчик тока

Датчик тока состоит из основания, токопровода и измерителя. Основание выполнено из текстолита толщиной 5 мм. На нем закреплен токопровод из медной шины с зажимами для подключения сварочных кабелей и измеритель тока. В качестве последнего применен Измерительный преобразователь тока ДИТ-500Н с техническими характеристиками:

- 1) диапазон измеряемого тока,  $I_{изм}$  0–500 А
- 2) номинальное выходное напряжение,  $U_{ном}$  5,0 В.

Образцедержатель показан на рис. 4.4.

Образцедержатель состоит из основания, держателя термопар, опоры свариваемых изделий. Основание выполнено из стального листа толщиной 10 мм. Держатель термопар выполнен из квадратного стального прутка сечением 10×10 мм, при этом термопары устанавливаются в отверстия с возможностью закрепления их путем

винтовых зажимов. За счет данной конструкции достигается возможность регулировать глубину установки термопар в сварных образцах. В качестве термопар применяются алюмель-хромелевые спаи.

Блок коммутации представлен на рис. 4.5.

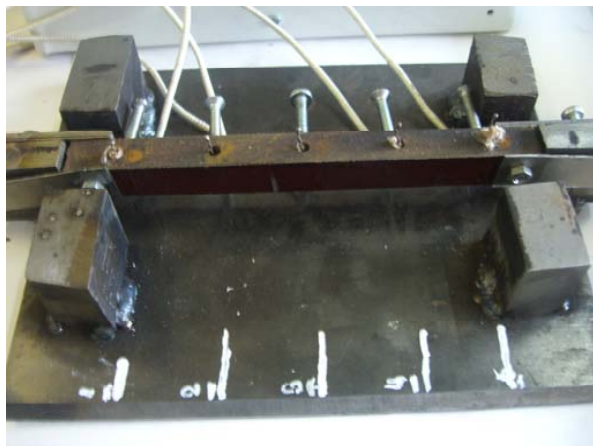


Рис. 4.4. Образцедержатель

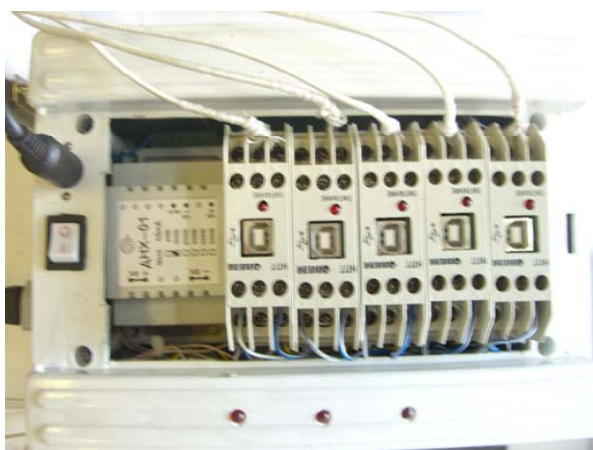


Рис. 4.5. Блок коммутации

Блок коммутации состоит из 5 элементов гальванической развязки, датчика напряжения, платы сбора информации, блока питания.

В качестве элементов гальванической развязки применены преобразователи ОВЕН НПТ1. Они предназначены для преобразования значения температуры, измеренной при помощи термопары или термосопротивления, в унифицированный сигнал постоянного тока 0(4)–20 мА.

В блоке коммутации применяются измерительный преобразователь напряжения ДНХ-01. Он предназначен для преобразования напряжения постоянного тока в цепях, изолированных от питания и выхода. Основные технические данные и характеристики ДНХ-01:

- 1) диапазон измеряемых напряжений 0–100 В;
- 2) номинальный выходной ток 40 мА.

Блок питания выполнен из трансформатора 220/24 В с установкой во вторичной цепи диодного моста.

Плата сбора информации предназначена для сбора всех аналоговых сигналов в одну шину и передачу их на регистратор.

Регистраторы представлены на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Внешний вид и коммутационный разъем регистратора «S-Recorder»



Программно-аппаратный комплекс «S-Recorder» представляет собой внешнее устройство с программным обеспечением, подключаемое к любому современному компьютеру или Notebook через USB-порт, и предназначен для непрерывной многоканальной регистрации на жёсткий диск компьютера и одновременно визуального наблюдения на экране монитора за протекающими процессами во время эксперимента в лаборатории или технологического процесса на производстве.

Технические характеристики:

- 1) каналов аналогового ввода: с общим проводом 32, дифференциальных 16;
- 2) погрешность измерения напряжения – 1%;
- 3) коэффициенты усиления: 1, 2, 4, 8;
- 4) входное сопротивление – не менее 10 Мом;
- 5) полоса пропускания (-3 дБ) – не менее 30 кГц;
- 6) максимальная частота опроса одного канала – 100 кГц, в 32-канальном режиме – 60 кГц;
- 7) диапазоны входного/выходного сигналов, биполярных по напряжению: +/-10 В; +/-5 В; +/-2,5 В; +/-1,25 В;
- 8) перегрузка по входу: +/-30 В;
- 9) подавление синфазной составляющей помехи (диф. режим): -70 дБ;
- 10) цифровых линий 16 : 8 на ввод и 8 на вывод;
- 11) управление устройством – USB 2.0 совместимый;
- 12) разъемы – аналоговые входы: DB-37M;
- 13) цифровые линии ввода-вывода – IDC-20.

Для работы регистратора с персональным компьютером поставляется специализированное программное обеспечение. Внешний вид программного комплекса представлен на рис. 4.7.

Результатом работы программы является файл в формате Excel, данные из которого могут быть преобразованы в другие форматы либо построены в виде графиков.

Для решения задач регистрации параметров сварочных процессов может быть применен измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ 138. Он предназначен для измерения, регистрации и регулирования температуры, давления либо другого физического параметра, одновремен-

ного управления несколькими (до 8) исполнительными механизмами, а также для регистрации измеренных параметров на ЭВМ.

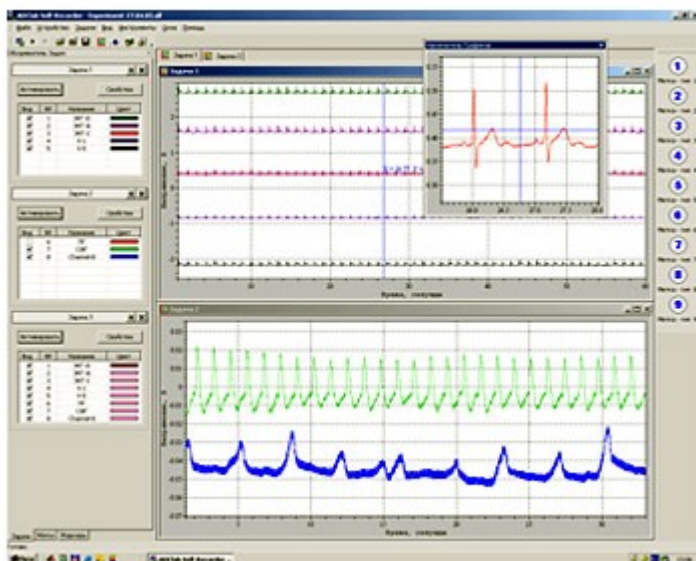


Рис. 4.7. Вид программы сбора информации и управления работой регистратора

Гибкая изменяемая структура прибора позволяет в кратчайшие сроки создавать любые конфигурации для решения широкого спектра задач автоматизации.

Функциональные возможности регулятора ОВЕН ТРМ 138:

- подключения от 1 до 8 датчиков разного типа в любых комбинациях, что позволяет одновременно измерять и контролировать несколько различных физических величин (температуру, влажность, давление и др.);
- вычисление средних значений от 2 до 8 измеренных величин, разностей измеренных величин, скорости изменения измеряемой величины;
- до 8 каналов регулирования по двухпозиционному закону;
- от 1 до 8 встроенных выходных устройств различных типов в выбранной пользователем комбинации;

- режим ручного управления выходными устройствами;
- конфигурирование функциональной схемы и установка параметров кнопками на лицевой панели прибора или на ПК с помощью программы-конфигуратора;
- встроенный интерфейс RS-485.

Основные блоки функциональной схемы ТРМ138 включают следующие основные функциональные элементы:

- 8 универсальных входов;
- блоки цифровой фильтрации, коррекции и масштабирования для каждого входного сигнала;
- 8 логических устройств (ЛУ);
- 8 выходных устройств (ВУ);
- модуль интерфейса RS-485.

Пользователь может создавать любые конфигурации функциональных схем.

### *Универсальные входы прибора ОВЕН ТРМ138*

К восьми универсальным входам ТРМ138 могут быть подключены датчики разного типа в любой комбинации, что позволяет одновременно измерять и контролировать несколько различных физических величин.

К входам ТРМ138 можно подключать:

- термопреобразователи сопротивления ТСМ50М/100М, ТСР50П/100П, Pt100;
- термопары ТХК(L), ТХА(K), ТЖК(J), ТНН(N), ТПП(R), ТПП(S), ТВР(A-1);
- датчики с унифицированным выходным сигналом тока 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА;
- датчики с унифицированным выходным сигналом напряжения 0...50 мВ, 0...1 В.

Цифровая фильтрация и коррекция входного сигнала ОВЕН ТРМ138 осуществляет цифровую фильтрацию входного сигнала от помех и коррекцию измерительной характеристики датчика («сдвиг», «наклон»).

Для датчиков с унифицированным выходным сигналом тока или напряжения осуществляется масштабирование шкалы.

Измеренные значения подаются на логические устройства (ЛУ). ЛУ могут обрабатывать входные величины, вычисляя разность, среднее арифметическое значение или скорость изменения измеряемой величины.

Можно задать следующие режимы работы логических устройств:

- двухпозиционный регулятор – ЛУ сравнивает измеренное значение с уставкой и выдает релейный управляющий сигнал в соответствии с заданной логикой;
- регистратор – ЛУ выдает аналоговый сигнал в диапазоне 4...20 мА, пропорциональный значению измеряемого параметра.

Для работы в режиме регистратора для соответствующего ЛУ программным путем должен быть задан этот режим и на выходе установлен ЦАП «параметр – ток 4...20 мА»

К каждому ЛУ может быть подключено одно из восьми выходных устройств, порядковый номер которого задается при программировании.

### ***Выходные устройства (ВУ)***

В приборе в зависимости от заказа могут быть установлены в различных комбинациях следующие выходные устройства:

- реле 4 А 220 В;
- транзисторные оптопары п–р–п типа 200 мА 40 В;
- симисторные оптопары 50 мА 300 В (0,5 А в импульсном режиме);
- логический выход 4...6 В 100 мА для управления твердотельным реле;
- ЦАП «параметр – ток 4...20 мА».

Любое ВУ может управляться оператором кнопками, расположенными на передней панели. Любое реле может выполнять функции аварийного, что задается программным путем.

Прибор имеет встроенный двунаправленный интерфейс RS-485 для передачи данных и приема информации от компьютера и других приборов, оснащенных таким же интерфейсом связи.

Через этот интерфейс прибор может передавать текущее значение измеренных величин и принимать команды на изменение уставок. Кроме того, при помощи специального программного обеспечения ОВЕН может быть изменена конфигурация прибора.

Схема на рис. 4.8 может использоваться в качестве аварийного сигнализатора в многозонных печах сварочной, металлургической и других отраслей промышленности.

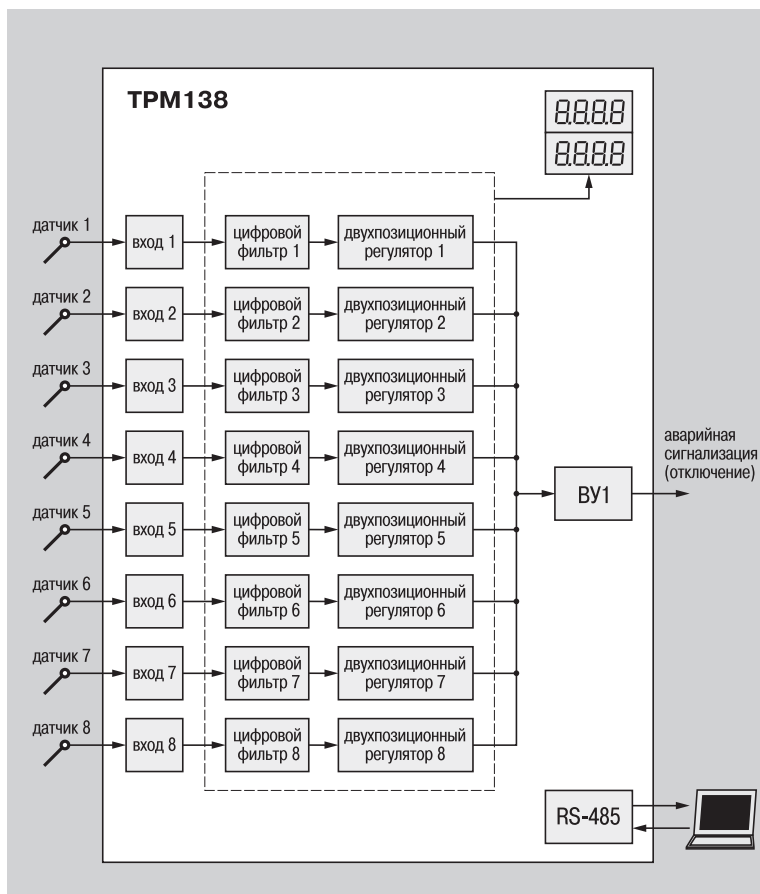


Рис. 4.8. Функциональная схема TPM138 с 8 входами для подключения датчиков, 8 двухпозиционными регуляторами, формирующими сигнал «Авария», и одним выходным устройством

Схема на рис. 4.9 может использоваться для контроля температуры и двухступенчатого управления процессом нагрева в технологическом оборудовании, содержащем до четырех зон нагрева и требующем быстрого разогрева при начале работы (в хлебопекарных печах, термопластавтоматах, экструдерах и др.

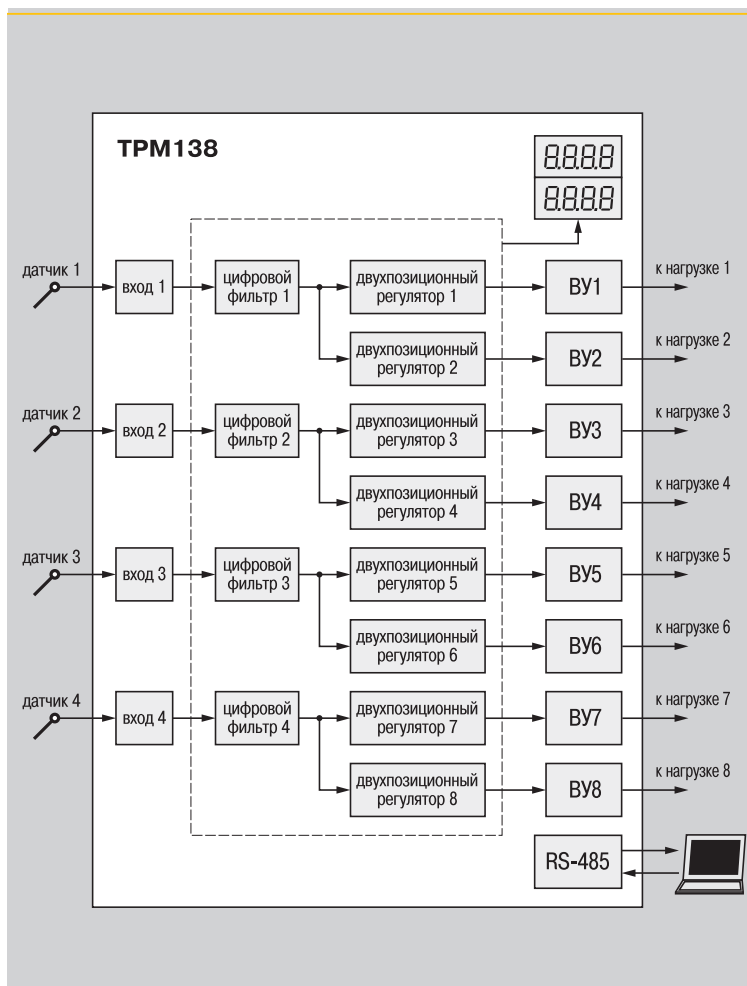


Рис. 4.9. Функциональная схема TPM138 с 4 входами для подключения датчиков, 8 двухпозиционными регуляторами, формирующими сигнал управления, и 8 выходными устройствами

Схема на рис. 4.10 может использоваться в качестве восьмиканального регулятора температуры либо другой физической величины в многозонных печах туннельного типа, в хлебопекарном производстве и другом технологическом оборудовании.

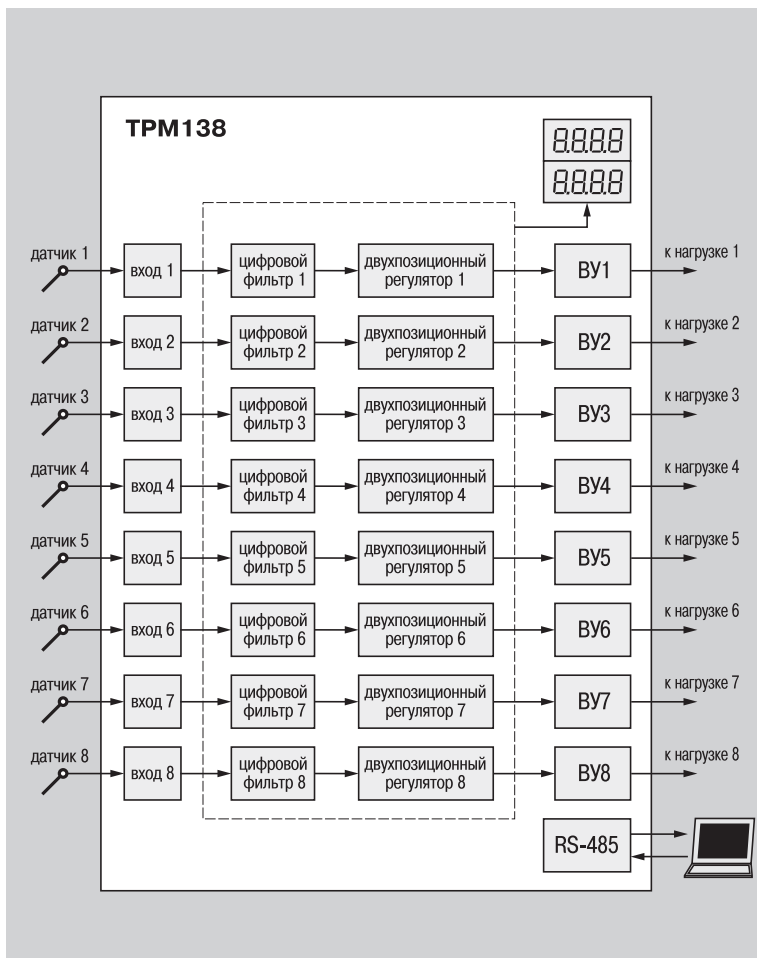


Рис. 4.10. Функциональная схема TPM138 с 8 входами для подключения датчиков, 8 двухпозиционными регуляторами, формирующими сигнал управления, и 8 выходными устройствами

Схема на рис. 4.11 может использоваться для контроля температуры одним датчиком и поддержания по двухпозиционному закону восьми независимых уставок.

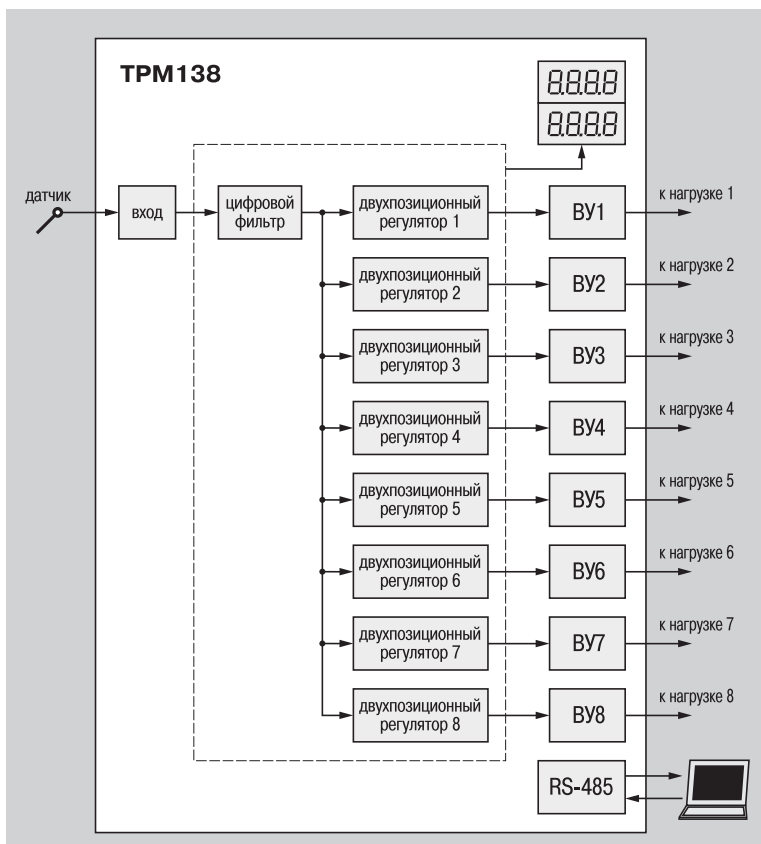


Рис. 4.11. Функциональная схема ТРМ138 с одним входом для подключения датчика, 8 двухпозиционными регуляторами, формирующими сигнал управления и 8 выходными устройствами

## 4.2. Универсальные управляющие устройства и принципы их программирования

### *Программируемые реле*

Наиболее простым вариантом современного управляющего устройства на основе релейной логики являются программируемые реле.

Рассмотрим устройство и работу данных устройств на примере программируемого реле ПР110. Оно является устройством со



свободно программируемой логикой, работа которого определяется программой, разрабатываемой на ПК в соответствующей среде программирования пользователем прибора. Пользовательская программа записывается в энергонезависимую flash-память прибора. По окончании процедуры записи прибор автоматически перезагрузится и программа пользователя запустится на выполнение. Также программа пользователя начинает выполняться после подачи напряжения питания.

Опрос состояния и программирование ПР110 осуществляется при подключении к компьютеру по схеме рис. 4.12.

Программирование предназначено для создания нужного алгоритма работы и установки значений параметров прибора, необходимых в процессе эксплуатации. Пользователь может изменять значения параметров в соответствии с условиями и целями эксплуатации прибора. Значения программируемых параметров записываются в энергонезависимую память прибора и сохраняются при отключении питания.

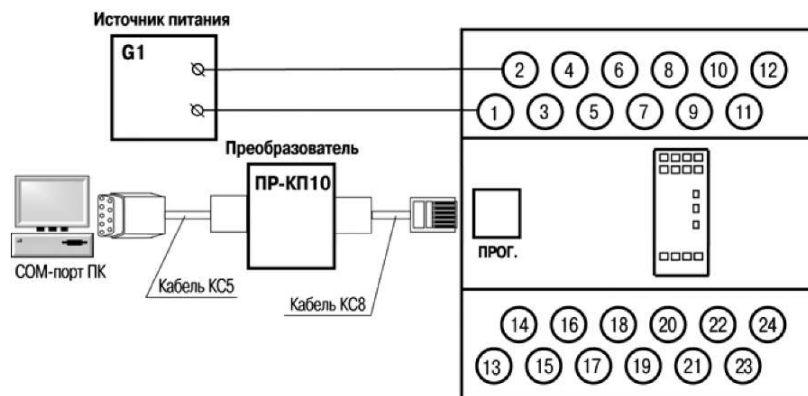


Рис. 4.12. Схема подключения ПР110 к ПК

Пример файла программирования в программе OWEN Logic прибора приведен на рис. 4.13.

По мере увеличения сложности контролируемого объекта, а также при управлении в функции параметров процесса следует применять контроллеры.

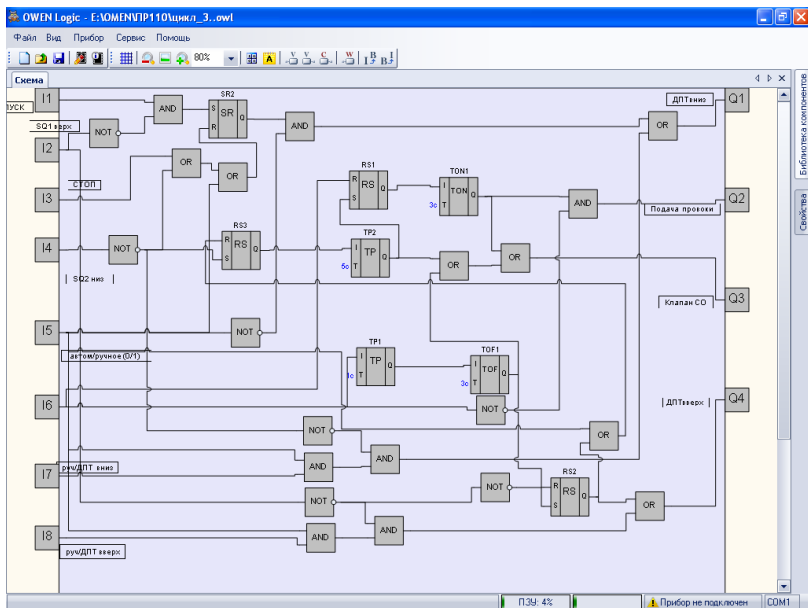


Рис. 4.13. Программа управления установкой

### *Программируемые логические контроллеры*

Наиболее простыми являются программируемые логические контроллеры, например ОВЕН ПЛК110. В нем изначально заложены мощные вычислительные ресурсы при отсутствии операционной системы:

- высокопроизводительный процессор RISC архитектуры ARM9 с частотой 180 МГц компании Atmel;
- объем оперативной памяти 8 МБ;
- объем постоянной flash-памяти 4 МБ;
- объем энергонезависимой памяти для хранения значений переменных до 16 КБ;
- время цикла по умолчанию составляет 1 мс при 50 логических операциях и отсутствии сетевого обмена.

### *Отличительные особенности ПЛК*

- Широкие возможности самодиагностики контроллера.
- Небольшое количество точек ввода/вывода.
- Расширенное количество интерфейсов «на борту» контроллеров.

- Наличие порта Ethernet.
- Поддержка протоколов обмена ModBus (RTU, ASCII), OВЕН, DСon.
- Возможность работы напрямую с портами контроллера, что позволяет подключать внешние устройства с нестандартными протоколами.
- Контроллер имеет встроенные часы, что позволяет создавать системы управления с учетом реального времени.
- Встроенный аккумулятор, позволяющий организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременного пережидания пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние.
- Наличие flash-памяти позволяет организовывать архивирование данных на самом ПЛК.

Тип входа/выхода ПЛК:

- дискретные входы/выходы – 18/12;
- аналоговые входы/выходы – 8/4.

Все дискретные входы контроллера измеряют сигнал 24 В.

Тип сигнала может быть как n-p-n, так и p-n-p.

Количество «быстрых» дискретных входов зависит от модификации контроллера.

Дискретные выходы бывают двух типов: Р – реле, или К – транзистор.

Количество быстрых дискретных выходов зависит от модификации контроллера.

Дискретные выходы контроллеров данной линейки могут быть настроены на выдачу ШИМ, или генератора с высокой точностью.

ПЛК имеет большое количество интерфейсов, работающих независимо друг от друга (табл. 4.1).

Таблица 4.1

#### Интерфейсы устройства

Протокол	Интерфейс	Применение
ОВЕН	RS-232 RS-485	Поддержка модулей ОВЕН МВА8, МВУ8. Работа в сетях ОВЕН совместно с ТРМ2хх, ТРМ151, ТРМ148, ТРМ133 и т. д.
Modbus RTU Modbus ASCII	RS-232 RS-485	Поддержка модулей ввода/вывода и операторских панелей, связь со SCADA-системами

Протокол	Интерфейс	Применение
Modbus TCP	Ethernet 10/100 Mbps	Поддержка модулей ввода/вывода, например ADAM-6000, связь со SCADA-системами
DCON	RS-232 RS-485	Поддержка модулей ввода/вывода I-7000, ADAM-4000, операторских панелей
GateWay (протокол CoDeSys)	RS-232 Ethernet 10/100 Mbps USB-Device	Программирование контроллера, отладка пользовательской программы (в том числе высокоскоростная отладка в режиме Realtime по Ethernet). Работа с файлами на встроенном flash-диске. Связь с контроллерами других производителей, сделанными на базе CoDeSys. Работа с OPC-сервером CoDeSys
Mass Storage Device	USB-Device	Представление Flash-диска как внешнего файлового накопителя. Работа с файлами архивов данных и проекта

Программирование контроллеров осуществляется в профессиональной, распространенной среде CoDeSys v.2.3.x, максимально соответствующей стандарту МЭК 61131. Она имеет следующие войства:

- поддержка 5 языков программирования для специалистов любой отрасли;
- мощное средство разработки и отладки комплексных проектов автоматизации на базе контроллеров;
- функции документирования проектов;
- количество логических операций ограничивается только количеством свободной памяти контроллера;
- практически неограниченное количество используемых в проекте счетчиков, триггеров, генераторов.

### ***Высокопроизводительные программируемые логические контроллеры***

Современные программируемые логические контроллеры являются идеальным средством для построения высокоэффективных систем автоматического управления при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы. К особенностям таких контроллеров можно отнести:

- высокую производительность – до 0,24 мкс на базовую команду, до 512 физических точек ввода вывода;

- наличие богатого функционала для построения систем управления движением и ЧПУ, включающего высокоскоростные счетчики, высокочастотный вывод до 500 кГц, встроенные команды линейной и круговой многоосевой интерполяции и даже прямое исполнение G-кодов и M-кодов;
- широкую номенклатуру модулей расширения, включающую ввод сигналов от термопар, термометров сопротивлений, унифицированных токовых и аналоговых сигналов с разрешением до 14 бит, модулей позиционирования, скоростных входов и выходов;
- наличие операций с плавающей точкой;
- наличие в некоторых моделях функции автонастройки ПИД контуров регулирования.

Поставляемое программное обеспечение позволяет использовать программисту ПЛК языки IL, LAD, SFC для их программирования.

Контроллеры способны работать в реальном масштабе времени и могут быть использованы как для построения узлов локальной автоматики, так и систем распределенного ввода/вывода с организацией обмена данными по RS-485 (MODBUS), DeviceNet, CANopen, Profibus, Ethernet интерфейсам. Контроллеры прекрасно сочетаются с панелями оператора, частотными преобразователями и сервоприводами.

Подключение контроллеров представлено на рис. 4.14.



Рис. 4.14. Подключение контроллеров на примере оборудования Delta Electronics

### *Панели оператора*

Средства человеко-машинного интерфейса, к которым относятся операторские панели, — это посредники в обмене информацией между человеком и оборудованием. Внешний вид представлен на рис. 4.15.

Они позволяют пользователю управлять оборудованием посредством работы с простым и интуитивным графическим интерфейсом. При этом элементы этого интерфейса — кнопки, переключатели, индикаторы, — не существуют физически, а нарисованы на экране и могут воспринимать команды оператора простыми касаниями на их изображения. Это дает не только быстрый и удобный контроль за оборудованием, но также снижает необходимость в традиционных органах управления, а значит — электрических соединениях.



Рис. 4.15. Панели оператора Delta Electronics

Расширение функциональных возможностей панелей возможно с применением дополнительных модулей.

- Модуль подключения принтера используется для связи с принтером через LPT-порт.
- Модуль дискретного ввода/вывода на 14 точек (8 дискретных входов и 6 дискретных выходов) может применяться для управления

с помощью панели оператора различными процессами без внешнего ПЛК. Программирование алгоритмов осуществляется с помощью языка релейно-контакторной логики согласно стандарту МЭК.

- Модуль Ethernet предназначен для связи с внешними устройствами по сети Ethernet, что позволяет быстро и эффективно осуществлять управление и мониторинг на большом расстоянии.

Панели оператора, например фирмы Delta Electronics, обладают сенсорными графическими моно- и цветными дисплеями с диагональю от 5.7” до 10.4”, имеющими возможность макропрограммирования, USB-интерфейс и физически выделенные функциональные кнопки. В панелях оператора серии DOP применяется химически и механически стойкое стекло подложки, а внешняя оболочка нечувствительна к большинству растворителей и иных химических соединений. Нарботка на отказ составляет более 1 миллиона нажатий.

Они обеспечивают следующие функции:

- загрузка/выгрузка программы может быть выполнена как через один из COM-портов, так и через порт USB-клиент. USB-порт имеет более высокую скорость передачи и возможность изменять программу без остановки работы ОП;
- с помощью SMC-карты пользователь может сохранять данные из панели оператора, а также копировать программу с одной НМИ на другие;
- возможна разработка и отладка пользовательской программы на ПК без подключения панели оператора;
- обеспечивают ввод макрокоманд при выполнении сложных операций. Используют специальные макрокоманды обмена для написания протоколов связи по последовательному каналу с уникальным оборудованием;
- выбор приоритета пользователей для доступа к отдельным параметрам и страницам в прикладной программе;
- наличие порта USB-Host, к которому можно подключить USB flash-накопитель, картридер или принтер. Пользователь может сохранять данные, копировать программу и печатать содержимое экранов без проблем аппаратной несовместимости.

## Программирование

Настройка панелей оператора производится с использованием специального программного обеспечения, работающего в среде Windows 98/NT/2000/XP/Vista.

Панели оператора подключаются к устройствам через последовательные каналы обмена, имеют драйверы для связи с устройствами всех ведущих производителей (более 70 брендов, включая Omron, Siemens, Mitsubishi и т. д.) и поддерживают протокол Modbus (рис. 4.16).

Язык макропрограммирования по синтаксису похож на BASIC. На нем пользователь может создавать макросы – программы, выполняемые непосредственно в панели. В макросе могут выполняться арифметические и логические операции, операции сравнения, передачи и преобразования данных и т. д. В макросах могут использоваться операции с числами с плавающей запятой. Используя макросы, можно снизить нагрузку на PLC и увеличить общую производительность системы.

С помощью коммуникационных макрофункций можно организовать связь через COM-порт с уникальным оборудованием.



Рис. 4.16. Подключение панелей операторов



## ***Принципы программирования на ПЛК***

Решение инженерных и исследовательских задач в ходе обучения, научной или производственной деятельности студентов и инженеров зачастую связано с созданием устройств управления разрабатываемой системой. Одним из быстрых, технологичных, экономичных способов создания данных устройств является применение программируемых логических контроллеров. Примером является разработанная и изготовленная на кафедре «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы» Тольяттинского государственного университета *установка для получения алюминиевых лигатур*.

ПЛК работают следующим образом:

шаг 1 – чтение состояния внешних входных устройств (переключатели, датчики, клавиатура);

шаг 2 – обработка процессором предварительно заданной программы и установка нового состояния выходов.

Программа состоит из последовательности отдельных управляющих инструкций, которые определяют функции управления. ПЛК обрабатывает инструкции последовательно, т. е. одну за другой. Общий проход программы непрерывно повторяется. Время, необходимое для прохода программы, называется циклом, а проходы программы – циклическим сканированием.

Контроллеры способны работать в реальном масштабе времени и могут быть использованы для построения как узлов локальной автоматики, так и систем распределенного ввода/вывода с организацией обмена данными по RS-485 интерфейсу.

Для удобства отладки и написания программ предназначен пакет программирования, который не требует существенных ресурсов компьютера и является простым инструментом для всех категорий специалистов. Используются три языка программирования: LAD (релейно-контактная логика, или лестничные диаграммы), IL (список инструкций), SFC (последовательные функциональные диаграммы).

## ***Принципы работы релейно-контактных схем в ПЛК***

Язык релейно-контактной логики в ПЛК (или лестничные диаграммы) является производной от релейно-контактной принципи-

альной электросхемы в упрощенном представлении. Релейно-контактные схемы в ПЛК имеют набор базовых компонентов, таких как нормально открытый контакт, нормально закрытый контакт, катушка (выход), таймер, счетчик и т. д., а также прикладные инструкции: математические функции, команды передачи, обработки данных и большое количество специальных функций и команд. Можно считать, что ПЛК – это сотни или тысячи отдельных реле, счетчиков, таймеров и память. Все эти счетчики, таймеры, и т. д. физически не существуют, а моделируются процессором и предназначены для обмена данными между встроенными функциями, счетчиками, таймерами и др.

Язык релейно-контактной логики в ПЛК по используемой символике очень похож на принципиальные релейно-контактные электросхемы. В релейно-контактных схемах могут быть два типа логики: комбинационная, т. е. схема, состоящая из независимых друг от друга фрагментов, и последовательная логика, когда все шаги программы взаимосвязаны и схема не поддается распараллеливанию.

#### 1. Комбинированная логика

Схема 1 состоит из одного нормально открытого контакта X0 и катушки Y0, определяющей состояние выхода Y0. При разомкнутом состоянии (логический 0) контакта X0, выход Y0 также будет разомкнут (логический 0). При замыкании контакта X0 выход Y0 также изменит свое состояние на замкнутое (логическая 1).

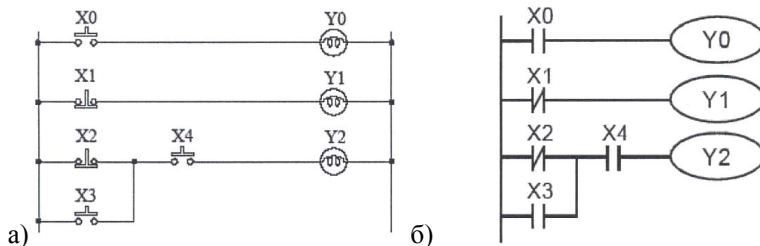


Рис. 4.17. Комбинированная логика в релейно-контактной электрической схеме (а), ПЛК (б)

Схема 2 состоит из одного нормально закрытого контакта X1 и катушки Y1, определяющей состояние выхода Y1. В нормальном

состоянии контакта X1, выход Y1 будет замкнут (логическая 1). При изменении состояния контакта X1 на разомкнутое, выход Y1 также изменит свое состояние на разомкнутое.

На схеме 3 состояние выхода Y2 зависит от комбинации состояний трех входных контактов X2, X3 и X4. Выход Y2 будет замкнут, когда X2 выключен и X4 включен или когда X3 и X4 включены.

Общая схема является комбинацией трех схем, работающих независимо друг от друга.

## 2. Последовательная логика

В схемах с последовательной логикой результат выполнения предыдущего шага является начальным условием для последующего шага, т. е. выход в предыдущем шаге является входом в следующем шаге.

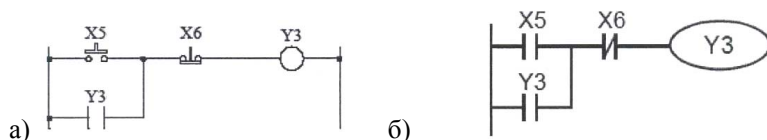


Рис. 4.18. Последовательная логика в (а) релейно-контактной электрической схеме, (б) ПЛК

При замыкании контакта X5, выход Y3 изменит свое состояние на замкнутое, однако при размыкании контакта X5, выход Y3 сохранит свое замкнутое состояние до тех пор, пока не будет включен вход X6. Контакт Y3 является самоблокировочным.

### ***Различия между релейно-контактной логикой в ПЛК и физическими релейно-контактными электросхемами***

В обычных релейно-контактных электросхемах все задаваемые управляющие процессы выполняются одновременно (параллельно). Каждое изменение состояния входных сигналов сразу же действует на изменение состояния выходных.

При управлении от ПЛК изменение состояния входных сигналов, произошедшее во время текущего прохода программы, опознается только на следующем цикле программы. Этот недостаток ПЛК сглаживается только благодаря очень короткому времени цикла.

Время выполнения одного цикла программы зависит от количества выполняемых инструкций в программе и от типа используемых инструкций.

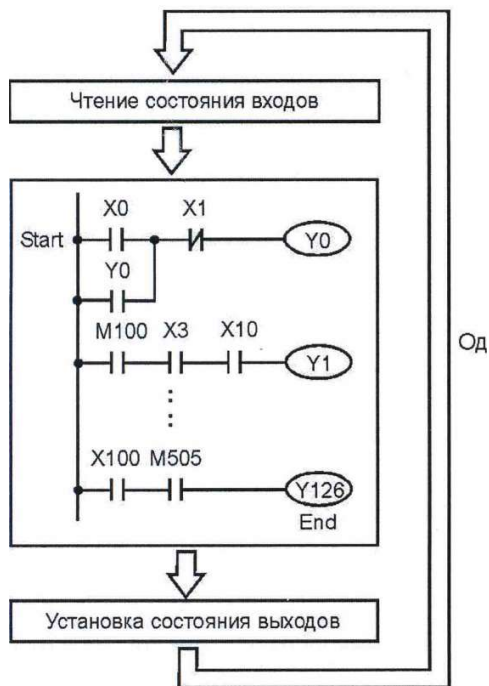


Рис. 4.19. Схема выполнения одного цикла программы

В процессе работы ПЛК (рис. 4.19) непрерывно опрашивает текущее состояние входов и в соответствии с требованиями к производственному процессу изменяет состояние выходов (вкл./выкл.).

1. *Проверка текущего состояния входов.* ПЛК проверяет текущее состояние входов и в зависимости от значения (вкл./выкл.) выполняет последовательные действия. Состояние любого из входов сохраняется в памяти (в области данных).

2. *Выполнение программы.* Будем считать, что в ходе технологического процесса вход X0 переключился с выключено на включено, и в соответствии с технологическим процессом нам необходимо изменить текущее состояние выхода (Y0) с выключено на включено.

но. Так как ЦП опросил текущие состояния всех входов и хранит их текущее состояние в памяти, то выбор последующего действия обусловлен только ходом технологического процесса.

3. *Изменение текущего состояния выхода.* ПЛК изменяет текущее состояние выходов в зависимости от того, какие входы являются выключенными, а какие включенными из хода вашей программы. То есть контроллер физически переключил выход (Y0) и включились исполнительные механизмы: лампочка, двигатель и т. д. После этого следует возврат на первый шаг.

Еще одним отличием релейно-контактной логики ПЛК от обычных релейно-контактных электрических схем заключается в том, что выполнение программ в строках идет только слева направо, а схема с реверсивным направлением тока (участок a–b на рис. 4.20) при компиляции вызовет ошибку.

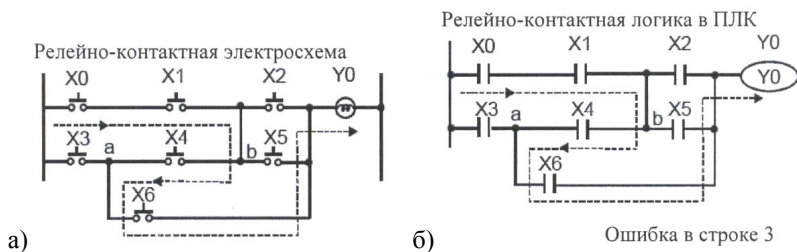


Рис.4.20. Отличие логики в (а) релейно-контактной электрической схеме, (б) ПЛК

### Операнды

Все внутренние объекты ПЛК, или операнды, подразделяются на различные типы и имеют адреса. Каждый тип имеет свое обозначение и свой формат, который определяет количество занимаемого места в памяти контроллера. Так, например, входные реле обозначаются «X» имеют однобитный формат, а регистры данных общего назначения обозначаются «D» и имеют 16-битный (1 слово) или 32-битный (2 слова) формат.

При указании операнда определяется, с какой операцией (инструкцией) производится работа.

## Виды операндов

Тип и обозначение операнда		Описание
Вход	X	Входные реле. Определяют состояние внешних битовых устройств, подключенных к входным клеммам ПЛК. Могут принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в восьмеричной системе: X0, X1,... X7, X10, X11,...
Выход	Y	Выходные реле. Определяют состояние выходных клемм ПЛК, к которым подключается нагрузка. В программе могут быть как контактами, так и катушками, и принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в восьмеричной системе: Y0, Y1,... Y7, Y10, Y11,...
Маркер	M	Внутренние (вспомогательные) реле. Память для двоичных промежуточных результатов. В программе могут быть как контактами, так и катушками, и принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в десятичной системе: M0, M1,... M7, M8, M9,...
Состояние шага	S	Управляющие шаговые реле. Используются для программирования последовательного управляющего процесса. Могут принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в десятичной системе: S0, S1,..., S1023
Таймер	T	Реле времени. В программе могут использоваться для хранения текущего значения таймера и иметь 16-ти битный формат, а также могут быть контактами, и принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в десятичной системе: T0, T1,..., T255
Счетчик	C	Используются для реализации счета. В программе могут использоваться для хранения текущего значения счетчика и иметь 16- или 32-битный формат, а также могут быть контактами и принимать одно из двух состояний: 0 или 1. Адресация ведется в десятичной системе: C0, C1,..., C255
Десятичная константа	K	Определение числа в десятичной системе отсчета
Шестнадцатеричная константа	H	Определение числа в шестнадцатеричной системе отсчета
Регистр данных	D	Память данных. 16- или 32-битный формат. Адресация ведется в десятичной системе: D0, D1,..., D9999. В 32-битном формате один регистр занимает две ячейки, например при обращении к D10, данные будут прочитаны из ячеек D10 и D11

Тип и обозначение операнда		Описание
Файловый регистр		Используются для хранения данных, когда не хватает регистров данных. Для чтения и записи необходимо использовать специальные инструкции MEMR и MEMW. Операнд не имеет своего символа, а адресация ведется с помощью десятичных констант: K0, K1, ..., K9999
Индексный регистр	E, F	Память данных для промежуточных результатов и индексной идентификации. 16-битный формат. Адресация: E0 – E7, F0 – F7
Указатель	P	Адрес для перехода к подпрограмме
Указатель прерывания	I	Адрес обработки прерывания
Номера вложенности	N	Используются для нумерации вложенных схем исключения. N0 – N7

### *Виды изображения управляющих инструкций*

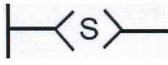

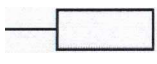
Релейно-контактная схема состоит из одной вертикальной линии, расположенной слева, и горизонтальных линий, отходящих вправо. Вертикальная линия называется шиной, а горизонтальная – командной линией или ступенькой. На командной линии располагаются символы условий, ведущие к командам (инструкциям), расположенным справа. Логические комбинации этих условий определяют, когда и как выполняются правосторонние команды. Командные линии могут разветвляться и снова соединяться.

В релейно-контактных схемах в основном применяется следующая символика:

Таблица 4.3

Символика релейно-контактных схем

Символ	Пояснение	Команда	Операнд
	Символ для входного сигнала (нормально открытого контакта <i>a</i> )	LD	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного сигнала (нормально закрытого контакта <i>b</i> )	LDI	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного импульсного сигнала (с опросом по переднему фронту)	LDP	X, Y, M, S, T, C

Символ	Пояснение	Команда	Операнд
	Символ для входного импульсного сигнала (с опросом по заднему фронту)	LDF	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного сигнала (шаговый управляющий контакт)	STL	S
	Символ для выходного сигнала (катушки)	OUT	Y, M, S
	Символ для прикладных инструкций	см. главы 3, 5	см. главы 3, 5
	Символ логической инверсии	INV	нет

Входные релейные контакты могут объединяться в последовательные, параллельные и комбинированные схемы:

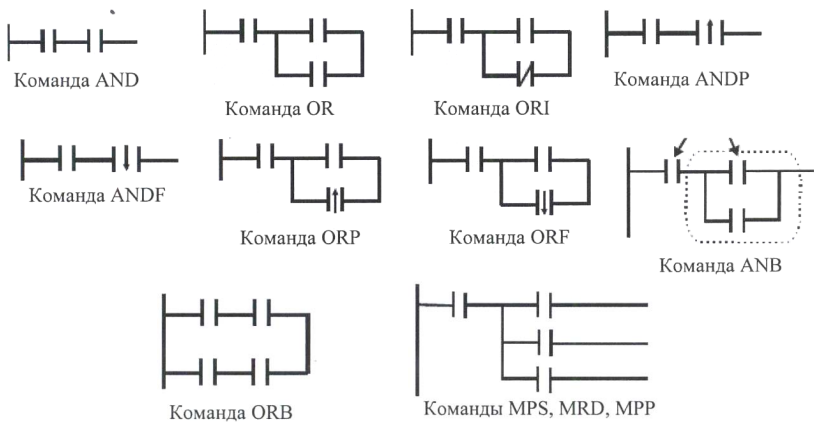


Рис. 4.21. Схемы соединения релейных контактов

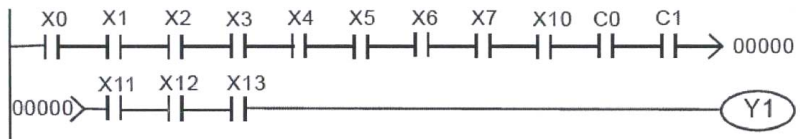
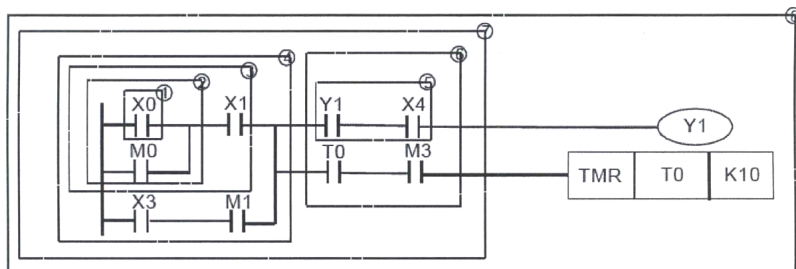


Рис. 4.22. Максимально допустимое количество последовательных контактов в строке



Максимальное количество последовательных контактов в строке – 11. При необходимости использования большего количества, они будут автоматически перенесены на следующую строку (рис. 4.22)

Сканирование программы начинается от левого верхнего угла схемы и заканчивается в правом нижнем углу. Рис. 4.23 иллюстрирует последовательность выполнения программы.



1	LD	X0
2	OR	M0
3	AND	X1
4	LD	X3
	AND	M1
	ORB	
5	LD	Y1
	AND	X4
6	LD	T0
	AND	M3
	ORB	
7	ANB	
8	OUT	Y1
	TMR	T0 K10

Рис. 4.23. Последовательность выполнения программы

Символы входных сигналов с опросом по переднему фронту (при переходе сигнала с 0 на 1) и с опросом по заднему фронту (при переходе сигнала с 1 на 0) поясняются ниже:

Команды логического блока ANB и ORB не соответствуют конкретным условиям на релейно-контактной схеме, а описывают отношения между блоками. Команда ANB производит операцию ЛОГИЧЕСКОЕ И над условиями исполнения, произведенными двумя

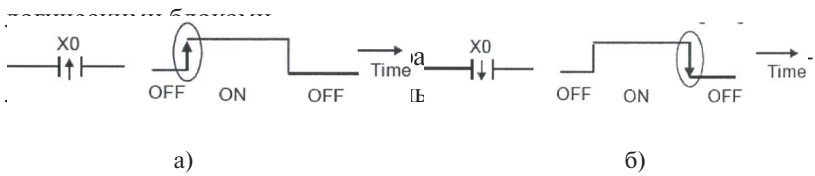


Рис. 4.24. Обозначение входных сигналов с опросом (а) по переднему, (б) заднему фронтам

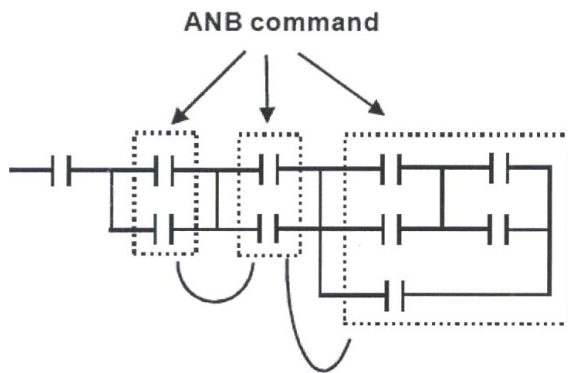


Рис. 4.25. Логическое «И»

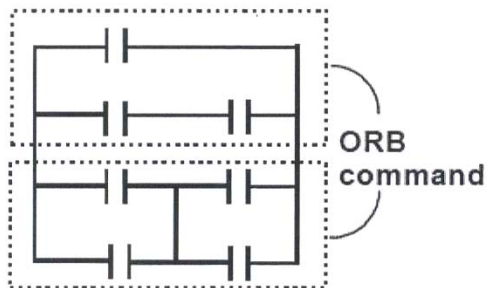


Рис. 4.26. Логическое «ИЛИ»

Процесс обработки релейно-контактной схемы идет с верхнего левого угла и заканчивается в правом нижнем.

При написании релейно-контактных схем всегда нужно помнить о количестве команд, которые потребуются для её ввода.

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте состав и назначение регистратора температурных полей.
2. Опишите назначение элементов регистратора температурных полей.
3. Назначение и характеристики измерителя-регулятора ОВЕН ТРМ 138.
4. Дайте характеристику программируемому реле.
5. Что называется программируемым логическим контроллером, каковы его характеристики, назначение и возможности?

## **5. СИГНАЛЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ИНТЕРФЕЙСЫ**

Для передачи данных в микропроцессорных (и других) систем могут быть использованы аналоговые и цифровые управляющие сигналы.

Аналоговый сигнал – это сигнал данных, непрерывно изменяющийся во времени и описываемый непрерывным множеством возможных значений.

Цифровые сигналы, напротив, имеют дискретную, квантовую функцию во времени.

К аналоговым сигналам относятся изменение тока, напряжения, а также включение и отключение потенциала определенной величины. Любая информация может быть передана аналоговым способом – часто в виде электрического сигнала. Недостаток аналогового сигнала заключается в случайных вибрациях, которые возникают из-за того, что не существует систем без помех.

Аналоговые и цифровые сигналы передаются по линиям связи. В настоящее время наиболее распространенным в инженерной практике является способ передачи информации с помощью измеряемых значений силы электрического тока (токовой петли).

### **5.1. Интерфейс «токовая петля»**

Интерфейс «токовая петля» используется для передачи информации с 1950-х годов. Первоначально в нем использовался ток 60 мА; позже, с 1962 года, получил распространение интерфейс с током 20 мА, преимущественно в телетайпных аппаратах. В 1980-х годах начала широко применяться токовая петля 4...20 мА в разнообразном технологическом оборудовании, датчиках и исполнительных устройствах средств автоматизации. Популярность то-

ковой петли начала падать после появления стандарта на интерфейс RS-485 (1983 г.) и в настоящее время в новом оборудовании она практически не применяется.

В передатчике «токовой петли» используется не источник напряжения, как в интерфейсе RS-485, а источник тока. По определению, ток, вытекающий из источника тока, не зависит от параметров нагрузки. Поэтому в токовой петле протекает ток, не зависящий от сопротивления кабеля ( $R_{\text{кабеля}}$ ), сопротивления нагрузки ( $R_n$ ) и ЭДС индуктивной помехи ( $E_{\text{инд}}$ ) (рис. 5.1), а также от напряжения питания источника тока  $E_n$  (см. рис. 5.2). Ток в петле может измениться только вследствие утечек кабеля, которые очень малы.

Это свойство токовой петли является основным и определяет все варианты ее применения. Емкостная наводка  $E_{\text{емк}}$ , ЭДС которой приложена не последовательно с источником тока, а параллельно ему, не может быть ослаблена в токовой петле и для ее подавления следует использовать экранирование.

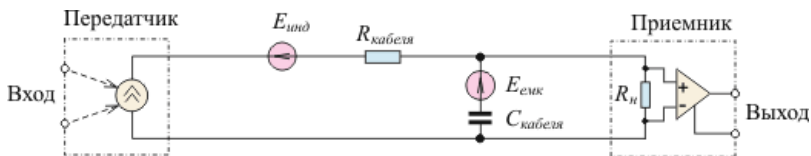


Рис. 5.1. Принцип действия токовой петли

В качестве линии передачи обычно используется экранированная витая пара, которая совместно с дифференциальным приемником позволяет ослабить индуктивную и синфазную помеху.

На приемном конце ток петли преобразуется в напряжение с помощью калиброванного сопротивления  $R_n$ . При токе 20 мА для получения стандартного напряжения 2,5, 5 или 10 В используют резистор сопротивлением 125, 250 или 500 Ом соответственно.

Основным недостатком токовой петли является ее принципиально низкая скорость действия, которая ограничивается скоростью заряда емкости кабеля  $C_{\text{кабеля}}$  от источника тока. Например, при типовой погонной емкости кабеля 75 пФ/м и длине 1 км емкость кабеля составит 75 нФ. Для заряда такой емкости от источ-

ника тока 20 мА до напряжения 5 В необходимо время 19 мкс, что соответствует скорости передачи около 9 кбит/с.

Вторым недостатком токовой петли, ограничивающим ее практическое применение, является отсутствие стандарта на конструктивное исполнение разъемов и электрические параметры, хотя фактически стали общепринятыми диапазоны токовых сигналов 0...20 и 4...20 мА; гораздо реже используют 0...60 мА. В перспективных разработках рекомендуется использовать только диапазон 4...20 мА, обеспечивающий возможность диагностики обрыва линии.

Интерфейс «токовая петля» распространен в двух версиях: цифровой и аналоговой.

### *Аналоговая токовая петля*

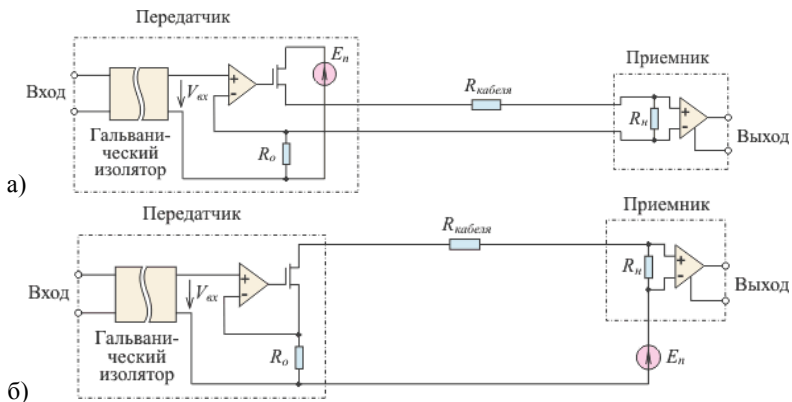


Рис. 5.2. Два варианта построения аналоговой токовой петли: со встроенным в передатчик источником питания (а) и выносным (б)

Аналоговая версия токовой петли используется, как правило, для передачи сигналов от разнообразных датчиков (температуры, давления, потока и др.) к контроллеру или от контроллера к исполнительным устройствам. Применение токовой петли в данном случае дает два преимущества. Во-первых, приведение диапазона изменения измеряемой величины к стандарту обеспечивает взаимозаменяемость компонентов. Во-вторых, становится возможным передать сигнал на большое расстояние с высокой точностью (погрешность токовой

петли может быть снижена до  $\pm 0,05\%$ ). Кроме того, стандарт «токовая петля» поддерживается подавляющим большинством производителей средств промышленной автоматизации.

В варианте 4...20 мА в качестве начала отсчета принят ток 4 мА. Это позволяет производить диагностику целостности кабеля (кабель имеет разрыв, если ток равен нулю) в отличие от варианта 0...20 мА, где величина 0 мА может означать не только нулевую величину сигнала, но и обрыв кабеля. Вторым преимуществом уровня отсчета 4 мА является возможность подачи энергии датчику для его питания.

### *Цифровая токовая петля*

Цифровая токовая петля используется обычно в версии 0...20 мА, поскольку она реализуется гораздо проще, чем 4...20 мА (рис. 5.3). Поскольку при цифровой передаче данных точность передачи логических уровней роли не играет, можно использовать источник тока с низкой точностью. Для защиты оборудования применяется гальваническая развязка на оптоэлектронных приборах, например оптронах (рис. 5.3).

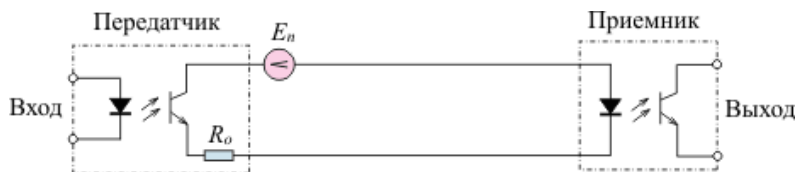


Рис. 5.3. Принцип реализации цифровой токовой петли

Стандарт цифровой токовой петли использует отсутствие тока как значение SPACE (низкий уровень, логический ноль) и наличие сигнала — как значение MARK (высокий уровень, логическая единица). Отсутствие сигнала в течение длительного времени интерпретируется как состояние BREAK (обрыв линии). Данные передаются старт-стопным методом, формат посылки совпадает с RS-232, например 8-N-1: 8 бит, без паритета, 1 стоп-бит.

Как аналоговая, так и цифровая токовые петли могут использоваться для передачи информации нескольким приемникам одновременно (рис. 5.4). Вследствие низкой скорости передачи

информации по токовой петле согласование длинной линии с передатчиком и приемником не требуется.

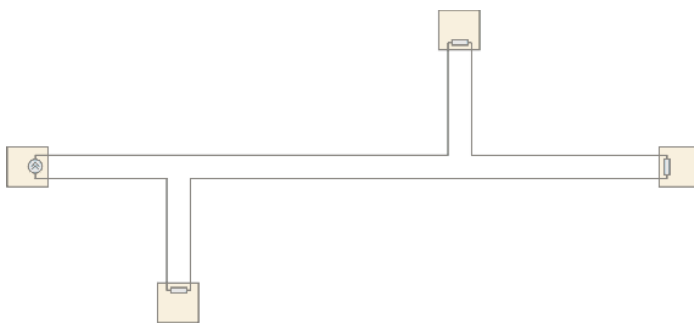


Рис. 5.4. Токовая петля может быть использована для передачи информации нескольким приемникам

Токовая петля нашла свое «второе рождение» в протоколе HART.

## 5.2. Интерфейсы RS-485, RS-422 и RS-232

Интерфейс RS-485 является наиболее распространенным в промышленной автоматизации. Его используют промышленные сети Modbus, Profibus DP, ARCNET, BitBus, WorldFip, LON, Interbus и множество нестандартных сетей. Связано это с тем, что по всем основным показателям данный интерфейс является наилучшим из всех возможных при современном уровне развития технологии. Основными его достоинствами являются:

- двусторонний обмен данными всего по одной витой паре проводов;
- работа с несколькими трансиверами, подключенными к одной и той же линии, т. е. возможность организации сети;
- большая длина линии связи;
- достаточно высокая скорость передачи.

В основе построения интерфейса RS-485 лежит дифференциальный способ передачи сигнала, когда напряжение, соответствующее уровню логической единицы или нулю, отсчитывается не от «земли», а измеряется как разность потенциалов между двумя передающими линиями: Data+ и Data- (см. рис. 2.1). При этом напря-



жение каждой линии относительно «земли» может быть произвольным, но не должно выходить за диапазон  $-7...+12$  В.

Приемники сигнала являются дифференциальными, т. е. воспринимают только разность между напряжениями на линии Data+ и Data-. При разности напряжений более 200 мВ, до +12 В считается, что на линии установлено значение логической единицы, при напряжении менее -200 мВ, до -7 В – логического нуля. Дифференциальное напряжение на выходе передатчика в соответствии со стандартом должно быть не менее 1,5 В, поэтому при пороге срабатывания приемника 200 мВ помеха (в том числе падение напряжения на омическом сопротивлении линии) может иметь размах 1,3 В над уровнем 200 мВ. Такой большой запас необходим для работы на длинных линиях с большим омическим сопротивлением. Фактически именно этот запас по напряжению и определяет максимальную длину линии связи (1200 м) при низких скоростях передачи (менее 100 кбит/с).

Благодаря симметрии линий относительно «земли» в них навodятся помехи, близкие по форме и величине. В приемнике с дифференциальным входом сигнал выделяется путем вычитания напряжений на линиях, поэтому после вычитания напряжение помехи оказывается равным нулю. В реальных условиях, когда существует небольшая асимметрия линий и нагрузок, помеха подавляется не полностью, но ослабляется существенно.

Для минимизации чувствительности линии передачи к электромагнитной наводке используется витая пара проводов. Токи, наводимые в соседних витках вследствие явления электромагнитной индукции, по правилу буравчика оказываются направленными навстречу друг другу и взаимно компенсируются. Степень компенсации определяется качеством изготовления кабеля и количеством витков на единицу длины.

### *«Третье» состояние выходов*

Второй особенностью передатчика D (D – «Driver») интерфейса RS-485 является возможность перевода выходных каскадов в «третье» (высокоомное) состояние сигналом *DE* (Driver Enable) (рис. 5.5). Для этого запираются оба транзистора выходного каскада передатчи-

ка. Наличие третьего состояния позволяет осуществить полудуплексный обмен между любыми двумя устройствами, подключенными к линии, всего по двум проводам. Если на рис. 5.5 передачу выполняет устройство *B*, а прием – устройство *C*, то выходы передатчиков *A* и *C* переводятся в высокоомное состояние, т. е. фактически к линии оказываются подключены только приемники, при этом выходное сопротивление передатчиков *A* и *C* не шунтирует линию.

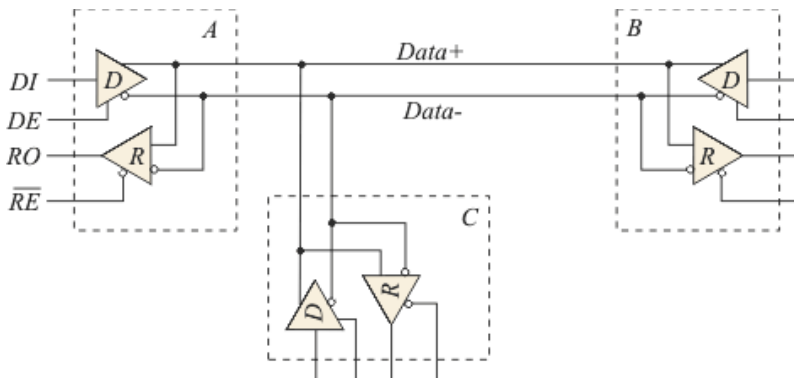


Рис. 5.5. Соединение трех устройств с интерфейсом RS-485 по двухпроводной схеме

Перевод передатчика интерфейса в третье состояние осуществляется обычно сигналом RTS (Request To Send) COM-порта.

#### **Четырехпроводной интерфейс**

Интерфейс RS-485 имеет две версии: двухпроводную и четырехпроводную. Двухпроводная используется для полудуплексной передачи (рис. 5.5), когда информация может передаваться в обоих направлениях, но в разное время. Для полнодуплексной (дуплексной) передачи используют четыре линии связи: по двум информация передается в одном направлении, по двум другим – в обратном (рис. 5.6).

Недостатком четырехпроводной (рис. 5.6) схемы является необходимость жесткого указания ведущего и ведомых устройств на стадии проектирования системы, в то время как в двухпроводной схеме любое устройство может быть как в роли ведущего, так и ве-

домого. Достоинством четырехпроводной схемы является возможность одновременной передачи и приема данных, что бывает необходимо при реализации некоторых сложных протоколов обмена.

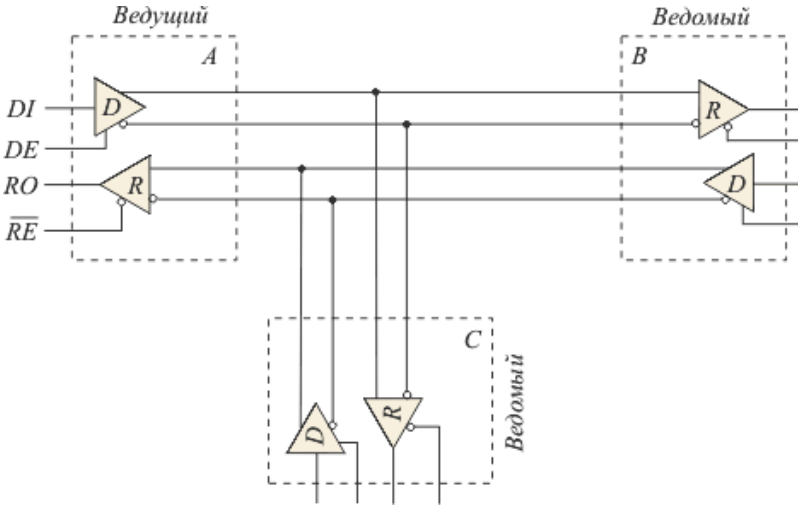


Рис. 5.6. Четырехпроводное соединение устройств с интерфейсом RS-485

Если порты RS-485, подключенные к линии передачи, расположены на большом расстоянии один от другого, то потенциалы их «земель» могут сильно различаться. В этом случае для исключения пробоя выходных каскадов микросхем трансиверов (приемопередатчиков) интерфейса следует использовать гальваническую изоляцию между портом RS-485 и «землей».

В последнее время появилось много микросхем трансиверов интерфейса RS-485, которые имеют более широкие возможности, чем установленные стандартом. Однако для обеспечения совместности устройств между собой необходимо знать параметры, описанные в стандарте (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Параметры интерфейса RS-485, установленные стандартом

Параметр	Условие	Мин.	Макс.	Единица измерения
Выходное напряжение передатчика без нагрузки	$R_{нагр} = 0$	1,5 -1,5	6 -6	В В
Выходное напряжение передатчика с нагрузкой	$R_{нагр} = 54 \text{ Ом}$	1,5 -1,5	5 -5	В В
Ток к. з. передатчика	К. з. выхода на источник питания +12 В или на -7 В	—	$\pm 250$	мА
Длительность переднего фронта импульсов передатчика	$R_{нагр} = 54 \text{ Ом}$ $C_{нагр} = 50 \text{ пФ}$	—	30	% от ширины импульса
Синфазное напряжение на выходе передатчика	$R_{нагр} = 54 \text{ Ом}$	-1	3	В
Чувствительность приемника	При синфазном напряжении от -7 до +12 В	—	$\pm 200$	мВ
Синфазное напряжение на входе приемника		-7	+12	В
Входное сопротивление приемника		12	—	кОм
Максимальная скорость передачи	Кабель длиной: 12 м 1200 м	10 100	—	Мбит/с Кбит/с

*Примечание.* Передатчик должен выдерживать режим короткого замыкания как между своими выходами, так и замыкание их на +12 В или -7 В.

### ***Интерфейсы RS-232 и RS-422***

Интерфейс RS-422 используется гораздо реже, чем RS-485 и, как правило, не для создания сети, а для соединения двух устройств на большом расстоянии (до 1200 м), поскольку интерфейс RS-232 работоспособен только на расстоянии до 15 м. Каждый передатчик RS-422 может быть нагружен на 10 приемников. Интерфейс работоспособен при напряжении общего вида до  $\pm 7 \text{ В}$ .

На рис. 5.7 показан пример соединения двух интерфейсов RS-422 преобразователей типа NL-232 фирмы НИЛ АП с целью увеличения дальности связи двух устройств.

В табл. 5.2 приведено сравнение основных характеристик трех наиболее популярных интерфейсов, используемых в промышленной автоматизации.

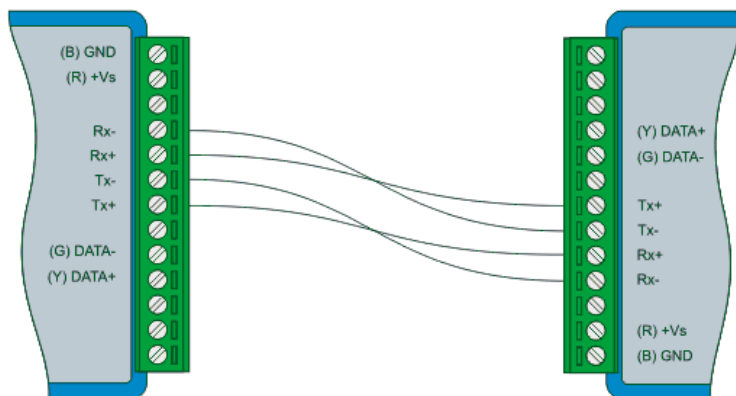


Рис. 5.7. Соединение двух модулей преобразователей интерфейса RS-232/RS-422

Таблица 5.2

Сравнение интерфейсов RS-232, RS-422 и RS-485

Параметр	RS-232	RS-422	RS-485
Способ передачи сигнала	Однофазный	Дифференциальный	Дифференциальный
Максимальное количество приемников	1	10	32
Максимальная длина кабеля	15 м	1200 м	1200 м
Максимальная скорость передачи	460 кбит/с	10 Мбит/с	30 Мбит/с**
Синфазное напряжение на выходе	$\pm 25$ В	-0,25...+6 В	-7...+12 В
Напряжение в линии под нагрузкой	$\pm 5... \pm 15$ В	$\pm 2$ В	$\pm 1,5$ В
Импеданс нагрузки	3...7 кОм	100 Ом	54 Ом
Ток утечки в «третьем» состоянии	—	—	$\pm 100$ мкА
Допустимый диапазон сигналов на входе приемника	$\pm 15$ В	$\pm 10$ В	-7...+12 В

Параметр	RS-232	RS-422	RS-485
Чувствительность приемника	$\pm 3B$	$\pm 200 мВ$	$\pm 200 мВ$
Входное сопротивление приемника	3...7 кОм	4 кОм	$\geq 12 кОм$

*Примечание.* \*\*Скорость передачи 30 Мбит/с обеспечивается современной элементной базой, но не является стандартной.

### 5.3. HART-протокол

HART-протокол (Highway Addressable Remote Transducer – «магистральный адресуемый удаленный преобразователь») является открытым стандартом на метод сетевого обмена, который включает не только протокол взаимодействия устройств, но и требования к аппаратуре канала связи, поэтому устоявшийся термин «протокол», означающий алгоритм взаимодействия устройств, применен здесь не совсем корректно. Стандарт HART был разработан в 1980 году фирмой Rosemount Inc., которая позже сделала его открытым. В настоящее время стандарт поддерживается международной организацией HART Communication Foundation (HCF), насчитывающей 190 членов (на декабрь 2006 г.). HART находит применение для связи контроллера с датчиками и измерительными преобразователями, электромагнитными клапанами, локальными контроллерами, для связи с искробезопасным оборудованием.

Несмотря на свое низкое быстродействие (1200 бит/с) и ненадежный аналоговый способ передачи данных, а также появление более совершенных сетевых технологий, устройства с HART-протоколом разрабатываются до сих пор и объем этого сегмента рынка продолжает расти. Однако применение HART в России довольно ограничено, поскольку внедрение датчиков с HART-протоколом требует одновременного применения HART-совместимых контроллеров и специализированного программного обеспечения. Типовой областью применения HART являются достаточно дорогие интеллектуальные устройства (электромагнитные клапаны, датчики потока жидкости, радарные уровнемеры и т. п.), а также взрывобезопасное оборудование, где низкая мощность HART-сигнала позволяет легко удовлетворить требования стандартов по искробезопасным электрическим цепям.

Стандарт HART включает 1-й, 2-й и 7-й уровни модели OSI (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Модель OSI HART-протокола

Номер уровня	Название уровня	HART
7	Прикладной	HART-команды, ответы, типы данных
6	Уровень представления	Нет
5	Сеансовый	Нет
4	Транспортный	Нет
3	Сетевой	Нет
2	Канальный (передачи данных)	Ведущий/ведомый, контрольная сумма, контроль четности, организация потока битов в сообщении, контроль приема сообщений
1	Физический	Наложение цифрового ЧМ-сигнала на аналоговый (4–20 мА); медная витая пара

При создании HART-протокола в 1980 году преследовалась цель сделать его совместимым с широко распространенным в то время стандартом «токовая петля», но добавить возможности, необходимые для управления интеллектуальными устройствами. Поэтому аналоговая «токовая петля» 4...20 мА была модернизирована таким образом, что получила возможность полудуплексного цифрового обмена данными. Для этого аналоговый сигнал  $A(t)$  суммируется с цифровым  $D(t)$  (рис. 5.8) и полученная таким образом сумма передается с помощью источника тока 4...20 мА по линии связи. Благодаря сильному различию диапазонов частот аналогового (0...10 Гц) и цифрового (1200 и 2200 Гц) сигналов они легко могут быть разделены фильтрами низких и высоких частот в приемном устройстве. При передаче цифрового двоичного сигнала логическая единица кодируется синусоидальным сигналом с частотой 1200 Гц, ноль — 2200 Гц. При смене частоты фаза колебаний остается непрерывной. Такой способ формирования сигнала называется частотной манипуляцией с непрерывной фазой. Выбор частот соответствует американскому стандарту BELL 202 на телефонные каналы связи.

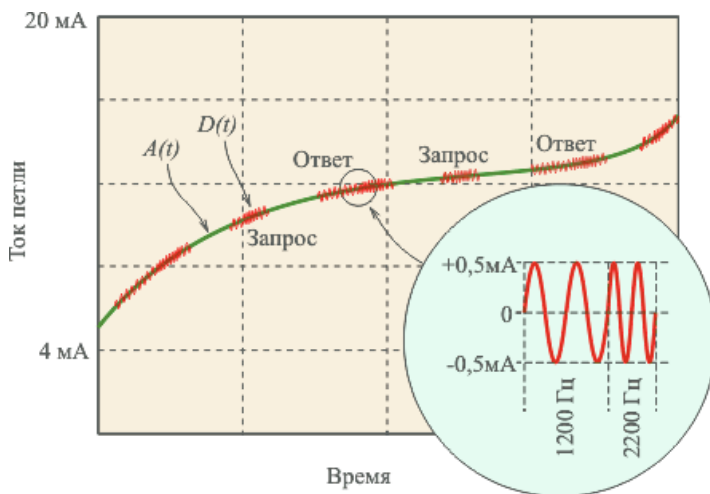


Рис. 5.8. Суммирование аналогового и цифрового сигнала в HART-протоколе

Принцип взаимодействия устройств на физическом уровне модели OSI показан на рис. 5.9. Сопротивление  $R_n$  выбирается так же, как и в токовой петле (стандартом предусмотрена величина 230...1100 Ом) и служит для преобразования тока 4...20 мА в напряжение. Акт взаимодействия устройств инициирует контроллер. Цифровой сигнал от источника напряжения  $E$  через конденсатор  $C_{вч}$  подается в линию передачи и принимается на стороне датчика в форме напряжения в диапазоне от 400 до 800 мВ. Приемник датчика воспринимает HART-сигналы в диапазоне от 120 мВ до 2 В, сигналы от 0 до 80 мВ приемником игнорируются. Получив запрос, датчик формирует ответ, который в общем случае может содержать как аналоговый сигнал  $A(t)_2$ , так и цифровой ( $D(t)_2$ ). Аналоговый сигнал обычно содержит информацию об измеренной величине, а цифровой – информацию о единицах и диапазоне измерения, о выходе величины за границы динамического диапазона, о типе датчика, имени изготовителя и т. п.). Аналоговый и цифровой сигналы суммируются и подаются в линию связи в форме тока (рис. 5.8, 5.9). На стороне контроллера ток преобразуется в напряжение резистором  $R_n$ . Полученный сигнал подается на фильтр нижних частот с частотой среза 10 Гц и на фильтр верхних частот с частотой среза



400...800 Гц. На выходе фильтров выделяются цифровой сигнал  $D(t)_2$  и аналоговый  $A(t)_2$ . При использовании фильтров второго порядка погрешность, вносимая цифровым сигналом в аналоговый, составляет всего 0,01% от 20 мА.

Как и в обычной «токовой петле», источник тока в HART-устройстве может иметь внешний или встроенный источник питания.

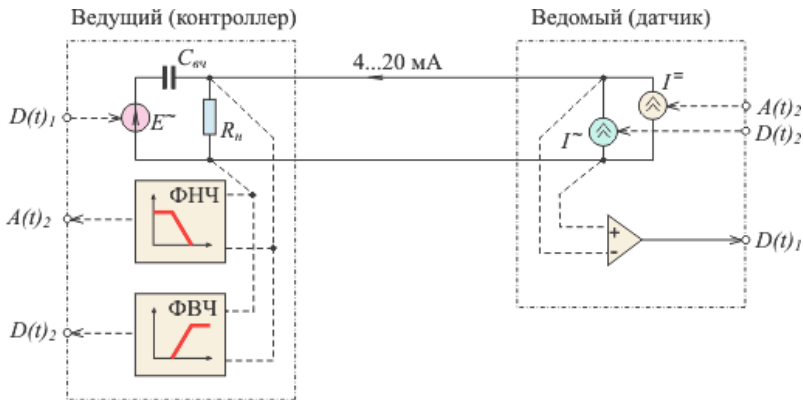


Рис. 5.9. Принцип работы HART-протокола на физическом уровне

В частном случае HART-протокол может использовать только цифровой сигнал, без аналогового, или только аналоговый 4...20 мА, без цифрового.

Если ведомым является не датчик, а исполнительное устройство (например электромагнитный клапан), аналоговый сигнал в форме тока должен передаваться от ведущего устройства к ведомому и источник тока должен находиться в ведущем устройстве (ситуация, обратная показанной на рис. 5.9). Поскольку HART-устройства содержат микроконтроллер и МОП-ключи, необходимое для этого переконфигурирование передатчика и приемника выполняется путем подачи соответствующей команды.

HART-устройства всегда содержат микроконтроллер (рис. 5.10) с UART и ППЗУ (перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство). Цифровой сигнал, сформированный микроконтроллером, преобразуется в UART в непрерывную последовательность бит, состоящую из двоичных слов длиной 11 бит каждое

(рис. 5.11, а). Каждое слово начинается со стартового бита (логический ноль), за которым следует байт передаваемых данных, затем бит паритета и стоповый бит. Сформированная таким образом последовательность нулей и единиц передается в модем, выполняющий частотную манипуляцию (ЧМ). Полученный частотно-манипулированный сигнал передается в интерфейсный блок для формирования напряжения, подаваемого в линию связи (напомним, что от контроллера к датчику передается сигнал в форме напряжения, а обратно – в форме тока).

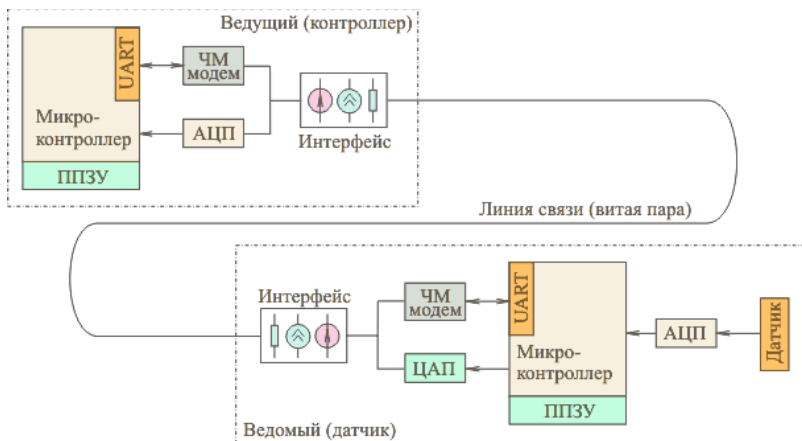


Рис. 5.10. Прохождение аналоговых и цифровых сигналов через устройства с HART-протоколом

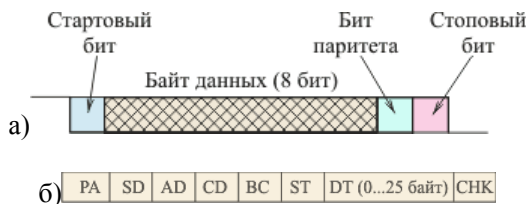


Рис. 5.11. Структура слова (а) и сообщения (б) в HART-протоколе

На стороне датчика сигнал принимается из линии интерфейсным блоком, преобразуется ЧМ-модемом в последовательность

битов, из которой контроллер выделяет байты данных и биты паритета. Микроконтроллер проверяет соответствие бита паритета переданному байту для каждого переданного слова, пока не обнаружит признак конца сообщения.

Получив команду, контроллер приступает к ее выполнению. Если пришла команда запроса измеренных данных, контроллер датчика принимает через АЦП сигнал датчика, преобразует его в аналоговую форму с помощью ЦАП, суммирует со служебной информацией на выходе ЧМ-модема и передает в линию связи в форме тока 4...20 мА (рис. 5.10).

Описанный выше обмен информацией между двумя устройствами (типа «точка-точка») является наиболее типичным применением HART-протокола. Однако HART-устройства могут быть объединены в сеть. Для этого используют только цифровую часть HART-протокола, без аналоговой, а информация передается в форме напряжения, что позволяет соединять HART-устройства параллельно. Максимальное количество устройств в сети может составлять 15, если не использовать HART-повторители (ретрансляторы, репитеры). HART-сеть может иметь произвольную топологию, поскольку при малых скоростях передачи (1200 бит/с) эффектов, характерных для длинных линий, не возникает.

#### **5.4. Интерфейс Profibus**

Слово PROFIBUS получено из сокращений PROcess FIEld BUS, что приблизительно переводится как «промышленная шина для технологических процессов». Стандарт Profibus был первоначально принят в Германии в 1987 году, затем в 1996 году он стал международным (EN 50170 и EN 50254).

Profibus является многомастерной сетью (с несколькими ведущими устройствами). В качестве ведомых выступают обычно устройства ввода-вывода, клапаны, измерительные преобразователи. Они не могут самостоятельно получить доступ к шине и только отвечают на запросы ведущего устройства.

На физическом уровне Profibus DP и FMS используют стандарт RS-485 при скорости передачи до 12 Мбит/с и с размерами сегмен-

тов сети до 32 устройств. Количество устройств можно увеличить с помощью повторителей интерфейса.

Для увеличения дальности передачи в Profibus предусмотрена возможность работы с оптоволоконным кабелем. При использовании стеклянного оптоволоконна дальность связи может быть увеличена до 15 км. Оптоволоконные интерфейсы выполняются в виде сменных модулей для контроллеров.

Profibus PA использует физический уровень, соответствующий стандарту IEC 1158-2. Данные передаются с помощью уровней тока +9 мА и -9 мА («токовая петля»). Используется манчестерский код (логический ноль соответствует смене отрицательного тока на положительный, а логическая единица – положительного на отрицательный). Скорость передачи составляет 31,25 кбит/с, в качестве линии передачи используется витая пара в экране или без него. Один сегмент сети может содержать до 32 устройств. Максимальная длина кабеля достигает 1,9 км. Благодаря низкой энергии передаваемого сигнала Profibus PA является искробезопасной электрической цепью и может быть использован во взрывоопасных зонах (при наличии разрешения Ростехнадзора на конкретное оборудование).

### 5.5. Подключение внешних устройств

Схемы подключения внешних устройств представлены ниже.

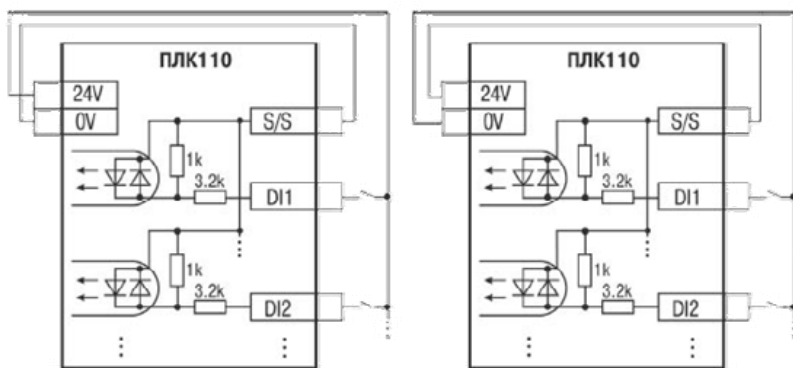


Рис. 5.12. Схема подключения контактных датчиков к входам

Обе схемы равнозначны, может использоваться любая. При применении контактных датчиков совместно с датчиками, имеющими на выходе транзисторный ключ, схема подключения должна определяться типом транзисторных датчиков.

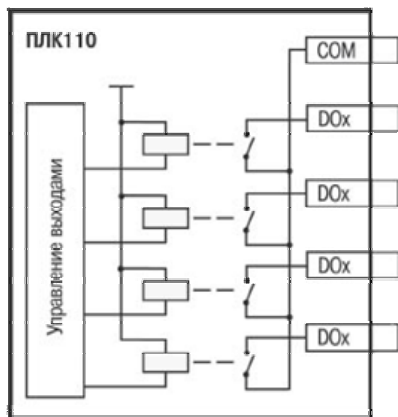


Рис. 5.13. Выходные элементы контроллера ПЛК110 типа Р (жесткий контакт)

Данная схема позволяет подключать выходные элементы (реле, контакторы, лампы и др.) переменного и постоянного тока и рассчитана на неинтенсивную работу.

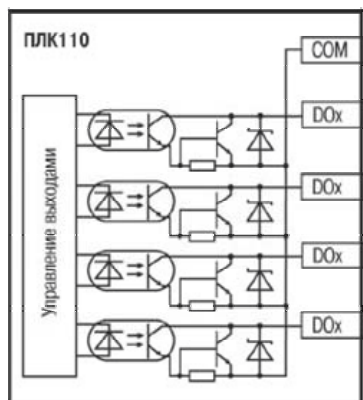


Рис. 5.14. Выходные элементы контроллера ПЛК110 типа К «обычные»

Схема рассчитана на коммутацию постоянного напряжения. Достоинствами является электронная коммутация, исключая дребезг и подгорание контактов.

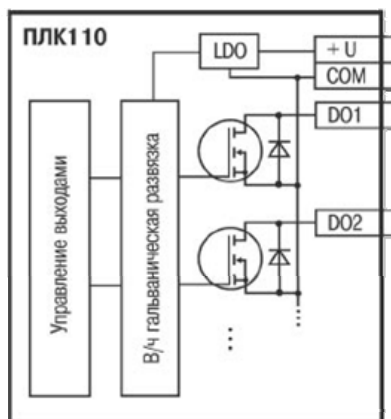


Рис. 5.15. Выходные элементы контроллера ПЛК110 типа К «быстрые»

Схема предназначена для коммутации постоянного напряжения с высокой частотой, например управления шаговым двигателем.

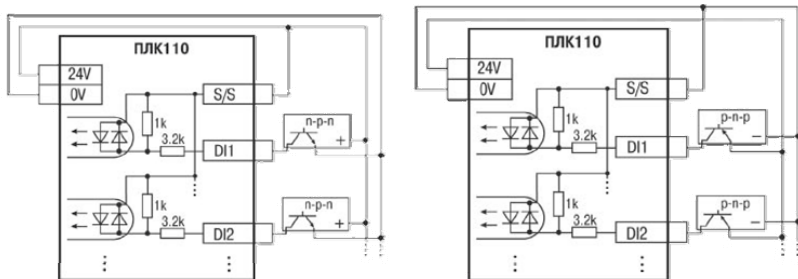


Рис. 5.16. Подключение к дискретным входам датчиков, имеющих на выходе транзисторный ключ

Схема предназначена для подключения датчиков с транзисторным ключом на выходе, например индукционных датчиков.

### Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику интерфейсу «токовая петля».
2. Чем похожи и отличаются интерфейсы RS-485, RS-422 и RS-232?
3. Опишите преимущества HART-протокола.
4. Какие схемы подключения внешних устройств вы знаете?

## Библиографический список

1. Сергеев, С.А. Особенности проектирования источников питания сварочной дуги с микропроцессорным управлением / С.А. Сергеев // Силовая электроника. – 2009. – № 5.
2. Энциклопедия АСУ ТП: 2. Промышленные сети и интерфейсы: 2.4 Интерфейс «токовая петля» [Электронный ресурс]. – URL : [http://bookasutp.ru/Chapter2\\_4.aspx](http://bookasutp.ru/Chapter2_4.aspx) (дата обращения 20.09.2011).
3. Энциклопедия АСУ ТП: 2 Промышленные сети и интерфейсы: 2.3 Интерфейсы RS-485, RS-422 И RS-232 [Электронный ресурс]. – URL : [http://bookasutp.ru/Chapter2\\_3.aspx](http://bookasutp.ru/Chapter2_3.aspx) (дата обращения 20.09.2011).
4. Энциклопедия АСУ ТП: 2. Промышленные сети и интерфейсы: 2.5 HART-протокол [Электронный ресурс]. – URL : [http://bookasutp.ru/Chapter2\\_5.aspx](http://bookasutp.ru/Chapter2_5.aspx) (дата обращения 20.09.2011).
5. Энциклопедия АСУ ТП: 2. Промышленные сети и интерфейсы: 2.7 PROFIBUS [Электронный ресурс]. – URL : [http://bookasutp.ru/Chapter2\\_7.aspx](http://bookasutp.ru/Chapter2_7.aspx) (дата обращения 20.09.2011).
6. Технические средства автоматизации : учебник для вузов / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков. – М. : Академия, 2007. – 361 с.
7. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб. : Профессия, 2007. – 747 с.
8. Управление процессами и оборудованием при сварке : учеб. пособие для вузов / Э. А. Гладков. – М. : Академия, 2006. – 430 с.
9. Микропроцессорные системы и микроконтроллеры / Б.В. Костров, В.Н. Ручкин. – М. : ДЕСС, 2007. – 320 с.
10. Преобразователь температуры измерительный НПТ : руководство по эксплуатации. – М. : Овен, 2010. – 2 с.
11. Инструкция по работе с программой «Конфигуратор НПТ-1». – М. : Овен, 2010. – 3 с.
12. Цифровой многоканальный самописец «S-Recorder-L» : техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М. : ADClab, 2010. – 82 с.
13. Программируемое реле ПР110 : руководство по эксплуатации. – М. : Овен, 2010. – 30 с.
14. Среда программирования OWEN Logic : руководство пользователя. – М. : Овен, 2010. – 45 с.



15. Программа OWEN Logic : руководство пользователя. – М. : Овен, 2010. – 32 с.
16. Энциклопедический фонд России [Электронный ресурс]. – URL : [www.russika.ru](http://www.russika.ru) (дата обращения 10.02.2012).
17. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. 1989 [Электронный ресурс]. –URL : [www.edudic.ru](http://www.edudic.ru) (дата обращения 10.02.2012).
18. Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс] // Яндекс.Словари. – URL : <http://slovari.ru> (дата обращения 10.02.2012).
19. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL : [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) (дата обращения 10.02.2012).

## Глоссарий

**Схемотехника** – научно-техническое направление, охватывающее проблемы проектирования и исследования схем электронных устройств радиотехники и связи, вычислительной техники, автоматики и др. областей техники.

**Электронная вычислительная машина (ЭВМ)** предназначена для автоматической обработки информации при помощи устройств и элементов, выполненных на электронных приборах (транзисторах, полупроводниковых диодах, тиристорах, интегральных схемах и т. д.).

**Микропроцессор** – как и любой другой процессор, самостоятельное или входящее в состав микроЭВМ устройство обработки или передачи информации, выполненное в виде одной или нескольких больших интегральных схем, заключённых в герметический корпус.

**Микропроцессорная система (МПС)** представляет собой функционально законченное изделие, состоящее из одного или нескольких устройств, главным образом микропроцессорных: микропроцессора и/или микроконтроллера.

**Микроконтроллер (англ. Micro Controller Unit, MCU)** – микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ или ПЗУ.

**Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)** есть импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности, то есть отношения периода следования импульса к его длительности. С помощью задания скважности (длительности импульсов) можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

**Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, англ. Analog-to-digital converter, ADC)** – устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Обратное преобразование осуществляется при помощи ЦАП (цифро-аналогового преобразователя).

**Программируемый логический контроллер (ПЛК) (англ. Programmable Logic Controller, PLC)**, или программируемый контроллер – электронная составляющая промышленного контроллера, специализированного (компьютеризированного) устройства, используемого для автоматизации технологических процессов.

В качестве основного режима длительной работы ПЛК, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, выступает его автономное использование, без серьёзного обслуживания и практически без вмешательства человека.

**Числовое программное управление (ЧПУ)** – компьютеризованная система, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку.

**Программируемое реле (ПР)** – разновидность программируемых логических контроллеров (ПЛК). Обычно программа создается на языке релейной логики (LD) или FBD при помощи компьютера или клавиш на лицевой панели ПЛК. Применяется в качестве средств автоматизации локальных контуров, отдельных агрегатов и др.

**Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор** – устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально входному сигналу, второе – интеграл входного сигнала, третье – производная входного сигнала.

## Содержание

Введение.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРОПРОЦЕССОРАХ И УСТРОЙСТВАХ НА ИХ БАЗЕ.....	4
1.1. Общая характеристика микропроцессора.....	6
1.2. Основные типовые компоненты микроконтроллеров.....	18
2. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ В СВАРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ.....	27
2.1. Источники питания сварочной дуги.....	28
2.2. Оборудование для дуговой сварки.....	36
2.3. Оборудование для контактной сварки.....	46
3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	52
3.1. Электрические двигатели.....	52
3.2. Системы управления.....	54
4. УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ.....	59
4.1. Регистраторы температурных полей.....	59
4.2. Универсальные управляющие устройства и принципы их программирования.....	71
5. СИГНАЛЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ИНТЕРФЕЙСЫ.....	91
5.1. Интерфейс «токовая петля».....	91
5.2. Интерфейсы RS-485, RS-422 и RS-232.....	95
5.3. HART-протокол.....	101
5.4. Интерфейс Profibus.....	106
5.5. Подключение внешних устройств.....	107
Библиографический список .....	111
Глоссарий.....	113

Учебное издание

*Семистенов Денис Александрович*

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
СВАРОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ

Учебное пособие

Редактор *Е.Ю. Жданова*

Технический редактор *З.М. Малявина*

Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 22.04.2013. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 6,74.

Тираж 50 экз. Заказ № 1-29-12.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

