

**Міністерство освіти, науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"**

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

**з навчальної дисципліни
«Системи управління на базі програмованих логічних контролерів»**

**Освітньо-кваліфікаційний рівень підготовки: спеціаліст
за спеціальністю: 7.05020101 – «Системи управління і автоматики»,
та освітньо-кваліфікаційний рівень підготовки: магістр
за спеціальністю: 8.05020101 – «Системи управління і автоматики»
Напрямок підготовки: 8.050201 – «Системна інженерія»**

Відповідальний лектор: к.т.н., ст. викл. Дуднік О. В.

Харків 2016

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой специализированное МП управляющее устройство, приспособленное к использованию непосредственно в производственных условиях и программируемое на упрощённых языках, доступных непрофессиональным пользователям, т.е. пользователям, не имеющим специальной подготовки по программированию.

По принципу действия ПЛК представляет собой упрощённую модель компьютера, в которой программным путём реализуется цифровой управляющий автомат.

ПЛК, как правило, имеет блочно-модульную конструкцию, что позволяет пользователю компоновать требуемую объектно-ориентированную конфигурацию контроллера путём доукомплектования некоторого базового (управляющего) модуля необходимым набором модулей ввода-вывода из номенклатуры, предлагаемой изготовителем ПЛК.

Особенности ПЛК:

- простота общения с пользователем, заключающаяся в возможности программирования ПЛК по принципиальной электрической схеме, по логическим (булевым) уравнениям и с помощью простого алгоритмического языка;
- приспособленность к работе в тяжёлых производственных условиях за счёт применения оптоэлектронной гальванической развязки входов и выходов от внешних электрических цепей, за счёт приспособленности ПЛК к расширенному диапазону условий эксплуатации;
- модульность конструкции, позволяющая компоновать из ограниченного числа унифицированных модулей контроллеры различного функционального назначения и требуемой конфигурации, что открывает широкие перспективы в части повышения гибкости создаваемых систем управления сложными технологическими модулями;
- резкое сокращение затрат на проектирование за счёт существенного снижения стоимости программирования, а также за счёт упрощения привязки модульной конструкции к конкретному объекту управления;
- значительное сокращение сроков разработки и проектирования систем управления оборудованием за счёт возможности параллельного проведения работ по их проектированию (в том числе программированию) и изготовлению систем управления на основе ПЛК;
- возможность корректировки алгоритмов управления непосредственно в цеховых условиях (при монтаже, пуске, испытаниях и модернизации оборудования), что существенно улучшает адаптивные качества систем управления технологическим оборудованием;
- широкая номенклатура модулей ввода-вывода для связи контроллеров с датчиками, управляемыми механизмами, а также управляющими устройствами, выполненными на других принципах и другой элементной базе, что положительно сказывается на эффективности построения комплексных систем управления с использованием ПЛК;
- наличие встроенной автоматической функциональной диагностики позволяет существенно упростить процесс эксплуатации и повысить ремонтпригодность как

собственно контроллера, так и управляемого технологического оборудования.

К числу основных характеристик (параметров), по которым пользователь осуществляет выбор ПЛК для конкретного применения, относятся:

- количество входов-выходов, – одна из главных характеристик, определяющих максимально возможное количество контролируемых датчиков и управляемых механизмов, которые могут быть подключены к ПЛК;
- номенклатура предлагаемых модулей ввода-вывода – характеризует возможности адаптации ПЛК различных фирм к условиям промышленного использования в части номенклатуры и величин питающих напряжений и коммутируемых токов органов управления, датчиков и исполнительных механизмов;
- ёмкость памяти для хранения программ пользователя – определяет возможности данного ПЛК в части создания прикладного программного обеспечения;
- в ПЛК применяются в основном три вида памяти: ППЗУ типа PROM – для хранения базовой (неизменяемой) части управляющих программ, ОЗУ с подпиткой на аккумуляторах – на этапах отладки и корректировки программного обеспечения, а также для хранения оперативной информации, ППЗУ типа REPRM – как основная память для хранения управляющих программ;
- быстродействие ПЛК – как правило, измеряется приведенным к 1К памяти и характеризует длительность цикла однократного обслуживания всех входов-выходов;
- типы используемых языков и технологии программирования – характеризуют степень сложности освоения прикладного программного обеспечения и удобство ввода и корректировки записанных в памяти управляющих программ;
- оснащённость стандартными интерфейсами – характеризует приспособленность ПЛК к использованию его в иерархических системах управления с возможностью дистанционного ввода и корректировки программ и данных, а также к использованию в составе контроллерных сетей.

В зависимости от максимально возможного количества входов-выходов все ПЛК делят на модели, отличающиеся их количеством:

- микро – до 64;
- малые – до 128;
- средние – до 512;
- большие – до 1024;
- сверхбольшие – свыше 1024.

По конструктивному исполнению все ПЛК делят на две большие группы:

- ПЛК, имеющие блочно-модульную конструкцию (кассетные) и предназначенные, как правило, для установки в шкафах;
- ПЛК, выполненные из объёмных модулей и предназначенные для непосредственного встраивания в промышленное оборудование.

В основу структурной организации ПЛК положена типовая структура МП-устройства, дооснащённого модулями связи с управляемым объектом, а также пультом (устройством) пользователя, с помощью которого реализуются функции программирования, отладки, диагностирования управляющей программы и отображения состояний управляемого объекта.

Для хранения УП используются различного типа ПЗУ или ОЗУ с подпиткой. Для памяти данных используется ОЗУ, а иногда и ОЗУ с подпиткой. Последова-

тельный интерфейс используется для стыковки с другими микропроцессорными системами.

Основной особенностью функционирования ПЛК является то, что он работает циклически. Каждый цикл состоит из трёх основных этапов. На первом этапе производится опрос состояний входов и запоминание этой информации. На втором этапе выполняется анализ полученной информации в соответствии с хранимой в памяти ПЛК управляющей программой, т.е. производится попытка решения совокупности записанных в программе логических уравнений. На третьем этапе на основе результатов решения логических уравнений формируются команды возбуждения выходов, сигналы запуска и сброса таймеров и счётчиков, а также внутренних операторов программы.

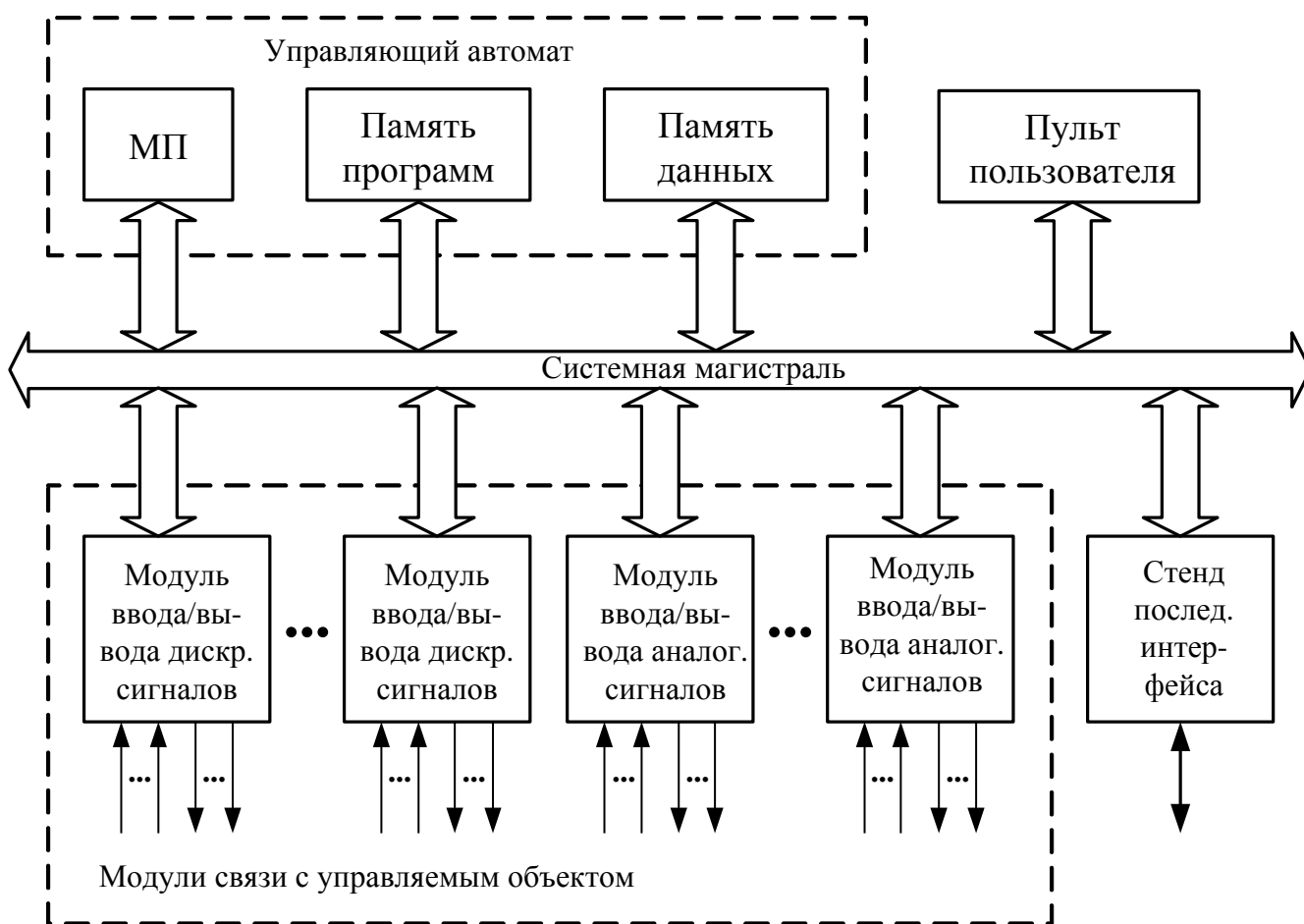


Рисунок 1 – Обобщённая структура ПЛК

Отработка частей (участков) УП (отдельных логических уравнений) осуществляется одна за другой в порядке их размещения в программе с возвращением к началу УП после окончания всего цикла.

Циклическая обработка (сканирование) УП осуществляется с помощью процессора. Однократное обслуживание в соответствии с программой всех входов-выходов ПЛК называется циклом сканирования или рабочим циклом, а время, затрачи-

ваемое на это, – длительностью цикла сканирования $T_{ц}$, которое характеризует быстродействие ПЛК и обычно указывается приведенным к 1К словам памяти.

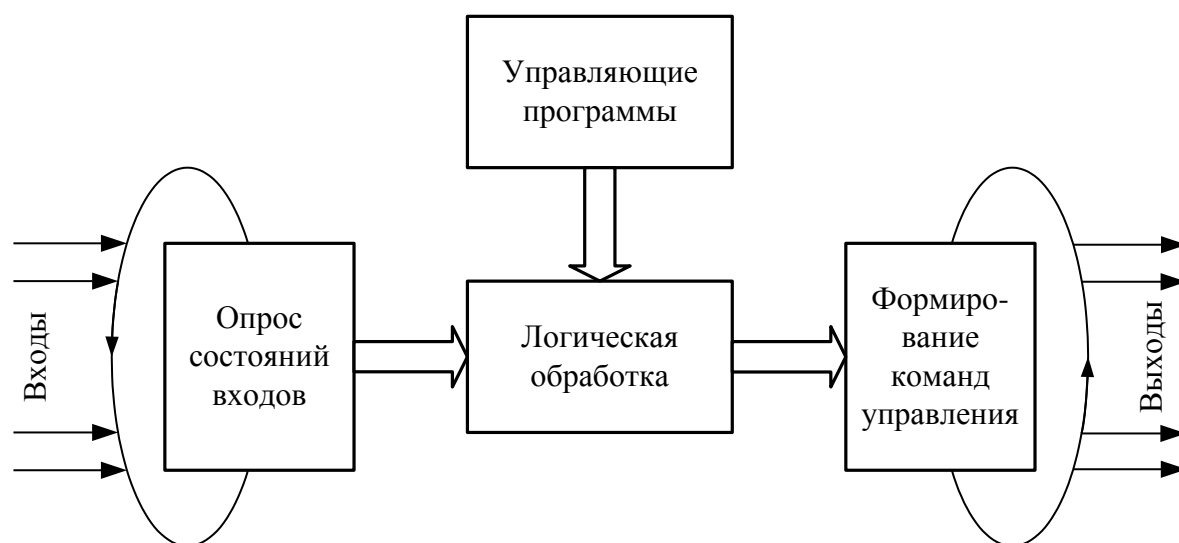


Рисунок 2 – Принцип действия ПЛК

Для нормального функционирования ПЛК обязательно должно выполняться условие: $T_{ц} < T_{ср. им}$, где $T_{ср. им}$ – время срабатывания исполнительных механизмов. Необходимость выполнения этого условия вызвано тем, что на входах ПЛК возможно появление помех, а, следовательно, и ошибочных сигналов о срабатывании того или иного датчика, что может привести к ошибочному формированию выходных сигналов ПЛК и к аварии на управляемом объекте. Если $T_{ц} < T_{ср. им}$, то исполнительный механизм не успевает включиться за один рабочий цикл ПЛК, а в следующем цикле, если помеха носит случайный характер, ошибочный управляющий сигнал выдан не будет. Рекомендуется опрос состояний входов производить не один раз, а n раз и только после n -кратного подтверждения состояния конкретного входа использовать эту информацию для последующей логической обработки.

К выходным функциям в первую очередь относятся функции включения-выключения (запуска-останова) исполнительных механизмов управляемого объекта. К ним также относятся функции пуска-сброса таймеров и счётчиков, включения-выключения внутренних операторов, которые используются как для запоминания импульсных входных сигналов, так и промежуточных состояний УП, а также промежуточных результатов, получаемых при отработке участков программы. К выходным относятся также функции, связанные с организацией зон игнорирования участков программы, с организацией условных и безусловных переходов в программе с обнулением и без обнуления при этом указанных выше выходных функций.

Особенности функционирования ПЛК как управляющего устройства промышленного назначения

Процесс управления промышленным оборудованием с помощью ПЛК сводится, в основном, к решению логических уравнений, при этом необходимо чётко представлять, какие функции, реализуемые ПЛК, следует считать выходными и какие

состояния управляемого объекта, элементов системы управления и выходные сигналы ПЛК могут или должны рассматриваться в качестве аргументов указанных функций.

К выходным функциям в первую очередь относятся функции включения-выключения (запуск-останов) исполнительных механизмов управляемого объекта. К выходным функциям относятся также функции запуска-сброса таймеров и счётчиков, включения-выключения так называемых внутренних операторов, которые используются как для запоминания импульсных входных сигналов, так и промежуточных состояний управляющей программы, а также промежуточных результатов, получаемых при обработке участков программы. К выходным относятся также функции, связанные с организацией зон игнорирования участков программы, с организацией условных и безусловных переходов в программе с обнулением и без обнуления при этом указанных выше выходных функций.

Аргументами логических функций, реализуемых в ПЛК, являются сигналы от органов управления, от датчиков положения исполнительных механизмов, из систем управления смежным технологическим или транспортным оборудованием, из систем верхнего либо нижнего уровня (при использовании ПЛК в иерархических управляющих системах). Кроме того, в качестве аргументов логических функций используются сигналы с выходов таймеров, счётчиков, состояния внутренних операторов программы.

Одной из важнейших особенностей функционирования ПЛК как управляющего устройства промышленного назначения является то, что в отличие от всех управляющих устройств предыдущих поколений в ПЛК один и тот же аргумент (состояние входа контроллера) может быть использован на различных этапах программы произвольное число раз (что равносильно релейно-контактному аппарату с бесконечным числом контактов).

Отмеченная особенность относится и к выходным функциям, для «размножения» которых не требуются традиционные блок-контакты пускателей либо их твердотельные аналоги. Подобным же образом при реализации того или иного алгоритма в ПЛК имеется возможность многократного использования в программе одного и того же таймера, счётчика, а также обращения к любым промежуточным значениям таймеров и счётчиков.

Практически во всех ПЛК программно можно задать включение его выходов или внутренних операторов как с памятью (фиксацией состояния после исчезновения условий включения), так и без неё.

При реализации функций включения-выключения механизмов программным путём не имеет значения, каким сигналом осуществляется запуск механизма «1» или «0» в то время, как при реализации такой операции с помощью релейной аппаратуры необходимо каждый раз вводить дополнительное реле, выполняющее функцию инвертора.

В ПЛК используется как энергозависимая, так и энергонезависимая память. Очевидно, что для нормальной работы ПЛК текущие состояния выходов, таймеров, счётчиков и внутренних операторов запоминаются в оперативной памяти, которая может быть как энергозависимой, так и энергонезависимой (с подпиткой от аккумуляторов). Использование в данном случае энергозависимой памяти имеет как недо-

статки, так и достоинства. С одной стороны, отключение электропитания может приводить к потере значительного объёма информации, а с другой энергозависимая память в данном случае может эффективно выполнять роль так называемой «нулевой» защиты, предотвращающей прямое (без учёта заданной последовательности включения механизмов и всех необходимых блокировочных зависимостей) повторное включение механизмов при возобновлении подачи электропитания.

Функции таймера (реле времени) в ПЛК реализуются различными способами. Имеются модели ПЛК, в которых функции таймера реализуются аппаратным путём, при этом таймер включается последовательно с определённым выходом ПЛК. На таких таймерах временные уставки задаются с помощью регуляторов либо программных задатчиков (например, – программных переключателей барабанного типа) вручную. Такое решение является весьма удобным при наладке и настройке технологического оборудования, так как позволяет оперативно изменять временные уставки без изменения управляющей программы.

В общем же случае организация таймеров в ПЛК программным путём является более гибким и более универсальным решением, потому что в этом случае нет необходимости в жёсткой (монтажной) привязке таймера к конкретному выходу и имеется возможность программного выбора типа выполняемой временной функции (задержка на включение, задержка на выключение и пр.). Кроме того, программно можно задавать и различные условия запуска и сброса таймера. Так, например, программно можно задать или не задать условие, при котором запущенный таймер сбрасывается в исходное состояние, если по каким-то причинам исчезли условия его запуска в период времени, соответствующий запрограммированной временно́й задержке.

По-разному выполняется и сброс таймера в исходное (стартовое) состояние. Во многих моделях ПЛК отсчёт времени заданной уставки осуществляется от уставки до нуля, поэтому в таких таймерах операция принудительного сброса смысла не имеет. В тех же ПЛК, где в таймерах отсчёт уставок выполняется от нуля к уставке, необходимо вводить команды принудительного обнуления таймеров.

Весьма существенной для ПЛК как управляющего устройства промышленного назначения является функция счёта количества событий, происходящих на управляемом объекте (например, – количества изготовленной продукции). Однако, счётчики в ПЛК могут устанавливаться и для подсчёта числа внутренних событий (например, – количества циклов отработки отдельных участков программы).

Счётчики, как и таймеры, могут быть реализованы и аппаратно, и программно, могут работать как суммирующие, вычитающие и реверсивные. Как правило, при использовании в ПЛК счётчиков все они обнуляются с помощью специальной команды «сброс счётчика».

В отличие от таймера (программная реализация которого осуществляется исключительно за счёт внутренних ресурсов ПЛК) для счёта числа внешних событий хотя бы один из входов контроллера должен быть задействован для приёма импульсов от датчика счёта, установленного на технологическом оборудовании.

В связи с тем, что счётчики в ПЛК выполняют подсчёт импульсов, поступающих в ПЛК из внешних электрических цепей, то существует достаточно серьёзная проблема обеспечения точности работы счётчиков. С этой целью приём единичного

импульса в счётчик фиксируется не менее, чем по двум состояниям (импульс, пауза). Кроме того, в каналах счёта импульсов используется специальная схема (или её программный аналог) выделения одиночного импульса, позволяющая отстроиться от «дребезга» контактов и многих видов импульсных помех.

Указанные и многие другие схемные решения, повышающие достоверность передачи импульсов счёта от источника информации ко входам ПЛК, как правило, реализуются в месте их формирования (в датчиках, преобразователях), поэтому на входы ПЛК импульсы счёта поступают обычно уже в «отфильтрованном» виде. Тем не менее, в самих ПЛК также применяют различные программные способы, обеспечивающие повышение достоверности принимаемой информации и точности счёта, осуществляемого программно организованными счётчиками.

С целью повышения быстродействия, а также надёжности функционирования ПЛК в них применяется специальная операция – пропуск участка программы, который в этом случае называется «зоной игнорирования». Смысл организации зон игнорирования и возможность программного их пропуска состоит в следующем. При отработке отдельных частей управляющей программы (т.е. на определённых шагах технологического цикла) остальные части программы могут быть опущены (проигнорированы), что и позволяет существенно сократить длительность цикла сканирования части управляющей программы, с которой активно взаимодействует процессор на данном шаге технологической циклограммы, что, естественно, приводит к повышению как быстродействия ПЛК, так и надёжности его функционирования.

Использование зон игнорирования позволяет упростить структуру программы. Во многих моделях ПЛК с целью повышения надёжности их функционирования ветвление программы с использованием условных и безусловных переходов эффективно заменяют неветвящейся управляющей программой с введением необходимого числа зон игнорирования.

При использовании ПЛК в промышленных объектах особое значение имеет автоматизация диагностирования неисправностей как в каналах ввода-вывода информации (в датчиках, исполнительных механизмах и линиях связи), так и в самом контроллере. И в этом случае в ПЛК не используется какая бы то ни была дополнительная аппаратура, так как абсолютное большинство проблем, связанных с диагностикой и соответствующим аварийным отключением ПЛК и технологического оборудования, решается программным путём. Весьма часто объём памяти, занимаемой диагностическими программами и программами аварийного останова, значительно превышает объём памяти основной управляющей программы.

Степень детализации диагностирования отказов и сбоев и объём информационного обслуживания операторов и наладчиков в нештатных и аварийных ситуациях существенно зависит от уровня «интеллекта» диагностических программ, а, соответственно, и от объёма предоставляемой для этого памяти.

Схемотехника модулей ввода-вывода

Одной из основных функций, реализуемых модулями ввода-вывода, является надёжная гальваническая развязка внутренних (низковольтных и слаботочных) электрических цепей контроллера от внешних (высоковольтных и сильноточных) электрических цепей управляемого объекта, которые являются ещё и источниками

мощных электромагнитных помех, в условиях которых без гальванической развязки контроллер устойчиво функционировать не может. Существует много различных вариантов технической реализации схем гальванических развязок входов и выходов ПЛК для цепей постоянного и переменного тока.

Ниже приведены обобщённые типовые электрические схемы развязок, применяемых в ПЛК. Простейшим и самым дешёвым является релейный вариант гальванической развязки входов (рис. 3), выполненной на миниатюрном герконовом реле в корпусе, подобном корпусу микросхемы, и устанавливаемом непосредственно на печатной плате модуля входов. Питание обмоток реле может осуществляться как постоянным, так и переменным (через диод) током. K_d – контакт датчика (органа управления) управляемого объекта. Для сигнализации возбуждённого состояния входа используется светодиод $V_{и}$, устанавливаемый на лицевой панели модуля входов.

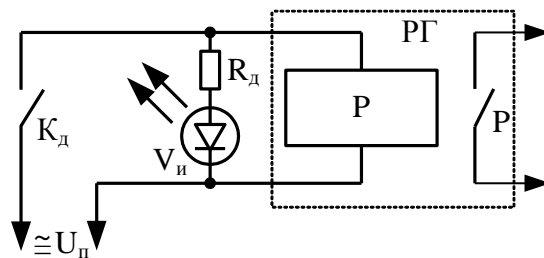


Рисунок 3 – Релейная гальваническая развязка входной цепи

Единственным недостатком этой простой схемы является лишь ограниченный ресурс реле, однако в системах программного управления несложным технологическим оборудованием с малой частотой срабатывания исполнительных механизмов эта схема достаточно часто и эффективно применяется на практике.

Для входных цепей постоянного тока широко применяется так называемая оптронная гальваническая развязка (ОГР), основным элементом которой (рис. 4) – транзисторная или диодная оптопара, которая состоит из светодиода (излучателя) и фототранзистора (или фотодиода). $R_{огр}$ ограничивает входной ток оптрона (в пределах от 14 до 16 мА). $V_{ст}$ устанавливает порог срабатывания входной цепи по напряжению,

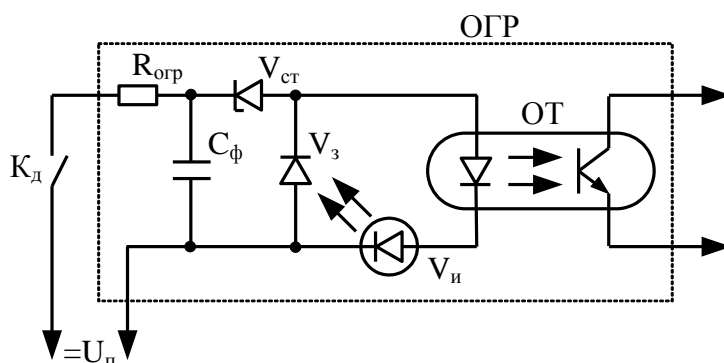


Рисунок 4 – Оptronная гальваническая развязка входной цепи постоянного тока

что весьма важно при подключении к ПЛК бесконтактных датчиков с большим уровнем остаточного напряжения. $V_з$ обеспечивает защиту от пробоя излучателя оптопары и светодиода $V_{и}$ при ошибочном нарушении полярности входного сигнала. $R_{огр}$ и $C_{ф}$ образуют фильтр для защиты входной цепи от кратковременных импульсных помех.

Для входных цепей переменного тока применяют такие же схемы, но с введением в них выпрямителя V переменного тока в постоянный (рис. 5).

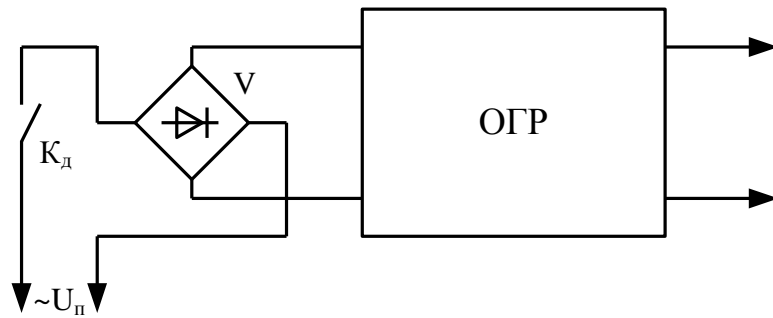


Рисунок 5 – Оптронная гальваническая развязка входной цепи переменного тока

В выходных цепях постоянного тока применяется транзисторный оптрон, обеспечивающий не только гальваническое разделение, но и усиление выходного сигнала ПЛК (рис. 6).

В цепях переменного тока применяется такая же схема, но дополненная, например, симистором (рис. 7).

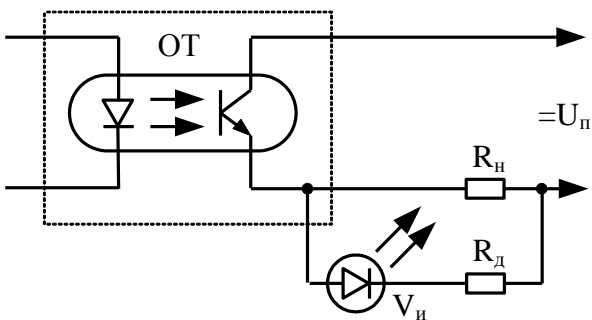


Рисунок 6 – Гальваническая развязка выходной цепи с использованием транзисторного оптрона

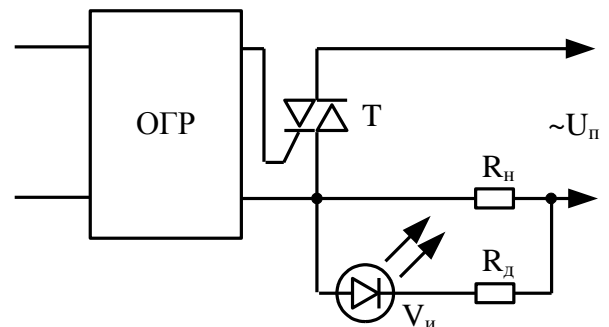


Рисунок 7 – Схема выходного канала с гальванической развязкой и усилительным симистором

Универсальным является вариант двойной гальванической развязки – оптронной, на входе которой устанавливается, например, мощное герконовое реле (РГ), обеспечивающее коммутацию цепей управления исполнительных механизмов как для постоянного тока, так и переменного тока (рис. 8).

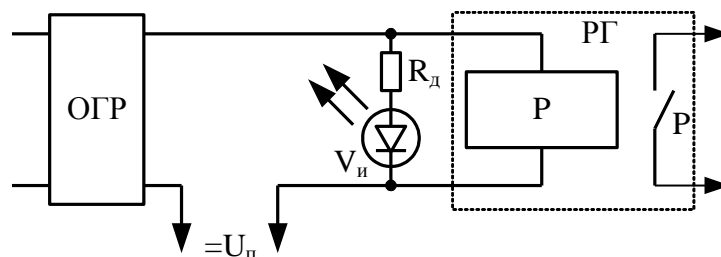


Рисунок 8 – Схема двойной гальванической развязки выходной цепи

Выбор модулей входов-выходов с определёнными вариантами гальванической развязки осуществляется пользователем при проектировании систем программного управления конкретным технологическим оборудованием.

При проектировании систем промышленной автоматики необходимо иметь в виду одну важную особенность электрической стыковки органов управления и других контактных устройств, подключаемых к ПЛК, с входными цепями модулей ввода-вывода. Ток нагрузки входной цепи модуля ввода-вывода составляет 14-16 мА, а многие органы управления промышленного назначения (кнопки, тумблеры и пр.) и другие релейно-контактные устройства, подключаемые ко входам ПЛК, гарантируют надёжный электрический контакт при токе нагрузки не менее 100 мА. В связи с этим многие модели ПЛК доукомплектовываются специальными блоками добавочных резисторов, подключаемых по схеме, приведенной на рис. 9.

Наряду с простейшими элементами ввода-вывода дискретных сигналов в ПЛК могут использоваться более сложные устройства для обработки и преобразования входных сигналов, формирования различных выдержек времени, счёта импульсов, связи с другими ПЛК или компьютерами. В состав современных ПЛК могут входить многоканальные аналого-цифровые или цифро-аналоговые преобразователи. Кроме того, разработаны различные модули управления исполнительными механизмами с многокоординатным управлением.

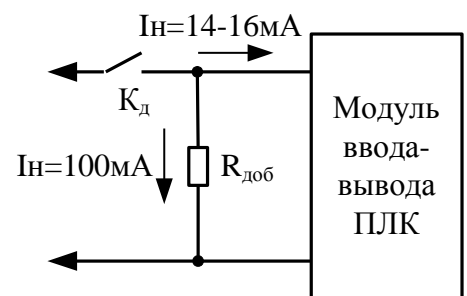


Рисунок 9 – Схема введения добавочного (нагрузочного) резистора

Требования к языкам программирования ПК

- ограничение числа используемых символов;
- экономия специальных понятий и приёмов, которые должен освоить программист;
- ортогональность (отсутствие взаимного влияния между понятиями);
- единообразие построения программы;
- простота и наглядность программ при их записи и чтении;
- лёгкость расширения и корректировки ранее составленных программ;
- возможность использования выразительных средств из описательного (неформального) языка, применяемого в рассматриваемом классе задач.

Большинство современных языков программирования в значительной степени удовлетворяет указанным требованиям. Но, несмотря на это трудоёмкость программирования остаётся высокой. Для её снижения целесообразно идти по пути приспособления языка и технологии программирования к естественным требованиям и существующим возможностям пользователей. Использование этого пути предполагает дифференцированное развитие языков программирования с разделением их на языки, ориентированные на профессиональных и непрофессиональных (массовых) пользователей. Массовое появление ПЛК на рынке как перспективного управляющего устройства не в последнюю очередь обусловлено тем, что их программирование осуществляется на упрощённых языках, доступных непрофессиональным пользователям, – т.е. пользователям, не имеющим специальной подготовки по програм-

мированию.

В связи с выше указанным совсем не случайно первым языком программирования ПЛК стал язык релейно-контактных символов (РКС). В последующем стали применяться язык символов булевой алгебры (СБА), приспособленные к ПЛК варианты мнемкода и другие языки. В последнее время стали создаваться и эффективно применяться версии алгоритмических языков для персональных компьютеров, например, версия языка Бейсик, специально разработанная фирмой “Festo” (Австрия) для реализации алгоритмов программного управления промышленным оборудованием.

Язык релейно-контактных символов

В основу языка положено представление алгоритма управления в виде релейной электрической схемы, что способствовало эволюционному переходу специалистов по разработке систем управления промышленным оборудованием от релейной элементной базы и соответствующей «жесткой» логики к программируемой логике, реализуемой с помощью МП-устройств и, в частности, ПЛК.

Язык РКС позволяет отображать пять категорий логического уравнения: аргумент, функцию, инверсию, логическое умножение и логическое сложение. Приняты обозначения: аргумента – замыкающим контактом; инверсии – размыкающим контактом; функции – нагрузкой релейной цепи; логического умножения и сложения – соответственно последовательным и параллельным соединением контактов электрической цепи.

Составление управляющей программы на языке РКС осуществляется по заранее составленной или уже имеющейся принципиальной электрической схеме, которая представляет собой определённый набор электрических цепей. Технология программирования на этом языке сводится к привязке контролируемых входов и управляемых выходов ПЛК к конкретным контактам и обмоткам реле и пускателей, которым присваиваются соответствующие номера входов и выходов контроллера. Нумеруются также обмотки промежуточных реле и другие аппараты, рассматриваемые в ПЛК как внутренние переменные.

Рассмотрим пример составления управляющей программы на языке РКС по принципиальной электрической схеме. Релейный вариант фрагмента электрической схемы приведен на рис. 11, а на рис. 12 показан фрагмент управляющей программы, составленной на РКС.

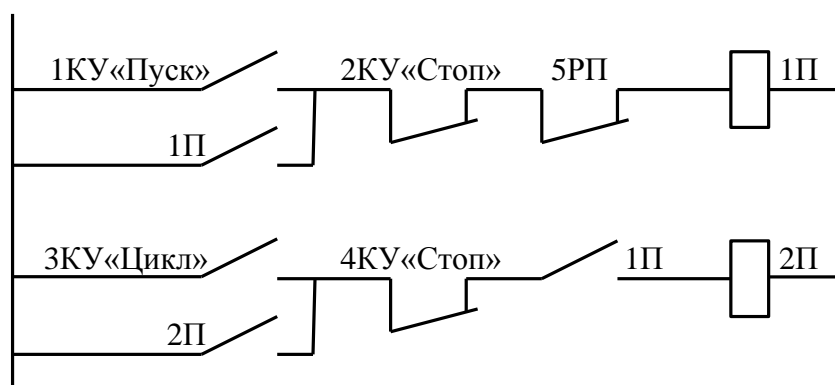


Рисунок 11 – Фрагмент электрической схемы

В приведенном фрагменте управляющей программы номера 0101 – 0106 соответствуют входам 01 – 06 на модуле входов с номером 01, а номера 0801 – 0802 – выходам 01 – 02 модуля выходов с номером 08.

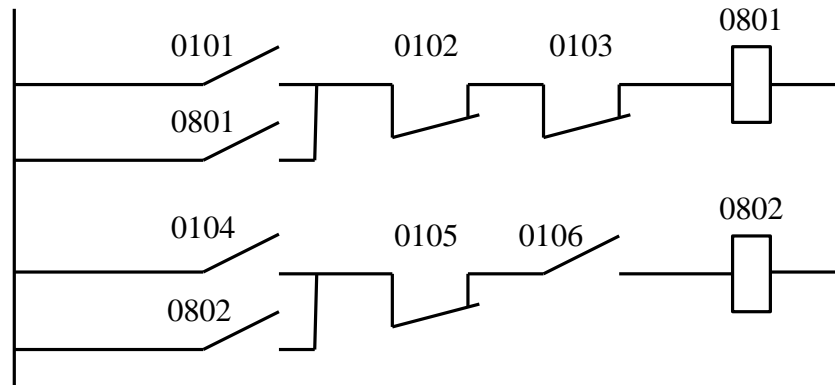


Рисунок 12 – Фрагмент управляющей программы на языке РКС

Применение языка РКС на этапе становления ПЛК сыграло исключительно важную роль. Вместе с тем, следует отметить, что использование данного языка для программирования ПЛК характеризуется серьёзными противоречиями.

Идея применения ПЛК состоит в программировании и обработке заданного алгоритма функционирования технологического агрегата и исключает *принципиальную* необходимость предварительной разработки электрических схем в их традиционном представлении, а использование языка РКС вынуждает всё же разработать релейный вариант схемы, привести её к некоторому нормализованному виду и лишь после этого приступить к собственно программированию. То есть имеет место не замена, а дополнение разработки электрических схем программированием.

Если учесть при этом, что разработка принципиальной электрической схемы всегда являлась наиболее сложным и наиболее трудоёмким этапом в проектировании систем управления технологическим оборудованием, становится очевидным, что технология программирования, основанная на применении РКС, существенно снижает эффективность использования ПЛК как перспективного управляющего устройства. Кроме того, язык РКС вряд ли можно рассматривать в качестве перспективного языка программирования, так как по мере перехода разработчиков систем управления на микроэлектронную элементную базу отпадёт необходимость в подготовке специалистов по релейным схемам, а обучение составлению принципиальных схем лишь для их последующего преобразования в управляющие программы представляется нецелесообразным.

Языки символов булевой алгебры

Язык символов булевой алгебры (СБА) имеет определённые преимущества по сравнению с языком РКС, так как в этом случае при написании программы нет необходимости предварительного рассмотрения релейного варианта схемного решения, – достаточно лишь точно представить логические условия управления технологическим оборудованием и поэтому фрагмент программы, показанный на рис.3,

на языке СБА может быть представлен в виде записи соответствующих логических уравнений в их обычной форме, т.е.:

$$(X0101 + Y0801) \cdot /X0102 \cdot /X0103 = Y0801,$$

$$(X0104 + Y0802) \cdot /X0105 \cdot /Y0801 = Y0802.$$

Как следует из приведенного примера, в языке СБА в качестве команд используются основные символы булевой алгебры, а именно: логическое сложение «+», логическое умножение «.», инверсия в виде « \bar{X} » или «/X», а также вспомогательные элементы, например, скобки.

Язык СБА является не только более «прозрачным» для описания алгоритмов логического управления, но и, что весьма важно, позволяет получить значительно более компактную форму записи как отдельных логических уравнений, так и всей управляющей программы.

Языки типа мнемостода

Языки типа мнемостода или языки символического кодирования для программирования применяются значительно реже, чем СБА и РКС. Применение мнемостода в ПЛК явилось некоторым переходным этапом от явно выраженного машинного языка типа ассемблера к языкам более высокого уровня, поэтому мнемостокоды, применяемые в ПЛК, можно рассматривать как версию специализированного проблемно-ориентированного макроассемблера.

В качестве примера рассмотрим несколько команд языка программирования микроконтроллера, приведенных в табл. 1, и приведем примеры составления управляющих программ с использованием указанных команд.

Таблица 1 – Команды языка программирования

Обозначение команды	Формат команды	Краткое содержание
ПР1	04 адрес входа	Проверка на наличие входного сигнала. При наличии сигнала на входе бит условия сохраняет предыдущее значение, иначе обнуляется.
ВКЛ	05 адрес выхода	Включить выход с заданным адресом.
УСТ БУ ВХ	1Е адрес входа	Бит условия принимает значение сигнала на входе.
БУП	09 адрес команды	Безусловный переход к выполнению команды, содержащейся по заданному адресу.
УП1	0А адрес команды	Переход к выполнению команды с указанным адресом, если бит условия «1», иначе выполняется следующая по программе команда.
УП0	0В адрес команды	Переход к выполнению команды с указанным адресом, если бит условия «0», иначе выполняется следующая по программе команда.

Для реализации логической функции «И» для сигналов, поступающих на входы 01 и 02, и возбуждения при этом выхода 01 программа будет иметь следующий вид:

```
03  1E01
03  0402
03  0B00
03  0501,
```

а для реализации логической функции «ИЛИ» для тех же сигналов программа будет иметь такой вид:

```
000  1E01
001  0A05
002  1E02
003  0A05
004  0900
005  0501.
```

Нетрудно заметить, что в сравнении с языком СБА для выполнения логических операций «И» и «ИЛИ» затрачивается в 2 – 3 раза большее число команд, а управляющая программа выглядит явно менее наглядной.

Выбор языка программирования ПЛК

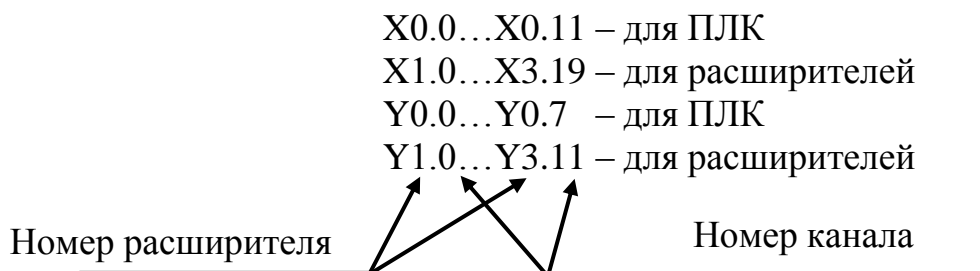
В соответствии с выше изложенными характеристиками языков программирования ПЛК рассмотрим один из наиболее применяемых языков – язык символов булевой алгебры с элементами мнемкокода.

Рабочая программа (РП) на данном языке представляет собой список команд, каждая из которых имеет номер (от 000 до 999). Количество команд в РП (длина РП) не более 1000.

Команда, как правило, состоит из кода операции КОП (что делать) и операнда (с чем). Операнд в свою очередь состоит из обозначения операнда и его номера (адреса). В ПЛК приняты следующие обозначения операндов:

X – входной дискретный сигнал (вход);
 Y – выходной дискретный сигнал (выход);
 Z – внутренняя одноразрядная переменная;
 T – таймер;
 C – счётчик;
 P – константа.

Для операндов X и Y принята следующая структура их номеров (адресов):



Операнды Т и С имеют номера Т0...Т15, С0...С15 и занимают в памяти по две ячейки, которые называются «накопленное значение» и «выход». Накопленное значение изменяется от 0 до 4095, а выход принимает значение «0» или «1».

Список основных команд ПЛК приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Список основных команд ПЛК

№	Наименование команды	КОП	Операнды
1	Опрос бита (входа)	:	X, Y, Z, T, C
2	Опрос бита с инверсией	:/	
3	Логическое умножение	.	
4	Логическое умножение с инверсией	./	
5	Логическое сложение	+	
6	Логическое сложение с инверсией	+/	
7	Открывающая скобка в начале предложения	:(Отсут- ствуют
8	Открывающая скобка с логическим умножением	.(
9	Открывающая скобка с логическим сложением	+(
10	Закрывающая скобка)	
11	Включение бита (выхода)	=	Y, Z
12	Включение бита (выхода) с фиксацией (с памятью)	=S	
13	Выключение бита (выхода)	=R	
14	Включение (запуск) таймера	=T	T
15	Инкремент (запуск) счётчика	=C	C
16	Начало зоны игнорирования	=НЗИ	Отсут- ствуют
17	Конец зоны игнорирования	:КЗИ	
18	Сброс счётчика	=F0	

Логический смысл большинства команд достаточно очевиден, но две команды «=НЗИ» и «:КЗИ» нуждаются в пояснениях. Эти две команды введены с целью сокращения цикла сканирования за счёт временного игнорирования тех частей программы, которые в данный момент времени несущественны. Введение так называемых зон игнорирования позволяет не только сократить время однократного обслуживания входов-выходов (то есть повысить быстродействие ПЛК), но и упростить логическую схему обработки РП за счёт исключения из неё таких специальных команд команды условного перехода, прерывания, перехода к подпрограммам и возврата из них.

Каждая РП заканчивается командой «КОНЕЦ РП».

Правила составления и обработки РП. Команды РП в ПЛК всегда выполняются (обрабатываются) последовательно в порядке возрастания их адресов.

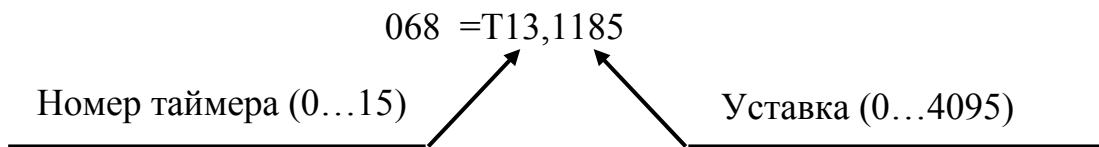
Структурная единица РП, состоящая из логического выражения и исполнительной части, называется предложением. При составлении предложений необходимо придерживаться следующих правил:

- логические выражения составляются в соответствии с законами и правилами булевой алгебры;
- логическое выражение должно начинаться с команд: [:, :/, :(];

- после команд [:(, .(, +(] должна следовать одна из команд: [., ./, :(];
- в исполнительную часть предложений могут включаться команды [=, =S, =R, =T, =C, =F0] в любых количествах и комбинациях и одна команда «=НЗИ»;
- команда «:КЗИ» представляет собой самостоятельное предложение;
- длина предложения (количество составляющих его команд) не регламентируется.

При анализе логического выражения ПЛК присваивает внутренней одноразрядной логической переменной результат логического выражения равный «1», если логическое выражение истинно, и «0» – в противном случае.

Запись и выполнение команд с использованием таймера. Форма записи команд включения (запуска) таймера:



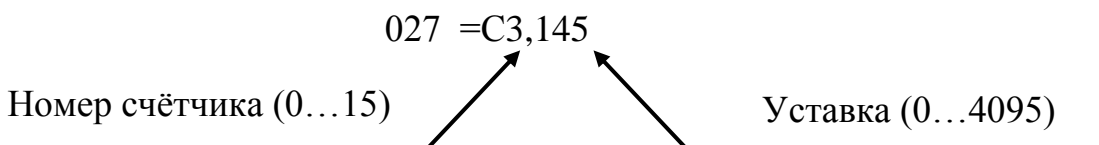
Правила выполнения команд с использованием таймера рассмотрим на примере РП: включить выход Y0.1 с временной задержкой в 13,5 с после подачи на вход X0.1 сигнала «1». Соответствующий фрагмент РП имеет вид:

```
000 :X0.1
001 =T0,135
002 :T0
003 Y0.1
```

Временная уставка равная 1 соответствует 0,1 с. Форма записи команды опроса таймера: 073 :T13

Если РЛВ = 0 (X0.1 = 0), то таймер T0 не запускается, а если был запущен, – обнуляется, при этом обнуляется и его выход. Если РЛВ = 1, а содержимое таймера ещё не равно «0», то содержимое таймера уменьшается на «1» через каждые 0,1 с. Если РЛВ = 1, а содержимое таймера станет равным «0», выход таймера устанавливается в «1» (:T0 = 1).

Запись и выполнение программ с использованием счётчика. Форма записи команд инкремента (запуска) счётчика:



Форма записи команд опроса выхода счётчика: 031 :C3

Форма записи команд сброса (обнуления) счётчика: 034 =F0

035 C3

Правила выполнения команд с использованием счётчика также рассмотрим на примере РП: выключить выход Y0.6 после отсчёта 25 сигналов, поступивших на вход X0.3. Соответствующий фрагмент РП будет иметь вид:

021 X0.3
 022 =C3,25
 023 :C3
 024 =RY0.6
 025 =F0
 026 C3.

Если РЛВ = 0 (X0.3 = 0), то накопленное (или нулевое к началу счёта) содержимое счётчика не изменяется. Если в данном цикле опроса РЛВ = 1, а в предыдущем – РЛВ = 0, накопленное содержимое счётчика инкрементируется на 1. Если накопленное содержимое счётчика будет равно уставке, – выход счётчика устанавливается в «1».

Правила использования команд «=НЗИ» и «:КЗИ». Список команд, ограниченный командой «=НЗИ» в начале списка и командой «:КЗИ» в конце его, составляет зону игнорирования. Вложение зон игнорирования одна в другую не допускается. В одной РП допускается использование 32 зон игнорирования. Если в предложении с командой «=НЗИ» РЛВ = 1, то все команды, находящиеся в зоне игнорирования (в том числе команды запуска таймеров), игнорируются.

Примеры составления рабочих программ

Пример 1. Включить с фиксацией электропривод насоса (Y0.0) и его сигнальное табло (Y0.1), если устройство управления находится в режиме АВТОМАТИКА (X0.0), нажата кнопка ПУСК (X0.1), не нажата кнопка СТОП (X0.2) и отсутствует сигнал включения верхнего уровня жидкости (X0.3) в наполняемом резервуаре.

Составим логическое уравнение (предложение):

X0.0 .X0.1 ./X0.2 ./X0.3 =SY0.0 =SY0.1

Запись РП для ввода её в ПЛК будет иметь вид:

000 :X0.0
 001 :X0.1
 002 ./X0.2
 003 ./X0.3
 004 =SY0.0
 005 =SY0.1
 006 КОНЕЦ РП

Пример 2. Введём дополнительные условия в рассмотренный выше пример: включение электропривода насоса может осуществляться также сигналом дистанционного управления (X0.4), но с задержкой времени 10 с на включение электропривода насоса после того, как будет нажата кнопка ПУСК или будет подан сигнал дистанционного пуска.

Составим логические уравнения (предложения):

:X0.0 .(X0.1 + X0.4) ./X0.2 ./X0.3 =T0,100

:T0 =SY0.0 =SY0.1

Запись РП для ввода её в ПЛК будет иметь вид:

```

000 :X0.0
001 .(
002 .X0.1
003 +X0.4
004 )
005 ./X0.2
006 ./X0.3
007 =T0,100
008 :T0
009 =SY0.0
010 =SY0.1
011 КОНЕЦ РП

```

Пример 3. Использование зон игнорирования. Пусть имеется следующая последовательность предложений:

```

:X0.1 =НЗИ
: X1.1+ X0.2+ X0.7 = Y0.3 }
: X0.7.(X0.8+ X3.1) = SY2.1 } Зона игнорирования
:КЗИ.

```

Запись РП для ввода её в ПЛК будет иметь вид:

```

000 :X0.1
001 =НЗИ
002 :X1.1
003 +X0.2
004 +X0.7
005 =Y0.3
006 :X0.7
007 .(
008 .X0.8
009 +X3.1
010 )
011 =SY2.1
012 :КЗИ
013 КОНЕЦ РП

```

Привязка входов и выходов ПЛК

Привязка входов и выходов ПЛК к управляющему объекту состоит в том, что для каждого из датчиков, сигналов от органов управления (кнопок, тумблеров и т.п.), сигналов электрических блокировок со смежного технологического оборудования необходимо закрепить отдельный вход ПЛК, а для каждого из исполнительных механизмов, сигналов управления, выходных сигналов электрических блокировок для смежного оборудования – соответственно – отдельный выход ПЛК. Для рассмотренного примера привязка входов-выходов ПЛК приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Привязка входов-выходов ПЛК

Название датчика, механизма, сигнала	Номер входа-выхода
Входы ПЛК	
1. Датчик наличия полуфабриката на ТА (SQ1)	X0.1
2. Датчик наличия полуфабриката на К (SQ2)	X0.2
3. Датчик положения ПР (SQ3)	X0.3
4. Датчик положения ПР (SQ4)	X0.4
5. Схват сжат (SQ5)	X0.5
6. Схват разжат (SQ6)	X0.6
7. Схват вверху (SQ7)	X0.7
8. Схват внизу (SQ8)	X0.8
9. ТА в режиме АВТОМАТИКА	X1.1
10. К в режиме АВТОМАТИКА	X1.2
Выходы ПЛК	
1. Привод движения ПР вправо	Y0.1
2. Привод движения ПР влево	Y0.2
3. Привод подъёма схвата	Y0.3
4. Привод опускания схвата	Y0.4
5. Привод сжатия схвата	Y0.5
6. Привод разжатия схвата	Y0.6

Программируемые регулирующие контроллеры (ПРК)

Автоматическое управление технологическими процессами осуществляется в основном аналоговыми и цифровыми регуляторами для одноконтурного регулирования по простым пропорционально-интегральным (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законам регулирования или различным их вариантам.

Появление взамен обычных регуляторов ПРК, ориентированных на гибкую и дешёвую реализацию самых разнообразных систем автоматического управления и регулирования, можно рассматривать как революционное событие в теории и технике управления, меняющее идеологию построения систем автоматического управления технологических процессов.

ПРК предназначены для замены группы из 10 – 50 обычных ПИ или ПИД аналоговых или цифровых регуляторов, используемых в системах регулирования (стабилизации) параметров. При этом все необходимые законы управления записываются в памяти ПРК. В этом случае стоимость одного ПРК на 8 – 64 контуров управления.

В состав ПРК помимо процессора входят многоканальные АЦП и ЦАП, ПЗУ, в котором записаны программы, реализующие различные алгоритмы управления (регулирования). С панели оператора осуществляется оперативное управление, изменяются значения уставок задания и ручного управления, параметры алгоритмов управления.

За последние несколько десятилетий в области теории автоматического управ-

ления учёными предложено множество законов и алгоритмов оптимального управления (регулирования), в том числе адаптивные, скользящие, беспойсковые, наискорейшего спуска и др. Однако эти алгоритмы, в ряде случаев обеспечивая бо́льшую оптимальность управления (регулирования) параметров, чем простые алгоритмы ПИ- или ПИД-регулирования или варианты этих алгоритмов, требуют значительно более сложной реализации, что удорожает регуляторы и делает их менее надёжными. Поэтому в течение длительного времени наблюдался значительный разрыв между теорией управления, предлагающей более оптимальные и точные, но более сложные алгоритмы управления, и практикой управления, которая использовала, как правило, простые и более надёжные и дешёвые, но менее оптимальные регуляторы с ПИ- и ПИД-алгоритмами управления (регулирования).

За рубежом многие фирмы выпускают ПРК – например, Honeywell и др. В нашей стране выпускался (г. Москва) ПРК типа Ремиконт Р-100. Структурная схема Ремиконт Р-100 является типовой для ПРК и содержит: процессор, ПЗУ, ОЗУ, панель оператора, УСО, включающее мультиплексор, АЦП, ЦАП, дискретно-цифровые и цифро-дискретные преобразователи. В состав Ремиконт Р-100 входят также гальванические развязки, блок сопряжения с другими комплексами. Ремиконт Р-100 имеет модульную структуру и может наращиваться до 64 каналов блоками по восемь каналов.

Особенностью Ремиконта является внутреннее программное обеспечение, не требующее внешних программных средств – операционных систем, транслятора, ассемблера и т.п. Оператор работает с этим ПРК как с традиционным аналоговым средством, и требуемый алгоритм, его параметры, связи с внешней аппаратурой набираются им с помощью обычных клавиш, обозначенных на панели оператора терминами и символами, общепринятыми в промышленной практике автоматизации. Это позволяет человеку общаться с ПРК в процессе эксплуатации на понятном пользователю языке. Информация представляется на панели оператора при помощи цифровых индикаторов и светодиодов.

Библиотека программ (алгоритмов) Ремиконта содержится в его ПЗУ и компонуется на базе ограниченного числа (25 – 30) стандартных алгоритмов. К ним относятся алгоритмы: аналогового и импульсного ПИД-регулирования; ПИД-алгоритмы с нуль-органом, динамического преобразования (интегрирование, дифференцирование, слежение, с автоподстройкой, программное задание и т.п.); статического преобразования (суммирование, умножение и т.п.); нелинейного преобразования (селектирование, переключение, формирование кусочно-линейных функций и т.п.); управляющей логики (операции логического сложения, умножения, выдержки времени и т.п.). Комбинации этих алгоритмов позволяют строить системы автоматического управления (регулирования) технологическими процессами практически любой сложности.

Оперативная память данных разделена на две области. Первая представляет собой ЗУ прямой выборки и используется для временного хранения промежуточных результатов расчёта режимов работы и коэффициентов настройки, а вторая предназначена для хранения перепрограммируемых параметров Ремиконт Р-100. Вторая часть ОЗУ содержит резервный источник питания, что делает эту часть ОЗУ энерго-независимой.

Для описания свойств Ремиконта в традиционных для автоматического управления понятиях используется понятие виртуальной (кажущейся) структуры каналов управления и конфигурации. Канал управления – это фрагмент виртуальной структуры, эквивалентный отдельному прибору или типовому сочетанию приборов аналоговой системы регулирования. В каждый канал при программировании с панели оператора загружаются из ПЗУ программа одного из алгоритмов библиотеки и из стираемого перепрограммируемого ППЗУ стандартный блок коэффициентов, с помощью которого ведётся настройка статических и динамических параметров канала. Конфигурация определяет систему связи каналов виртуальной структуры Ремиконта с его физическими входами и выходами, а также варианты взаимодействия каналов между собой, что задаётся с панели оператора. Все каналы могут работать автономно и не иметь перекрёстных связей. Такая конфигурация делает Ремиконт эквивалентным многоканальному регулятору. Если одни выходы Ремиконта связать с соответствующими входами, можно получить многосвязные и многоуровневые структуры регулирования.

И Н Д У С Т Р И А Л Ь Н Ы Е К О М П Ь Ю Т Е Р Ы

Основные понятия, определения и классификация

В последние годы появилось массовое использование IBM PC совместимых компьютеров в системах промышленной автоматики, в результате чего появилось новое понятие «индустриальный (промышленный) компьютер» (ИК).

К ИК в общем случае относятся все IBM PC совместимые компьютеры, приспособленные к работе непосредственно в промышленных условиях. К настоящему времени ИК – это уже целое семейство компьютерных средств промышленной автоматики, в состав которого входят:

- индустриальные персональные компьютеры (IPC) кассетного исполнения, выполненные на основе ударопрочного унифицированного шасси, в которое устанавливаются базовый модуль – модуль процессора и различные периферийные модули и модули ввода-вывода;
- индустриальные одноплатные компьютеры (PCM) для встраиваемых применений;
- модульные индустриальные компьютеры (MIC) – ИК кассетного исполнения, в которых оптимальным образом сочетаются свойства ПЛК и ИК;
- устройства распределённого и удалённого сбора данных и управления, которые являются по существу специализированными моделями модульных ИК;
- панельные персональные компьютеры (PPC) с жидкокристаллическими дисплеями, предназначенные для построения интерфейса «человек-машина»;
- промышленные рабочие станции (AWS), представляющие собой высокопроизводительные пульта диспетчера (оператора) на основе PPC, в которых кроме функции панели оператора реализуются функции обеспечения и координации работы отдельных ПЛК, сетей ПЛК, регистрации параметров и пр.

К числу ведущих фирм, выпускающих всю гамму перечисленных IBM PC совместимых устройств промышленной автоматизации, относятся фирма Advantech (Тайвань) и фирма Octagon systems (США) и др.

Индустриальные персональные компьютеры кассетного исполнения (IPC)

Главное отличие индустриальных персональных компьютеров от офисных состоит в том, что компьютеры типа IPC разработаны для использования в жёстких промышленных условиях эксплуатации (наличие пыли, значительных механических и климатических воздействий, а также интенсивного электромагнитного излучения).

Для защиты от пыли и повышенной температуры окружающего воздуха ИК снабжаются высокоскоростными охлаждающими вентиляторами и воздушными фильтрами, которые обеспечивают проточно-вытяжную вентиляцию внутри шасси.

Для защиты от вибрации и ударов большинство ИК поставляются с фиксирующими приспособлениями для плат и ударопрочными отсеками для дисковых накопителей.

Защита от электромагнитного излучения (ЭМИ) обеспечивается за счёт того, что корпуса ИК изготавливаются из высококачественной стали со специальным покрытием для защиты от ЭМИ.

Источники питания, используемые в ИК, также приспособлены к промышленным условиям: они невосприимчивы к выбросам напряжения в сети, перенапряжениям и колебаниям напряжения.

В отличие от офисных РС в IPC используется пассивная объединительная плата, идеология построения которой заимствована из ПЛК и применение которой обеспечивает гибкость компоновки требуемой конфигурации как на этапе разработки системы автоматизации, так и на этапах её эксплуатации и модернизации.

Имеют свои особенности и преимущества и промышленные процессорные платы, оставаясь при этом 100% совместимыми с системными платами общего назначения.

Для обеспечения высокой прочности и низкого уровня электромагнитных шумов практически все промышленные процессорные платы выполнены на основе шестислойной несущей печатной платы и подвергаются 24-часовому горячему тестированию при температуре 60°C с термоциклированием.

Использование на платах КМОП-компонентов позволяет снизить потребление энергии, увеличить время наработки на отказ, а также снизить выделение тепла.

Встроенные в некоторые платы светодиоды самодиагностики облегчают процесс обслуживания и ремонта. Предусмотрено также самотестирование плат при включении электропитания.

Встроенный в процессорные платы сторожевой таймер снижает вероятность ошибочной работы IPC, которая может быть вызвана различными причинами. Сторожевой таймер автоматически перезагрузит систему, если она окажется в состоянии «зависания», что особенно актуально для всех устройств и систем, функционирующих в режиме «жёсткого» реального времени.

С целью сохранения работоспособности IPC при выходе из строя источников питания специально разработаны резервированные источники питания с возможностью «горячей» замены.

Такие источники питания состоят из двух независимых блоков питания, которые в нормальном режиме работают с 50%-й нагрузкой. При выходе из строя одного из блоков другой автоматически переключается на полную нагрузку без нарушения работы устройства, в котором установлен данный источник питания. При этом вы-

даются световой и звуковой сигналы об аварийном режиме функционирования источника питания. Замена неисправного блока питания на исправный может осуществляться без отключения источника питания и обслуживаемого устройства.

Компьютеры типа IPC относятся к классу так называемых отказоустойчивых промышленных компьютеров, которые снабжены системой обнаружения неисправности шасси (корпуса) и выдачи сигнала тревоги.

К числу контролируемых параметров шасси относятся: исправность источника питания, вентиляторов и температура внутри корпуса.

Компьютеры типа IPC могут комплектоваться сменными модулями весьма широкой номенклатуры. Так, например, в шасси IPC могут устанавливаться:

- модули, выполняющие функции VGA-контроллера, а также поддерживающие ряд ЖК, ЭЛ и плазменных плоских панелей;
- модули, выполняющие функции n-канального контроллера интерфейса RS-232;
- модули, выполняющие функции твердотельного диска;
- модули, выполняющие функции АЦП;
- модули, выполняющие функции n-канального интерфейса цифрового ввода-вывода с гальванической развязкой и без неё;
- модули, выполняющие функции контроллера промышленной сети (на основе различных протоколов).

Таким образом, компьютеры типа IPC имеют все возможности для функционирования в жёстких производственных условиях, однако эти компьютеры ориентированы всё же для работы в качестве персонального компьютера и не могут быть рекомендованы для непосредственного управления технологическими агрегатами и другими промышленными установками.

Индустриальные одноплатные компьютеры для встраиваемых применений (PCM)

Компьютер типа PCM представляет собой универсальный компьютер, выполненный на одной печатной плате с возможностью встраивания её непосредственно в управляемый объект.

Фирмами Advantech и Octagon systems выпускается достаточно большая гамма компьютеров типа PCM с различными функциональными возможностями и техническими характеристиками. Ниже приводятся основные (обобщённые) данные по таким компьютерам, на платах которых могут устанавливаться:

- процессоры 80486, различные модели процессоров Pentium, в том числе Pentium MMX, а также процессоры других типов с тактовой частотой до 200 МГц;
- VGA-контроллеры, поддерживающие ЭЛТ и ЖК-дисплеи;
- кэш-память объёмом до 512 Кбайт;
- последовательные и параллельные порты;
- интерфейс для подключения к сети Ethernet;
- ОЗУ с объёмом памяти до 128 Мбайт;
- флэш-диски с объёмом памяти до 1,44 Мбайт (флэш-ПЗУ) или до 24 Мбайт (флэш-ЭСППЗУ);
- n каналов дискретного ввода-вывода с уровнями ТТЛ;
- сторожевой таймер;

- управление энергосбережением.

Компьютеры типа РСМ могут применяться как встроенные персональные компьютеры и как встроенные управляющие модули. При этом в компьютерах типа РСМ цифровые входы-выходы имеют уровень ТТЛ и в общем случае требуется их дооснащение специальными узлами (модулями) гальванической развязки.

Модульные промышленные компьютеры (МПС)

Модульные промышленные компьютеры (МПС) представляют собой компьютеры кассетного исполнения, приспособленные к работе непосредственно в промышленных условиях в режиме реального времени и в которых оптимальным образом сочетаются свойства ПЛК и ИК.

ИК типа МПС являются достаточно универсальным средством промышленной автоматики и применяются:

- в распределённых системах сбора данных и управления;
- во встраиваемых системах;
- в системах управления технологическими агрегатами, роботами и роботизированными комплексами;
- в системах автоматизации контрольных испытаний.

Конструктивное исполнение компьютеров типа МПС аналогично конструкциям типа РС, а в отдельных случаях даже превосходят их в части обеспечения возможности функционирования в особо жёстких производственных условиях.

Компьютеры типа МПС также снабжены вентиляторами и воздушными фильтрами, имеют фиксирующие приспособления для надёжного крепления плат, снабжены источниками питания, невосприимчивыми к случайным изменениям параметров сети, здесь также используется пассивная объединительная плата, являющаяся основой гибкой модульной конструкции МПС. В процессорный модуль тоже встроен сторожевой таймер, который автоматически следит за возможными «зависаниями» системы и перезагружает её в этой аварийной ситуации. Здесь также используются источники питания с «горячим» резервированием.

Кроме того, в МПС обеспечивается непосредственный доступ к интерфейсам ввода-вывода за счёт использования разъёмных соединений, расположенных на передних панелях модулей. Все модули имеют одинаковое конструктивное исполнение, аналогичное конструкции модулей ПЛК.

Панельные персональные компьютеры (ППС) и промышленные рабочие станции (АВС)

Панельные персональные компьютеры (ППС), называемые также пультовыми компьютерами, представляют собой персональные компьютеры с жидкокристаллическими дисплеями и предназначены для построения интерфейса «человек – машина».

ППС являются полнофункциональными IBM-совместимыми промышленными компьютерами на основе высокопроизводительных процессоров (в частности, Pentium MMX), оснащёнными НГМД, НЖМД, приводом CD-ROM, последовательным и параллельным портом и приспособлены к работе в жёстких промышленных условиях.

PPC также оснащён сторожевым таймером и автоматической системой снижения потребляемой мощности.

PPC могут встраиваться в лицевые панели приборов и технологического оборудования, а также использоваться в качестве интеллектуальных пультов управления промышленным оборудованием.

Промышленные рабочие станции (AWS) представляют собой высокопроизводительные пульты диспетчера (оператора) на основе PPC, в которых кроме функций панели оператора реализуются функции объединения и координации работы отдельных ПЛК, сетей ПЛК, регистрации параметров и др.

В сравнении с традиционными пультами оператора (диспетчера) AWS имеют существенно более высокие показатели производительности, выполняют значительно более широкий набор функций, а, главное, – представляют собой более гибкое, легко адаптируемое программируемое управляющее устройство.

AWS обеспечивают:

- автоматическую передачу данных, как к оператору, так и от оператора;
- хранение и анализ полученной информации;
- представление пользователю информации в удобном для него формате;
- управление процессом по инициативе оператора;
- управление процессом в автоматическом режиме.

Применение AWS позволяет снизить затраты на проектирование управляющих систем, повысить производительность труда оператора и повысить качество управления технологическим процессом.

AWS заменяют пульты оператора и диспетчера, существенным конструктивным недостатком которых всегда являлось огромное количество подводящих кабелей и жгутов. При использовании AWS значительно упрощается задача привязки и подключения к объекту, а также повышается гибкость управляющих систем.

Протекание технологического процесса с помощью AWS отображается в графическом виде, что позволяет мгновенно оценить общее состояние процесса.

Автоматическая многократная подача сигналов об аварийной ситуации способствует обеспечению безопасной эксплуатации технологических агрегатов и установок.

AWS используется также для обработки информации о ходе технологического процесса, сокращая при этом до минимума простой технологического оборудования при отклонении процесса от нормы.

Информация о ходе технологического процесса может быть представлена в реальном масштабе времени, сохранена или сделана доступной для организации управления через сеть.

AWS позволяет организовать взаимодействие практически с любыми управляющими устройствами и системами от ПЛК до универсальных компьютеров.

Конструктивно AWS выполнены в корпусах, пригодных для эксплуатации как внутри, так и вне помещений и обеспечивающих полную защиту от пыли, дождя, брызг и даже прямых потоков воды. Эти корпуса не разрушаются даже под воздействием града и обледенения.

Распределение зон рационального применения ПЛК и ИК

Стремительное расширение зоны эффективного применения персональных компьютеров привело к тому, что они сегодня используются не только в офисах, не только для решения задач визуализации и обслуживания на верхних уровнях иерархии интегрированных систем управления производством, но и для непосредственного управления технологическими агрегатами в режиме реального времени, для чего и были созданы индустриальные компьютеры, описанные выше.

В связи с указанным возникает серьёзная проблема оптимального выбора между классическим гибкопрограммируемым ПЛК и ИК.

Выбор между ПЛК и ИК зачастую зависит не только от характеристик обслуживаемого объекта или граничных условий решения задачи. Решающую роль здесь часто играют личные привязанности и опыт пользователя. Поэтому производители средств автоматизации вынуждены уделять особое внимание полноте спектра предлагаемых ими средств и систем, ибо только она способна обеспечить потребителям свободу выбора при принятии решения в пользу ПЛК или ИК.

К сожалению, в настоящее время невозможно дать общие рекомендации, в каких случаях следует применять ПЛК, а в когда предпочтение надо отдать ИК.

Тем не менее, при выборе средств автоматизации наиболее важную роль всегда играли работоспособность системы в реальном времени и её надёжность, качества, по которым до недавнего времени персональные компьютеры уступали ПЛК.

В общем случае персональный компьютер не рассчитан для реакции на какие-либо события в управляемом процессе в строго детерминированные моменты времени. При работе персонального компьютера возможны случаи, когда операционная система или части пользовательских приложений могут блокировать центральный процессор на достаточно продолжительные промежутки времени (так, например, обработка прерывания может задержать на некоторое время обработку последующих прерываний), что принципиально недопустимо при управлении технологическими процессами в режиме реального времени.

Гибкопрограммируемые контроллеры, напротив, работают именно таким образом, что следующие друг за другом алгоритмические шаги и процедуры выполняются за строго определённое время. Такой подход позволяет легко оценить или, при необходимости, изменить максимальное время реакции системы управления. Превышение времени цикла исполнения управляющей программы (максимальное время реакции системы) является одним из самых важных критичных параметров, на которые немедленно реагирует ПЛК.

Персональный компьютер также можно заставить работать в реальном масштабе времени. Выбор подходящей операционной системы и специально разработанное программное обеспечение позволят и при использовании персонального компьютера достичь удовлетворительного времени исполнения программного цикла и обработки прерываний.

Обычно, чем больше функций работы в реальном масштабе времени будет встроено в персональный компьютер, тем дальше это конкретное решение будет отстоять от общепринятых стандартов и таких качеств, как открытость и совместимость с другими системами.

Вместе с тем, возможность работы в реальном масштабе времени не является

единственным фактором при выборе ПЛК или ИК. Такие критерии, как возможность подключения системы к информационной сети, функции обработки данных и визуализации, а также качество графического интерфейса играют почти такую же важную роль.

С учётом выше изложенного сформулируем примерные рекомендации по выбору между ПЛК и ИК, которые, очевидно, по мере дальнейшего развития средств промышленной автоматизации могут претерпеть значительные изменения.

Для решения задач непосредственного управления промышленным оборудованием в режиме «жёсткого» реального времени предпочтение отдаётся ПЛК.

В случаях, когда дополнительные и, в частности, информационные функции начинают существенно превалировать над собственно функциями управления технологическим процессом и требуется использование всего спектра «интеллектуальных» возможностей ИК, то предпочтение должно отдаваться именно им.

Способы и средства повышения надёжности функционирования процессора

Так как процессор является центральным устройством СПУ, то выход его из строя либо ошибки и сбои в его работе могут приводить не только к отказам в работе технологических агрегатов, но и к аварийным ситуациям на управляемом объекте. Поэтому обеспечению надёжности функционирования процессора всегда должно уделяться первостепенное значение. Известные методы повышения надёжности функционирования процессора условно можно разделить на аппаратные, программные и структурные.

К аппаратным методам повышения надёжности функционирования процессора относятся:

- обеспечение бесперебойного электропитания (при этом могут использоваться аккумуляторные батареи либо резервные сетевые источники питания);
- тестирование функционирования аппаратной части процессора, в том числе – с использованием так называемого «сторожевого» элемента, который контролирует продолжительность отработки команды и выдаёт сигнал «неисправность» при превышении максимально допустимой длительности цикла выполнения команды.

В современных ПЛК большая часть самодиагностики процессора реализуется программным путём.

При включении ПЛК выполняется тестирование внутреннего (системного) программного обеспечения (по специальным тестовым программам), памяти данных (например, по контрольным суммам), интерфейсам ввода-вывода, функциональных модулей ПЛК, фрагментов управляющей программы (программ пользователей).

В процессе работы ПЛК многократно (циклически) осуществляется следующие проверки: работы интерфейсов ввода-вывода, функционирования всех модулей ПЛК, а также контроль функционирования центрального процессора.

К структурным относятся методы, направленные на совершенствование архитектуры СПУ на базе ПЛК, а именно:

- применение архитектуры с троированием ПЛК;
- применение дуальных архитектур (архитектур с резервированием);
- применение комбинированных и оригинальных архитектур повышенной живучести.

Троирование архитектур с использованием мажоритарного принципа (проверка по совпадению двух из трёх) достаточно широко используется в бортовых системах управления летательными аппаратами, в ядерной энергетике, на железнодорожном транспорте, однако троирование приводит к существенному усложнению систем и их значительному удорожанию, поэтому в промышленных системах управления общего назначения, построенных на ПЛК, применяется крайне редко.

Чаще других при управлении сложными технологическими комплексами используется так называемая дуальная архитектура (рис. 13), содержащая два ПЛК, один из которых является ведущим (главным), а другой – ведомым (вспомогательным), поэтому такие архитектуры называют асимметричными.

Входы системы (информационные сигналы от датчиков, органов управления) подключаются одновременно ко входам обоих ПЛК, выходы системы (команды управления механизмами) выдаются через схему «ИЛИ». В ЗУ обоих ПЛК записываются одинаковые управляющие программы. Запуск ведущего ПЛК осуществляется пользователем, а запуск ведомого – ведущим с помощью специальной команды. Выходы системы вначале возбуждаются только ведущим ПЛК, выходы ведомого при этом заблокированы.

Если ведущий ПЛК обнаруживает сбой в своей работе, то он генерирует специальное (аварийное) слово-состояние, по которому отключаются его выходы от схемы «ИЛИ» и одновременно активизируются выходы ведомого ПЛК, который берёт на себя управление объектом.

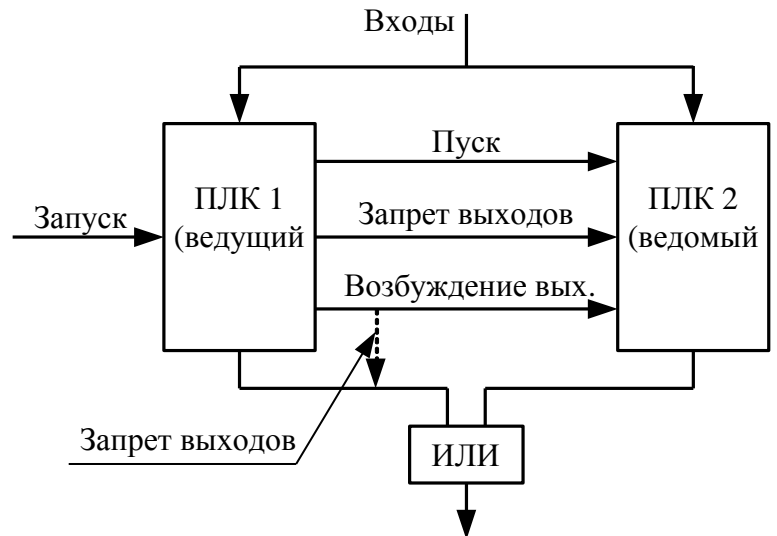


Рисунок 13 – Дуальная структура ПЛК

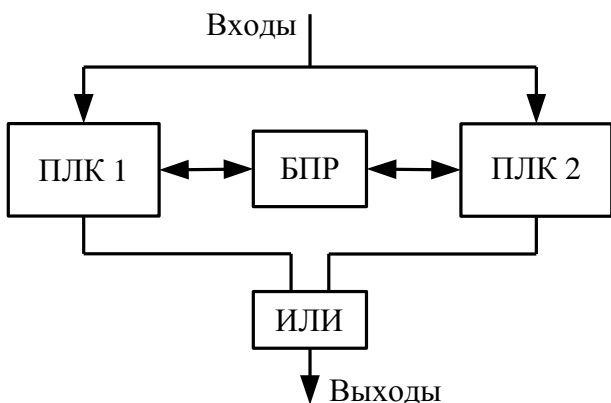


Рисунок 14 – Двухканальная архитектура с блоком принятия решения

Оригинальной является архитектура (рис. 14), используемая фирмой Alsthom (Франция), в которой система ПЛК состоит из двух одинаковых структур связи и двух блоков обработки, которые соединены между собой блоком принятия решений БПР.

Управляющие сигналы на выходы выдаются только тогда, когда они одинаковы в обоих ПЛК. При несовпадении с помощью тестирования локализуется неисправная структура, соответствующий контроллер временно отключается. Объект продолжает функционировать под управ-

лением исправного ПЛК. Ремонт неисправности может осуществляться без остановки объекта. При повторном запуске отремонтированного ПЛК осуществляется и его автоматическая синхронизация.

Способы повышения достоверности получения, обработки и хранения информации

Одним из самых распространённых способов повышения достоверности, применяемых в ПЛК, является контроль информации по чётности (нечётности). В этом случае при формировании или передаче информации в канал связи к коду передаваемого сообщения (слова) добавляется (или нет) единица для образования в коде передаваемого сообщения чётного (нечётного) числа единиц, а при приёме информации проверяется наличие этого чётного (нечётного) числа единиц. Такой контроль позволяет с весьма высокой степенью достоверности обнаруживать одиночные ошибки в передаваемых сообщениях.

В связи с тем, что объём памяти, занимаемый управляющими программами, стремительно растёт, появилась необходимость в применении методов контроля, позволяющих обнаруживать две и более ошибок в сообщении, для чего к информационным битам добавляется не один, несколько (группа) контрольных битов. Кроме того, для обнаружения двух и более ошибок в сообщениях применяют также так называемые корректирующие коды.

Достаточно широко используется в ПЛК и метод контрольной суммы. В этом случае пакет сообщений, содержащий большое количество числовых данных, хранится либо передаётся по каналам связи совместно с контрольной суммой этих данных, которая проверяется каждый раз перед использованием данных.

Весьма эффективным является также простой и надёжный способ контроля информации, состоящий в многократном (циклическом) выполнении операций с проверкой на совпадение результатов отдельных опросов или вычислений. Эффективность применения этого способа в последнее время резко возросла в связи с появлением новых быстродействующих микропроцессоров, использование которых в ПЛК существенно увеличило временной резерв при решении задач управления технологическими процессами.

Надёжность системы входов-выходов ПЛК

Опыт практического использования ПЛК на производстве показал, что от 80 до 100% всех неисправностей контроллеров приходится на модули входов-выходов. При этом все имеющие место неисправности можно разделить на три группы:

- неисправности, связанные с входными цепями модулей входов;
- неисправности, связанные с выходными цепями модулей выходов;
- неисправности, связанные с переработкой информации в модулях входов-выходов.

Неисправности во входных цепях модулей входов-выходов, как правило, являются следствием некачественного подключения, обслуживания и ремонта. Типичными причинами отказов являются:

- подача на входы ПЛК повышенного напряжения;
- нарушение полярности входных сигналов;

- подключение ко входным цепям постоянного тока источников переменного напряжения;
- прокладка входных информационных каналов связи (проводов, жгутов, кабелей) в непосредственной близости со сварочным оборудованием, являющимся источником мощных электромагнитных помех;
- подключение ко входам ПЛК контактных аппаратов (в частности, органов управления), для которых не гарантируется качественный электрический контакт при коммутации малых входных токов ПЛК (13 – 16 мА).

Предотвращение указанных неисправностей в большинстве случаев обеспечивается квалифицированным обслуживанием ПЛК с соблюдением всех указаний и рекомендаций, приведенных в инструкциях по эксплуатации, хотя для предотвращения выхода из строя элементов входных цепей и в первую очередь оптопар все входные цепи ПЛК имеют соответствующие защиты (ограничение напряжения на входе оптопары, защита от нарушения полярности входного сигнала и пр.).

Неисправности в выходных цепях модулей входов-выходов в основном аналогичны неисправностям во входных цепях (как по причинам их возникновения, так и по методам их предотвращения).

Для предотвращения отказов и сбоев, связанных с обработкой информации в модулях входов-выходов, применяются описанные ниже способы.

Проверка источников входных сигналов осуществляется путём n -кратного опроса: сначала выполняется 2-х кратный опрос, при несовпадении результатов опроса дополнительно осуществляется 5-ти кратный опрос, а при отрицательном результате и этого контроля вход считается неисправным.

Аналогичным образом организуется проверка достоверности выдаваемых выходных сигналов. Элемент, получивший выходную информацию, возвращает её в центральный блок (процессор), который сравнивает её с выданной. При несовпадении данных операция сравнения повторяется пять раз и при отрицательном результате выход удерживается в предыдущем состоянии или сбрасывается в нуль.

В некоторых ПЛК часть выходов специально соединяется с частью входов и с выходов на входы циклически подаётся известная последовательность сигналов (символов), которая сравнивается с эталонной.

В некоторых случаях используют резервирование наиболее ответственных входов и выходов ПЛК.

Предотвращение аварийных ситуаций на управляемом объекте

Обеспечение безопасности управления технологическим процессом всегда было и будет одним из важнейших требований ко всем управляющим системам, в том числе и системам программного управления, построенным на основе ПЛК.

Предотвращение аварийных ситуаций на управляемом объекте достигается за счёт комбинированного использования программных и аппаратных средств.

Программное обеспечение практически всех ПЛК наряду с управляющими программами обязательно должно содержать программы автоматической диагностики и аварийного отключения либо аварийного переключения на полуавтоматический или ручной режим, причём аварийные прерывающие программы имеют самый высокий приоритет и с помощью контроллера прерываний практически мгновенно

реализуют аварийный останов управляемого объекта.

Кроме того, с целью обеспечения возможности гарантированного останова технологического агрегата даже при полном выходе из строя процессора ПЛК или серьёзных сбоях в работе программного обеспечения в СПУ с использованием ПЛК предусматривают наличие вводного автоматического выключателя с дистанционным отключением непосредственно от кнопки аварийного останова.

Средства программирования и отладки ПЛК

Для программирования и отладки используются различные устройства, называемые «пульт программирования», «пульт программирования и отладки», «пульт пользователя», «программатор ПЛК», «диалоговое устройство». Будем использовать термин «пульт программирования и отладки» (ППО).

Основными функциями ППО является ручной или автоматический ввод управляющей программы (УП), её запоминание, редактирование, отладка, а также автоматическое диагностирование УП, в том числе – выявление в ней логических, синтаксических ошибок и других некорректных записей.

В большинстве кассетных исполнений ПЛК применяются выносные (подключаемые) пульта программирования, в качестве которых во многих моделях «интеллектуальных» контроллеров используются персональные компьютеры и, в частности, – портативные ноутбуки, а в ПЛК, предназначенных для встраиваемых применений, пульт или панель программирования является, как правило, частью конструкции самого контроллера. Следует отметить, что и среди встраиваемых ПЛК встречаются модели, в которых панели программирования выполняются съёмными с возможностью оперативной переустановки, а, следовательно, и использования одной панели для программирования, отладки, тестирования нескольких ПЛК.

Независимо от конструктивного исполнения ППО включают в себя клавиатуру и устройство отображения информации.

Клавиатура ППО представляет собой набор клавиш, с помощью которых вводятся элементы управляющей программы и команды управления процессом её ввода и корректирования. Для удобства пользователя клавиши, как правило, сгруппированы по своему назначению и могут быть разделены на программные, функциональные и буквенно-цифровые.

С помощью программных клавиш в память ПЛК вводят команды (инструкции) языка, на котором программируется данный ПЛК, при этом на клавишах наносится мнемоническое изображение команд.

Функциональные клавиши можно условно разделить на клавиши управления режимами и клавиши, используемые при редактировании УП.

Клавиши управления режимами обеспечивают выбор режима функционирования ППО, например, ВВОД РП (ввод рабочей программы, программирование), ОТЛ РП (отладка РП), ТЕСТ (тестирование) РП, ТЕСТ ВВ (тестирование устройств ввода-вывода), ПУСК РП, ОСТАНОВ РП и др.

Клавиши, предназначенные для редактирования УП, обеспечивают возможность поиска (последовательно или по заданному номеру) i -й команды или участка программы с целью их просмотра, удаления команды, вставки команды, а также для очистки участков или всей памяти, отведённой для хранения УП.

Буквенно-цифровые клавиши используются при задании различных режимов работы ПЛК, для указания номера (адреса) и кода операции команды, условных наименований и номеров операндов (входных, выходных и внутренних переменных, таймеров, счётчиков), для ввода числовых уставок таймеров и счётчиков, а также для ввода других данных, необходимых для записи и отладки УП.

Программирование ПЛК осуществляется следующим образом. Сначала выбирается режим работы ППО, например ВВОД РП. Затем осуществляется собственно программирование, которое производится поэтапно последовательным нажатием клавиш, что обеспечивает последовательный ввод в память ППО и далее в память ПЛК команд заранее составленной УП. В большинстве современных ППО нумерация команд УП осуществляется автоматически, причём при удалении части команд, их замене и вставке дополнительных команд перенумерация всех команд УП также выполняется автоматически.

В современных ППО процесс программирования сопровождается отображением всех вводимых элементов УП на экран дисплея, в качестве которого используются электронно-лучевые трубки, экраны на базе жидкокристаллических индикаторов, а также на базе цифровых светодиодов.

В простейших и дешёвых ППО, как правило, используются однострочные индикаторы на цифровых светодиодах, при этом одновременно высвечивается одна вводимая команда.

В «интеллектуальных» ППО используются многострочные дисплеи, на которых можно отобразить один или несколько фрагментов УП, что, естественно, в значительной мере облегчает процесс ввода и корректирования УП при её отладке.