

Трушников М.А., Савчиц А.В., Силаев А.А.

Промышленные контроллеры

Волжский

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Трушников М.А., Савчиц А.В., Силаев А.А.

Промышленные контроллеры

Электронное учебно-методическое пособие



2018

УДК 681.5(07)
ББК 32.8я73
Т 804

Рецензенты:

И.о. заведующего кафедрой «Автоматизация производственных процессов» ВолгГТУ к.т.н., доцент
Макаров А.М.,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» филиала ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г Волжском
Капля Е.В.

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Трушников, М.А.

Промышленные контроллеры [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.А.Трушников, А.В. Савчиц, А.А. Силаев ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 8,16 МБ). – Волжский, 2018. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-9948-2997-4

Изложены общие сведения о современных микропроцессорных технических средствах, применяемых при автоматизации технологических процессов и производств.

Пособие рассчитано на студентов бакалавров очной и заочной формы обучения направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производство».

Ил. 29, табл. 1, библиограф.: 9 назв.

ISBN 978-5-9948-2997-4

© Волгоградский государственный
технический университет, 2018

© Волжский политехнический
институт, 2018

Содержание

Введение.....	5
1 Классификация промышленных контроллеров	7
1.1 Отличие промышленных контроллеров от других вычислительных устройств	7
1.2 Классификации промышленных контроллеров.....	8
1.3 Характерные черты и сферы применения контроллеров	16
1.4 Промышленные контроллеры автоматизации.....	19
2 Основные характеристики ПЛК	21
2.1 Архитектура ПЛК.....	21
2.2 Быстродействие ПЛК	27
2.3 Надежность ПЛК	29
3 Устройства ввода-вывода	33
3.1 Ввод аналоговых сигналов	36
3.2 Вывод аналоговых сигналов.....	39
3.2.1 Ввод дискретных сигналов.....	42
3.2.2 Вывод дискретных сигналов.....	46
3.2.3 Ввод частоты, периода и счет импульсов.....	51
3.2.4 Модули управления движением	54
4 Языки программирования промышленных контроллеров.....	58
4.1.1 Язык релейных диаграмм (язык контактного плана)	59
4.1.2 Язык функциональных блочных диаграмм FBD (язык функционального плана)	62
4.1.3 Язык структурированного текста	64
4.2 Стандарт МЭК 61131	66
4.3 Структура стандарта МЭК 61131.....	66
4.4 Комплексы программирования МЭК 61131-3	72
4.4.1 CoDeSys.....	73
4.4.2 ISaGRAF.....	73
4.4.3 MULTIPROG wt.....	74
4.4.4 QopenPCS	74
4.4.5 SoftCONTROL	74
4.4.6 iCon-L	75

4.5	Выбор контроллеров	75
4.6	Современный рынок контроллерных средств	79
	Список использованной литературы.....	81

Введение

Появление в середине 70-х годов микропроцессоров позволило полностью использовать при построении систем управления технологическим оборудованием все достоинства цифровой техники. Кроме привычных достоинств цифровых устройств к ним прибавились те преимущества, которые вытекают из программной организации управления (гибкость, адаптация) и возможности программной реализации некоторых функций (фильтрация, алгоритмов подбора кодов в АЦП и т.п.), которые до этого выполнялись только аппаратно.

С этого времени обозначилось два направления внедрения микропроцессорной техники в АСУ ТП. В соответствии с одним направлением в системы управления промышленными объектами все шире внедряются элементы вычислительной техники, которые изначально не предназначались для этих целей, например, персональные компьютеры (Personal Computer – PC). Адаптация этой техники к условиям производства привела к появлению класса промышленных компьютеров и контроллеров.

Промышленный контроллер (программируемый логический контроллер, ПЛК) – управляющее устройство (контроллер от англ, control – управлять), применяемое в промышленности и других отраслях для автоматизации технологических процессов. Первым в мире, программируемым логическим контроллером, в 1968 году стал Modicon 084 (1968) (от англ. *modular digital controller*) [2].

Промышленный контроллер широкий термин, охватывающий множество возможных реализаций:

- Программируемые логические контроллеры и близко примыкающие к ним программируемые интеллектуальные реле;
- Программируемые контроллеры автоматизации (РАС- контроллеры);

- Встроенные электронные контроллеры;
- Устройство управления на основе механических, гидравлических, пневматических, электрических и электронных схем, созданные до внедрения в системы автоматизации вычислительной техники; сохраняются благодаря тому, что оптимально решают некоторые частные задачи управления в конкретных устройствах.

ПЛК были разработаны для замены релейно-контактных схем управления, собранных на дискретных компонентах: реле, таймерах, счетчиках, элементах жесткой логики. Принципиальное отличие промышленного контроллера от релейных схем заключается в том, что в нем все алгоритмы управления реализованы программно. При этом надежность работы схемы не зависит от ее сложности. Использование программируемых логических контроллеров позволяет заменить одним устройством любое необходимое количество отдельных элементов релейной автоматики, что увеличивает надежность системы, минимизирует затраты на ее тиражирование, ввод в эксплуатацию и обслуживание. ПЛК может обрабатывать дискретные и аналоговые сигналы, управлять клапанами, сервоприводами, преобразователями частоты и другими устройствами.

1 Классификация промышленных контроллеров

1.1 Отличие промышленных контроллеров от других вычислительных устройств

От микроконтроллера (однокристального компьютера), микросхемы, предназначенной для управления электронными устройствами, областью применения ПЛК обычно являются автоматизированные процессы промышленного производства, в контексте производственного предприятия;

От компьютеров, ПЛК ориентированы на работу с машинами и имеют развитый 'машинный' ввод-вывод сигналов датчиков и исполнительных механизмов в противовес возможностям компьютера, ориентированного на человека (клавиатура, мышь, монитор и т. п.);

От встраиваемых систем – ПЛК изготавливается как самостоятельное изделие базе встраиваемых систем, отдельно от управляемого при его помощи оборудования.

ПЛК в своём составе не имеют интерфейса для человека, типа клавиатуры и дисплея. Их программирование, диагностика и обслуживание производится подключаемыми для этой цели программаторами – специальными устройствами или устройствами на базе более современных технологий – персонального компьютера или ноутбука, со специальными интерфейсами и со специальным программным обеспечением. В системах управления технологическими процессами ПЛК взаимодействуют с различными компонентами систем человеко-машинного интерфейса (например, операторскими панелями) или рабочими местами операторов на базе ПК, часто промышленных, обычно через промышленную сеть [2].

1.2 Классификации промышленных контроллеров

Промышленные контроллеры классифицируют по множеству признаков. Наиболее полная классификация представлена на рисунке 1.1.

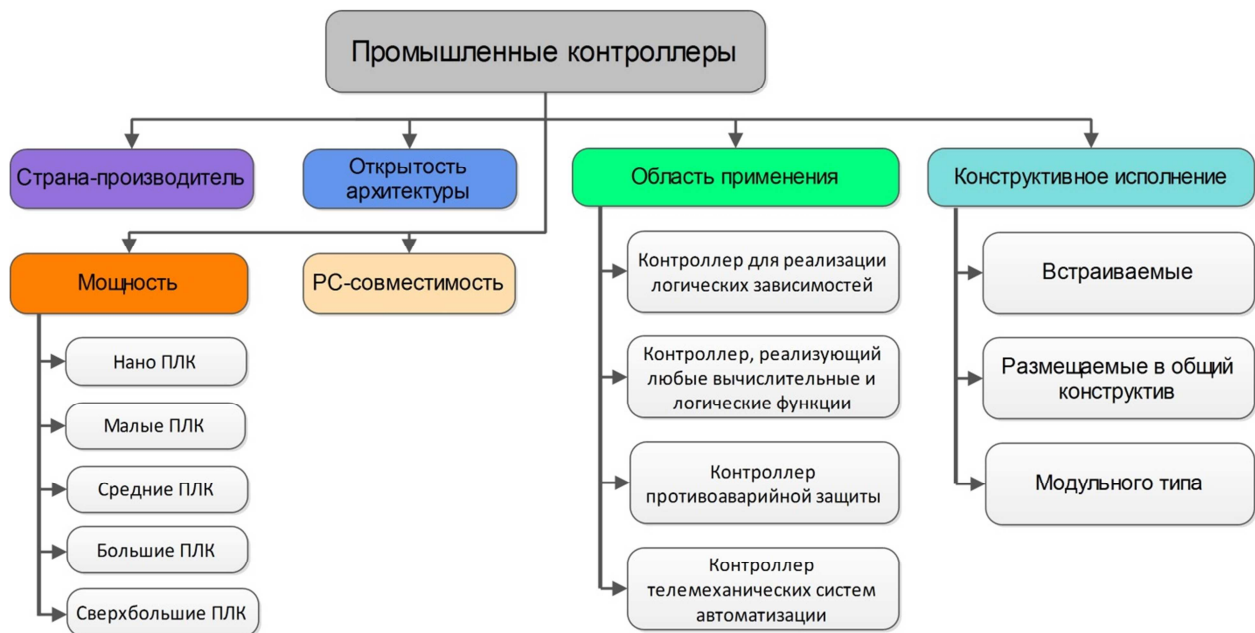


Рисунок 1.1 - Классификация промышленных контроллеров

Страна-производитель

Некоторое время назад это был очень важный классификационный признак. Считалось, что контроллеры, произведённые в Европе, Америке и Японии, гораздо надежнее, обладают гораздо большим функционалом, чем их «коллеги» из Юго-Восточной Азии и России. В настоящее время этот классификационный признак, скорее всего, потерял актуальность. Российские предприятия набрались опыта и схемотехнические решения у нас подчас даже лучше, чем у западных аналогов. По характеристикам контроллеры-аналоги различных стран-производителей почти не отличаются. Системное и прикладное программное обеспечение либо очень похоже, либо вообще используются стандартизированные продукты (к примеру, OS Linux широко используется как на отечественных контроллерах, так и на импортных). Элементная база и в импортных, и в российских контроллерах применяется одна и та же. Кроме того, и отечественные, и европей-

ские, и американские разработчики контроллеров (да и не только контроллеров) в последние годы все чаще размещают производство на одних и тех же площадках в Юго-Восточной Азии. По сути, границы между производителями электроники постепенно исчезают вообще [2].

Мощность:

Под обобщённым термином «мощность» понимается разрядность и быстродействие центрального процессора, объём разных видов памяти, число портов и сетевых интерфейсов. Очень часто основным показателем, косвенно характеризующим мощность контроллера и, одновременно, являющимся важнейшей его характеристикой, является число входов и выходов (как аналоговых, так и дискретных), которые могут быть подсоединены к контроллеру.

По этому показателю контроллеры подразделяются на следующие классы:

- **наноконтроллеры** (часто с встроенными функциями), имеющие до 15 входов/выходов;
- **малые контроллеры**, рассчитанные на 15-100 входов/выходов;
- **средние контроллеры**, рассчитанные примерно на 100-300 входов/выходов;
- **большие контроллеры**, рассчитанные примерно на 300-2000 входов/выходов;
- **сверхбольшие контроллеры**, имеющие примерно от 2000 и более входов/выходов.

Очень важно отметить, что с ростом мощности контроллера растёт его цена. Причем при переходе разница по цене между различными классами контроллеров очень значительна. Одна из задач при разработке системы управления – это чётко зафиксировать число входных и выходных сигналов объекта управления, чтобы избежать лишних затрат при выборе контроллера [4].

Область применения

Область применения – один из наиболее важных признаков классификации. Область применения контроллера накладывает целый ряд требований к контроллерам и очень сильно сужает круг поиска при разработке систем управления.

Специализированный контроллер со встроенными функциями. Обычно им является минимальный по мощности контроллер, программа действия которого заранее прошита в его памяти, а изменению при эксплуатации подлежат только параметры программы. Число и набор модулей ввода/вывода определяется реализуемыми в нем функциями. Часто такие контроллеры реализуют различные варианты функций регулирования.

Контроллер для реализации логических зависимостей

Главные сферы применения такого контроллера: станкостроение, машиностроение, замена релейно-контактных шкафов во всех отраслях промышленности. Он характеризуется прошитой в его памяти развитой библиотекой логических функций и функций блокировки типовых исполнительных механизмов. Для его программирования используются специализированные языки типа релейно-контактных схем. Набор модулей ввода/вывода у такого контроллера рассчитан, в основном, на разнообразные дискретные каналы. Наиболее простыми представителями данного класса контроллеров являются интеллектуальные реле.

Контроллер, реализующий любые вычислительные и логические функции

Наиболее распространённый универсальный контроллер, не имеющий ограничений по области применения. Центральный процессор контроллера имеет достаточную мощность, разрядность, память, чтобы выполнять как логические, так и математические функции. Иногда, для усиления его вычислительной мощности, он снабжается ещё и математическим сопроцессором (во многих современных процессорах математиче-

ский сопроцессор интегрирован в сам кристалл). Инструментальные средства для программирования таких контроллеров, как правило, поддерживают несколько языков программирования, таких как язык релейно-контактных схем, функционально-блоковых диаграмм, язык C, Basic, Pascal и тому подобные. Как правило, также предоставляется большая библиотека уже реализованных логических, математических и коммуникационных функций. В состав модулей ввода/вывода входят модули на всевозможные виды и характеристики каналов (аналоговых, дискретных, импульсных и т. д.).

Контроллер противоаварийной защиты

Он должен отличаться от контроллеров других классов:

- особенно высокой надежностью, достигаемой различными вариантами диагностики и резервирования (например, диагностикой работы отдельных компонентов контроллера в режиме реального времени, наличием основного и резервного контроллеров с одинаковым аппаратным и программным обеспечением и с модулем синхронизации работы контроллеров, резервированием блоков питания и коммуникационных шин);
- высокой готовностью, т. е. высокой вероятностью того, что объект находится в рабочем режиме (например, не только идентификацией, но и компенсацией неисправных элементов; не просто резервированием, но и восстановлением ошибок программы без прерывания работы контроллеров);
- отказоустойчивостью, когда при любом отказе автоматизируемый процесс переводится в безопасный режим функционирования.

Контроллер цепи противоаварийной защиты должен иметь сертификат, подтверждающий безопасность его работы в цепях противоаварийной защиты.

Контроллер телемеханических систем автоматизации

Данный класс универсальных контроллеров удобен для создания систем диспетчерского контроля и управления распределёнными на местности объектами. В контроллерах данного класса повышенное внимание уделяется программным и техническим компонентам передачи информации на большие расстояния беспроводными линиями связи. В качестве таких линий часто используются УКВ-радиоканалы, WI-FI, промышленные сети. При этом возможна передача информации от каждого контроллера в диспетчерский центр, а также эстафетная передача информации по цепи от одного контроллера к другому до достижения диспетчерского центра.

Открытость архитектуры

По структуре контроллеры подразделяются на два класса: контроллеры, имеющие фирменную **закрытую структуру**, и контроллеры **открытой структуры**, основанной на одном из магистрально-модульных стандартов.

При **закрытой фирменной структуре** изменения (модификации) контроллера возможны, обычно только компонентами производителя. Сами изменения достаточно ограничены и заранее оговорены производителем.

При **открытой магистрально-модульной структуре**, имеющей стандартный интерфейс для связи центрального процессора с другими модулями контроллера, ситуация кардинально меняется:

- открытость и широкая доступность стандарта на шину, соединяющую модули разного назначения, даёт возможность выпускать в данном стандарте любые модули разным производителям, а разработчикам контроллеров даёт возможность компоновать свои средства из модулей разных фирм;

- возможность любой модификации и перекомпоновки средств путем замены в них отдельных модулей, а не замены самих средств, удешевляет эксплуатацию средств;
- сборка контроллеров из готовых модулей позволяет точнее учитывать конкретные технические требования и не иметь в них лишних блоков и элементов, не нужных для данного конкретного применения;
- широкая кооперация разных фирм, поддерживающих данный стандарт на шину и работающих в этом стандарте, позволяет пользователям модулей не быть привязанными к конкретному поставщику и иметь широкий выбор необходимой ему продукции.

РС-совместимость

По этому признаку все контроллеры можно разделить на два класса: **РС-совместимые** и **РС-несовместимые**. Каждый из этих классов имеет свои достоинства и недостатки.

РС-совместимые контроллеры можно охарактеризовать следующими особенностями:

- они имеют классическую открытую архитектуру IBM PC;
- в них используется элементная база, та же, что и у обычных PC;
- они работают под управлением тех же операционных систем, которые широко используются в персональных компьютерах, например Windows, Unix, Linux, QNX;
- программируются они теми же языками, которые используются для разработки ПО для PC;

- на них, как правило, возможна работа программного обеспечения, разработанного для персональных компьютеров, при наличии требуемых для ПО аппаратных ресурсов.

РС-несовместимые контроллеры можно охарактеризовать так:

- архитектура контроллеров закрыта, она, как правило, является ноу-хау разработчика;
- элементная база, на которой строятся контроллеры, существенно отличается от используемой в РС, она разная у разных производителей;
- операционные системы, под управлением которых работают контроллеры, совершенно другие, нежели те, которые используются в РС, они часто разрабатываются самими производителями именно для данного типа или линейки контроллеров;
- так как в таких контроллерах практически не используются стандарты, предлагаемые разработчиками распространённых операционных систем для РС, то работа РС-программ на этих контроллерах оказывается невозможной.

РС-совместимые контроллеры по сравнению с РС-несовместимыми контроллерами в целом обладают большей мощностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в областях коммуникаций и программирования, они в среднем дешевле, проще обслуживаются и ремонтируются.

В то же время РС-несовместимые контроллеры лучше учитывают требования промышленной автоматики; их операционные системы гарантируют отклик контроллера на внешнее событие через заданное время (операционные системы реального времени). Они в целом более надежны, так как больше используют наработанные в промышленности способы диагностики и горячего резервирования, обеспечивающие отказоустойчи-

вость системы в целом. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами.

Достоинства и недостатки каждого из этих видов контроллеров определяют их области использования. РС-несовместимые контроллеры целесообразно применять на нижних уровнях автоматизации, «поближе» к технологическому объекту. Здесь необходимы связь с периферийными устройствами по полевым шинам, исполнение в реальном времени (с гарантированным временем отклика на внешние воздействия) и надёжность. А открытость контроллера для связи со SCADA, MES или СУБД, как правило, не требуется. РС-совместимые же контроллеры целесообразнее применять на верхних уровнях автоматизации, где требования к реальному времени и связи по полевым шинам отсутствуют, зато становятся строже требования по информационной совместимости контроллеров с корпоративными сетями.

Конструктивное исполнение

По конструктивному исполнению контроллеры можно разделить на несколько групп, мы их условно назовем так:

- встраиваемые;
- размещаемые в общий конструктив;
- модульного типа;

Встраиваемые контроллеры:

Как правило, не имеют корпуса, часто конструкция просто крепится на раме. Требования к защитным оболочкам таких контроллеров не предъявляются, поскольку контроллеры встраиваются в общий корпус оборудования и являются неотъемлемой частью этого оборудования.

Контроллеры, размещаемые в общий конструктив:

Такие контроллеры характеризуются тем, что все модули – процессорный, коммуникационные, модули ввода-вывода – размещаются в одном конструктиве. В таких контроллерах, как правило, предусматривается

некая «материнская» плата с разъёмами, в которые вставляются все модули контроллера. Конструктивы таких контроллеров бывают как оригинальными, разрабатываемыми производителями, так и стандартизированными.

Контроллеры модульного типа:

Контроллеры модульного типа не используют общего конструктива. Каждый модуль таких контроллеров, будь то процессорный модуль или модуль ввода-вывода, имеет собственный корпус. Так как защитную оболочку для каждого модуля сделать проще, чем для всего контроллера, то именно этот тип контроллеров чаще всего выпускают для жёстких условий эксплуатации в исполнениях IP 67 и выше. Контроллеры модульного типа очень часто выпускают в корпусе для монтажа на рейку DIN NS 35/7,5. Можно выделить две разновидности контроллеров: с внутренней межмодульной шиной и с внешней шиной. Модули контроллеров с внутренней межмодульной шиной на боковых поверхностях имеют контакты для подключения соседних модулей. А модули контроллеров с внешней шиной, как правило, используют для связи между модулями какую-нибудь скоростную полевую шину, например CAN [2,4].

1.3 Характерные черты и сферы применения контроллеров

Потребность в применении программируемых логических контроллеров (ПЛК) обозначилась в 60–х годах прошлого века. Для многих технических задач применяемые средства автоматизации строились преимущественно на релейно–контактных элементах и за значительный период своего использования обнаружили целый ряд присущих им недостатков:

- для разработки, обслуживания и ремонта таких систем требовались значительные кадровые и экономические ресурсы, так

как каждая отдельная схема создавалась под конкретную, и только под неё, задачу;

- переналадка схемы на решение другой задачи была невозможна без полной или кардинальной разборки её, и, если нужно, - с возможностью повторного использования компонентов – это трудоёмко и неудобно;
- затруднительно объединение в единую структуру фрагментов системы, территориально удалённых друг от друга;
- практически невозможно построить схему на реле, выдержав её в минимальных габаритах.

Только с появлением ПЛК, построенных на микропроцессорах, удалось сосредоточить в конструктивно очень компактном модуле сотни и даже тысячи «релейных» элементов, счётчиков, таймеров, пусть даже не существующих физически, а программно воспроизводимых. Это позволило создать гибко перенастраиваемую структуру, способную выполнить любую из очень широкого круга задач.

Возможности программируемых логических контроллеров делают их практически незаменимыми для автоматизации насосных станций, компрессорных установок, котельных, конвейеров, норий, для управления технологическими процессами в комплексе с датчиками самого различного вида, приводными устройствами, клапанами, задвижками и т. д. по схеме взаимодействия с объектом, изображенной на рисунке 1.2.

Программируемые контроллеры находят применение в различных отраслях промышленности.

Черная и цветная металлургия. Программируемые контроллеры в этих отраслях применяются для управления транспортными операциями на коксовых батареях, загрузке доменных печей, для автоматизации литейных цехов. Их используют также для решения задач, связанных с анализом газов и с контролем качества.

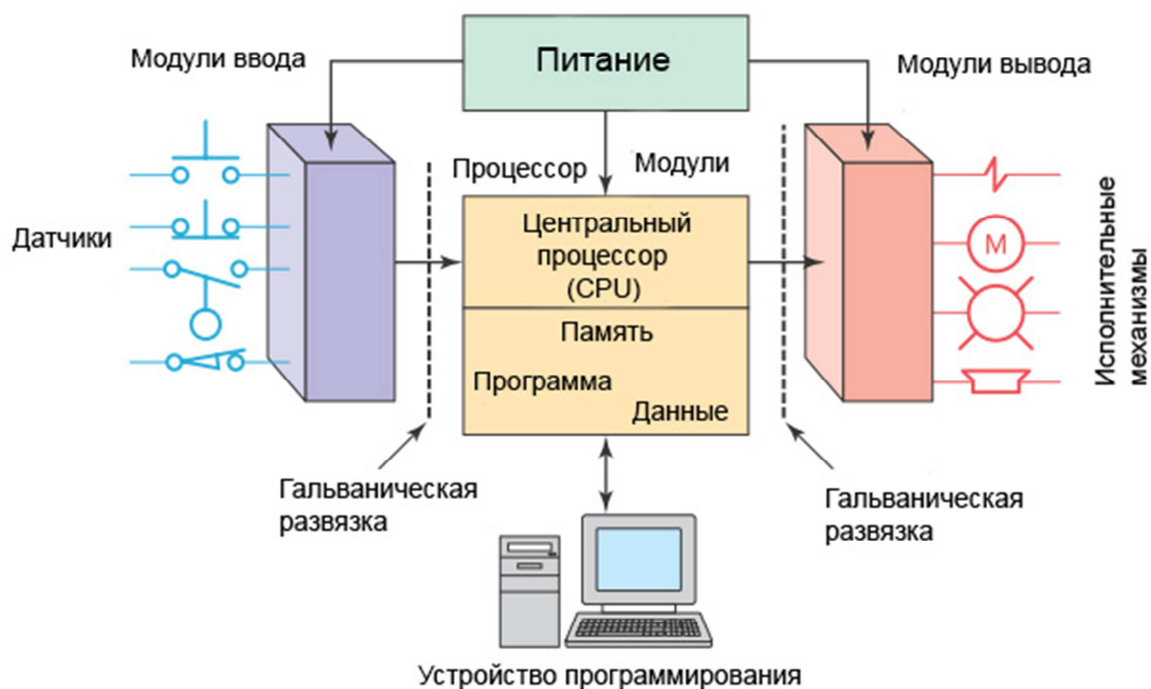


Рисунок 1.2 - Схема взаимодействия ПЛК с объектом управления [9]

Металлообработка и автомобильная промышленность. Это те отрасли, где ПЛК нашли очень широкое применение. Их можно встретить на автоматических линиях и сборочных конвейерах, на стендах для испытания двигателей, а также на прессах, токарных автоматах, шлифовальных и агрегатных станках, сварочных установках, автоматических станках для резки.

Химическая промышленность. В настоящее время ПЛК используются для управления технологическими установками, устройствами дозирования и смешивания продуктов, очистки отходов химического производства, а также на установках по переработке пластмасс и агрегатах в производстве резины.

Нефтедобыча. Кроме областей применения, аналогичных предыдущей отрасли, ПЛК используется на перекачивающих и распределительных станциях, для управления работой и наблюдения за магистральными трубопроводами.

Транспортные и погрузочно-разгрузочные операции. Программируемые контроллеры используются при сортировке посылок, почтовых отправок, механизированном управлении складскими операциями, упаковке, конвейерной пересылке, комплектовании изделий на поддонах, в лифтовом хозяйстве, грузоподъемных механизмах и др.

Другие области применения. Все случаи использования ПЛК перечислить невозможно. В текстильной промышленности они могут применяться для управления операциями автоматического раскроя тканей и контроля нитей, на транспортных конвейерах. В стекольной промышленности, в производстве хрусталя ПЛК управляют операциями отрезки и упаковки. Устройства логического управления используются при решении задач, связанных с охраной (зданий, заводов) и обеспечении безопасности (ядерная энергетика) [2].

1.4 Промышленные контроллеры автоматизации

В 2001 был предложен новый термин для обозначения появившегося класса программируемых устройств для автоматизации – программируемые контроллеры автоматизации (РАС). Некоторые поставщики не признают данный термин, удовлетворяясь тем, что приписывают функциональные возможности, характерные для РАС, более современным программируемым логическим контроллерам (ПЛК).

Инженеры, занимающиеся автоматизацией, всегда ищут новые технологии для рационального и эффективного решения проблем. В круг проблем и задач систем промышленной автоматизации входят такие вопросы, как технологические процессы, логическое управление, ПИД-регулирование, управление перемещением, системы технического зрения, техническое обслуживание, визуализация процесса, модель человеко-машинного интерфейса (HMI) и интеграция с верхними уровнями, включая системы планирования ресурсов предприятия (ERP).

К устройствам, используемым для решения различных задач, относятся ПЛК, предназначенные для логического управления, аналоговые/микропроцессорные блоки, обеспечивающие ПИД-регулирование, устройства управления непрерывными процессами (температура, расход); простые сервоприводы для управления перемещением, профили автоматического управления, линейная/круговая интерполяция для ЧПУ, текстовые панели и программное обеспечение SCADA для решения задач визуализации и операторских интерфейсов.

РАС, которые появились в 2001/2002 гг., могут осуществлять управление многими из перечисленных выше устройств. Они являются единственным решением проблемы постоянно возрастающих потребностей инженеров по автоматизации. Программируемые контроллеры автоматизации предлагают открытые промышленные стандарты, расширенную функциональность, общую платформу разработки и дополнительные возможности.

ПЛК, несмотря на свою надежность, могут иметь ограниченные функциональные возможности. Если ПК с платами ввода/вывода обеспечивают функциональность, гибкость, вычислительную мощность и большой объем памяти (в общем случае с надежностью ниже промышленного уровня), то такие ПК соответствуют предъявляемым техническим требованиям. Не все ПК предназначены для промышленного применения, что является одной из причин появления РАС, которые позволяют соединить прочность ПЛК с функциональностью ПК. Программируемые контроллеры автоматизации представляют собой фактически персональные компьютеры в промышленном исполнении, характерном для ПЛК [9].

2 Основные характеристики ПЛК

2.1 Архитектура ПЛК

Архитектурой контроллера называют набор его основных компонентов и связей между ними. Типовой состав ПЛК включает центральный процессор, память, сетевые интерфейсы и устройства ввода-вывода (рисунок 2.1). Иногда эта конфигурация дополняется устройством для программирования и пультом оператора, устройствами индикации, реже – принтером, клавиатурой, мышью или трекболом [4].

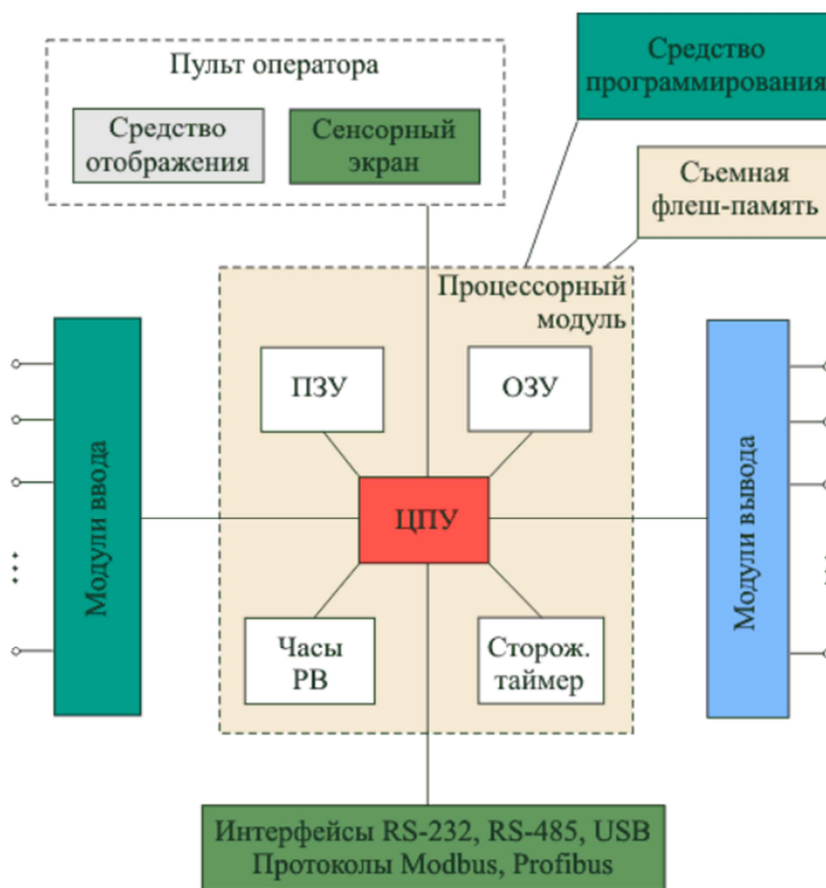


Рисунок 2.1 - Типовая архитектура ПЛК

Процессорный модуль включает в себя микропроцессор (центральное процессорное устройство – ЦПУ), запоминающие устройства, часы реального времени и сторожевой таймер.

Основными характеристиками *микропроцессора* являются разрядность (в ПЛК используются 8-, 16- и 32-разрядные микропроцессоры), тактовая частота, архитектура, наличие операций с плавающей точкой, типы поддерживаемых портов ввода-вывода, температурный диапазон работоспособности и потребляемая мощность.

Производительность микропроцессоров с одной и той же архитектурой пропорциональна тактовой частоте. Большинство контроллеров используют микропроцессоры с сокращенным набором команд (RISC – Reduced Instruction Set Computing), в которых используется небольшое количество команд одинаковой длины и большое количество регистров. Сокращенный набор команд позволяет строить более эффективные компиляторы и конвейер процессора, способный за каждый такт выдавать результат исполнения очередной команды.

Для контроллеров, выполняющих интенсивную математическую обработку данных, важно наличие математического сопроцессора (вспомогательного процессора, выполняющего операции с плавающей точкой) или сигнальных процессоров, в которых операции типа $Y = AB + X$ выполняются за один такт. Сигнальные процессоры позволяют ускорить выполнение операций свертки или быстрого преобразования Фурье.

Емкость памяти определяет количество переменных (тегов), которые могут быть обработаны в процессе функционирования ПЛК. В микропроцессорах время доступа к памяти является одним из существенных факторов, ограничивающих быстродействие. Поэтому память делят на несколько уровней иерархии в зависимости от частоты использования хранящихся в ней данных и быстродействия. Иерархия памяти относится к существенным характеристикам архитектуры процессора, поскольку она позволяет снизить отрицательное влияние медленной памяти на быстродействие микропроцессора. Основными типами памяти является постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устрой-

ство (ОЗУ) и набор регистров. Регистры являются самыми быстродействующими элементами памяти, поскольку они используются арифметико-логическим устройством (АЛУ) для исполнения элементарных команд процессора. ПЗУ используют для хранения редко изменяемой информации, такой, как операционная система, драйверы устройств, загрузчик, исполняемый модуль программы пользователя. ОЗУ используется для хранения данных, которые многократно изменяются в процессе работы контроллера, например значения тегов, результаты промежуточных вычислений, диагностическая информация, массивы, выводимые на графики, данные для отображения на дисплее.

В качестве ПЗУ (или ROM – Read Only Memory) обычно используется электрически стираемая перепрограммируемая память (EEPROM – Electrically Erasable Programmable ROM). Разновидностью EEPROM является флэш-память, принцип действия которой основан на хранении заряда в конденсаторе, образованном плавающим затвором и подложкой МОП-транзистора. Особенностью флэш-памяти является ее энергонезависимость, т.е. сохраняемость данных при выключенном питании. Стирание и перезапись во флэш-памяти выполняется не отдельными ячейками, а большими блоками, поэтому она получила название, происходящее от английского «flash» – «вспышка». Недостатком всех ПЗУ является низкое быстродействие.

Количество циклов записи информации во флэш-память ограничено и составляет несколько десятков тысяч раз. Флэш-память может быть впаена в печатную плату или быть съемной.

В качестве ОЗУ современные микропроцессоры используют статическую память (SRAM – Static Random Access Memory) и динамическую (DRAM – Dynamic Random Access Memory), SDRAM (Synchronous DRAM). SRAM выполняется на триггерах, информация в которых сохраняется неограниченно долго при наличии питания. В динамической памяти

информация хранится на конденсаторах, и поэтому DRAM требует периодической регенерации (перезарядки конденсаторов). К недостаткам триггерной памяти относится ее высокая стоимость, связанная с низкой плотностью компоновки триггеров на кристалле, и малое отношение емкости к цене. Достоинством является высокое быстродействие, достигающее гигагерц, в то время как память на конденсаторах не может работать на частотах выше сотен герц. Оба типа памяти (DRAM и SRAM) не могут сохранять информацию при отключении питания ПЛК. Поэтому некоторые типы ПЛК используют батарейное питание памяти для сохранения работоспособности системы автоматизации после кратковременного прерывания питания.

Моноблочные и модульные контроллеры используют, как правило, параллельную шину для обмена данными с модулями ввода-вывода, что позволяет на порядок повысить быстродействие их опроса по сравнению с последовательной шиной. Параллельные шины могут быть стандартными (ISA, PC/104, PCI, ComactPCI, VME, CXM) или фирменными. Последовательная шина контроллера (на основе интерфейса RS-485) используется для подключения к нему удаленных (распределенных) модулей ввода-вывода.

Программирование контроллеров малой мощности выполняется с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели или с помощью переносного пульта для программирования. В качестве пульта в последнее время используется компьютер формата «ноутбук». Программирование мощных контроллеров выполняется с помощью персонального компьютера, на котором устанавливается специальное программное обеспечение, например CoDeSys или ISaGRAF, выполняющее трансляцию технологического языка стандарта МЭК 61131-3 в исполняемый код процессора, который загружается в ПЗУ ПЛК.

Сторожевой таймер (Watchdog Timer – WDT) представляет собой счетчик, который считает импульсы тактового генератора и в нормальном режиме периодически сбрасывается (перезапускается) работающим процессором. Если процессор «зависает», то сигналы сброса не поступают в счетчик, он продолжает считать и при достижении некоторого порога вырабатывает сигнал «Сброс» для перезапуска «зависшего» процессора.

Часы реального времени (RV) представляют собой кварцевые часы, которые питаются от батарейки и поэтому продолжают идти при выключенном ПЛК. Часы RV используются, например, для управления уличным освещением в зависимости от времени суток, в системах охраны объектов и других случаях, когда необходима привязка данных или событий к астрономическому времени.

Процессорный модуль ПЛК выполняет следующие задачи:

- собирает данные из модулей ввода в память и отправляет данные из памяти в модули вывода;
- выполняет обмен данными с устройством для программирования контроллера;
- выдает метки часов реального времени;
- осуществляет обмен данными с промышленной сетью;
- реализует стек протоколов промышленной сети (для этой цели могут использоваться вспомогательные коммуникационные процессоры);
- выполняет начальную загрузку и исполнение операционной системы;
- исполняет загрузочный модуль пользовательской программы системы автоматизации;
- управляет актами обмена с памятью.

К основным характеристикам процессорного модуля относятся:

- тип операционной системы (Windows CE, Linux, DOS, OS-9, QNX и др.);
- наличие исполнительной среды для стандартной системы программирования на языках МЭК 61131-3;
- типы поддерживаемых интерфейсов (RS-232, RS-422, RS-485, CAN, USB, Ethernet и др.);
- типы поддерживаемых сетей (Modbus RTU, Modbus TCP, Ethernet, Profibus, CANopen, DeviceNet и др.);
- возможность подключения устройств индикации или интерфейса оператора (светодиодного или ЖКИ индикатора, клавиатуры, мыши, дисплея с интерфейсами VGA, DVI или CMOS, LVDS, трекбола и др.);
- разрядность (8, 16, 32 или 64 бита);
- тактовая частота микропроцессора и памяти;
- время выполнения команд;
- объем, иерархия и типы памяти (ОЗУ, кэш, ПЗУ-флэш, съемная флэш и др.);
- типы встроенных функций (ПИД-регулятор, счетчики, ШИМ, алгоритмы позиционирования и управления движением и др.);

Быстродействие процессорного модуля ПЛК обычно оценивают по времени выполнения логических команд, поскольку они наиболее распространены при реализации алгоритмов управления.

Восьмиразрядные микропроцессоры пользуются большим успехом в автономных ПИД-контроллерах и микро-ПЛК для несложного алгоритмического управления станками, теплицами, небольшими технологическими аппаратами, в качестве межсетевых шлюзов. Их достоинством является высокая надежность, связанная с предельной простотой программного обеспечения.

Обычно микропроцессоры, используемые в ПЛК, на несколько поколений отстают от процессоров офисных персональных компьютеров (ПК) в связи с относительно малым объемом рынка ПЛК, который не обеспечивает окупаемость разработки нового контроллера за период смены поколений микропроцессоров.

Источник питания. Стандартными напряжениями питания ПЛК являются напряжения 12, 24 и 48 В. Источником электрической энергии обычно является промышленная сеть 220 В, 50 Гц. В случае распределенных систем автоматизации источник питания может быть расположен вдали от ПЛК, поэтому напряжение на клеммах ПЛК или модулей ввода-вывода может сильно отличаться от напряжения источника питания вследствие падения напряжения на сопротивлении кабеля. Для решения этой проблемы каждый ПЛК или каждый модуль удаленного ввода снабжаются встроенным стабилизатором напряжения, который обеспечивает нормальное их функционирование в диапазоне напряжений от 10 до 30 В.

Низкое напряжение питания позволяет питать контроллеры от аккумуляторов бортовых сетей транспортных средств или переносных аккумуляторов.

В ПЛК иногда используют батарею для питания часов реального времени (которые должны функционировать при выключенном ПЛК) и для сохранения информации в ПЗУ на время аварийных перерывов питания [4].

2.2 Быстродействие ПЛК

Производительность ПЛК оценивается по следующим параметрам:

- длительность контроллерного цикла (период считывания значений из каналов ввода, обработки в процессоре и записи в каналы вывода);

- время выполнения команд (отдельно логических, с фиксированной и с плавающей точкой);
- пропускная способность шины между контроллером и модулями ввода-вывода;
- пропускная способность промышленной сети;
- время цикла опроса всех контроллеров в одномастерной сети или цикл обращения маркера для многомастерных сетей с маркером;
- время реакции.

Контроллер в системах автоматизации выполняет циклический алгоритм, включающий ввод данных и размещение их в ОЗУ, обработку данных и вывод.

Длительность контроллерного цикла (его еще называют рабочим циклом) зависит от количества модулей ввода-вывода и наличия в них замаскированных (исключенных из процедуры обмена) входов-выходов, поэтому рассчитывается для каждой конфигурации автоматизированной системы отдельно. При интенсивной математической обработке данных (например, при цифровой фильтрации, интерполяции или идентификации объекта управления в режиме нормального функционирования системы) длительность контроллерного цикла существенно зависит от быстродействия процессорного модуля. В контроллерный цикл входит также обслуживание аппаратных ресурсов ПЛК (обеспечение работы системных таймеров, оперативное самотестирование, индикация состояния), контроль времени цикла, сетевой обмен, управление многозадачностью, отображение процесса выполнения программы на дисплее и т.п.

Перед началом работы ПЛК выполняет загрузку операционной системы и программы пользователя в ОЗУ и ПЗУ, начальное тестирование аппаратуры. ПЛК обычно может работать в режиме отладки, пошагового

выполнения программы, просмотра и редактирования значений переменных и т.п.

В процессе функционирования ПЛК данные, введенные из устройств ввода, располагаются в ОЗУ и в течение рабочего цикла контроллера не изменяются. Прямое чтение входа во время выполнения одного цикла не выполняется. Это ускоряет процесс обработки данных и исключает непредвиденные ситуации.

В системах с распределенными по объекту модулями ввода-вывода длительность контроллерного цикла может определяться пропускной способностью промышленной сети, что в ряде случаев является ограничением на предельное количество модулей ввода-вывода.

Требования к длительности контроллерного цикла существенно зависят от области применения ПЛК. При управлении тепловыми процессами длительность цикла может составлять единицы и десятки секунд, в задачах для управления станками она измеряется миллисекундами, при опросе датчиков температуры на элеваторе контроллерный цикл измеряется сутками.

Время реакции контроллера – это интервал времени от момента появления воздействия на систему (со стороны модулей ввода или оператора) до момента выработки соответствующей реакции. Время реакции зависит от длительности рабочего цикла контроллера, которое определяется быстродействием модулей ввода-вывода и производительностью процессора [4].

2.3 Надежность ПЛК

В контроллерах для ответственных применений могут быть предусмотрены следующие функции самодиагностики:

- обнаружение ошибок центрального процессора;

- сигнализация о срабатывании сторожевого таймера;
- обнаружение отказа батареи или источника питания;
- обнаружение сбоя памяти;
- проверка программы пользователя;
- обнаружение выхода из строя предохранителя;
- обнаружение обрыва или короткого замыкания (к.з.) в цепи датчика и нагрузки.

В контроллерах для систем противоаварийной защиты (ПАЗ) и сигнализации, а также для опасных промышленных объектов может быть предусмотрена возможность резервирования отдельных частей системы: промышленной сети, процессорного модуля или контроллера, источника питания, сетевого сервера, замкнутых контуров автоматического регулирования, модулей ввода-вывода. Объектом резервирования обычно является наиболее ответственная или наиболее ненадежная часть системы.

Возможность горячей замены элементов системы (т.е. без отключения питания) достигается одновременно аппаратными и программными средствами. Аппаратно предусматривается независимость начального состояния устройства от очередности подачи сигналов на его клеммы в процессе замены; программно обеспечивается возможность временного отсутствия компонента системы без ее зависания или перехода в аварийные режимы.

Надежность контроллеров характеризуется наработкой на отказ, которая определяется как отношение суммарного времени работоспособного состояния контроллера к математическому ожиданию числа его отказов в течение этого времени (ГОСТ 27.002-2015) или наработкой до отказа – временем от начала эксплуатации до первого отказа. Надежность связана с допустимыми механическими перегрузками – амплитудой вибрации в требуемом диапазоне частот, допустимым ускорением при ударе.

Для повышения безопасности систем автоматизации в контроллерах используются команды для установки начального состояния выходов сразу после подачи питания или в аварийном режиме. Эти состояния выбираются таким образом, чтобы после восстановления напряжения питания при случайном его прерывании или в аварийном режиме системы исполнительные устройства находились в безопасном для персонала или системы состоянии. Способность контроллера переводить свои выходы в заранее определенное состояние сразу после обнаружения снижения напряжения питания или после внутреннего отказа называется **отказоустойчивым отключением**.

Если повторный запуск ПЛК выполняется после того, как все динамические данные (переменные входов-выходов, состояние внутренних регистров, таймеров, счетчиков, программные контексты) были возвращены в заранее определенное состояние, то такой запуск называется **холодным рестартом**. Холодный рестарт может быть как ручным, так и автоматическим.

Горячим рестартом называют повторный запуск ПЛК, который выполняется настолько быстро после пропадания питания, что все динамические переменные не успевают измениться и поэтому работоспособность восстанавливается таким образом, будто питания не пропадало.

Теплым рестартом называют повторный запуск после обнаружения неисправности питания с заранее определенным и программируемым пользователем множеством динамических данных и системным контекстом прикладной программы. Теплый рестарт характеризуется сигнализацией состояния или эквивалентными средствами, позволяющими убедиться в том, что прикладная программа зарегистрировала прекращение неисправности питания, обнаруженное конфигурацией ПЛК в режиме пуска.

Помехоустойчивость контроллера обычно оценивается по его ответственности комплексу стандартов по электромагнитной совместимости.

Промышленные контроллеры используют гальваническую изоляцию для устранения паразитных связей по общему проводу, земле и для защиты оборудования от высоких напряжений.

Степень защиты от воздействия окружающей среды, обеспечиваемая корпусом контроллера, классифицируется ГОСТ 14254-2015. Для обозначения степени защиты используются две буквы «IP», за которыми следуют две цифры. Первая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел, вторая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания воды [4].

3 Устройства ввода-вывода

Устройства (модули) ввода-вывода являются интерфейсом между процессором ПЛК и реальным миром. В идеальном случае было бы желательно иметь в процессоре значения измеренных сигналов в любой момент времени. Однако поскольку количество каналов ввода-вывода в некоторых системах может достигать тысяч, а измерительные каналы всегда имеют ограниченную пропускную способность, измеренные значения поступают в процессор в дискретные моменты времени.

Существует несколько уровней и способов опроса множества каналов ввода. Современный модуль ввода имеет свой собственный микроконтроллер, который выполняет циклический опрос всех своих каналов и помещает полученные данные в буфер. Если по алгоритму работы системы автоматизации используются только несколько каналов модуля, то неиспользуемые каналы можно замаскировать (исключить их из процедуры опроса), если это требуется для увеличения быстродействия системы. При поступлении в модуль команды считывания значений со входов собранные данные передаются из буфера модуля в ПЛК, где помещаются в буфер ОРС сервера или в определенную область ОЗУ.

Опрос модулей может выполняться циклически с одинаковой частотой для всех модулей или с разной частотой. Второй вариант позволяет уменьшить загруженность шины, по которой выполняется обмен данными между модулями ввода и процессорным модулем.

Циклический опрос всех модулей с заранее заданной частотой сильно загружает шину, по которой модули ввода связываются с процессором. Это особенно очевидно, если процессор сканирует входы для обнаружения сигнала от аварийного датчика, который может сработать один раз в 10 лет, или если вводятся данные от датчика температуры в условиях, когда температура постоянна. В подобных случаях более эффективны многома-

стерные шины (например, CAN или Profibus), которые позволяют использовать режим подписки, при котором процессор модуля ввода, в котором произошло изменение состояния входа, является инициатором обмена данными [4].

Наибольшее распространение в промышленной автоматизации нашли одномастерные шины и циклический опрос (поллинг — от «polling») модулей ввода в силу своей простоты и сравнительно низкой стоимости.

Модули ввода и вывода в промышленной автоматизации имеют гальваническую изоляцию между входными (выходными) зажимами и шиной контроллера. Напряжение изоляции составляет от 2500 (реже от 500) до 4000 В.

Иногда требуется выполнить одновременный опрос входов всех модулей ввода или вывести данные одновременно в каналы всех модулей вывода. Для решения этой проблемы используют широковещательные команды, которые воспринимаются всеми модулями одновременно, и они выполняют ввод или вывод данных в свои буферные регистры в одно и то же время. После этого обычным циклическим опросом данные по очереди вводятся в процессорный модуль.

Модули ввода соединяются с процессором последовательной или параллельной шиной. В магистрально-модульных системах используются параллельные шины ISA, PCI, Compact PCI, PCI Express, PC/104, SpeedBus, VME и др., в модульных ПЛК — частнофирменные (нестандартные) последовательные и параллельные шины. В контроллерах с распределенными (удаленными) модулями ввода-вывода наиболее распространены последовательные шины на основе интерфейсов RS-485 и CAN.

Преимуществом параллельной шины является высокая пропускная способность, позволяющая выполнять сканирование модулей ввода с высокой частотой и использовать модули аналогового ввода с тактовой ча-

стотой АЦП до 100 кГц. Однако небольшая длина параллельной шины, ограниченная рассинхронизацией отдельных бит в передаваемом слове, не позволяет подключить к одному контроллеру более 32 модулей. Контроллеры с последовательной шиной имеют противоположные свойства.

Большинство параллельных и последовательных шин контроллеров являются одномастерными, поскольку многомастерные шины существенно сложнее и дороже.

Обмен данными с модулем выполняется по адресу, который обычно записывается в ПЗУ модуля. Иногда адресом является номер слота, в который вставляется модуль или положение микропереключателя.

Цепи входов и выходов модулей ввода должны иметь гальваническую изоляцию. Гальваническая изоляция может быть поканальная, когда каждый канал изолирован от остальных, или групповая. Обычно используется групповая изоляция. В удаленных модулях распределенных ПЛК может быть использована индивидуальная гальваническая изоляция интерфейса RS-485 каждого модуля или групповая изоляция интерфейсов нескольких модулей с помощью одного модуля развязывающего повторителя интерфейсов. Для передачи напряжения питания в изолированную часть модуля используются DC-DC преобразователи, построенные с применением развязывающих миниатюрных трансформаторов [4].

Современные модули ввода-вывода могут выполнять кроме функций ввода некоторую обработку вводимой информации и дополнительные функции: компенсацию температуры холодного спая термопар, линеаризацию нелинейных датчиков, диагностику обрыва датчика, автоматическую калибровку, ПИД-регулирование, управление движением. Перенос части функций контроллера в модули ввода-вывода является современной тенденцией, направленной на увеличение степени распараллеливания задач управления, обеспечение независимости локальных модулей (которые по

своим функциям приближаются к ПЛК) и уменьшение потока информации между параллельно работающими процессорами в модулях ввода-вывода.

3.1 Ввод аналоговых сигналов

Разнообразие физических явлений порождает разнообразие датчиков, для каждого из которых существует соответствующее устройство ввода.. Фактически в промышленной автоматизации используются следующие стандартные диапазоны аналоговых сигналов: 0...10 В, 0...±10 В, 1...5 В и 4...20 мА, 0...20 мА. Входное сопротивление потенциальных входов должно быть не менее 10 кОм для диапазона 0... 10 В и 0... ±10 В, не менее 5 кОм для диапазона 1...5 В и не более 300 Ом для диапазона 4...20 мА.

Применение стандарта позволяет изготовить всего один тип универсального устройства ввода со стандартными диапазонами для всех типов датчиков со стандартными выходными сигналами. Однако для таких датчиков, как термопары, термопреобразователи сопротивления, тензорезисторы, в силу их широкой распространенности нормирующие преобразователи встраивают в сами модули ввода. Поэтому, кроме универсальных модулей ввода, получили распространение специализированные модули ввода сигналов термопар, термопреобразователей сопротивления и тензорезисторов [4].

Структура модулей ввода. Основной частью модуля ввода является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Обычно используют один АЦП для ввода нескольких (обычно 8 или 16) аналоговых сигналов. Для подключения источников сигнала к АЦП используется аналоговый коммутатор на МОП-транзисторах (рисунок 3.1). Ввод нескольких сигналов выполняется последовательно во времени. В случаях, когда необходим одновременный ввод, используют модули, в которых каждый канал имеет свой АЦП.

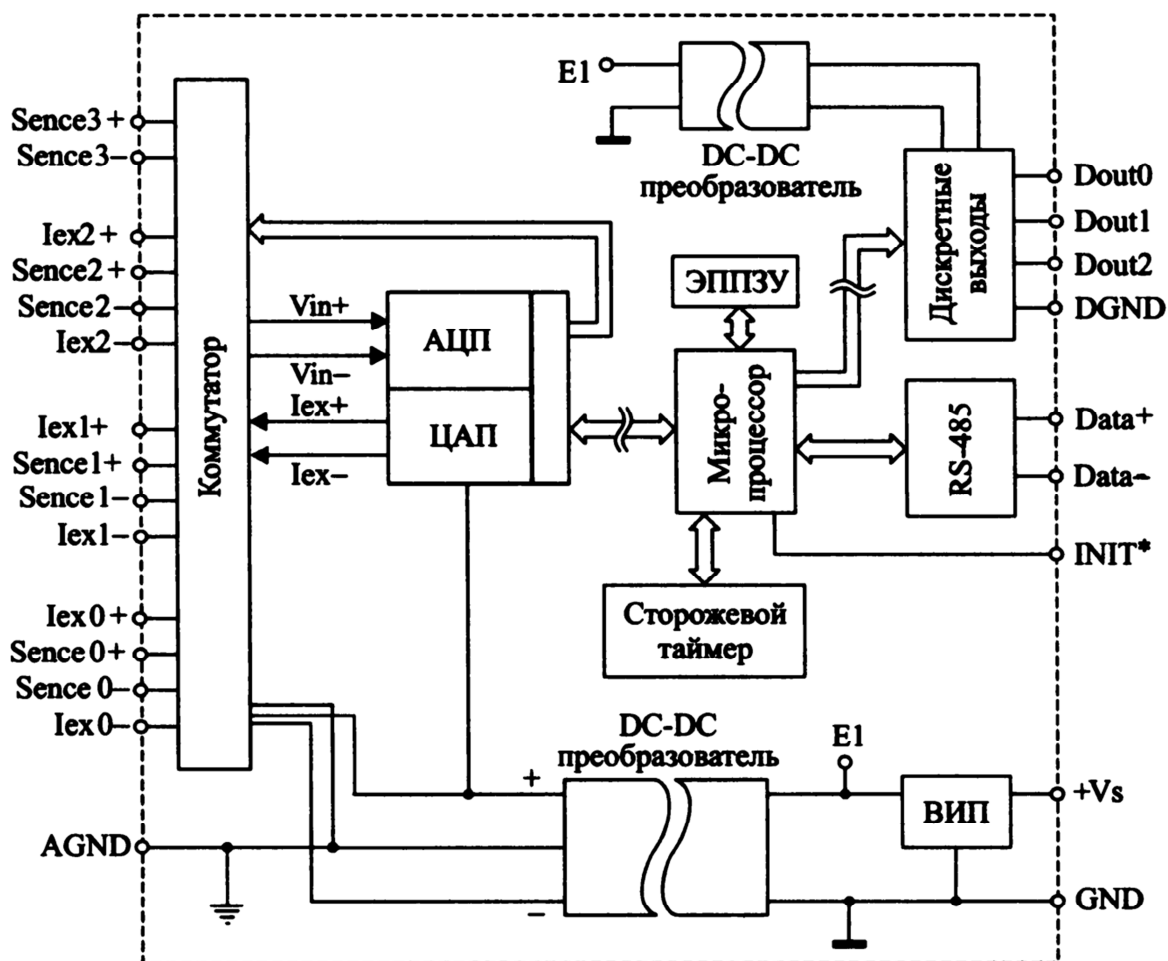


Рисунок 3.1 – Структура модуля ввода аналоговых сигналов

В модулях ввода обычно используют дифференциальные входы, которые позволяют выполнить более помехозащищенный канал передачи аналогового сигнала по сравнению с одиночными (не дифференциальными) входами. Некоторые модули позволяют программно задавать конфигурацию входов: дифференциальные или одиночные.

Входные цепи устройств ввода принято защищать от статического электричества, от повышенного напряжения, от изменения полярности. Для защиты используют специальные микросхемы защиты, в которых активным элементом является МОП-транзисторный ключ. При повышении напряжения выше допустимого ключ запирается, предохраняя чувствительные входы от повышенного напряжения. Измерительные цепи строят таким образом, чтобы сопротивление открытого МОП ключа не вносило

погрешность в результат измерения. Для этого ключ используют либо для передачи потенциала, когда ток, протекающий через открытый ключ, пренебрежимо мал, либо для передачи тока, когда информация переносится в форме тока и поэтому падение напряжения на ключе не вносит погрешность в передаваемый сигнал [4].

Модули ввода могут иметь программно переключаемые диапазоны входных сигналов.

Для коммутации входных ключей модуля используется программа, исполняемая микроконтроллером. Эта процедура достаточно проста, и для ее выполнения можно использовать микроконтроллер, входящий в состав некоторых АЦП. Это позволяет уменьшить количество каналов гальванической развязки между аналоговыми входами и портом RS-485.

Микропроцессор типового модуля ввода выполняет следующие функции:

- реализует протокол обмена с ПЛК;
- исполняет команды, посылаемые ПЛК в модуль;
- реализует выполнение функций автоматической калибровки, диагностики обрыва или к.з. в цепи датчика;
- преобразует форматы вводимых данных (инженерный формат – в единицах измеряемой величины, шестнадцатеричный формат, проценты от диапазона измерений);
- устанавливает скорость обмена с ПЛК (для ПЛК с распределенными модулями ввода-вывода);
- выполняет цифровую фильтрацию входного сигнала

В постоянной памяти ЭППЗУ модуля хранятся калибровочные коэффициенты, адрес модуля, программа, таблицы линеаризации нелинейных характеристик термопар и термопреобразователей сопротивления. Сторожевой таймер выполняет перезагрузку (сброс) микроконтроллера в случае его зависания.

Питание внутренних узлов модуля выполняется от внутреннего стабилизатора напряжения, который позволяет подавать внешнее напряжение питания в широком диапазоне, обычно от 10 до 30 В. Большой диапазон напряжений питания очень полезен в распределенных системах, когда модули ввода могут находиться на значительном расстоянии друг от друга и поэтому падение напряжения на сопротивлении проводов питания достигает 10...20 В.

Цепи питания модулей защищаются от неправильной полярности напряжения питания и от превышения напряжения питания над допустимым значением. Защита выполняется диодами, стабилитронами, позисторами и плавкими предохранителями.

Для интерфейса RS-485 используется защита от статического электричества, от электромагнитных импульсов, от короткого замыкания и перегрева выходного каскада.

3.2 Вывод аналоговых сигналов

Модули аналогового вывода предназначены для вывода из компьютера или контроллера информации в аналоговой форме. Аналоговые сигналы на выходе модулей вывода могут быть представлены в виде стандартных сигналов тока (0...20 и 4...20 мА) или напряжения (0...5, ± 10 В). Модули аналогового вывода используются в основном для управления исполнительными устройствами с аналоговым управляющим входом, но могут быть использованы также в измерительных системах, для электрофизических исследований или построения испытательных стендов.

Структура типового модуля вывода аналоговых сигналов представлена на рисунке 3.2.

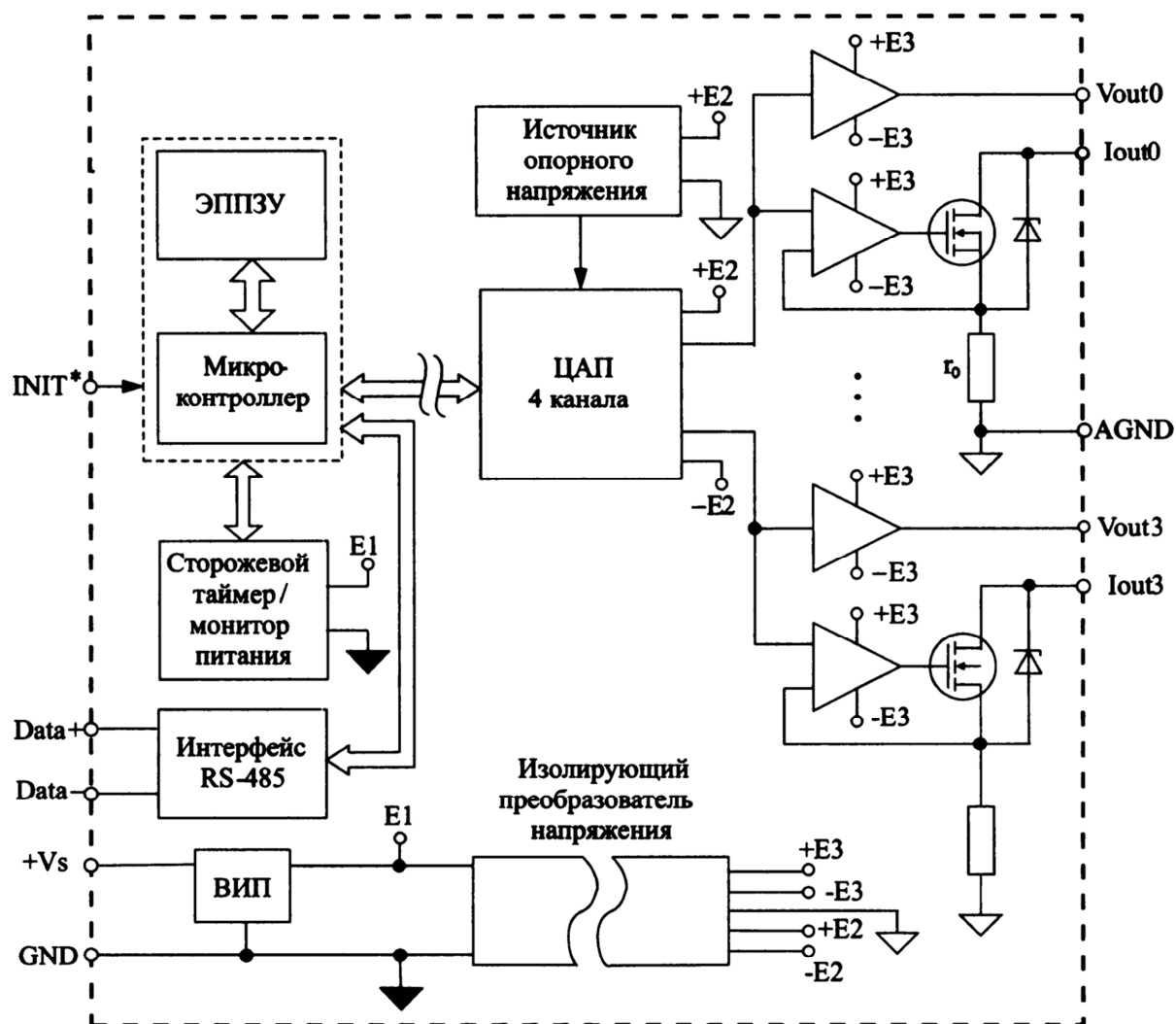


Рисунок 3.2 – Структура модуля вывода аналоговых сигналов

Информация в модуль вывода поступает из управляющего контроллера или компьютера обычно через интерфейс RS-485, в некоторых модулях вывода используют другие последовательные или параллельные интерфейсы. Типичным для средств промышленной автоматики является гальваническая изоляция аналоговой выходной части модуля от цифровой части, включающей микропроцессор. Модуль управляется командами, посылаемыми с помощью стандартного протокола Modbus RTU или DCON.

Для правильного применения модулей аналогового вывода надо знать схему выходного каскада (рисунок 3.3). Вывод напряжений осуществляется с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и операционного усилителя (ОУ). Благодаря глубокой обратной связи выходное

сопротивление ОУ на постоянном токе составляет сотые доли ома, что позволяет с высокой точностью считать его идеальным источником напряжения. Для защиты модуля от перегрузки по выходу используются ОУ с защитой, выполненной на том же полупроводниковом кристалле, что и сам ОУ.

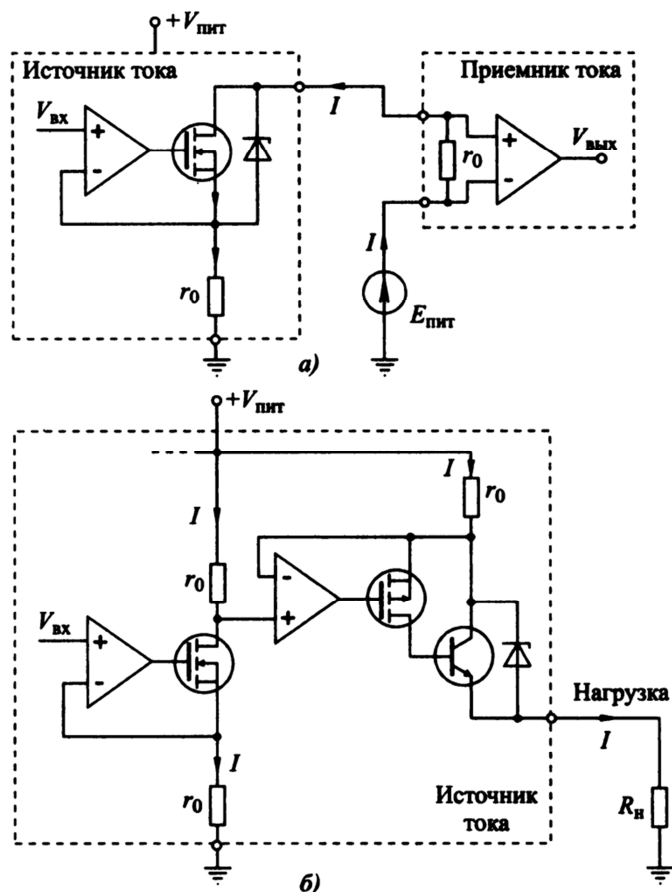


Рисунок 3.3 - Выходные каскады для втекающего (а) и вытекающего (б) токов. Схема а требует дополнительного источника питания

Для вывода аналогового сигнала в форме тока используются источники тока на основе ОУ с обратной связью (каскады с выходами $I_{out0}, \dots, I_{out3}$ на рисунок 3.2). Принцип их действия основан на том, что ОУ с отрицательной обратной связью имеет нулевое напряжение между его входами благодаря высокому коэффициенту усиления. Поэтому все входное напряжение оказывается приложенным к сопротивлению r_0 (рисунок 3.2, верхний по схеме каскад) и выходной ток равен входному напряжению,

деленному на r_o . Для того чтобы ток, протекающий через r_o , был точно равен выходному току, в качестве транзистора используют биполярный транзистор с изолированным затвором или пару из биполярного и МОП-транзистора [4].

3.2.1 Ввод дискретных сигналов

В системах автоматизации очень распространены двоичные сигналы, которые поступают от концевых выключателей, датчиков охранной или пожарной сигнализации, датчиков заполнения емкостей, датчиков сбега-ния ленты на конвейере, датчиков приближения и т.п. Такие сигналы не совсем правильно называются дискретными, но этот термин прочно вошел в практику.



Рисунок 3.4 – Источники дискретных сигналов

Модули ввода дискретных сигналов в промышленной автоматизации имеют несколько различных типов входов:

- вход типа «сухой контакт»;
- дискретный вход для логических сигналов в форме напряжения;

- «Сухим» контактом в системах автоматизации называют источник информации, не имеющий встроенного источника энергии, например контакты реле или дискретные выходы типа «открытый коллектор». Для передачи информации о состоянии такого контакта необходим внешний источник тока или напряжения.

Входные буферы

ЭПЗУ

Микроконтроллер

Интерфейс RS-485

ВИП

Сторожевой таймер/монитор питания

Din0

Din15

Общий

-5В

INIT

Data+

Data-

+Vs

GND

EI

Для правильного применения модулей дискретного ввода необходимо знать структуру и характеристики входных каскадов (рисунок 3.6, 3.7).

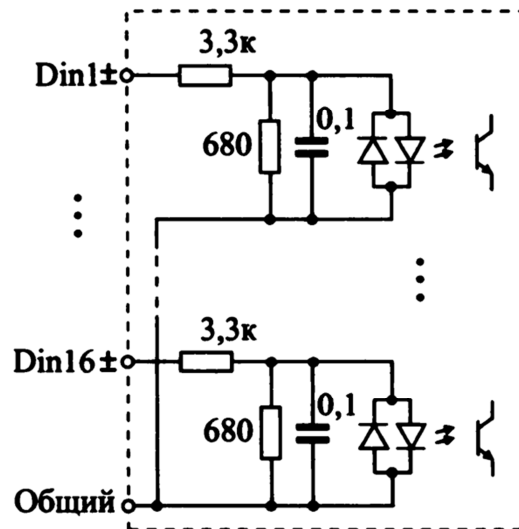


Рисунок 3.6 – Структурная схема входных каскадов каналов дискретного ввода

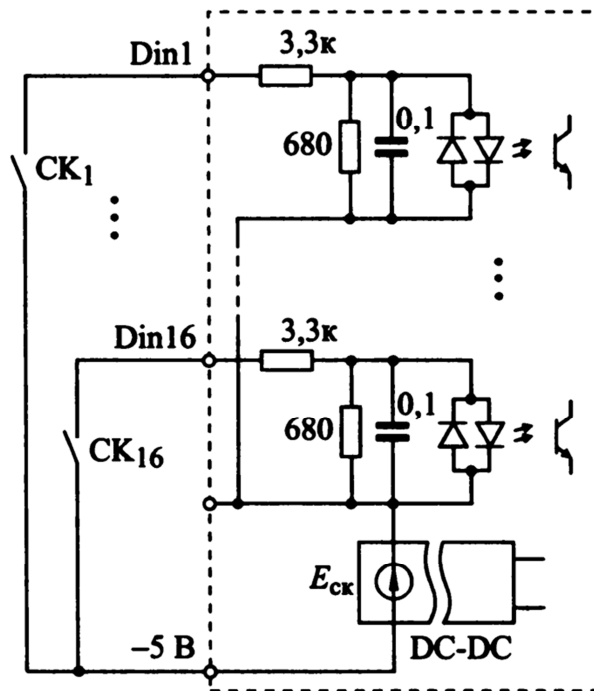


Рисунок 3.7 – Структурная схема входных каскадов для источников сигнала типа «сухой контакт»

Дискретные входы гальванически развязаны от остальной части модуля ввода. Развязка выполняется, как правило, с помощью оптронов с двумя излучающими диодами, включенными встречно-параллельно. Это обеспечивает возможность подключения ко входам дискретных сигналов любой полярности. Гальваническая изоляция может быть поканальной или

групповой. Чаще используется групповая изоляция, поскольку при этом почти вдвое уменьшается количество входных клемм модуля.

Конденсатор используется во входных каскадах модулей для фильтрации высокочастотных помех. Значение граничной частоты выбирается в результате компромисса между быстродействием модуля и возможностью ложного срабатывания при воздействии высокочастотных помех. Типовое значение граничной частоты и скорости опроса входов лежит в районе 1 кГц. Для увеличения помехоустойчивости используют также триггеры Шмидта на выходе сигналов оптронов.

Уровень логической единицы дискретных сигналов составляет обычно от 3 до 30 В, уровень логического нуля – от 0 до 2 В. Для ввода сигналов от источников типа «сухой контакт» используют источник внешнего напряжения. Аналогично подключают дискретные выходы типа «открытый коллектор».

Ввод высокого постоянного напряжения выполняется по схеме на рисунке 3.6, однако для снижения мощности, рассеиваемой на токозадающем резисторе, используют оптроны с малым управляющим током и резистор с большим сопротивлением и большим пробивным напряжением [4].

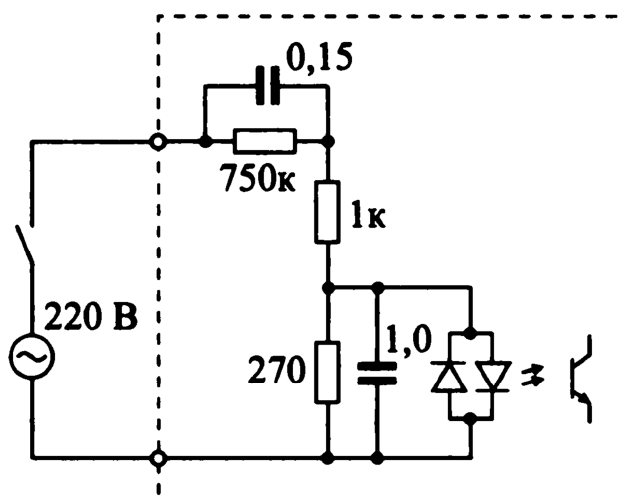


Рисунок 3.8 – Структурная схема входных каскадов для ввода дискретных сигналов 220 В

Ввод сигналов высокого (220 В) переменного напряжения осуществляется аналогично рассмотренному выше (рисунок 3.8), однако вместо токозадающего резистора для включения оптрона используют конденсатор, чтобы снизить активную рассеиваемую мощность. Резистор сопротивлением 750 кОм служит для разряда конденсатора при отключенных входах, что является стандартным требованием электробезопасности. Резистор сопротивлением 1 кОм ограничивает бросок тока в момент коммутации входа.

Каскады для ввода высокого напряжения могут быть с общим проводом или независимые.

Для отображения состояния дискретных входов (включено/выключено) используют светодиоды, которые включают либо до оптрона, либо после него.

3.2.2 Вывод дискретных сигналов

Вывод дискретных сигналов используется для управления состоянием включено/выключено исполнительных устройств. Устройства вывода отличаются большим многообразием. Знание структуры выходных каскадов необходимо для правильного их применения.



Рисунок 3.9 – Устройства с дискретным управлением

Выходные каскады со стандартными ТТЛ или КМОП логическими уровнями в промышленной автоматизации используются редко. Это связано с тем, что нагрузкой дискретных выходов являются не логические входы электронных устройств, а чаще всего электромеханические реле, пускатели, шаговые двигатели и др. Дискретные выходы обычно строятся на основе мощных биполярных транзисторов с открытым коллектором или полевых транзисторов (обычно МОП) с открытым стоком (рисунок 3.10).

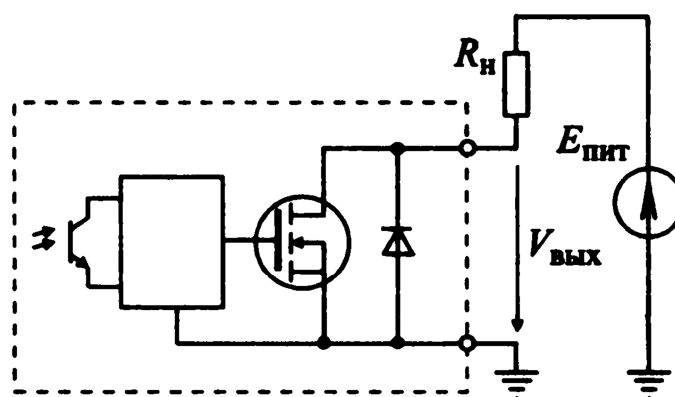


Рисунок 3.10 – Структурная схема выходных каскадов типа ОК для вывода дискретных сигналов

С точки зрения схемотехники применения эти каскады эквивалентны, поэтому мы будем их называть каскадами ОК. Каскады ОК обеспечивают большую гибкость, позволяя получить необходимые для нагрузки ток или напряжения с помощью внешнего источника питания.

Наилучшим решением для построения дискретных выходов являются микросхемы интеллектуальных ключей, которые содержат в себе не только мощный транзистор с открытым стоком, но и цепи его защиты от перегрузки по току, напряжению, короткого замыкания, переплюсовки и перегрева, а также электростатических разрядов. При перегреве выходного каскада или превышении тока нагрузки интеллектуальный ключ выключается.

Наиболее широко распространены выходные каскады ОК модулей вывода двух типов: для втекающего (рисунок 3.11) и вытекающего (рисунок 3.12) токов. Различие между ними состоит в том, какой вывод является общим для нескольких нагрузок: заземленный или соединенный с шиной питания [4].

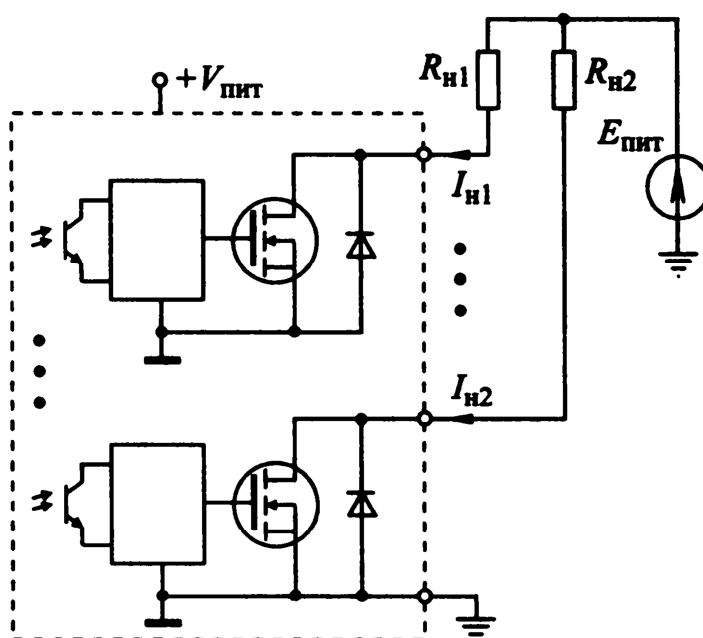


Рисунок 3.11 – Структурная схема выходных каскадов для втекающих токов

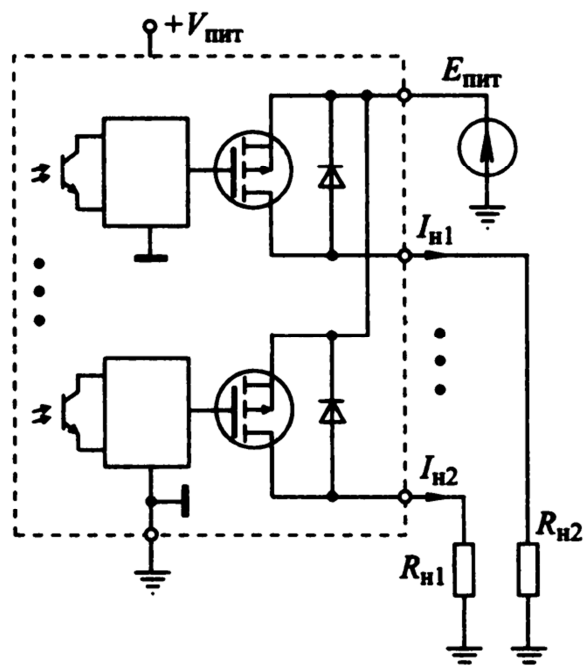


Рисунок 3.12 – Структурная схема выходных каскадов для вытекающих токов

Каскады с открытым коллектором (стоком) удобны тем, что позволяют использовать внешний источник питания с напряжением, отличным от напряжения питания модулей вывода.

Для нагрузок питающимися большим током или от источника напряжения 110...220 В используют выходные каскады с электромагнитными или твердотельными (полупроводниковыми) реле, тиристорами, симисторами.

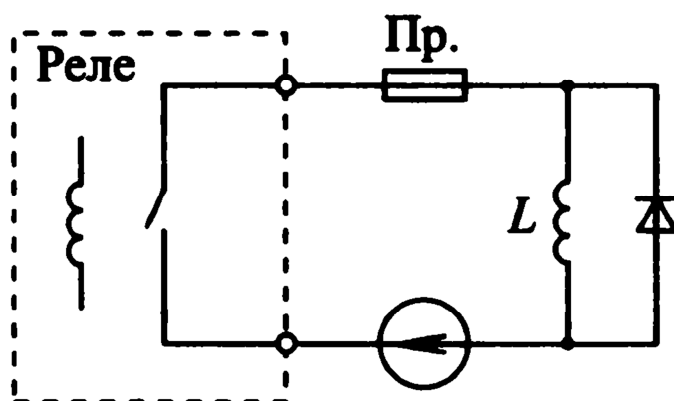


Рисунок 3.13 - Релейный выход. Применение диода для устранения искрения контактов реле при коммутации индуктивной нагрузки

Основным достоинством электромагнитных реле является очень низкое падение напряжения на замкнутых контактах, что исключает необходимость их охлаждения. Недостатком является ограниченное количество срабатываний (порядка $10^5 \dots 10^6$). Полупроводниковые реле, наоборот, имеют относительно большое сопротивление в открытом состоянии и требуют отвода тепла, но могут выполнить до 10^{10} переключений. Кроме того, полупроводниковые реле обладают более высокой надежностью и не имеют эффекта «дребезга контактов».

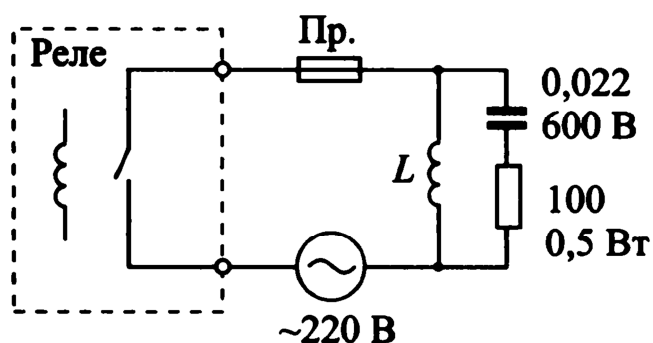


Рисунок 3.14 - Релейный выход. Применение RC-цепочки для предотвращения искрения контактов при коммутации индуктивной нагрузки

При использовании реле для коммутации индуктивной нагрузки возникает большая э.д.с. самоиндукции, которая вызывает пробой воздушного зазора при размыкании контактов и их искрение. Это приводит к быстрому износу контактов и появлению электромагнитных помех. Проблема решается с помощью диода, включенного параллельно катушке индуктивности при коммутации в цепи постоянного напряжения (рисунок 3.13) и RC-цепочкой в цепи переменного напряжения (рисунок 3.14). Контакты реле желательно защищать предохранителями.

При использовании твердотельных реле или тиристоров в высоковольтных цепях с длинными кабельными линиями используют защиту на варисторах (рисунок 3.15), TVS-диодах и газовых разрядниках.

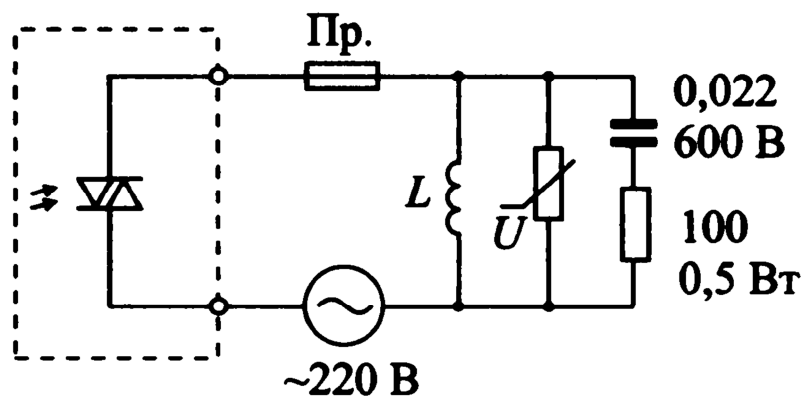


Рисунок 3.15 - Симисторный выход. Варистор используется для защиты симмистора от импульсов напряжения

3.2.3 Ввод частоты, периода и счет импульсов

Функции счетчика, частотомера и измерителя периода следования импульсов обычно совмещаются в одном и том же модуле ввода.

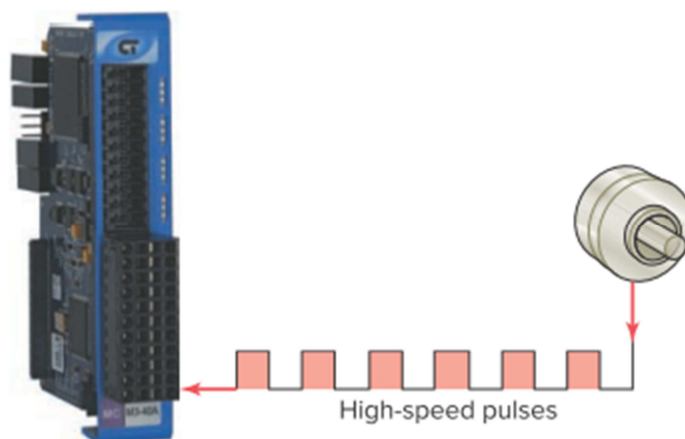


Рисунок 3.16 - Высокоскоростной модуль

Такие модули могут быть использованы для решения следующих задач:

- измерение скорости вращения вала двигателя с целью ее стабилизации или изменения по заданному закону;
- подсчет количества продукции на конвейере;
- измерение частоты периодического сигнала;

- работа с датчиками, имеющими импульсный выход (например, с энкодерами – датчиками угла поворота, электросчетчиками или анемометрами);
- автоматическое дозирование счетной продукции;
- подсчет количества продукции, выданной со склада.

Структура типового модуля ввода частотного сигнала представлена на рисунке 3.17. Он содержит два 32-разрядных счетчика-частотомера [4].

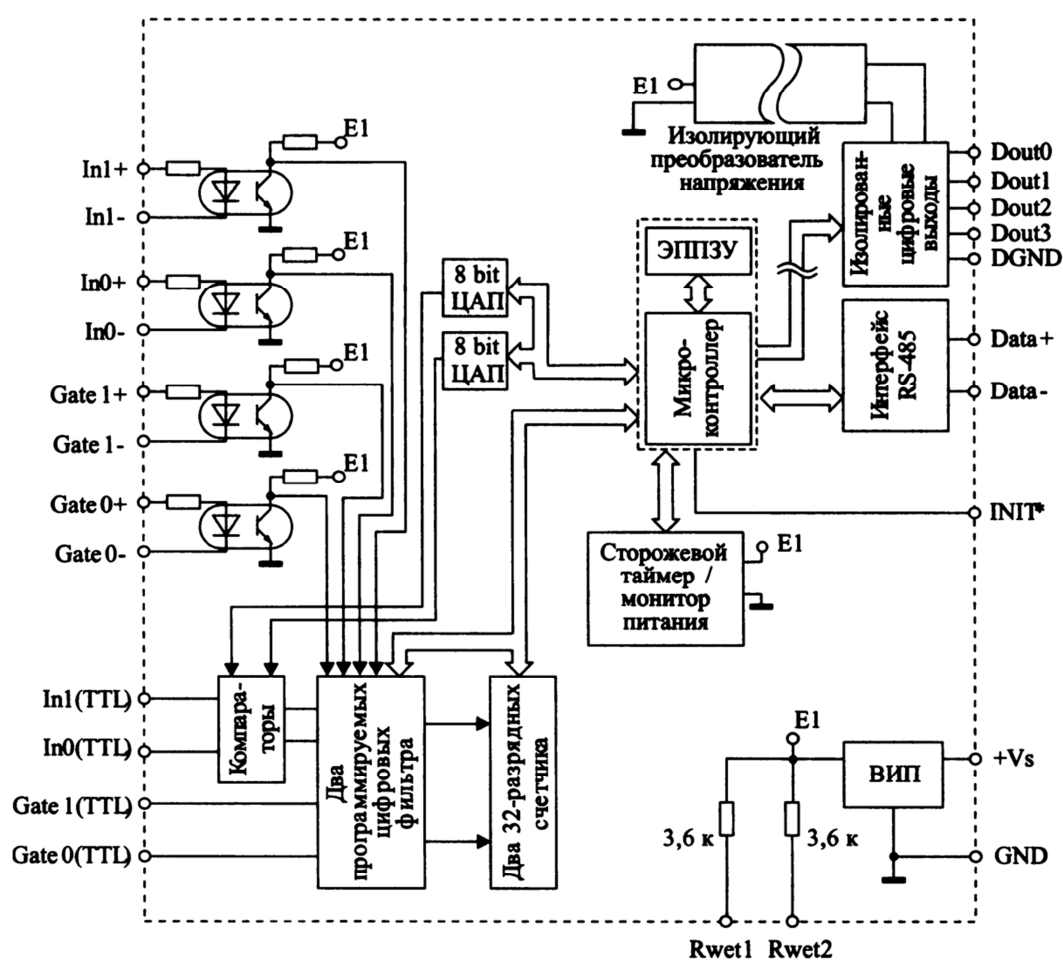


Рисунок 3.17 - Структурная схема модуля ввода частотных сигналов

Gate — входы разрешения счета; In — счетные входы с программируемыми логическими уровнями; Dout — дискретные выходы; INIT* — вывод для выполнения начальных установок модуля; Data+, Data выходы интерфейса RS-485

Каждый счетчик имеет изолированные и неизолированные входы. Изолированные входы выполнены с помощью оптрона и являются пассивными со стороны источника сигнала. Неизолированные входы имеют про-

граммно регулируемые уровни логического нуля и единицы. Это позволяет уменьшить вероятность ошибочного срабатывания модуля в условиях помех. Для регулировки уровней использованы два 8-разрядных цифровых управляемых потенциометра. Для подавления помех служит также цифровой фильтр с перестраиваемыми параметрами, выполненный на микроконтроллере, входящем в состав модуля.

Для расширения функциональных возможностей каждый счетный вход модуля имеет вход разрешения счета (Gate) и источник тока для питания «сухих» контактов. Модуль имеет также четыре изолированных дискретных выхода с общей «землей».

Счетчик содержит четыре микроконтроллера. Они выполняют следующие функции:

- исполняют команды, посылаемые из управляющего компьютера;
- выполняют алгоритм цифровой фильтрации;
- выполняют подсчет количества импульсов;
- реализуют протокол обмена через интерфейс RS-485.

В состав модуля входит сторожевой таймер, вырабатывающий сигнал сброса, если микроконтроллер перестает вырабатывать сигнал «ОК» (это периодический сигнал, подтверждающий, что микроконтроллер не «завис»). Второй сторожевой таймер внутри микроконтроллера переводит выходы модуля в безопасные состояния («Safe Value»), если из управляющего компьютера перестает приходить сигнал «Host OK».

Схема питания модулей содержит вторичный импульсный источник питания, преобразующий поступающее извне напряжение в диапазоне от +10 до +30 В в напряжение +5 В для питания электрической цепи внутри модуля. Модуль содержит также изолирующий преобразователь напряжения для питания каскадов вывода дискретных сигналов.

3.2.4 Модули управления движением

Контроллеры с модулями управления движением используются в роботах, металло- и деревообрабатывающих станках, сборочных линиях, типографских машинах, в оборудовании для обработки пищи, для дозирования и упаковки, для автоматической сварки и лазерной резки, для обработки полупроводниковых пластин и т.п.

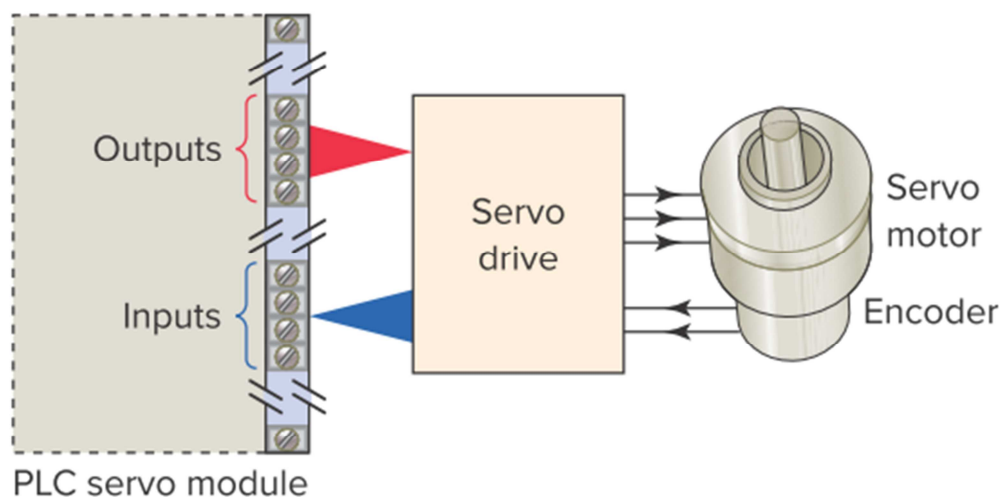


Рисунок 3.18 - Структурная схема модуля управления движением

В силу специфики задачи контроллеры для управления движением занимают отдельное место на рынке ПЛК, поскольку отличаются как параметрами модулей ввода-вывода, так и специализированным программным обеспечением. Основными отличиями от модулей общего применения являются повышенные требования к быстродействию и особый состав каналов ввода-вывода, оптимизированный для задач управления движением с целью минимизации стоимости.

Типовой системой управления движением является электропривод, который является частным случаем системы автоматического регулирования с обратной или прямой связью. В состав электропривода входит электродвигатель, датчики положения исполнительного механизма, контроллер и сервоусилитель.

Модули ввода-вывода для управления движением оптимизированы для ввода сигналов энкодеров, резольверов, тахометров, потенциометров и концевых выключателей, а также для вывода сигналов управления сервоусилителями. Основные параметры типовых модулей для управления движением приведены ниже.

Модули ввода могут иметь следующие входы:

- дифференциальные или одиночные входы счетчиков разрядностью 16/24/32 бит для сигналов энкодера;
- дискретные входы;
- входы прерываний процессора;
- аналоговые входы для сигналов от резольвера и потенциометра.

Типовые модули вывода могут содержать:

- аналоговые каналы вывода с разрядностью 12, 14 или 16 бит для управления сервоусилителями;
- дискретные выходы (обычно с открытым коллектором);
- цифровые выходы;
- импульсные выходы для шаговых двигателей.

Основные параметры модулей ввода-вывода:

- время обновления данных;
- разрядность и число АЦП и ЦАП;
- число дискретных и импульсных входов/выходов;
- емкость памяти в шагах;
- тип и возможности программного обеспечения;
- типы коммуникационных интерфейсов (RS-232/422, RS-485, USB, Ethernet, PCI, VME, ISA и др.).

Сигнал от инкрементного энкодера может поступать в некоторых случаях со скоростью до 20 Мбит/с, что требует быстродействующих

счетчиков импульсов. В некоторых модулях используются процессоры цифровой обработки сигналов и специализированные микросхемы (ASIC).

В системах управления движением специализированными являются не только модули, но и программное обеспечение. Приведем примеры некоторых встроенных функций, которые выполняются контроллерами для управления движением:

- плавный пуск;
- перемещение: непрерывное, абсолютное, относительное, синхронное, в контрольную точку (для калибровки и синхронизации);
- синхронизация координат в режиме контрольных точек;
- реализация заданной траектории движения в пространстве;
- интерполяция: линейная, круговая, сплайнами;
- возврат в начальное положение;
- ручной режим управления;
- управление зависимостью скорости от времени: трапецеидальная, S-образная (трапеция с закруглениями вместо углов);
- автонастройка контуров регулирования;
- отладка программы без реального привода;
- подавление резонансных явлений (вибраций);
- автоматическое распознавание двигателя;
- синхронизация работы нескольких приводов (в том числе при работе двигателей на общий вал);
- управление силой или давлением;
- защита (от непреднамеренного запуска, при сбоях в оборудовании, при срабатывании концевых выключателей);
- самодиагностика;
- мониторинг текущего состояния;

- аварийная сигнализация;
- аварийный останов;
- функция таймера.

Системы управления движением воспринимают информацию от программ автоматизированного проектирования (САПР) и чаще используются с компьютерами, чем с ПЛК [4].

4 Языки программирования промышленных контроллеров

Массовое применение программируемых промышленных контроллеров потребовало услуг высококвалифицированных профессионалов, способных решать вопросы программирования и внедрения этих контроллеров. В работах по внедрению этой техники в реальное производство участвуют программист, электронщик и технолог, досконально знающий автоматизируемый процесс. Однако, затраты времени и средств на эту работу, как правило, находятся в прямой зависимости от способностей программиста.

При создании АСУ ТП любой сложности всегда существовала тяжело решаемая проблема по взаимопониманию программистов и технологов. К сожалению, практика показывает, как трудно добиться от «главного специалиста» формализованного описания алгоритма. Пока успешнее всего работы по созданию АСУ ТП идут там, где программисты вникают во все тонкости конкретного технологического процесса. Зачастую при таком подходе программист остается единственным человеком, способным разобраться в своем творении, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Абсурдность такой ситуации породила стремление создать некие технологические языки программирования, доступные инженерам и технологам и максимально упрощающими процесс программирования.

За последнее десятилетие появилось несколько технологических языков. Более того, Международной Электротехнической Комиссией разработан стандарт МЭК 61131-3-2016, концентрирующий все передовое в области языков программирования для систем автоматизации технологических процессов. Этот стандарт требует от различных изготовителей ПЛК предлагать команды, являющиеся одинаковыми и по внешнему виду, и по действию.

Стандарт специфицирует 5 языков программирования:

- **Sequential Function Chart (SFC)** – язык последовательных функциональных блоков;

- **Function Block Diagram (FBD)** – язык функциональных блоковых диаграмм;
- **Ladder Diagrams (LD)** – язык релейных диаграмм;
- **Structured Text (ST)** – язык структурированного текста;
- **Instruction List (IL)** – язык инструкций.

Широко применяется язык программирования Continuous Flow Chart (CFC) – язык непрерывных потоковых диаграмм, но он не сертифицирован стандартом МЭК 61131-3-2016

ST и IL являются неким программистским «эсперанто» – они вобрали в себя наиболее общие операторы языков типа Pascal и ассемблер. Они обеспечивают совместимость стандарта с ранними версиями программного обеспечения производителей контроллеров. Язык SFC позволяет осуществлять программирование на алгоритмическом уровне, но предполагает конечную реализацию программы на других языках. Язык LD отдает дань поклонникам стиля, когда программы похожи на электрические схемы релейной логики. Язык FBD напоминает создание схем на логических элементах.

Наибольшее распространение в настоящее время получили языки LD, ST и FBD (CFC). Охарактеризуем их более детально [6].

4.1.1 Язык релейных диаграмм (язык контактного плана)

Является графическим языком программирования. При создании программы в форме контактного плана используются графические компоненты, с помощью которых строятся логические сети, сходные с электрическими релейными схемами.

В LD можно использовать следующие элементы и основные правила:

- контакты: каждый контакт представляет собой переключатель, через который при замкнутом состоянии может протекать ток.
- катушки: каждая катушка представляет собой реле, которое включается при протекании тока.

- блоки: каждый блок представляет собой функцию, которая выполняется, когда к блоку течет ток.
- сети: сеть образует полную цепь тока, который течет от левой шины тока через замкнутые контакты к катушкам или блокам – за счет этого они активизируются.

Графическое представление элементов программы воспринимается более легко, чем текстовое, поэтому этот язык и ему подобные максимально наглядны (особенно для тех, кто привык работать с электрическими схемами), позволяет исключить многие ошибки программирования свойственные «обычным» языкам. Этот язык можно рекомендовать для использования начинающими программистами.

Рассмотрим составление программы с помощью релейных диаграмм на нескольких небольших примерах.

Всем возможным типам переменным в контроллерах присвоены системные имена. Для элементов логической схемы, алгоритма предусматриваются специальные обозначения, напоминающие обозначения элементов электрических схем. На рисунке 4.1 показаны, последовательно включенные, два ключа Sensor 1 и 2(входы) и катушка реле Caution PL1 (выход). Вертикальная линия условно определяет собой цепь подачи питания. Выход активизируется тут же, как только появится сигнал на входах Sensor 1 и 2.

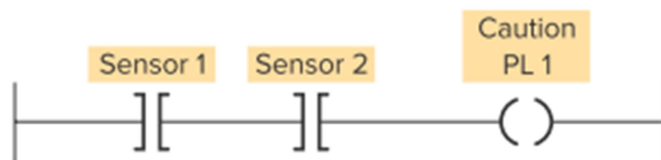


Рисунок 4.1 - Пример представления одной логической цепи в языке LD

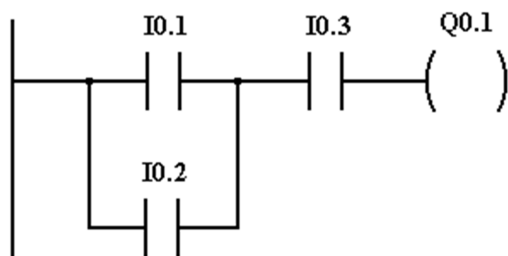


Рисунок 4.2 - Пример представления в языке LD цепи реализующей логическую функцию
ИЛИ-И

На рисунке 4.3 представлена программа, включающая в себе блок таймера. Указанный в программе таймер, имеет дискретность отсчета 10 мс. Уставка таймера равна 300 и он сработает через 3000 мс после поступления сигнала на вход I0.1. При этом замкнутся управляющий контакт таймера T32 и выход Q0.1 будет активизирован. Все действия программы выполняются по очереди – шаг за шагом, поэтому программа состоит из двух цепей.

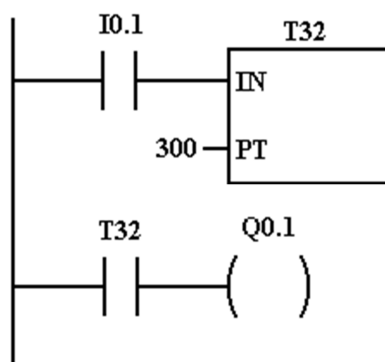


Рисунок 4.3 - Пример представления в языке LD программы с таймером

Программа, представленная на рисунке 4.4, будет по очереди выполнять сложение, умножение и деление соответствующих переменных после поступления сигнала на вход I0.1.

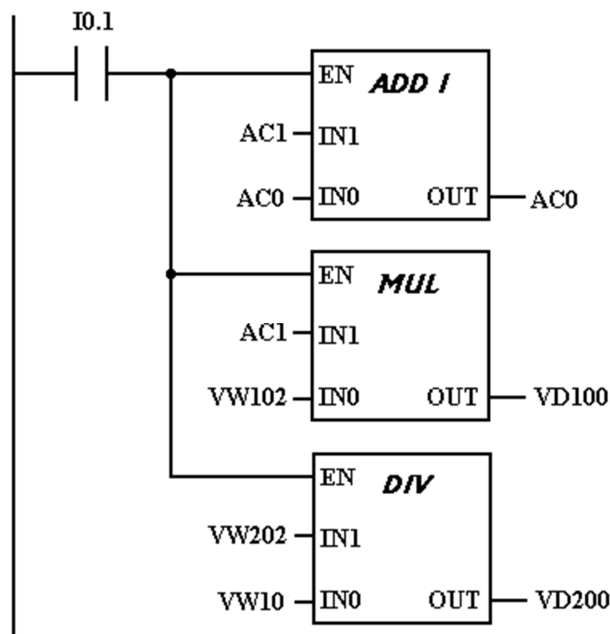


Рисунок 4.4 - Пример представления в языке LD программы для выполнения арифметических операций

4.1.2 Язык функциональных блокковых диаграмм FBD (язык функционального плана)

Описывает функции между входными переменными и выходными переменными функциональных блоков (рисунок 4.5). Эти функции описываются в виде сочетания элементарных функциональных блоков. Каждый функциональный блок представляется прямоугольником, внутри которого имеется обозначение функции, выполняемой блоком.

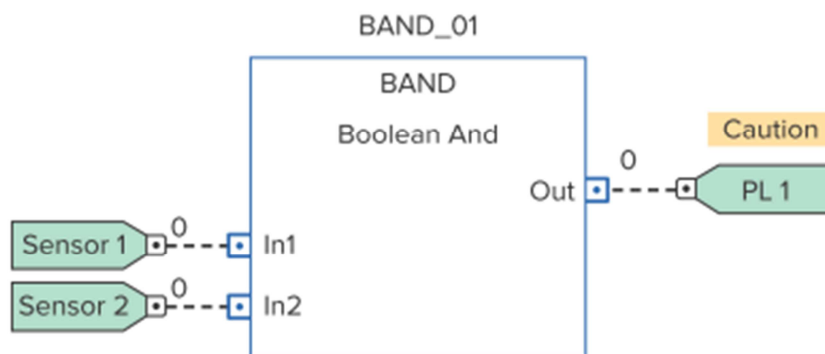


Рисунок 4.5 - Функциональный блок языка FBD

Выход функционального блока может быть соединен с другими блоками. Логика программы выводится из соединений между этими блоками. Иными словами, выход одной команды (например, блока AND) может использоваться для того, чтобы разрешить другой команде (например, таймеру) создать необходимую логику управления. На рисунке 4.6 показан элемент программы, созданной при помощи языка функционального плана.

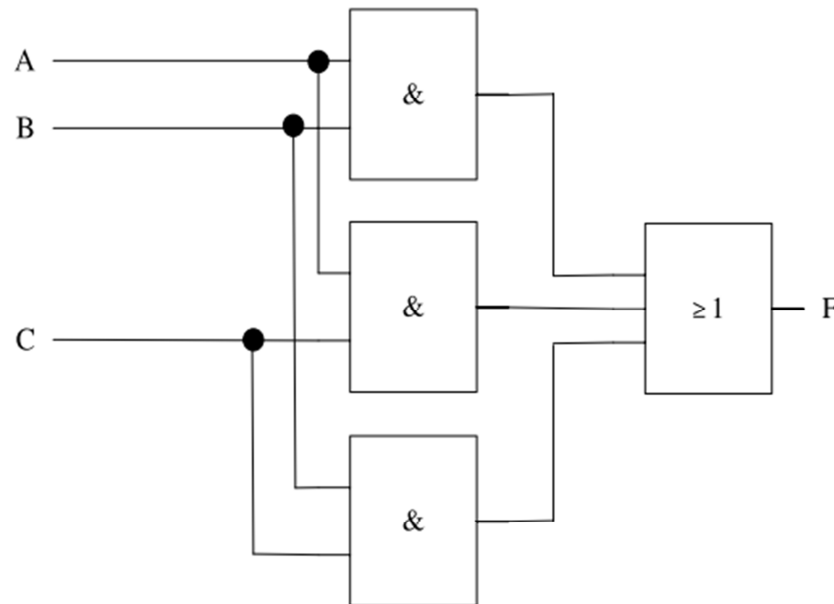


Рисунок 4.6 - Вид программы на языке FBD

В качестве библиотечных блоков используются не только элементарные функции, но и алгоритмы П-, ПИ-, ПИД-регулирования, фильтрация сигналов, стабилизация заданных параметров. Набор из математических и статистических функциональных блоков позволяет просто организовать необходимые вычисления и обработку сигналов.

Приведем основные формальные правила языка FBD:

- функциональные блоки могут располагаться в поле программы произвольно;
- не может быть свободных (несоединенных) входов и выходов функционального блока;
- любая связь (NET) может иметь имя переменной;
- входы и выходы функциональных блоков, присоединенные к связям, имеющим одинаковые имена, считаются соединенными;

- очередность выполнения блоков в программе: слева направо, сверху вниз.

Переменные FBD-программ присоединяются к входным/выходным точкам функциональных блоков.

На входе FBD-блока может быть

- константное выражение;
- любая внутренняя или входная переменная;
- выходная переменная.

На выходе FBD-блока может быть любая внутренняя или выходная переменная. В таблице 1 приведены примеры базовых функций языка FBD. Программы на языке FBD напоминают электрические принципиальные схемы логических устройств и формально соблюдают алгоритмы их работы. Однако, несмотря на всю схожесть с электрическими схемами, язык FBD содержит метки, операторы условного и безусловного переходов, которые свойственны традиционным процедурным языкам программирования. Графический стиль представления программы в форме логических элементов удобно использовать для последующего составления ее блок-схемы.

Таблица 4.1-Примеры базовых функций языка FBD

Функции двоичного типа	NOT, AND, OR, XOR, SET, RESET
Функции управления программой	RETURN, GOTO, CALL
Арифметические функции	ADD, SUB, DIV, MUL
Функции сравнения	=, <>, >, <, >=, <=
Математические функции	ABS, EXPT, LOG, SQRT
Тригонометрические функции	ACOS, ASIN, ATAN, COS, SIN, TAN

4.1.3 Язык структурированного текста

ST представляет собой язык программирования, в котором каждая команда программы содержит операцию, мнемоника которой определяет ту или иную функцию контроллера. Эти операции связываются в одну программу так, чтобы создать систему управления приложением. По способу представления программа, созданная в списке команд, очень похожа на обычный ассемблер.

Пакеты по созданию программ для ПЛК, как правило, предоставляют возможность выбора языка представления. Например, Вы можете предпочитать создавать программы в среде, более ориентированной на графическое представление, тогда как кто-то другой может предпочитать стиль языка ассемблера, основанный на текстовом представлении. Более того, обычно предоставляется возможность переходить от одной к другой форме представления уже созданной программы, т.е. работать с ней в той форме представления, которая является более привычной именно для разработчика [1].

4.2 Стандарт МЭК 61131

В 1979 году в рамках Международной электротехнической комиссии (МЭК) была создана специальная группа технических экспертов по проблемам ПЛК, включая аппаратные средства, монтаж, тестирование, документацию и связь.

Каждый производитель, создавая контроллер, создавал и язык программирования к нему, что вынуждало покупателей искать программистов под конкретную модель. Но со временем стала очевидной необходимость стандартизации контроллеров – от интерфейсов до языка программирования.

Первый вариант стандарта был опубликован в 1982 году. Ввиду сложности получившегося документа было решено разбить его на несколько частей.

Первоначально стандарт имел номер 1137, с 1997 года МЭК перешел на 5-цифровые обозначения. Теперь правильное наименование международной версии стандарта – МЭК 61131.

4.3 Структура стандарта МЭК 61131

Первая часть этой серии стандартов – стандарт МЭК 61131-1 – посвящен общему описанию программируемого контроллера (ПЛК), включая терминологию по ПЛК, описание его структуры и функциональных характеристик – функций обработки сигналов, интерфейсов ввода/вывода, связи, человеко-машинного взаимодействия, программирования, надежности и эргономики.

Основным стандартом, относящимся к аппаратуре программируемых контроллеров, является МЭК 61131-2, который достаточно широко используется. В нем приведены:

- требования к контроллерам по условиям их эксплуатации, транспортировки и хранения, включая температуру, влажность, давление, механические воздействия и пр.;
- электрические требования, включая требования по аналоговому и дискретному вводу/выводу, питающим напряжениям, связным ин-

терфейсам, процессорам, памяти, периферии, устойчивости к внешним помехам и излучаемым помехам, изоляции, самотестированию и диагностике;

- требования безопасности, включая защиту от электрических поражений, разряды через зазоры, огнестойкость, ограждения, термостойкость механических соединений, заземления, батареи и др.;
- тестирование и испытания по проверке выполнения;
- информация, которую должен прикладывать к продукции производитель контроллеров.

МЭК 61131-4 – это руководство пользователя, работающего по этим стандартам, в котором собраны полезные данные для всех этапов жизненного цикла контроллеров.

Важнейшим расширением стандарта МЭК 61131-3 является стандарт МЭК 61131-5, посвященный программированию связей между контроллерами и другими программируемыми системами. Этот стандарт опирается на стандарт спецификации производственного сообщения – Manufacturing Message Specification (MMS, ISO/IEC 9506). В стандарте определены сервисы прикладного уровня, такие как сетевая проверка (сертификация) приборов, сбор данных (по вызову и программируемый), управление по сети (параметрическое и защитное), сообщения о тревогах, вызовы исполнения программ, передача прикладных программ, управление связью. Сервисы представлены на языках программирования, определенных в МЭК 61131-3. Даны диаграммы состояний и переходов для каждого сервиса [3].

Шестая часть стандарта сначала была зарезервирована для будущего использования, и недавно было принято решение об отведении её для описания полевых шин.

Седьмая часть серии стандартов – МЭК 61131-7 – посвящена языку программирования нечеткого контроля и управления. Здесь речь идет о введении стандартных описаний элементов нечеткого управления на языках программирования контроллеров, определенных в МЭК 61131-3 (главным образом, на

языке FBD). Определены модель и функциональные элементы нечеткого управления, таких как размытие (fuzzification), обратное уплотнение (defuzzification), производящие правила по алгоритму последовательных операций соединения (aggregation), активации (activation) и накопления (accumulation). В результате в стандарте определен родовой язык нечеткого контроля и управления (Fuzzy Control Language – FCL). В стандарте приводятся многочисленные примеры FCL. Рассмотрены уровни соответствия систем контроля и управления, использующих FCL.

МЭК 61131-8 содержит руководящие принципы для разработчиков программного обеспечения для языков программирования, определенных в части 3.

Основным стандартом, относящимся к программному обеспечению контроллеров, является стандарт по языкам программирования контроллеров – МЭК 61131-3. В этой части определены два текстовых языка программирования (IL – Instruction List и ST – Structured Text) и два графических языка (LD – Ladder Diagram и FBD – Function Block Diagram) и конкретизирован для контроллеров графический язык последовательных функциональных диаграмм (SFC – Sequential Function Chart), введенный ранее как стандарт МЭК 848.

Все эти языки программирования контроллеров взаимосвязаны. Для них всех стандарт определяет единые модели программного обеспечения, связанных функциональных блоков и собственно модель программирования. Стандартизованы общие элементы этих языков и, прежде всего, используемые символы, типы данных и переменные. Определены функции и функциональные блоки, их объявление, наборы стандартных функций и функциональных блоков, понятия программ на этих языках. Стандарт определяет и такие общие элементы, как конфигурации, ресурсы, пути доступа, задачи. Все это дает возможность проведения программирования на любом из этих языков или их совместного использования с обеспечением генерации кодов единой программы. И, наконец, в стандарте рассмотрена специфика каждого из этих языков.

В приложениях к стандарту даны формальные спецификации элементов текстовых языков, а в качестве информационного материала – множество при-

меров конкретных функций, блоков функций и программ, написанных на этих языках. Они вместе со стандартными функциями и функциональными блоками становятся основой для создания богатых библиотек стандартных элементов программ для систем контроля и управления.

Стандарт МЭК 61131-3 определяет языки для программируемых контроллеров таким образом, что части прикладной программы могут быть запрограммированы на любом языке и скомпонованы в единую исполняемую программу. При разработке стандарта было найдено очень много вариаций языков для программируемых контроллеров, что было невозможно выбрать одну из них в качестве общего языка. Стандарт включает структурное программирование, абстрактные типы данных, выделение данных и процедур в блок в сочетании с сохранением тесной связи с классическими языками для программируемых контроллеров.

Стандарт МЭК 61131-3 описывает два графических языка: «Релейные диаграммы» (LD) и «Диаграммы функциональных блоков» (FBD). В этих языках графические символы обеспечивают прямое соответствие между графическим представлением решения задачи и программой, решающей эту задачу.

LD использует стандартизированный набор символов для ступенчатого программирования. По существу эти диаграммы являются представлением релейной логики. Люди, понимающие релейную логику, могут с легкостью программировать на языке релейных диаграмм.

FBD – это графический язык, который повсеместно используется в Европе. Элементы этого языка выглядят как блоки, соединенные проводами в электрическую цепь, делая язык удобным для множества прикладных программ, содержащих передачу информации или данных между различными компонентами. Функциональные блоки – это программные объекты, которые представляют специализированные функции управления, используемые в управляющих системах. В терминах объектно-ориентированного программирования функциональные блоки – это объекты, но не все объекты являются функциональными блоками.

В дополнение к графическим языкам стандарт МЭК 61131-3 определяет элементы языка «Последовательные функциональные схемы» (SFC) – «шаги», «переходы» и «блоки операций», которые могут быть использованы для организации «операций», написанных на любом языке, и для получения алгоритмов последовательного управления. Основой элементов SFC служит стандарт МЭК 848, который является международной версией известного французского стандарта «Grafcet» [3].

В МЭК 61131-3 определяется также два стандартных текстовых языка: «Список инструкций» (IL) и «Структурированный текст» (ST). IL – это язык низкого уровня, в то время как ST – это язык высокого уровня, разработанный для структурного программирования. Язык ST предоставляет булевы и арифметические операторы, а также конструкции структурного программирования – развилки и циклы.

Одной из задач, появившейся у подразделения экспертов, было гармоничное использование функциональных блоков в среде четырех стандартных языков. Традиционным использованием функциональных блоков в языке LD было программное замещение простых электромеханических элементов, таких как счетчики и таймеры, в то время как их использование в FBD оказалось более сложным, напоминающим разводку кросс-плат в стационарных управляющих системах. Использование функциональных блоков в языке IL и LD примерно одинаково, в то время как не было никакого механизма их использования в традиционных структурированных языках, таких как Паскаль или Си.

В итоге МЭК 61131-3 содержит:

Богатый набор стандартных функций:

- функции с битовыми строками (AND, OR, XOR, NOT, SHL, SHR, ROL, ROR);
- числовые функции (ADD, SUB, MUL, DIV, MOD, EXPT, MOVE, ABS, SQRT, LN, LOG, EXP, SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN);
- преобразования типов;
- функции выбора (GT, GE, EQ, LT, LE, NE);

- функции сравнения (LEN, LEFT, RIGHT, MID, CONCAT, INSERT, DELETE, REPLACE, FIND);
- функции, определяемые производителем и пользователем.

Различные функциональные блоки:

- блоки синхронизации состояний (SR, RS, SEMA);
- дифференцирование переднего и заднего фронта (R.TRIG, F.TRIG);
- счетчики (CTU, CTD, CTUD);
- таймеры (TP, TON, TOF, RTC);
- функциональные блоки, определяемые пользователем и производителем.

С помощью этих функций и блоков выполняется множество операций над большим количеством стандартных типов данных:

- битовые строки (BOOL, TYPE, WORD, DWORD, LWORD);
- целые (SINT, INT, DINT, LINT);
- беззнаковые целые (USINT, DINT, IDINT, ULINT);
- вещественные (REAL, LREAL);
- временные (TIME, DATE, TIME OF DAY, DATE AND TIME);
- строки символов (STRING);
- типы данных, определяемые производителем и пользователем:
 - а) единичный элемент, подмножество, численное значение;
 - б) массив, структура.

Эксперты понимали, что не смогут определить все типы данных и операции для решения всех возможных проблем управления. Поэтому в МЭК 61131-3 детально описываются механизмы, посредством которых производители и пользователи могут определить новые типы данных, функции и функциональные блоки. Таким образом, данный стандарт является «саморасширяющимся», и можно ожидать, что он будет в состоянии обслуживать много поколений новых технологий управления [3].

В МЭК 61131-3 детально описываются механизмы инкапсуляции данных и операций. Например, если пользователь хочет снова и снова применять одну

и ту же последовательность функций управления, он может выделить ее в функциональный блок, поместить этот функциональный блок в «библиотеку», а затем установить копии этого функционального блока столько раз, сколько потребуется для управляющих программ. Причем, внутренняя реализация может быть выполнена на любом языке МЭК 61131-3 или даже на каком-либо другом стандартном языке (таком, как Си или Паскаль).

Инкапсуляция дает возможность упрятать детали реализации блока от его пользователя, которому необходимо иметь представление только о его применении. Такой подход ведет к созданию высококачественного, общедоступного и экономичного программного обеспечения для управляющих систем.

4.4 Комплексы программирования МЭК 61131-3

Контроллеры, программирование которых осуществляется со встроенного или выносного пульта, встречаются сегодня достаточно редко. Как правило, это простые специализированные ПЛК, предназначенные для управления освещением по расписанию, регулировки температуры и т. д. Все программирование таких контроллеров сводится обычно к заданию набора констант. Для программирования ПЛК универсального назначения применяются ПК. Процесс разработки и отладки программного обеспечения происходит при помощи специализированных комплексов программ, обеспечивающих комфортную среду для работы программиста.

Традиционно все ведущие изготовители программируемых ПЛК имеют собственные фирменные наработки в области инструментального программного обеспечения. Большинство из них представляют удобные инструменты, оптимизированные под конкретную аппаратуру. Понятно, что в разработке универсальных систем программирования, приемлемых для своих ПЛК и для ПЛК конкурентов, изготовители не заинтересованы. Кроме того, это достаточно сложная задача. Системы программирования ПЛК небольших фирм в лучшем случае реализуют один из языков МЭК с некоторыми расширениями, призванные сохранить совместимость со своими же более ранними системами.

Крупнейшие же лидеры рынка ПЛК предлагают сегодня очень мощные комплексы с поддержкой МЭК-языков.

Открытость МЭК-стандарта – с одной стороны, и сложность реализации высококласных комплексов программирования с другой, привели к появлению специализированных фирм, занятых исключительно инструментами программирования ПЛК. Во Франции такие фирмы называют «домом программирования». Как и изделия домов мод системы программирования отличаются своим фирменным почерком, имеют свой стиль и собственных стойких поклонников. Но, к счастью, отличия комплексов сосредоточены в реализации интерфейса, в стиле графики, наборе сервисных функций, дополнительных библиотеках и в реализации системы исполнения, т. е. в том, что не касается применения стандарта [6].

Наибольшей известностью в мире пользуются следующие комплексы:

4.4.1 CoDeSys

3S Smart Software Solutions

CoDeSys это один из самых развитых функционально полных инструментов программирования МЭК 61131-3. Все дальнейшее изложение в данной книге опирается на CoDeSys. Это не означает, что приведенная информация непригодна для других систем программирования. Везде, где есть существенные отличия или тонкости реализации, это будет особо подчеркнуто. Опора на CoDeSys означает, что все примеры реализованы и протестированы именно в этой системе, если на это указано специально. Далее мы рассмотрим данный комплекс более подробной

4.4.2 ISaGRAF

CJ Interruptional

Наиболее яркая особенность ISaGRAF – это аппаратно независимый генератор ТИС кода (Target Independent Code), благодаря чему, система исполнения интерпретирующего типа очень проста в адаптации. Какие-либо ограничения

на аппаратную платформу практически отсутствуют. Помимо генерации ТИС-кода, в ISaGRAF существует возможность трансляций проекта в С текст.

4.4.3 MULTIPROG wt

Klopper and Wiege Software GmbH

Исключительно продуманный, красивый и удобный инструмент с широкими возможностями моделирования и визуализации. Система исполнения базируется на собственной операционной системе реального времени ProConOS (Programmable Controller Operating System), управляющей исполнением пользовательских задач. Первая версия MULTIPROG вышла еще в начале 80-х гг. XX в. под операционную систему CP/M. В настоящее время MULTIPROG ориентирован на Windows, о чем говорит суффикс wt (windows technology) в названии.

4.4.4 QpenPCS

Infoteam Software GmbH

Уникальная особенность комплекса QpenPCS заключается в использовании языка IL в качестве промежуточного кода. Элементы программы, выполненные на любом МЭК-языке, можно копировать в буфер обмена Windows и вставлять в программу на другом языке с автоматическим перекодированием. Для достижения высокого быстродействия в составе комплекса присутствуют компиляторы машинного кода для ряда распространенных процессоров. Симулятор ПЛК SmartSIM позволяет проводить обучение и отладку без внешней аппаратуры.

4.4.5 SoftCONTROL

Softing GmbH

Фирма Softing – крупный поставщик систем промышленной автоматизации. По всей видимости, комплекс SoftCONTROL создавался специалистами фирмы для себя, но благодаря удачному построению перерос в универсальный инструмент. Комплекс имеет сравнительно аскетический интерфейс. Тем не ме-

нее, это не отражается на качестве реализации транслятора и отладочного инструментария. Таким образом, SoftCONTROL более напоминает выверенный годами инструментарий опытного, автомеханика, чем подарочный набор. Благодаря такому подходу комплекс имеет минимальные требования как к ПК, так и к ПЛК*. Язык С интегрирован в систему и может применяться в пользовательских программах равноправно МЭК-языкам.

4.4.6 iCon-L

ProSign (Process Design) GmbH

Строго говоря, iCon-L не является инструментом МЭК 61131 программирования. Этот инструмент базируется на графическом представлении; функциональных блоков. Содержит элементы, позволяющие создавать последовательные (SFC) диаграммы. Уникальным свойством iCon-L является чрезвычайно развитая возможность анимации. Непосредственно в диаграмме можно выполнить визуализацию не только самого-алгоритма, переменных, контроллера, но и даже управляемого объекта. Компактная переносимая (ANSI-C) система исполнения. Объемная библиотека блоков, включая элементы нечеткой логики. Есть возможность создавать собственные функциональные блоки на языке С [6].

Каждый из представленных комплексов оснащен полным набором средств быстрой разработки и отладки программ, но имеет и достаточно много фирменных «изюминок».

Открытость МЭК-стандарта – с одной стороны, и сложность реализации высококлассных комплексов программирования – с другой, привели к появлению специализированных фирм, занятых исключительно инструментами программирования ПЛК.

4.5 Выбор контроллеров

Выбор рационального для каждой конкретной задачи ПЛК является важным для любого заказчика. В то же время определение наилучшего ПЛК из

всей их совокупности, имеющейся на рынке, является далеко не однозначной и не простой задачей, поскольку оно должно учитывать все свойства автоматизируемого объекта, удовлетворять поставленным требованиям к системе контроля и управления, находить некий рациональный компромисс между различными противоречивыми критериями (мощность, надежность, открытость, стоимость и т.д.).

Учитывая специфику устройств, критерии оценки можно разделить на три группы (рисунок 4.7):

- технические характеристики;
- эксплуатационные характеристики;
- потребительские свойства.

При этом критериями выбора считать потребительские свойства, т.е. соотношение показателей затраты/производительность/надежность, а технические и эксплуатационные характеристики ограничениями для процедуры выбора [5].



Рисунок 4.7 - Классификация критериев выбора ПЛК

Кроме того, необходимо разделить характеристики на прямые – для которых положительным результатом является её увеличение (на рисунке обозначены – "*") и обратные – для которых положительным результатом является её уменьшение (на рисунке обозначены – "***").

В таблице перечислены одиннадцать основных моментов, определяющих пригодность того или иного промышленного контроллера для решения определенной задачи. Эта информация призвана помочь выбрать определенное устройство в ситуации, когда требуются различные комбинации реле, таймеров, аналоговых инструментов, программируемых (интеллектуальных) реле (Smart

relay), ПЛК (Programmable Logic Controller, PLC) и ПКА (Programmable Automation Controller, PAC). Рекомендации затрагивают также требуемое количество портов I/O, расширения, программное обеспечение (ПО) и коммуникации. Распределенные системы управления (Distributed Control Systems, DCS) намеренно не включены в данный обзор, поскольку большинство из них основано на ПЛК.

Характеристики	Реле/таймер	Программируемое (интеллектуальное) реле	ПЛК	ПКА
Максимальное число портов I/O	10	20	До 2000	До 100 000
Размер	Большой	Малый	Зависит от числа портов I/O	
Возможности локального расширения	Нет		Средние	Высокие
Возможности дистанционного расширения	Нет		Средние	Высокие
Среда программирования	Нет	Релейно-контактные, некоторые функциональные блоки	Релейно-контактные и, возможно, другие специализированные функциональные блоки	Множественные релейно-контактные, структурированный текст, функциональные блоки и др.
Стоимость ПО	Бесплатно	Бесплатно или очень низкая стоимость	Бесплатно или невысокая стоимость	Невысокая и высокая стоимость
Стоимость оборудования	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Программная память	Нет	Низкая	Высокая	Очень высокая
Простота использования	Очень просто	Просто	Средняя сложность	Высокая сложность
Конфигурируемость	Очень низкая	Низкая	Высокая	
Подключение к другим системам	Только провода	Один протокол соединения и один коммуникационный порт	Множество протоколов и коммуникационных портов	

Рисунок 4.8 - Критерии выбора ПЛК

Несмотря на широкую доступность и дешевизну программируемых реле и малогабаритных PLC, тысячи систем управления, построенных за последние годы, по-прежнему используют реле, таймеры и аналоговые измерительные приборы. Большим преимуществом этих систем является их простота, при которой даже неквалифицированный техник может быстро понять и локализовать неполадки. Данные устройства не требуют программирования, поэтому для их работы не требуется лицензионное ПО или персональный компьютер (ПК). Когда количество реле в системе превышает четыре, то это может служить хорошим поводом для перевода системы на использование программируемых (интеллектуальных) реле.

За последние годы программируемые «интеллектуальные» реле получили достаточное развитие, так что грань между ними и возможностями небольших ПЛК постепенно стерлась. Интеллектуальные реле могут быть запрограммиро-

ваны с помощью ПО посредством ПК, но многие имеют возможность программирования с помощью клавиатуры и дисплея на лицевой панели. Для этого доступны, на выбор, либо язык релейной логики, либо программирование с помощью функциональных диаграмм. А аналоговая часть в таких реле может быть как минимальной, так и отсутствовать вовсе [8].

ПЛК могут быть представлены как миниатюрными, имеющими приблизительно 32 встроенных входа/выхода (I/O), так и полнофункциональными системами, имеющими тысячи портов входов/выходов. ПЛК программируют с помощью ПО на ПК, так что любые изменения в программе контроллера потребуют наличия компьютера. Однако при этом многие параметры могут быть подстроены с помощью встроенного интерфейса с оператором, который представляет из себя комбинацию ПЛК и человеко-машинного интерфейса (HMI), и являются новым классом контроллеров.

ПКА имеют более широкие возможности по сравнению с ПЛК, в особенности для управления очень сложными системами, связанными с автоматизацией технологических процессов. ПКА умеют управлять системами, связанными с движением, объединенными системами машинного зрения, а также имеют расширенное управление аналоговыми контурами.

4.6 Современный рынок контроллерных средств

Основные производители данной продукции: ABB (распространяющая также контроллерные средства фирм Baily Controls и Gartner & Braun), Beckhoff, Foxboro, Groupe Schneider, Emerson, General Electric Fanuc Automation, Honeywell, Koyo Electronics, Tornado, Triconex, PEP, Trey, Control Microsystems, GF Power Controls Metso Automation, Moore Products, Omron, Rockwell Automation, Siemens, Yokogawa, VIPA, ICP DAS, Schneider Electric, Mitsubishi и др.

С зарубежными производителями в разных классах контроллерных средств конкурирует большое число российских предприятий: "Автоматика", "ВЕГА", "ОВЕН", "Завод электроники и механики", "ЗЭИМ Инжиниринг", "Интеравтоматика", "НВТ Автоматика", "ПИК ЗЕБРА", "РИУС", "Реалтайм",

"Системотехника", "Трейд", "Эмикон", "Импульс", "Инсист Автоматика", "Интеравтоматика", "Квантор", НИИтеплоприбор, "НВТ-Автоматика", ПИК "Прогресс", "Саргон", "Системотехника", ТЕКОН, "Электромеханика", ЭМИКОН и др.

Контроллеры, выпускаемые различными фирмами, в подавляющем большинстве случаев весьма похожи друг на друга. Отчасти это, конечно, может быть связано и с тем, что каждый производитель старается перенять любое удачное решение фирмы-конкурента. Но главной и основной причиной такой схожести является понимание производителей, что работать они должны в рамках общепринятых стандартов и соглашений. Только при соблюдении этого условия их продукция будет максимально широко использоваться и будет конкурентоспособной. Стандарты и соглашения касаются самых разнообразных сторон этой области – речь идет и о языках программирования контроллеров, драйверов их сетевого обмена, электрической и конструктивной совместимости и т. д.

Для того чтобы сложилось достаточно полное представление обо всем классе этих устройств, достаточно детально познакомимся с отдельными его представителями [6].

Список использованной литературы

1. Бармин.А. Устройства локальной автоматики. Микроконтроллеры. // СТА. 2003.№4.
2. Гольцов, А.С. Промышленные контроллеры: учеб.пособие/ сост.А.С.Гольцов М.А.Трушников, А.В.Савчиц, В.В. Корзин; ВПИ (филиал) ВолгГТУ.- Волгоград, 2011. – 79 с.
3. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования – Введ.2017-04-01. –М.: Стандартинформ, 2016. – 230 с.
4. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием/ В.В. Денисенко. – М.:Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
5. Ицкович Э.Л. Классификация микропроцессорных программно-технических комплексов // Промышленные АСУ и контроллеры. 1999. №4
6. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования / И.В. Петров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. - 256с.
7. Программируемые контроллеры автоматизации [Электронный ресурс]// Control Engineering Россия. URL: <http://controlengrussia.com/programmnye-sredstva/programmiruemye-kontrollery-avtomatizacii-pac/i> (дата обращения 20.09.2018)
8. Фам, Дон Критерии выбора промышленных контроллеров // Control Engineering. 2015. №5.
9. Petruzella, Frank D. Programmable logic controllers / Frank D. Petruzella.— New York.: McGraw-Hill Education,- 2017. – 414 p.

Электронное учебное издание

Максим Алексеевич **Трушников**
Артем Вячеславович **Савчиц**
Алексей Александрович **Силаев**

ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Учебно-методическое пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2018 г. Поз. № 46.

Подписано к использованию 01.10.2018. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,13.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.