

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



Джеймс А. Рег
Гленн Дж. Сартори

УДК 621.38
ББК 32.973.26-108.2
Р31

Рег Дж.

Р31 Промышленная электроника. – М.: ДМК Пресс; 2016. – 1136 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-218-8

Предметом промышленной электроники является электроника, используемая при выполнении технологических процессов, необходимых для производства различных видов товаров и услуг.

В этой книге рассмотрены многие элементы электронных систем, причем акцент сделан на том, как эти элементы вписываются в промышленное применение. Учебник выстроен в соответствии с традиционными курсами промышленной электроники, существующими в технических университетах. В нем рассматриваются двигатели постоянного и переменного токов, вопросы дискретного и аналогового управления производственным процессом, ключи и датчики, а также системы управления и автоматизации производства. Кроме того, разделы, посвященные механотронике, в равной степени полезны и для изучающих курс механики, поскольку знакомят с концепциями электро-механики, используемыми в промышленных машинах и автоматике.

Издание предназначено студентам старших курсов радио- и электротехнических специальностей вузов, обучающихся по специальности «Промышленная электроника», инженерам, а также будет полезно всем читателям, интересующимся современной электроникой.

Рег Джеймс

Промышленная электроника

Главный редактор Мовчан Д. А.
dmkpress@gmail.com

Корректор Синяева Г. И.

Верстка Паранская Н. В.

Дизайн обложки Мовчан А. Г.

Формат 70×100 1/16.

Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 106,5.

Web-сайт издательства: www.dmkpress.com

ISBN 978-0-13-206418-7 (англ.)

ISBN 978-5-97060-218-8 (рус.)

Copyright © Pearson Education Inc.,

© Издание, оформление ДМК Пресс, 2016

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	12
ГЛАВА 1 ВВЕДЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ	19
Цель главы	19
Применение знаний в профессиональной деятельности	20
1.1 Введение	21
1.2 Краткая история развития промышленной электроники	22
1.3 Типы промышленного производства	25
1.4 Классификация устройств управляющей промышленной электроники	27
1.5 Пирамида и дерево технологий	29
1.6 Поиск и устранение неисправностей системы	33
1.7 Знания, необходимые для схемотехнического анализа	47
1.8 Веб-сайты для данного раздела	48
Резюме	48
Вопросы	50
Проблемы поиска неисправностей	51
Задачи	52
ГЛАВА 2 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ	54
Цель главы	54
Применение знаний в профессиональной деятельности	55
2.1 Введение в дискретное управление	56
2.2 Классификация переключателей по механическим и электрическим свойствам	56
2.3 Ручные переключатели для электронных схем	71
2.4 Механические переключатели электронных схем	78
2.5 Мощные ручные переключатели для промышленного управления	81
2.6 Переключатели для промышленного управления с механическим приводом	92
2.7 Переключатели, управляемые технологическим процессом	100
2.8 Дискретные выходные устройства — приводы	106
2.9 Реле	109
2.10 Контактторы	117
2.11 Клапаны	119
2.12 Нагреватели и сигнальные лампы	128
2.13 Схемы управления	129

2.14 Поиск неисправностей во входных и выходных устройствах	140
2.15 Веб-сайты производителей входных и выходных устройств	145
Краткий обзор главы 2	146
Вопросы	149
Вопросы по справочным данным	151
Проблемы поиска неисправностей	152
Задачи	152
ГЛАВА 3 ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ	155
Цель главы	155
Применение знаний в профессиональной деятельности	156
3.1 Введение в твердотельные устройства	156
3.2 р-п переход и твердотельные устройства	158
3.3 Биполярный транзистор	166
3.4 Транзисторные ключи	172
3.5 Твердотельные реле	182
3.6 Цепи смещения транзисторных усилителей	185
3.7 Транзисторный усилитель с общим эмиттером	189
3.8 Транзисторный регулятор напряжения	194
3.9 Транзисторный инвертор	197
3.10 Транзисторные преобразователи постоянного напряжения	203
3.11 Диагностирование схем с биполярными транзисторами	211
3.12 Другие твердотельные устройства	212
3.13 Веб-сайты о твердотельных устройствах	221
Резюме	222
Вопросы	224
Вопросы по справочным данным	225
Задачи	226
ГЛАВА 4 ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ	229
Цель главы	229
Применение знаний в профессиональной деятельности	230
4.1 Операционные усилители. Краткий исторический очерк	231
4.2 Введение в параметры операционных усилителей	232
4.3 Пояснение к справочным данным операционных усилителей	233
4.4 Инвертирующие усилители	240
4.5 Неинвертирующие усилители	245
4.6 Суммирующие усилители	247
4.7 Дифференциальные усилители	249

4.8	Преобразователи напряжения в ток	250
4.9	Преобразование тока в напряжение	251
4.10	Интеграторы и дифференциаторы	252
4.11	Компараторы и датчики окна	256
4.12	Схемы активных фильтров	262
4.13	Контрольно-измерительные усилители	274
4.14	Усилители разностных токов	278
4.15	Поиск неисправностей в устройствах на базе ОУ	287
4.16	Веб-сайты по операционным усилителям	289
	Резюме	290
	Вопросы	292
	Вопросы по справочным листам	294
	Задачи	294
ГЛАВА 5	ПРИБОРЫ ИЗ СЕМЕЙСТВА ТИРИСТОРОВ	297
	Цель главы	297
	Применение знаний в профессиональной деятельности	298
5.1	Введение в тиристоры	298
5.2	Кремниевые управляемые вентили	300
5.3	Устройства переключения тиристора	316
5.4	Применения тиристоров	327
5.5	Симисторы	330
5.6	Применения симисторов	343
5.7	Управляемые переключатели	346
5.8	Поиск неисправностей тиристоров	353
5.9	Веб-сайты о тиристорах	353
	Резюме	354
	Вопросы	355
	Вопросы по справочным листам	357
	Задачи	357
ГЛАВА 6	ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ	361
	Цели обучения	361
	Применение знаний в профессиональной деятельности	362
6.1	Введение в электронные датчики	363
6.2	Бесконтактные датчики приближения	366
6.3	Бесконтактные датчики фотоэлектрического типа	383
6.4	Интерфейсы выходного устройства датчика	409
6.5	Аналоговые датчики для систем автоматизации	413
6.6	Выбор и применение датчиков	417
6.7	Подключение датчиков к цепям питания и управления	429
6.8	Системы технического зрения	433

6.9 Поиск неисправностей при применении дискретных датчиков	445
6.10 Веб-сайты для дискретных датчиков автоматизации	449
Резюме	450
Вопросы	453
Вопросы по справочным данным	455
Проблемы поиска неисправностей	456
Задачи	457
ГЛАВА 7 ДАТЧИКИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АНАЛОГОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ	461
Цель главы	461
Применение знаний в профессиональной деятельности	462
7.1 Введение	463
7.2 Силовые приводы и выходные устройства	463
7.3 Управляющие клапаны	463
7.4 Электронагревательные элементы	472
7.5 Обзор датчиков, усилителей и преобразователей для систем управления	475
7.6 Датчики температуры	478
7.7 Датчики давления	489
7.8 Расходомеры	499
7.9 Датчики уровня	514
7.10 Датчики положения	525
7.11 Другие датчики процесса	529
7.12 Устройства управления процессом поиска неисправностей и датчики	531
7.13 Веб-сайты по устройствам управления процессом и датчиков	533
Резюме	534
Вопросы	538
Задачи	540
ГЛАВА 8 БЕЗОПАСНОСТЬ	543
Цель главы	543
Применение знаний в профессиональной деятельности	543
8.1 Введение в технику безопасности	545
8.2 Требования техники безопасности	545
8.3 Безопасность обслуживающего персонала	547
8.4 Охрана труда на производственных участках	550
8.5 Датчики присутствия	551
8.6 Устройства электромеханической блокировки	557

8.7	Разработка стратегии обеспечения безопасности	565
8.8	Рекомендации при проектировании	573
8.9	Подсчет стоимости программы обеспечения безопасности	573
8.10	Веб-сайты по технике безопасности	574
	Резюме	575
	Вопросы	577
	Задачи	578

ГЛАВА 9 ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

	Цель главы	581
	Применение знаний в профессиональной деятельности	582
9.1	Введение	583
9.2	Теория магнетизма	584
9.3	Возможности двигателя постоянного тока	587
9.4	Компоненты двигателя постоянного тока	590
9.5	Работа двигателей постоянного тока и их основные типы	595
9.6	Электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением	597
9.7	Электродвигатели постоянного тока с параллельным возбуждением	607
9.8	Двигатели постоянного тока со смешанным возбуждением	615
9.9	Другие методы управления скоростью и направлением вращения	621
9.10	Тяговые двигатели постоянного тока	633
9.11	Методы торможения	635
9.12	Веб-сайты по двигателям постоянного тока и схемам управления	638
	Резюме	640
	Вопросы	641
	Задачи	643

ГЛАВА 10 ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ПРИВОДЫ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

	Цель главы	645
	Применение знаний в профессиональной деятельности	646
10.1	Введение	647
10.2	Основные принципы работы	647
10.3	Компоненты двигателя переменного тока	653
10.4	Однофазные асинхронные двигатели	661
10.5	Трехфазные двигатели переменного тока	669
10.6	Управление трехфазными двигателями	682

10.7	Расшифровка данных, приведенных в табличке на двигателе	689
10.8	Приводы двигателей переменного тока	694
10.8	Веб-сайты по двигателям переменного тока и приводам с регулированием скорости	699
	Резюме	700
	Вопросы	701
	Задачи	702
ГЛАВА 11	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ	705
	Цель главы	705
	Применение знаний в профессиональной деятельности	706
11.1	Введение в	706
11.2	Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами	707
11.3	Бесщеточные двигатели постоянного тока	714
11.4	Шаговые двигатели	719
11.5	Серводвигатели	731
11.6	Оптические кодеры	736
11.7	Резольверы	746
11.8	Сравнение двигателей специального назначения	750
11.9	Веб-сайты по двигателям специального назначения и устройствам управления ими	750
	Резюме	751
	Вопросы	753
	Задачи	754
ГЛАВА 12	ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ	757
	Цель главы	757
	Применение знаний в профессиональной деятельности	758
12.1	Введение	759
12.2	Системы ПЛК и ее компоненты	763
12.3	Типы ПЛК	770
12.4	Стандартные языки IEC 61131-3	773
12.5	Язык лестничных схем (LD) по стандарту IEC 61131-3	775
12.6	Традиционное программирование логических лестничных схем ...	780
12.7	Язык функциональных блок-схем	805
12.8	Язык структурированного текста (ST)	817
12.9	Последовательные функциональные диаграммы (SFC)	828
12.10	Веб-сайты о программируемых логических контроллерах	839
	Резюме	843
	Вопросы	846
	Вопросы по справочным данным	848
	Задачи	849

ГЛАВА 13 ВСТРОЕННЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ	853
Цель главы	853
Применение знаний в профессиональной деятельности	853
13.1 Введение	854
13.2 Аппаратные средства микроконтроллеров	856
13.3 Справочные данные микроконтроллеров	858
13.4 Основы программирования микроконтроллеров	863
13.5 Применение встроенных микроконтроллеров	868
13.6 Веб-сайты с информацией о встроенных микроконтроллерах	871
Резюме	871
Вопросы	873
Задачи	875
ГЛАВА 14 УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ	877
Цель главы	877
Применение знаний в профессиональной деятельности	878
14.1 Введение	879
14.2 Реакция системы	881
14.3 Разомкнутые и замкнутые системы управления	886
14.4 Показатели эффективности управляющих систем	903
14.5 Процессы с опережением и запаздыванием	921
14.6 Контроллеры позиционных регуляторов	931
14.7 Контроллеры непрерывного действия с одной петлей обратной связи	944
14.8 Цифровое управление	962
14.9 Режим ручного управления и безударное переключение	970
14.10 Контроллеры с нечетким управлением	970
14.11 Процесс настройки управляющих систем	978
14.12 Система обозначений и стандартных символов	989
14.13 Веб-сайты по управлению непрерывными процессами	997
Резюме	997
Вопросы	1001
Вопросы по справочным данным	1003
Задачи	1004
ГЛАВА 15 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ	1007
Цель главы	1007
Применение знаний в профессиональной деятельности	1008
15.1 Введение	1008
15.2 Определение промышленных роботов	1009
15.3 Основная система робота	1017

15.4	Инструментальная оснастка	1025
15.5	Контроллер робота	1038
15.6	Обучающие станции	1044
15.7	Основы программирования роботов	1045
15.8	Программируемые сервороботы	1052
15.9	Синтаксис языка программирования сервороботов	1055
15.10	Программирование разомкнутых робототехнических систем	1062
15.11	Безопасность робота	1066
15.12	Диагностирование робототехнических систем	1069
15.13	Веб-сайты о промышленных роботах	1071
	Резюме	1072
	Вопросы	1075
	Вопросы по справочным данным	1076
	Проблемы безопасности	1077
	Задачи	1077
ГЛАВА 16	ОБМЕН ДАННЫМИ МЕЖДУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ	1081
	Цель главы	1081
	Применение знаний в профессиональной деятельности	1082
16.1	Введение	1083
16.2	Классификация сетевых сред передачи данных	1088
16.3	Сети предприятий	1098
16.4	Сеть предприятия	1102
16.5	Сети Fieldbus	1111
16.6	Поиск сетевых неисправностей	1114
16.7	Веб-сайты о сетях передачи данных	1119
	Резюме	1119
	Вопросы	1121
	Задачи	1122
ГЛОССАРИЙ		1123

2

Входные и выходные дискретные устройства управления

Цель главы

Эта глава посвящена описанию и объяснению принципа работы механических и электрических входных и выходных коммутирующих устройств дискретного управления, обычно используемых в электронной аппаратуре и в системах промышленной электроники.

Изучив материал этой главы, вы сможете:

1. Описать переключатели различных типов, предназначенные для электронных схем: перекидные, нажимные, кулисные, скользящие, поворотные, замковые, двухрядные, с мгновенным переключением и ртутные, а также сделать выбор переключателя для конкретного применения.
2. Описать разъединители, кнопки, селекторные, барабанные, ножные и дисковые управляемые вручную промышленные переключатели, а также сделать выбор такого переключателя для конкретного применения.
3. Описать концевые переключатели с механическим приводом и такие устройства, управляемые процессом, как переключатели потока, уровня жидкости, давления, вакуума и температуры, а также сделать выбор такого переключателя для конкретного применения.
4. Описать следующие выходные управляющие устройства: соленоиды, реле для электронных схем, промышленные реле управления и реле времени, контакторы,

клапаны, управляемые соленоидами, пневматические клапаны прямого управления, нагреватели и сигнальные лампы, а также сделать выбор выходного устройства для конкретного применения.

5. Описать работу релейной логической лестничной схемы управления, представленной соответствующей схемой релейной логики.
6. Разработать схему релейной логической лестничной системы управления, позволяющую обеспечить заданную последовательность управляющего процесса.
7. Отыскать и устранить неисправности в системах с входными и выходными устройствами, описанными в данной главе, используя схемы релейной лестничной логики, которые отображают управление с помощью таких устройств.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Любая машина и система, используемая на производстве, имеет переключатели для ручного управления и приводы для управления внешними устройствами. Работа на любой из этих машин или систем требует досконального знания дискретных устройств, включая понимание смысла данных, указываемых в справочных листах. Кроме хорошего знания работы устройств и систем в нормальном режиме, необходимо уметь находить для замены устройства, эквивалентные по электрическим и механическим параметрам, понимать применяемые в схемах условные обозначения, правильно монтировать устройства в схемах управления и использовать соответствующую терминологию при описании устройств и систем. Изучение сведений, изложенных в этой главе, обеспечит вам должный уровень понимания всех входных и выходных дискретных устройств управления.

Инженеры и технологи в рассматриваемой области могут вести различные виды профессиональной деятельности, которые обеспечат им карьерный рост, в том числе работать в фирмах по изготовлению компонентов и заниматься как разработкой и исследованием электрических параметров и показателей надежности изделий, так и техническими продажами и производством. Можно работать также с компаниями, использующими рассматриваемые компоненты в процессе проектирования, испытаний и производства устройств. В любой отрасли промышленности вы регулярно будете использовать компоненты, описанные в этой главе. А понятия, с которыми вы здесь познакомитесь, подготовят вас к этой деятельности. Пример специфической задачи, решение которой вам могут поручить: разработка оборудования для проверки переключателя. Допустим, что вы работаете на фирме-изготовителе переключателей и вам поручена разработка специального переключателя. Новый переключатель должен иметь очень низкое значение сопротивления постоянному току, а вы должны разработать оборудование, которое измеряет сопротивление контактов каждого переключателя в процессе производства. Ваш проект должен быть частью автоматизированной системы сборки, разработанной для вашей компании фирмой, занимающейся системами автоматизации. Используя информацию о сопротивлении контактов переключателей и дополнительно

изучив системы автоматизированных измерений сопротивлений, вы выбираете систему измерения от фирмы Agilent Technologies. Здесь критически важно то, что испытательная система должна быть встроена в высокоскоростную автоматизированную технологическую установку. Проверка образцов переключателей, посланных на фирму Agilent, показала, что их система удовлетворяет всем требованиям. Вы делаете предварительный рисунок автоматизированной измерительной системы и, после нескольких поездок к проектировщикам системы автоматизации, представляете свой проект администратору отдела производства. Проект одобрен, и вы посылаете его производителю системы автоматизации. Работа над проектом займет два месяца, включая три недели, потраченные вами на проектирование и проверку оборудования вместе с производителем измерительной системы.

2.1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Термин дискретное управление подразумевает, что устройство может находиться в одном из двух состояний, которые в электронике называются включенным и выключенным. Эта глава описывает входные устройства с дискретными характеристиками, подобные перекидному переключателю, представленному на рис. 2.1, поскольку такие устройства наиболее широко используются в промышленности в качестве компонентов управления. Механическое устройство для изменения состояния контактов переключателя называется приводом. Привод переводит переключатель в одно из двух положений: левое или правое, как показано на рис. 2.1. Они соответствуют двум электрическим состояниям: контакты разомкнуты (левое положение рычага) или замкнуты (правое положение). С электрических переключателей, наиболее значимых дискретных входных устройств, мы и начнем изучение промышленной электроники. Вы должны научиться опознавать распространенные типы переключателей, описывать их механическую и электрическую работу и разбираться в механических и электрических характеристиках любого переключателя. Итак, приступим вначале к изучению механических и электрических характеристик, которые являются общими для большинства переключателей.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Классификация переключателей основана на следующих четырех признаках: применение, метод приведения в действие, тип и конфигурация контактов. Как группируются по первым трем признакам некоторые обычно применяемые переключатели, показано на рис. 2.2. Однако прежде чем познакомиться с каждым переключателем, полезно получить общее представление о классификационных признаках.

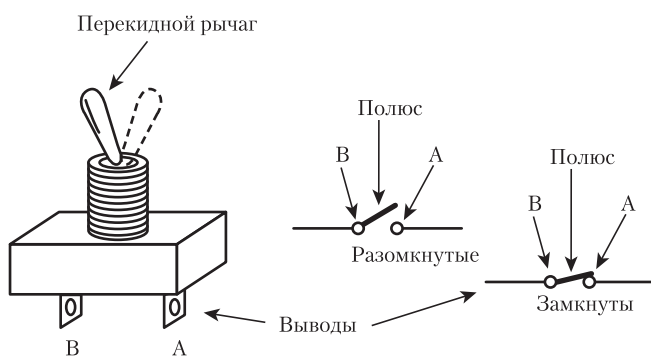


Рис. 2.1. Перекидные переключатели

2.2.1. Классификация по применению, типу и методам переключения

Применение. Рассмотрим классификационные признаки, приведенные на рис. 2.2. Промышленное применение многообразно и требует специальных переключателей; например, в термостатах для переносных электрических нагревателей используется переключатель температуры. Однако большинство переключателей может быть отнесено к одной из двух областей широкого применения: электронным схемам и промышленному управлению. В электронных схемах применяются маломощные переключатели электронного оборудования. При промышленном управлении применяются переключатели для схем средней и большой мощности, включая схемы для пуска и торможения некоторых двигателей. Схема на рис. 2.2 показывает, что переключатели некоторых типов, например нажимные, используются в обеих областях; другие же, такие как переключатели скольжения, используются только для электронных схем.

Метод переключения. Приведены три метода переключения: ручной, механический и используемый в ходе некоторого процесса.

При ручном методе механизм переключения перемещается физическим усилием человека. Например, рычаг переключателя, изображенного на рис. 2.1, перекидывает оператор.

Механическое переключение подразумевает, что механизм переключения приводится в действие усилием, возникающим при движении машины. Концевые переключатели, изображенные на рис. 2.3, представляют собой типичный пример механического переключения. Переключатель изменяет состояние после нажатия специальной клавиши, изображенной на переднем плане, когда она утапливается в отверстие переключателя. Переключатель с клавишей используется, например, для гарантии, что дверь в машину полностью закрыта.

Переключатели, управляемые процессом, имеют механизм переключения за счет изменения параметров процесса. Например, переключатель потока приводится в действие потоком жидкости через канал.

Тип. Категория типа состоит из различных переключателей, используемых в электронных и промышленных применениях. Каждый из этих типов описан ниже в данной главе.

Применение	Электронные цепи		Промышленное управление		
	Ручное переключение	Механическое переключение	Ручное переключение	Механическое переключение	Управляемые процессом
Метод переключения					
Тип переключателя	Перекидные Нажимные Тактильные Мембранные Кулисные Скользящие Вращающиеся Клавишные DIP	Мгновенного переключения Ртутные	Разъединители Нажимные Селекторные Барabanные Ножные Дисковые	Концевые	Уровня жидкости Давления Вакуума Температуры Влажности Фотоэлектрические

Рис. 2.2. Классификация переключателей

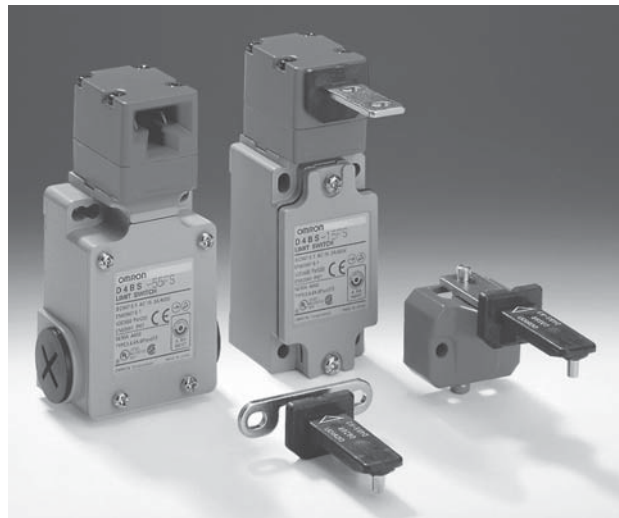


Рис. 2.3. Концевые переключатели, приводимые в действие механически

И наконец, последний признак — конфигурация контактов — применяется ко многим из типов переключателей, перечисленных на рис. 2.2.

2.2.2. Конфигурация контактов переключателя

Следующие термины используются, чтобы описать конфигурацию контактов.

Полюс — термин относится к внутреннему проводнику в переключателе, который перемещается механизмом переключения. На рис. 2.1 рычаг переключателя заставляет полюс двигаться, как показано на электрической схеме переключателя. Переключатели могут иметь любое количество полюсов, но большинство переключателей, используемых в электронике и промышленном управлении, имеют от одного до трех полюсов.

НЗ и *НР* — аббревиатура *НЗ* означает нормально замкнутый и относится к контактам переключателя, которые находятся в замкнутом состоянии, когда переключатель выключен. *НР* означает нормально разомкнутый и относится к контактам переключателя, разомкнутым при выключенном переключателе. Термин обычно подразумевает, что рычаг переключателя имеет номинальную начальную позицию. Переключатель на рис. 2.1 имеет два положения рычага: когда контакты переключателя разомкнуты (положение ВЫКЛ), и когда контакты замкнуты (положение ВКЛ). Аббревиатуры *НЗ* и *НР* для переключателя с рис. 2.4 относятся к выключенному состоянию, когда рычаг находится в левом положении (рис. 2.4а).

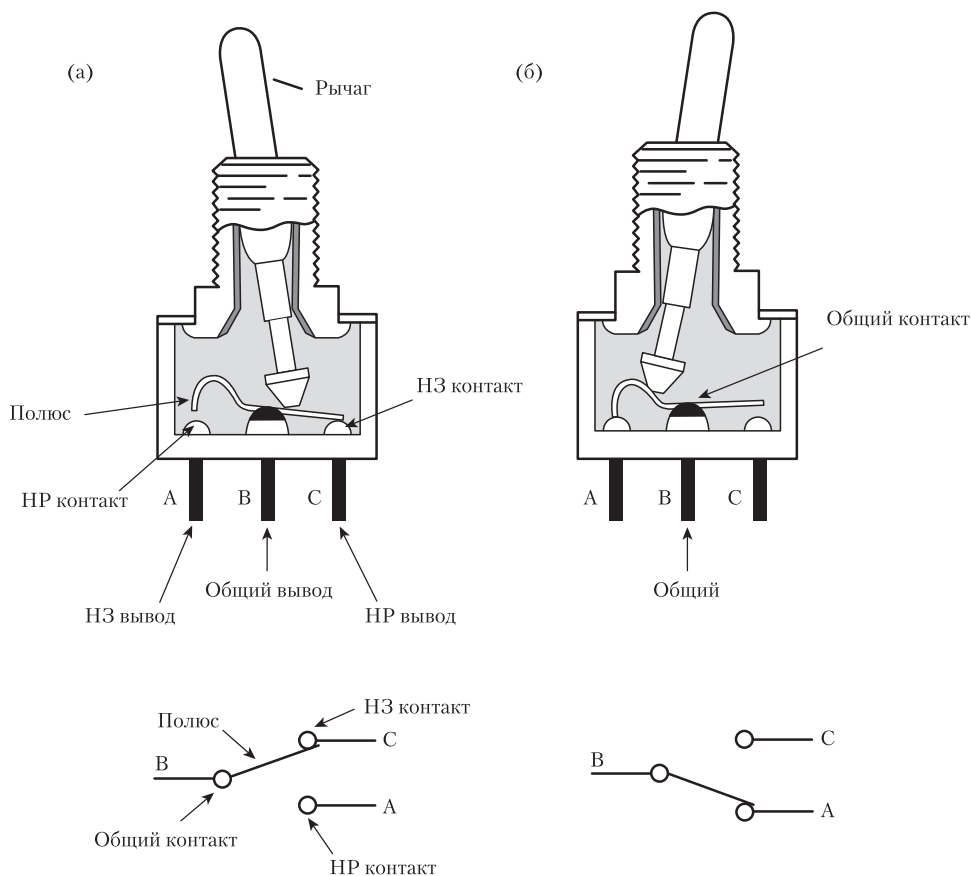


Рис. 2.4. Конструкция и схема перекидного переключателя:
 а) рычаг в левом положении;
 б) рычаг в правом положении

Рассмотрим влияние положения рычага переключателя с рис. 2.4 на состояние полюса и соответствующие изменения в электрической схеме переключателя.

Положение. Перекидные переключатели могут иметь одно или два положения. Когда переключатель имеет и контакты НЗ и НР, он рассчитан на два положения, например переключатель на рис. 2.4. Если присутствует только НР-контакт, то переключатель имеет одно положение, как на рис. 2.1. Когда НЗ-контакт замкнут, а НР-контакт разомкнут, переключатель на два положения находится в положении ВЫКЛ. Следовательно, рычаг переключателя с двумя положениями на два направления (2П2Н), показанный на рис. 2.4, будет в левом положении, когда переключатель выключен. Некоторые переключатели с двумя положениями имеют еще и центральное положение, в котором разомкнуты оба полюса.

Спецификации положения и направления объединяются, чтобы описать конфигурацию контактов переключателя. Некоторые из многих возможных комбинаций изображены на рис. 2.5. Изучите все представленные варианты. Обратите внимание, что трехполюсный переключатель на два положения представляет собой три однополюсных переключателя на два положения, размещенных в общем корпусе. Пунктирные линии, соединяющие полюсы, свидетельствуют о том, что все они являются частью одного переключателя и положение всех полюсов изменяется одним рычагом. Конфигурация со средним положением, описанная ранее, также приведена на рисунке. Пример 2.1 показывает, как требования управления диктуют выбор конфигурации переключателя.

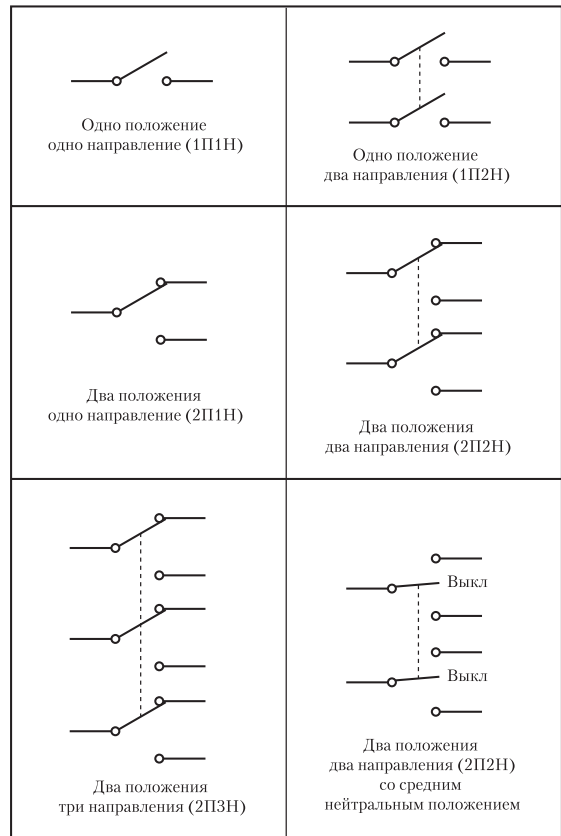


Рис. 2.5. Варианты конфигурации переключателей

Пример 2.1

Выберите конфигурацию переключателя и приведите решение для следующей задачи управления. Одним переключателем необходимо запустить двигатель переменного тока, рассчитанный на напряжение 110 В, и управлять двумя сигнальными лампами, питающимися от напряжения 28 В постоянного тока. Свечение красной лампы должно показывать, что двигатель отключен, а свечение зеленой — что на двигатель подано питание.

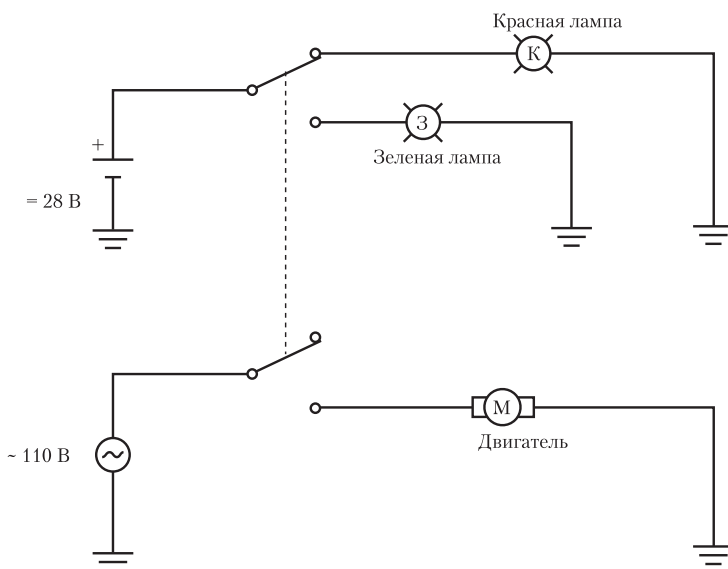


Рис. 2.6. *Схема управления двигателем и сигнальными лампами*

РЕШЕНИЕ

Чтобы управлять двигателем переменного тока на 110 В и двумя сигнальными лампами постоянного тока на 28 В, достаточно одного переключателя на два положения и два направления. Одно из направлений используется для включения двигателя, второе для переключения ламп. Только одна лампа должна гореть в любой момент, а в положении, когда горит зеленая лампа, должно подаваться и питание на двигатель. Необходимое управление обеспечивается схемой на рис. 2.6. Переключатель имеет два полюса и два положения, а пунктирная линия между полюсами показывает, что оба полюса управляются одним рычагом.

2.2.3. Другие спецификации контактов переключателя

Некоторые дополнительные свойства переключателей, часто используемых в электронных схемах и устройствах промышленного управления, характеризуются такими терминами, как электронный режим работы, пилотный режим работы, размыкающие

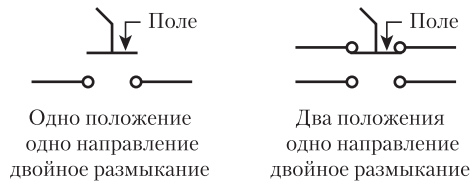
контакты с двойным размыканием, перекидные контакты, контакты с возвратом и фиксацией, номинальные величины коммутируемого напряжения/тока, срок службы, запас по предельно допустимым величинам, степень защиты от воздействия условий окружающей среды и др.. Ниже описан каждый из них.

Режим работы в электронных схемах. Электронный режим работы показывает, что контакты переключателя разработаны, чтобы переключать небольшие токи менее 100 мА. Такая способность называется способностью контактов работать в сухих схемах. При низких значениях переключаемые токи не могут проходить через окись, которая часто нарастает на поверхности контактов переключателя. Поэтому переключатели в электронных схемах обеспечивают стирание окиси при переключении или создаются по технологии, при которой окись не возникает.

Пилотный режим работы. Переключатель для пилотного режима работы разрабатывается на большие токи переключения, часто необходимые при промышленном управлении. Переключатели этой категории часто не имеют хороших показателей для схем с сухими контактами и непригодны для переключения малых токов нагрузки.

Контакты с двойным размыканием. Один конец полюса переключателя 1П1Н поддерживает постоянный контакт с выводом, в то время как другой конец полюса замыкает и размыкает электрическую схему (см. рис. 2.1). В переключателях с двойным размыканием контактов оба конца полюса движутся при переключении, образуя двойное размыкание. На рис. 2.7 показана схема контактов 1П1Н и 1П2Н для переключателей с двойным размыканием. Обратите внимание, что к сокращению добавлены буквы DB (double break), чтобы указать на двойное размыкание контакта. Следующий пример иллюстрирует, как размыкающие контакты с двойным размыканием используются в схеме управления.

Рис. 2.7. Контакты выключателей с двойным размыканием



Пример 2.2

Создайте схему для решения следующей задачи управления, используя переключатели с двойным и без двойного размыкания. Питательные напряжения на двигатель переменного тока напряжением 110 В и на лампу постоянного тока напряжением 28 В должны подаваться так, чтобы при включении переключателя работал двигатель, а при выключении загорелась красная лампа.

РЕШЕНИЕ

Для этого применения используются контакты переключателя SPDTDB (2П1Н), потому что каждое устройство должно питаться от собственного источника. Схема рис. 2.8 удовлетворяет всем требованиям управления. Двойное размыкание контактов позволяет включить каждую нагрузку на свой источник питания: одну через НЗ-, вторую через НР-контакты. Если бы конфигурация DB не была доступна, то должен

был бы использоваться переключатель 2П2Н в схеме, подобной схеме на рис. 2.6. Использовать переключатель 2П1Н, как на рис. 2.4, было бы невозможно, потому что в этом случае полюс имеет общую точку НЗ- и НР-контактов; в результате один полюс не мог бы использоваться, чтобы включить два различных напряжения.

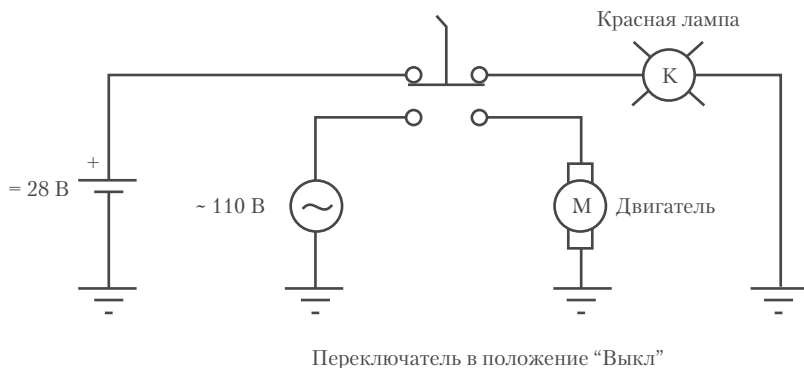


Рис. 2.8. Пример схемы управления с помощью переключателя с двойным размыканием

Перекидные контакты. Изучение работы переключателя 2П1Н на рис. 2.4 показывает, что НЗ-контакты размыкаются еще до того, как замыкаются НР-контакты. В этом случае полюс не контактирует ни с НЗ-, ни с НР-контактами в течение нескольких миллисекунд. Такая работа контакта наблюдается в большинстве случаев. В некоторых схемах управления, однако, возникают проблемы, если включенное устройство не связано ни с каким потенциалом на интервале переключения. Перекидные контакты (make-before-break) решают эту проблему. При этом типе передачи НР-контакты сближаются прежде, чем размыкается НЗ-контакт. Конфигурация перекидных контактов часто используется в поворотных выключателях.

Возвратные переключатели. Переключатель, показанный на рис. 2.4, является переключателем с удержанием положения после переключения. Это означает, что рычаг переключателя остается в левом или правом положении, пока не будет снова переключен вручную. В возвратном переключателе есть позиция, которая не будет поддерживаться при отпущенном рычаге. Допустим, например, что переключатель на рис. 2.4 выполнен с возвратом рычага вправо. В этом случае переключатель остался бы в положении, показанном на рис. 2.4б, только на то время, в течение которого удерживается рычаг. После отпущения рычага он тут же вернулся бы вправо, в выключенное положение. Такой возврат часто используется в кнопочных переключателях.

Номинальные токи и напряжения. Переключатель используется каждый раз, когда надо управлять приложением напряжения и током в нагрузке или электрическом устройстве. Следовательно, каждый переключатель имеет номинальное значение диапазона или максимума напряжения и тока, который можно безопасно переключать. Ток и номинальные напряжения для концевых переключателей D4MC фирмы Omron показаны на рис. 2.9. Обратите внимание, что номинальные токи изменяются в зависимости

от входного напряжения, вида питания (постоянный или переменный ток) и типа нагрузки, неиндуктивной или индуктивной. Токи также различны для различного типа нагрузок: резистивных, ламповых, индуктивных и двигательных. Примером резистивных нагрузок служат нагревательные элементы. Катушка соленоида, используемая, чтобы управлять пневматическим клапаном, — пример индуктивной нагрузки. Ламповые нагрузки уникальны, поскольку сопротивление холодной нити мало по сравнению с сопротивлением горячей лампы, для двигателей указывается номинальный ток; однако для некоторых переключателей нормируется мощность двигателя в л.с. и максимальное рабочее напряжение. Обратите внимание, что при некоторых нагрузках номинальный ток не одинаков для НЗ- и НР-контактов.

Номинальное напряжение	Безиндуктивная нагрузка				Индуктивная нагрузка				Переключаемый ток	
	Резистивная		Ламповая		Индуктивность		Двигатель			
	НЗ	НР	НЗ	НР	НЗ	НР	НЗ	НР	НЗ	НР
~ 125 В	10 А		3 А	1,5 А	10 А		5 А	2,5 А	30 А max	15 А max
~ 250 В	10 А		2,5 А	1,25 А	10 А		3 А	1,5 А		
= 8 В	10 А		3 А	1,5 А	6 А		5 А	2,5 А		
= 14 В	10 А		3 А	1,5 А	6 А		5 А	2,5 А		
= 30 В	6 А		3 А	1,5 А	5 А		5 А	2,5 А		
= 125 В	0,5 А		0,4 А		0,05 А		0,05 А			
= 250 В	0,25 А		0,2 А		0,03 А		0,03 А			

Примечания: 1. Индуктивные нагрузки имеют коэффициент мощности не менее 0,4 (на переменном токе) и постоянную времени не более 7 мс (на постоянном токе).
 2. Пусковой ток для ламповых нагрузок в 10 раз превышает установившееся значение.
 3. Пусковой ток для двигательных нагрузок в 6 раз превышает установившееся значение.

Рис. 2.9. Номинальные токи и напряжения при различных нагрузках для концевых переключателей D4MC

Пример 2.3

Номинальный ток ламп, показанных на рис. 2.6, составляет 2 А. Определите с помощью рис. 2.9 переключатель D4MC, который мог бы использоваться в данном случае.

РЕШЕНИЕ

Лампы рассчитаны на 28 В постоянного тока, и на рис. 2.9 отсутствуют данные для такого напряжения. В технике очень часто встречается ситуация, когда не имеется точных данных о применяемом устройстве. Если это касается критического параметра, то следует обратиться к изготовителю, чтобы получить дополнительные сведения или использовать данные для устройств с наиболее близкими параметрами. В нашем примере используются данные для переключателей, рассчитанных на 30 В постоянного тока, поскольку эта величина наиболее близка к значению переключаемого напряжения в 28 В. Столбец, относящийся к ламповой нагрузке, разделен на две части: для НЗ- и НР-контактов. При 30 В постоянного тока НЗ-контакты могут переключать ток в 3 А, а НР-контакты — ток в 1,5 А. По условиям применения контакты НЗ и НР должны переключать ток в 2 А. Следовательно, эта модель переключателя не может использоваться для схемы на рис. 2.6.

Срок службы переключателя. Каждое механическое устройство имеет номинальный срок службы, выражаемый количеством включений или выполняемых циклов. Для переключателей ожидаемый срок службы основан на механическом износе механизма и ухудшении контактов из-за нагрева и искрения при прохождении тока. Графики, иллюстрирующие влияние электрических параметров на электрический срок службы для двух типов переключателей фирмы Omron, приведены на рис. 2.10. Как показывает рисунок, электрический срок службы изменяется в зависимости от коэффициента мощности. Коэффициент мощности (power factor PF), определяемый как косинус фазового угла, равен 1 для чисто активной нагрузки, подобной электронагревателю, и уменьшается, когда нагрузкой являются двигатели или катушки индуктивности. Механический срок службы — величина, фиксированная для конкретной модели переключателя. Например, рис. 2.11 показывает, что переключатель D4MC имеет механический срок службы (over travel — OT) — не менее 10 000 000 операций при номинальном для переключателя режиме эксплуатации.

Запас по режиму работы переключателя. Смягчение режима работы устройств — общая стратегия, используемая в процессе проектирования, чтобы создать более надежное решение. В процедуре смягчения режима параметры устройства уменьшаются на 25–50 процентов от предельно допустимых, чтобы устройство никогда не испытывало максимально допустимых нагрузок по любой из характеристик. Например, токи переключателя уменьшаются на 50 процентов от предельного значения, указанного на рис. 2.9. Вообще, любое снижение нагрузок увеличивает электрический срок службы устройств.

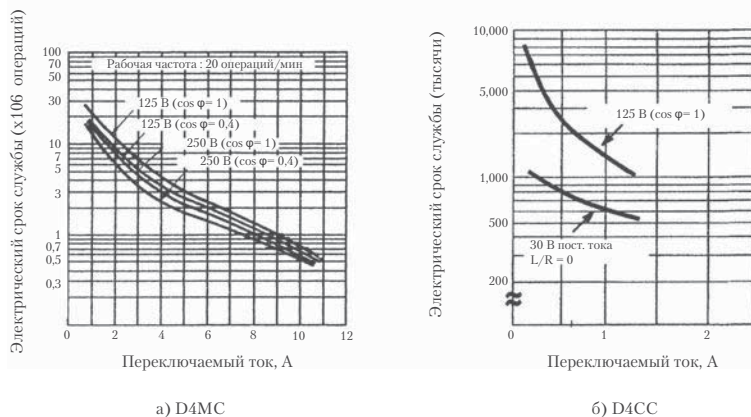


Рис. 2.10. Электрический срок службы

Пример 2.4

Концевой переключатель D4CC, который переключается из включенного в выключенное состояние и обратно десять раз в минуту, используется в системе технического зрения, чтобы включать лампу номинальной мощностью в 75 Вт на 125 В переменного тока. Определите минимальное ожидаемое количество восьмичасовых смен, которое может отработать переключатель.

РЕШЕНИЕ

Определим ток переключателя I_S :

$$I_S = P/U = 75 \text{ Вт} / 125 \text{ В} = 0,6 \text{ А.}$$

Рабочие скорости дюймов/с)		От 0,05 мм/с до 0,5 м/с (от 0,002 до 19,69 в варианте для монтажа на панели)
Рабочая частота	Механическая	120 операций/мин
	Электрическая	20 операций/мин
Сопротивление изоляции		Не менее 100 МОм (при 500 В постоянного тока)
Сопротивление контактов		15 МОм (начальное)
Электрическая прочность		1000 В переменного тока при частоте 50/60 Гц между непостоянно подключенными выводами 2000 В переменного тока при частоте 50/60 Гц между токопроводящими металлическими деталям и корпусом и между каждым выводом и непроводящими деталями
Вибрационное сопротивление	Приводящее к нарушению работоспособности	От 10 до 55 Гц, размах 1,5 мм
Сопротивление ударам	Разрушающее	1000 м/с ² (около 100g), или 3280 фут/с ²
	Приводящее к нарушению работоспособности	100 м/с ² (около 10g), или 328 фут/с ²
Температура окружающей среды	Рабочая	От -10 °С до 80 °С (от 14 °Ф до 176 °Ф) без охлаждения
Влажность окружающей среды	Рабочая	От 35% до 95%
Ожидаемый срок службы	Механический	Не менее 10 000 000 операций (при номинальных условиях эксплуатации)
	Электрический	<i>См. технические данные</i>
Вес		Приблизительно 60 г (2,17 фунта) в варианте для монтажа на панели
Степень защиты		IP67

Рис. 2.11. Другие характеристики концевого переключателя D4MC

Пользуясь кривой для 125 В на рис 2.10б и значением тока переключателя, определим минимальный электрический срок службы. Из графика для 0,6 А находим минимальный срок службы, равный (2000+ 1000) операций, или приблизительно 2 миллиона операций.

Определим количество циклов переключателя при восьмичасовой рабочей смене и ожидаемое минимальное количество смен, которое переключатель прослужит без выхода из строя:

Количество циклов за смену $N_{ц.см}$:

$$N_{ц.см} = 10 \text{ циклов/мин} + 60 \text{ мин} + 8 = 4800 \text{ циклов.}$$

Количество смен безотказной работы $N_{см}$ определяем, поделив срок службы $N_{сл}$ на число циклов за смену $N_{ц.см}$:

$$N_{см} = N_{сл} / N_{ц.см} = 2000000 / 4800 = 417 \text{ смен.}$$

Условия окружающей среды. Ряд условий окружающей среды определяет, насколько хорошо будет работать переключатель. Характеристики переключателя D4MC, приведенные на рис. 2.11, дают значения для некоторых из этих важных параметров: для вибрации, ударного сопротивления, для температуры, влажности и степени защиты, обеспечиваемой корпусом. Параметр температуры часто снижается в помещениях, где запрещен свободный поток воздуха. Согласно хорошему эмпирическому правилу, в этом случае максимальная температура уменьшается на 20°F . Например, для пускателя D4M температурой окружающей среды вместо 176°F (согласно рис. 2.11) должна быть выбрана температура 156°F . Оценка степени защиты корпуса также важна. Несколько организаций, включая Underwriters Laboratory (UL), National Electrical Manufacturers Association (NEMA) и International Electromechanical Commission (IEC), проверяют и устанавливают стандарты корпуса. Прежде чем выбрать какой-либо корпус, вы должны ознакомиться со стандартом NEMA Standards Publication 250—1997, Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum). Краткий обзор этого стандарта приведен на рис. 2.12а для безопасных помещений и на рис. 2.12б для помещений с повышенной опасностью. Стандарт указывает, что для всех групп обеспечивается защита персонала от случайного контакта с включенным оборудованием. В табл. 2.1а, б и в согласовываются условия окружающей среды с типом корпуса, соответствующим стандартам NEMA. Рассмотрите все условия окружающей среды, представленные в табл. 2.1а или 2.1б, и затем найдите столбцы, отмеченные знаком +, для каждого из условий. Типы корпусов стандарта NEMA перечислены в заголовке. Если более чем один корпус удовлетворяет условиям, используйте корпус с наименьшим номером. Если имеются опасные факторы, воспользуйтесь табл. 2.1в, чтобы идентифицировать группу, раздел и класс. Определите условия окружающей среды, чтобы согласно этим данным правильно выбрать на рис. 2.12б корпус NEMA.

Пример 2.5

От каких воздействий внешней среды защищает корпус переключателя D4MC?

РЕШЕНИЕ

Степень защиты корпуса переключателя D4MC согласно рис. 2.11 соответствует группе IP67 стандарта IEC. Рис. 2.12а показывает, что корпус переключателя обеспечивает защиту персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям и защиту переключателя от падающей грязи, воды из брандспойта, длительного погружения в воду на ограниченную глубину и внешнего обледенения.

Входные и выходные дискретные устройства управления

Степень защиты по NEMA	Степень защиты по IEC	Описание степени защиты (при неопасных воздействиях)
1	IP10	Падающая грязь.
2	IP11	Падающая грязь, капли и небольшие брызги жидкостей.
3	IP54	Падающая грязь, дождь, дождь со снегом, снег, ветер, несущий пыль, и внешнее обледенение.
3R	IP14	Падающая грязь, дождь, дождь со снегом, снег и внешнее обледенение.
3S	IP54	Падающая грязь, дождь, дождь со снегом, снег, ветер, несущий пыль, и работа при обледенении.
4	IP56	Падающая грязь, дождь, дождь со снегом, снег, ветер, несущий пыль, водяные брызги, вода из брандспойта и внешнее обледенение.
4X	IP56	Падающая грязь, дождь, дождь со снегом, снег, ветер, несущий пыль, водяные брызги, вода из брандспойта, коррозия и внешнее обледенение.
5	IP52	Падающая грязь, оседающая пыль, хлопья, волокна и летящие частицы; капли и небольшие брызги жидкостей.
6	IP67	Падающая пыль, вода из брандспойта, недолгое случайное погружение в воду на малую глубину и внешнее обледенение.
6P	IP67	Падающая грязь, вода из брандспойта, вход воды в течение длительного погружения в воду на малую глубину и внешнее обледенение.
12	IP62	Удары по корпусу отсутствуют. Падающая грязь, вихри пыли, хлопья, волокна и летящие частицы; капли и небольшие брызги жидкостей.
12K	IP52	Имеются удары по корпусу. Падающая грязь, вихри пыли, хлопья, волокна и летящие частицы; капли и небольшие брызги жидкостей.
13	IP54	Падающая грязь, вихри пыли, хлопья, волокна и летящие частицы; капли, водяная пыль и потоки воды; масло и некоррозийные хладагенты.

(а)

Степень защиты по NEMA	Описание степени защиты (при опасных воздействиях)
7	Внутреннее использование. Класс I, раздел 1, группы А, В, С или D
8	Внутреннее или наружное использование. Класс I, раздел 1, группы А, В, С или D
9	Внутреннее использование. Класс II, раздел 1, группы Е, F или G
10	Департамент охраны труда и здоровья на шахтах министерства труда США

(б)

Рис. 2.12. Стандарты NEMA для корпусов переключателей, применяемых для неопасных (а) и опасных (б) сред

Пример 2.6

Концевой переключатель используется на машине, применяемой на мебельной фабрике для окраски деревянных деталей водным раствором красителя. Переключатель установлен в общем цеху фабрики, где деревянные детали вырезаются, обрабатываются и затем подвергаются окраске водным раствором красителя. Какой тип корпуса по стандарту NEMA необходим для переключателя?