

Чарльз Платт
Фредрик Янссон

ТОМ 3

Энциклопедия ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ



Датчики местоположения · присутствия ·
ориентации · вибрации · жидкости · газа ·
света · тепла · звука · электричества



ТОМ 3

Чарльз Платт
Фредрик Янссон

Энциклопедия ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

**Датчики местоположения · присутствия ·
ориентации · вибрации · жидкости · газа ·
света · тепла · звука · электричества**

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2017

УДК 621.3
ББК 32.85
ПЗ7

Платт, Ч.

- ПЗ7 Энциклопедия электронных компонентов. Том 3. Датчики местоположения, присутствия, ориентации, вибрации, жидкости, газа, света, тепла, звука, электричества: Пер. с англ./ Ч. Платт, Ф. Янссон. — СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 288 с.: ил.
ISBN 978-5-9775-3766-7

В третьем томе энциклопедии приведена основная информация о датчиках различного назначения, определяющих пространственные, механические, электрические, оптические и акустические характеристики, а также характеристики текучих сред. Каждая статья представляет собой законченное описание какого-либо датчика или группы родственных датчиков. Подробно описано назначение, принцип действия, основные параметры, варианты изготовления и области применения датчиков, а также приведены примеры типовых схем их включения. Материал сопровождается фотографиями, схемами и диаграммами.

Для радиолюбителей

УДК 621.3
ББК 32.85

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Капалыгина</i>
Перевод с английского	<i>Михаила Райтмана</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Людмилы Гауль</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>

© BHV-St.Petersburg, 2017

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Encyclopedia of Electronic Components Volume 3, ISBN 978-1-449-33431-4

© 2016 Charles Platt, published by Maker Media, Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Авторизованный русский перевод английской редакции книги Make: Encyclopedia of Electronic Components Volume 3,

ISBN 978-1-449-33431-4 © 2016 Charles Platt, изданной Maker Media, Inc.

Перевод опубликован и продается с разрешения O'Reilly Media, Inc., собственника всех прав на публикацию и продажу издания.

Подписано в печать 31.01.17.

Формат 84×108^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,24.

Тираж 1000 экз. Заказ № 445

«БХВ-Петербург», 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»

Филиал «Чеховский Печатный Двор»

142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1

Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел. 8(499)270-73-59

ISBN 978-1-449-33431-4 (англ.)
ISBN 978-5-9775-3766-7 (рус.)

© 2016 Charles Platt
© Перевод, оформление, издательство «БХВ-Петербург», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об авторах.....	XXIII
Предисловие	XXV
Цель книги.....	XXV
Структура книги.....	XXVI
Проблемы классификации датчиков	XXVI
Содержание томов энциклопедии.....	XXVII
Том 1	XXVII
Том 2	XXVII
Том 3	XXVIII
Методология книги	XXIX
Справочник — в сравнении с учебником	XXIX
Теория и практика	XXIX
Выходной сигнал датчика.....	XXIX
Глоссарий.....	XXX
Выделение терминов в тексте.....	XXX
Синтаксис математических формул.....	XXX
Условные обозначения на схемах	XXX
Единицы измерения и фон на фотографиях.....	XXXI
Доступность компонентов.....	XXXI
Ошибки и опечатки	XXXII
Мы информируем вас	XXXII
Вы информируете нас	XXXII
Вы спрашиваете нас.....	XXXII
Публичные ресурсы.....	XXXII
Библиотека Safari® Books Online.....	XXXIII
Благодарности.....	XXXIII
Электронный архив.....	XXXIV
> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
>> МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ	
Статья 1. Датчик GPS	1
Описание.....	1
Условное обозначение на схемах.....	1
Сегменты системы GPS	1

Принцип действия	2
Варианты изготовления	2
Параметры GPS-датчиков.....	3
Использование.....	4
Выходной сигнал с частотой 1 Гц	4
Что может пойти не так?.....	5
Электростатический разряд	5
Некачественное заземление	5
Непропаиваемое соединение.....	5
Ограниченная доступность.....	5
Невозможность обнаружения спутников.....	5
Превышение максимальной скорости или высоты	5
Статья 2. Магнитометр.....	7
Описание.....	7
Условное обозначение	7
Гиростабилизатор	8
Варианты применения.....	8
Устройство и принцип действия	8
Магнитные поля.....	8
Земные оси.....	9
Индукционный магнитометр	10
Эффект Холла и магниторезистивный эффект	11
Варианты изготовления	11
Использование.....	11
Что может пойти не так?.....	12
Искажения	12
Неправильный монтаж.....	12

> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> НАЛИЧИЕ ОБЪЕКТА

Статья 3. Датчик присутствия объекта	13
Описание.....	14
Обозначение на схемах.....	14
Типы датчиков.....	14
Оптическое обнаружение	15
Оптические датчики, работающие на просвет.....	16
Световозвращающие оптические датчики	17
Магнитные датчики	19
Герконовый переключатель.....	19
Разновидности герконовых переключателей	20

Параметры герконового переключателя	21
Как использовать геркон.....	21
Датчик Холла	22
Как работает датчик Холла	22
Разновидности датчиков Холла.....	23
Другие варианты применения.....	23
Параметры датчиков Холла.....	23
Подключение датчика Холла	24
Конфигурация датчиков присутствия объекта	24
Линейное перемещение	24
Детектирование за счет прерывания	25
Угловое перемещение	25
Сравнение датчиков присутствия.....	25
Преимущества оптических датчиков присутствия	25
Недостатки оптических датчиков присутствия.....	25
Преимущества герконов.....	25
Недостатки герконов.....	26
Преимущества датчиков Холла	26
Недостатки датчиков Холла	26
Что может пойти не так?.....	26
Проблемы оптических датчиков.....	26
Проблемы герконовых переключателей.....	27

Статья 4. Пассивный инфракрасный датчик 29

Описание.....	29
Обозначение на схемах.....	29
Варианты применения.....	30
Устройство и принцип действия.....	30
Пироэлектрический детектор.....	30
Чувствительные элементы.....	30
Линзы	32
Варианты изготовления	34
Что может пойти не так?.....	35
Чувствительность к температуре	35
Уязвимость окошка датчика.....	35
Воздействие влаги.....	35

> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> РАССТОЯНИЕ

Статья 5. Датчик приближения 37

Описание.....	38
Обозначение на схемах.....	38
Варианты применения.....	38

Разновидности датчиков приближения	38
Ультразвуковой датчик.....	38
Инфракрасный датчик.....	39
Сравнительные преимущества различных датчиков	39
Образцы ультразвуковых датчиков.....	39
Датчики других производителей.....	40
Отдельные пьезоизлучатели	41
Образцы инфракрасных датчиков	41
Тенденции развития инфракрасных датчиков	42
Емкостный датчик приближения	43
Варианты применения.....	44
Устройство емкостного датчика.....	44
Источники ошибок.....	44
Параметры емкостных датчиков	45
Что может пойти не так при использовании оптических и ультразвуковых датчиков приближения	45
Объект расположен слишком близко	45
Взаимные помехи.....	45
Неподходящие поверхности	45
Влияние окружающей среды.....	45
Ухудшение рабочих характеристик светодиодов.....	46

Статья 6. Датчик линейного положения47

Описание.....	47
Варианты применения.....	47
Обозначение на схемах.....	48
Устройство и принцип действия	48
Линейный потенциометр	48
Магнитные линейные энкодеры	49
Оптические линейные энкодеры.....	50
Варианты применения линейных энкодеров	51
Линейно-регулируемые дифференциальные трансформаторы	51
Что может пойти не так?.....	52
Механический износ	52
Ограниченный срок службы светодиода.....	52

> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> ОРИЕНТАЦИЯ

Статья 7. Датчик углового положения 53

Описание.....	53
Варианты применения.....	53
Условное обозначение на схемах.....	54
Потенциометры	54
Поворотный потенциометр с дуговой дорожкой.....	54

Концевые ограничители.....	55
Многооборотный потенциометр.....	55
Магнитный датчик углового положения.....	55
Микросхемы для определения углового положения.....	56
Поворотные энкодеры.....	56
Оптические поворотные энкодеры.....	57
Образцы поворотных энкодеров.....	58
Устройство компьютерной мыши.....	59
Скорость вращения.....	60
Датчики абсолютного углового положения.....	60
Код Грея.....	60
Магнитные поворотные энкодеры.....	61
Использование поворотных энкодеров.....	62
Что может пойти не так?.....	63
Неправильное подключение.....	63
Неподходящая программа обработки.....	63
Неоднозначность терминологии.....	63
Статья 8. Датчик наклона.....	65
Описание.....	66
Условное обозначение на схемах.....	66
Устройство и принцип действия.....	66
Упрощенная конструкция датчика наклона.....	67
Варианты применения.....	68
Варианты изготовления.....	68
Ртутные переключатели.....	68
Маятниковый переключатель.....	69
Датчик с намагниченным шариком.....	69
Детекторы наклона.....	69
Двухосевые детекторы наклона.....	70
Параметры датчиков наклона.....	71
Использование датчиков наклона.....	72
Что может пойти не так?.....	72
Эрозия контактов.....	72
Помехи в неустановившемся режиме.....	72
Угроза для окружающей среды.....	72
Необходимость наличия силы тяжести.....	73
Требовательность к устойчивости.....	73
Статья 9. Гироскоп.....	75
Описание.....	75
Обозначение на схемах.....	75
Гиросtabilизатор.....	75
Варианты применения.....	76

Устройство и принцип действия.....	76
Вибрационный гироскоп.....	76
Варианты изготовления	78
Гиростабилизаторы.....	78
Параметры гироскопа.....	79
Особенности использования многофункциональных датчиков	79
Что может пойти не так?.....	80
Температурный дрейф.....	80
Механическое напряжение.....	80
Внешняя вибрация	80
Место размещения	80
Статья 10. Акселерометр	81
Описание.....	81
Гиростабилизатор	81
Обозначение на схемах.....	82
Варианты применения.....	82
Устройство и принцип действия	82
Сила тяжести и свободное падение	83
Вращение акселерометра	84
Расчет ускорения	84
Варианты изготовления	84
Параметры акселерометров.....	86
Что может пойти не так?.....	86
Механическое напряжение.....	86
Другие проблемы.....	86
> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
>> КОЛЕБАНИЯ	
Статья 11. Датчик вибрации.....	87
Описание.....	87
Обозначение на схемах.....	87
Варианты конструкции	88
Штырь с пружиной	88
Пьезоэлектрическая пластинка	89
Пьезоэлектрические микросхемы	89
Конструкция типа «мышеловки».....	89
Магнитный переключатель	90
Ртутный переключатель	90
Параметры датчиков вибрации	90
Первичные переменные.....	90
Динамические характеристики.....	91

Особенности использования датчиков вибрации	91
Что может пойти не так?.....	92
Большая длина кабеля.....	92
Помехи	92
Неправильное заземление.....	92
Усталостное разрушение.....	92

> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> СИЛА

Статья 12. Датчик усилия	93
Описание.....	94
Варианты применения.....	94
Условное обозначение на схемах.....	94
Устройство и принцип действия	94
Измеритель деформации	95
Схема с мостом Уитстона	95
Уменьшение погрешности моста Уитстона.....	97
Усиление сигнала в измерителе деформации	97
Другие модули для измерения деформации	97
Датчики усилия на основе пластиковой пленки	98
Датчики деформационной силы	98
Самодельные резистивные датчики	98
Использование датчиков усилия.....	99
Резистивные датчики усилия с пластиковой пленкой.....	99
Параметры датчиков усилия.....	100
Сенсорные датчики усилия на основе пленки	100
Характеристики датчиков усилия на основе пленки	101
Измерители деформации.....	101
Что может пойти не так?.....	101
Повреждение при пайке.....	101
Неправильно приложенная нагрузка.....	101
Повреждение при проникновении влаги	102
Чувствительность к температуре	102
Чрезмерно длинные выводы.....	102

> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> ВВОД ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКОМ

Статья 13. Сенсорный датчик касания.....	103
Описание.....	104
Варианты применения.....	104
Обозначение на схемах.....	104
Устройство и принцип действия	104

Использование сенсорных датчиков.....	105
Где взять сенсорные панели	106
Одиночный сенсорный датчик	106
Сенсорные диски и линейки	106
Особенности конструкции сенсорных датчиков	107
Что может пойти не так?.....	108
Нечувствительность к перчаткам.....	108
Невозможность использования стилуса.....	108
Электропроводящий краситель.....	108
Статья 14. Сенсорный экран	109
Описание.....	109
Обозначение на схемах.....	109
Варианты конструкции	109
Резистивное считывание	109
Емкостное считывание	110
Экраны, предлагаемые в качестве компонентов	111
> ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКУЧИХ СРЕД	
>> жидкость	
Статья 15. Датчик уровня жидкости	113
Описание.....	113
Обозначение на схемах.....	113
Варианты применения.....	114
Устройство и принцип действия	114
Поплавковый датчик с двоичным выходом.....	114
Поплавковый датчик с аналоговым выходным сигналом.....	115
Поплавковый датчик с инкрементным выходным сигналом.....	116
Вытеснительные датчики уровня	116
Ультразвуковые датчики уровня.....	117
Измерение веса резервуара	117
Определение давления.....	117
Что может пойти не так?.....	118
Турбулентность	118
Влияние наклона	119
Статья 16. Датчик скорости потока жидкости	121
Описание.....	121
Обозначения на схемах.....	122
Датчики с лопастным колесом.....	122
Турбинные датчики	123
Ограничения лопастных колес и турбин	123

Датчик с нагретой массой	124
Реле расхода со скользящей муфтой	124
Реле расхода с подвижным поршнем.....	124
Ультразвуковой датчик скорости жидкости	125
Магнитный датчик скорости жидкости.....	125
Датчик скорости потока жидкости на основе перепада давления	126
Что может пойти не так?.....	126
Влияние загрязнений и коррозии материалов.....	126

> ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКУЧИХ СРЕД

>> ГАЗ/ЖИДКОСТЬ

Статья 17. Датчик давления газа/жидкости..... 127

Описание.....	127
Обозначения на схемах.....	127
Варианты применения.....	128
Особенности конструкции	128
Единицы измерения давления	128
Устройство и принцип действия	128
Виды чувствительных элементов	129
Измерение относительного давления	129
Варианты изготовления	130
Давление окружающего воздуха	130
Измерение высоты над уровнем моря	131
Датчики давления газа	131
Что может пойти не так?.....	132
Уязвимость к загрязнениям, влаге и химически активным материалам	132
Чувствительность к свету.....	132

> ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКУЧИХ СРЕД

>> ГАЗ

Статья 18. Датчик концентрации газа 133

Описание.....	133
Обозначение на схемах	134
Полупроводниковые датчики газа.....	134
Датчики кислорода	135
Датчики влажности	136
Датчик точки росы.....	136
Датчики абсолютной влажности	137
Датчики относительной влажности.....	137
Выходной сигнал датчика влажности.....	138

Аналоговый датчик влажности.....	138
Особенности монтажа датчиков влажности	139
Цифровой датчик влажности	139
Что может пойти не так?.....	140
Повреждение датчика	140
Необходимость периодической калибровки	140
Неправильная пайка.....	140

Статья 19. Датчик скорости потока газа..... 141

Описание.....	141
Варианты применения.....	141
Обозначение на схемах.....	142
Устройство и принцип действия.....	142
Анемометр.....	142
Датчики массового расхода газа.....	143
Варианты применения датчиков массового расхода	144
Единицы измерения массового расхода.....	144
Измерение больших объемов.....	145
Вид выходного сигнала	145
Что может пойти не так?.....	145

> ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

>> СВЕТ

Статья 20. Фоторезистор 147

Описание.....	147
Обозначение на схемах.....	147
Устройство и принцип действия.....	148
Конструкция	148
Варианты изготовления	148
Фоторезистор в составе оптрона	148
Параметры фоторезистора	149
Сравнение с фототранзистором	149
Использование фоторезисторов.....	150
Подключение фоторезистора	150
Что может пойти не так?.....	151
Превышение предельных параметров.....	151
Перегрузка по напряжению.....	151
Отсутствие маркировки	151

Статья 21. Фотодиод..... 153

Описание.....	153
Обозначение на схемах.....	153
Варианты применения.....	153

Устройство и принцип действия	153
Варианты изготовления	154
PIN-фотодиоды	154
Лавинные фотодиоды	154
Корпус	154
Диапазон длин волн.....	154
Фотодиодные матрицы	155
Виды выходного сигнала	155
Специализированные компоненты.....	155
Параметры фотодиодов.....	156
Использование фотодиода.....	157
Что может пойти не так?.....	158
Статья 22. Фототранзистор	159
Описание.....	159
Обозначения на схемах.....	159
Варианты применения.....	160
Устройство и принцип действия	160
Варианты изготовления	160
Подключение базы	160
Фотодарлингтон	161
Полевой фототранзистор.....	161
Параметры фототранзистора.....	161
Сравнение с другими фотодатчиками.....	162
Подбор параметров.....	162
Использование фототранзистора	162
Расчет выходного сигнала.....	163
Что может пойти не так?.....	164
Неправильное определение типа компонента.....	164
Выходной сигнал выходит за пределы рабочего диапазона.....	164

> ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

>> ТЕПЛО

Статья 23. Термистор с отрицательным температурным коэффициентом.....165

Описание.....	165
Обозначения на схемах.....	166
Варианты применения.....	166
Устройство термистора с отрицательным температурным коэффициентом	166
Преобразование выходного сигнала для определения температуры ...	167
Подбор резистора в схеме делителя	168

Включение термистора в схему моста Уитстона.....	168
Определение температуры	169
Ограничение пускового тока с помощью термистора	169
Повторное включение	170
Параметры термистора.....	170
Обозначения и сокращения.....	170
Опорная температура	171
Опорное сопротивление.....	171
Коэффициент рассеивания мощности	171
Температурный коэффициент.....	171
Постоянная времени нагрева	171
Допуск	172
Температурный диапазон	172
Ток переключения	172
Ограничение по мощности	172
Взаимозаменяемость	172
Что может пойти не так?.....	172
Самонагрев	172
Рассеивание тепла	172
Влияние внешней температуры.....	172
Сравнение датчиков температуры	172
Термистор с отрицательным температурным коэффициентом (NTC)	173
Термистор с положительным температурным коэффициентом (PTC).....	173
Термопара.....	173
Резистивный температурный датчик.....	173
Полупроводниковый датчик температуры.....	174

Статья 24. Термистор с положительным температурным коэффициентом 175

Описание.....	175
Обозначение на схемах.....	176
Обзор PTC-термисторов	176
PTC-термисторы для измерения температуры	176
Отличие от резистивного датчика температуры	177
Нелинейные PTC-термисторы.....	178
Защита от перегрева.....	178
Защита от чрезмерного тока.....	178
Ограничение броска тока с помощью PTC-термистора.....	179
Сильноточные PTC-термисторы	180
PTC-термистор для балласта в осветительных приборах	181
PTC-термистор в качестве нагревательного элемента.....	181

Что может пойти не так?.....	181
Самонагрев	181
Нагрев других компонентов	181
Статья 25. Термопара	183
Описание.....	183
Обозначение на схемах.....	184
Варианты применения термопар	184
Устройство и принцип действия	185
Подробнее о термопарах.....	186
Использование термопар	186
Типы термопар	187
Коэффициент Зеебека.....	187
Микросхемы для работы с термопарами	188
Термобатарей.....	189
Что может пойти не так?.....	190
Полярность	190
Электрические помехи.....	190
Усталость металла и окисление.....	190
Неправильный тип термопары.....	190
Тепловое повреждение при создании термопары	190
Статья 26. Резистивный датчик температуры	191
Описание.....	191
Свойства резистивного датчика температуры.....	192
Обозначение на схемах.....	192
Варианты применения.....	192
Устройство и принцип действия	193
Варианты изготовления	193
Электрическое подключение	194
RTD-зонд.....	194
Обработка сигнала RTD-датчика.....	195
Что может пойти не так?.....	195
Самонагрев	195
Влияние нагрева на изоляцию проводов	195
Неподходящий чувствительный элемент.....	195
Статья 27. Полупроводниковый датчик температуры....	197
Описание.....	197
Варианты применения полупроводникового датчика	
температуры.....	198
Обозначение на схемах.....	198
Достоинства и недостатки полупроводникового датчика	
температуры.....	199

Устройство и принцип действия	199
КМОП-датчики	199
Преимущество использования нескольких транзисторов	199
Схема Брокау	200
Варианты изготовления	201
Датчики с аналоговым выходным напряжением	201
Датчики с аналоговым выходным током	203
Датчики с цифровым выходным сигналом	204
Датчики температуры на основе КМОП	206
Что может пойти не так?	207
Различные температурные шкалы	207
Помехи в кабельной проводке	207
Время задержки	207
Время обработки сигнала	207
Статья 28. Инфракрасный датчик температуры	209
Описание	209
Варианты применения бесконтактных датчиков температуры	210
Обозначение на схемах	210
Устройство и принцип действия	211
Термоэлемент	212
Измерение температуры	212
Варианты изготовления	213
Датчики для поверхностного монтажа	214
Матрицы из датчиков	214
Параметры инфракрасных термодатчиков	214
Диапазон температур	214
Поле зрения	215
Что может пойти не так?	215
Неподходящее поле зрения	215
Отражающие объекты	215
Стеклянные преграды	215
Несколько источников тепла	215
Перепады температур	215

> ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

>> ЗВУК

Статья 29. Микрофон	217
Описание	217
Обозначение на схемах	217
Устройство и принцип действия	218
Угольный микрофон	218
Микрофон с подвижной катушкой	218

Конденсаторный микрофон.....	219
Электретный микрофон.....	219
Микрофон с использованием микроэлектромеханических систем.....	220
Пьезоэлектрический микрофон.....	220
Параметры микрофонов.....	220
Чувствительность.....	220
Диаграмма направленности.....	221
Частотная характеристика.....	221
Импеданс.....	222
Суммарный коэффициент гармонических искажений.....	222
Отношение сигнал/шум.....	223
Что может пойти не так?.....	223
Наводки в кабеле.....	223
Помехи от источника питания.....	223

> ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> ТОК

Статья 30. Датчик тока.....	225
Описание.....	225
Варианты применения.....	225
Амперметр.....	225
Обозначение на схемах.....	226
Подключение амперметра.....	226
Расчет тока через измерение напряжения.....	227
Резисторы для измерения тока.....	227
Измерение напряжения.....	229
Измерение тока с помощью эффекта Холла.....	229
Что может пойти не так?.....	230
Неподходящий тип тока.....	230
Магнитные помехи.....	230
Неправильное электрическое подключение амперметра.....	230
Ток, выходящий за рабочий диапазон.....	230

> ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

>> НАПРЯЖЕНИЕ

Статья 31. Датчик напряжения.....	231
Описание.....	231
Варианты применения.....	231
Щитовой вольтметр.....	231
Обозначение на схемах.....	232
Подключение вольтметра.....	232

Особенности использования вольтметра	233
Неточность, вызванная наличием нагрузки.....	233
Гистограммный индикатор	234
Что может пойти не так?.....	235
Неподходящий тип тока	235
Высокий импеданс цепи	235
Напряжение, выходящее за рабочий диапазон	235
Вольтметр с заземленным входом	235
Приложение 1. Выходной сигнал датчика	237
Аналоговый выходной сигнал.....	238
1. Аналоговый выход: напряжение	238
2. Аналоговый выход: сопротивление.....	240
3. Аналоговый выход: открытый коллектор	240
4. Аналоговый выход: ток	241
5. Двоичный выход: высокое/низкое состояние	242
6. Двоичный выход: ШИМ-сигнал	242
7. Двоичный выход: изменяющаяся частота.....	243
8. Цифровой выход: протокол I2C	243
9. Цифровой выход: протокол SPI.....	243
Глоссарий.....	245
Предметный указатель	249