

Spis treści

Wstęp	xix
I. GPS	1
Funkcja	1
Symbol schematyczny	1
Segmenty systemu nawigacji satelitarnej	1
Działanie	1
Rodzaje	2
Wartości	3
Stosowanie	3
Wyjście 1-hercowe	3
Możliwe problemy	4
Wyładowanie elektrostatyczne	4
Brak właściwego połączenia z masą	4
Niepewne połączenia (zimne luty)	4
Ograniczona dostępność	4
Brak zdolności wykrywania satelitów	4
Przekroczenie maksymalnej prędkości lub wysokości	4
2. Magnetometr	5
Funkcja	5
Symbol schematyczny	5
IMU	5
Zastosowania	6
Działanie	6
Pole magnetyczne	6
Osie kuli ziemskiej	7
Magnetometr indukcyjny	7
Efekt Halla i magnetorezystancja	8
Rodzaje	8
Stosowanie	9
Możliwe błędy	9
Zakłócenia	9
Błędy montażowe	9

3. Wykrywacz obiektów	11
Funkcja	11
Symbol schematyczny	11
Rodzaje	12
Wykrywacze optyczne	12
Wykrywacze magnetyczne	16
Wartości	19
Stosowanie	19
Konfiguracje wykrywaczy obiektów	20
Ruch postępowy	20
Wykrywanie przez przerywanie strumienia magnetycznego	20
Ruch obrotowy	21
Porównanie czujników	21
Zalety optycznych wykrywaczy obiektów	21
Wady optycznych wykrywaczy obiektów	21
Zalety kontaktronu	21
Wady kontaktronu	21
Zalety czujnika Halla	21
Wady czujnika Halla	22
Możliwe błędy	22
Wykrywacze optyczne	22
Kontaktory	22
4. Pasywny czujnik podczerwieni	23
Funkcja	23
Symbole schematyczne	23
Zastosowania	23
Działanie	24
Detektor piroelektryczny	24
Elementy detektora	24
Soczewki	25
Rodzaje	27
Możliwe błędy	28
Wrażliwość na temperaturę	28
Podatność na zanieczyszczenia	28
Podatność na zawiłgocenie	28
5. Czujnik zbliżeniowy	29
Funkcja	29
Symbole elektryczne	29
Zastosowania	29
Rodzaje	30
Ultradźwięki	30
Podczerwień	30
Porównanie zalet	30
Przykłady urządzeń ultradźwiękowych	31
Urządzenia azjatyckie	31

Pojedyncze komponenty	32
Przykłady czujników na podczerwień	32
Trendy w dziedzinie zbliżeniowych czujników na podczerwień	33
Pojemnościowy czujnik zbliżeniowy	34
Zastosowania	34
Działanie	35
Źródła błędów	35
Wartości	35
Możliwe błędy optycznych i ultradźwiękowych czujników zbliżeniowych	36
Zbyt mała odległość do obiektu	36
Zbyt wiele sygnałów	36
Niewłaściwe powierzchnie	36
Czynniki atmosferyczne	36
Zmniejszona wydajność diod LED	36
6. Przetwornik położenia liniowego	37
Funkcja	37
Zastosowania	37
Symbol elektryczny	37
Działanie	37
Potencjometr liniowy	38
Magnetyczne enkodery liniowe	38
Optyczne enkodery liniowe	39
Zastosowania enkoderów liniowych	40
Transformatorowe czujniki przemieszczeń liniowych o układzie różnicowym	40
Możliwe błędy	41
Problemy mechaniczne	41
Żywotność diod LED	41
7. Czujnik położenia kąтового	43
Funkcja	43
Zastosowania	43
Symbol schematyczny	43
Potencjometry	44
Potencjometr obrotowy	44
Ograniczniki ruchu ślizgacza	44
Potencjometr wieloobrotowy	44
Magnetyczny czujnik położenia kąтового	45
Układy scalone	45
Enkodery obrotowe	46
Obrotowy enkoder optyczny	46
Produkty optyczne	47
Działanie myszy komputerowej	48
Prędkość obrotowa	48

Położenie bezwzględne	49
Kod Graya	49
Obrotowy enkoder magnetyczny	50
Stosowanie	51
Możliwe błędy	51
Niewłaściwe połączenia	51
Niewłaściwe oprogramowanie	51
Niejednoznaczna terminologia	51
8. Czujnik nachylenia	53
Funkcja	53
Symbol schematyczny	53
Działanie	54
Wersja uproszczona	54
Zastosowania	54
Rodzaje	56
Przełączniki rtęciowe	56
Przełączniki wahadłowe	56
Magnesowanie	56
Czujniki nachylenia	56
Dwuosiowe czujniki nachylenia	57
Wartości	58
Stosowanie	58
Możliwe błędy	59
Erozja kontaktów	59
Przypadkowe sygnały	59
Zagrożenia dla środowiska	59
Niewłaściwa siła grawitacyjna	59
Brak stabilności	59
9. Żyroskop	61
Funkcja	61
Symbol schematyczny	61
IMU	61
Zastosowania	61
Działanie	62
Żyroskop wibracyjny	62
Rodzaje	64
Układy IMU	64
Wartości	64
Stosowanie	65
Możliwe błędy	65
Dryft temperaturowy	65
Napężenia mechaniczne	65
Drgania zewnętrzne	65
Usytuowanie	65

10. Akcelerometr	67
Funkcja	67
IMU	67
Symbol schematyczny	68
Zastosowania	68
Działanie	68
Grawitacja i swobodne spadanie	69
Obroty	69
Obliczenia	69
Rodzaje	70
Wartości	71
Możliwe błędy	72
Napężenia mechaniczne	72
Inne problemy	72
 11. Czujnik drgań	73
Funkcja	73
Symbole schematyczne	73
Rodzaje	74
Trzpień i sprężyna	74
Taśma piezoelektryczna	74
Piezoelektryki scalone	75
„Łapka na myszy”	75
Urządzenia magnetyczne	75
Wibracyjny przełącznik rtęciowy	76
Wartości	76
Wielkości podstawowe	76
Parametry dynamiczne	76
Stosowanie	77
Możliwe błędy	77
Zbyt długie przewody	77
Zakłócenia	78
Prawidłowe uziemienie	78
Zmęczenie materiału	78
 12. Czujnik nacisku	79
Funkcja	79
Zastosowania	79
Symbol schematyczny	80
Działanie	80
Tensometr	80
Mostek Wheatstone’a	81
Błędy mostka Wheatstone’a	82
Wzmocnienie tensometru	82
Inne moduły tensometryczne	82
Czujniki nacisku z folii plastikowej	83

Stosowanie	84
Rezystancyjne czujniki nacisku z folii plastikowej	84
Wartości	85
Foliowe czujniki nacisku służące do wprowadzania danych przez użytkownika	85
Dane katalogowe foliowych czujników nacisku	85
Tensometry	86
Możliwe błędy	86
Uszkodzenia powstałe podczas lutowania	86
Złe rozłożenie obciążenia	86
Zawilgocenie	86
Wpływ temperatury	86
Zbyt długie przewody	86
13. Czujnik dotyku	87
Funkcja	87
Zastosowania	88
Symbole schematyczne	88
Działanie	88
Stosowanie	88
Pozyskiwanie płytek dotykowych	89
Indywidualna płytka dotykowa	89
Krażki i taśmy	90
Uwagi dotyczące projektowania	90
Możliwe błędy	91
Niewrażliwość na rękawice	91
Problemy z rysikiem	91
Atrament przewodzący	91
14. Ekran dotykowy	93
Funkcja	93
Symbol schematyczny	93
Rodzaje	93
Ekran rezystancyjny	93
Ekran pojemnościowy	94
Ekran jako części elektroniczne	94
15. Czujnik poziomu cieczy	97
Funkcja	97
Symbole schematyczne	97
Zastosowania	97
Działanie	98
Czujnik pływakowy z wyjściem binarnym	98
Czujnik pływakowy z wyjściem analogowym	99
Czujnik pływakowy z wyjściem przyrostowym	99
Wypornościowe czujniki poziomu	99
Ultradźwiękowe czujniki poziomu	100

Ważenie zbiornika	100
Pomiar ciśnienia	101
Możliwe błędy	101
Turbulencje	101
Przechylenie zbiornika	102
16. Czujnik prędkości przepływu cieczy	103
Funkcja	103
Symbole schematyczne	103
Łopatkowe czujniki przepływu cieczy	103
Turbinowe czujniki prędkości przepływu	104
Ograniczenia kół łopatkowych i turbin	105
Termiczny przepływomierz masowy cieczy	105
Przełącznik przepływowy z ruchomą tuleją	105
Przełącznik przepływowy z ruchomym tłokiem	106
Ultradźwiękowy czujnik prędkości przepływu cieczy	106
Magnetyczny czujnik przepływu cieczy	106
Przepływomierz różnicowo-ciśnieniowy	107
Możliwe błędy	107
Podatność na zanieczyszczenia i korozję	107
17. Czujnik ciśnienia	109
Funkcja	109
Symbole schematyczne	109
Zastosowania	109
Zagadnienia ogólne	110
Jednostki	110
Działanie	110
Podstawowe elementy sensoryczne	110
Pomiar względny	110
Rodzaje	112
Ciśnienie powietrza w otoczeniu	112
Wysokość nad poziomem morza	112
Ciśnienie gazu	112
Możliwe błędy	113
Podatność na brud, wilgoć i korozję	113
Wrażliwość na światło	114
18. Czujnik stężenia gazu	115
Funkcja	115
Symbol schematyczny	115
Półprzewodnikowe czujniki gazów	115
Czujniki tlenu	117
Czujniki wilgotności	117
Czujnik punktu rosy	117
Czujniki wilgotności bezwzględnej	118
Czujniki wilgotności względnej	118

Wyjście czujnika wilgotności	118
Analogowy czujnik wilgotności	119
Uwagi konstrukcyjne	119
Cyfrowy czujnik wilgotności	120
Możliwe błędy	120
Zanieczyszczenie	120
Ponowna kalibracja	120
Lutowanie	120
19. Czujnik natężenia przepływu gazu	121
Funkcja	121
Zastosowania	121
Symbol schematyczny	121
Działanie	121
Anemometr	122
Czujniki natężenia przepływu masowego	123
Zastosowania	124
Jednostki	124
Pomiar większych objętości	124
Wyjście	124
Możliwe błędy	125
20. Fotorezystor	127
Funkcja	127
Symbol schematyczny	127
Działanie	127
Budowa	128
Rodzaje	128
Fotorezystory w optoizolatorach	128
Wartości	129
Porównanie z fototranzystorem	129
Stosowanie	129
Dobór rezystora szeregowego	130
Możliwe błędy	130
Przeciążenie	130
Zbyt wysokie napięcie	130
Pomyłki w identyfikacji	130
21. Fotodiody	131
Funkcja	131
Symbole schematyczne	131
Zastosowania	131
Działanie	131
Rodzaje	132
Fotodiody PIN	132
Diody lawinowe	132
Obudowy	132
Zakres długości fal	132

Matryce fotodiod	133
Opcje wyjść	133
Konkretne warianty	133
Wartości	134
Stosowanie	135
Możliwe błędy	135
22. Fototranzystor	137
Funkcja	137
Symbole schematyczne	137
Zastosowania	137
Działanie	138
Rodzaje	138
Opcjonalne podłączenie bazy	138
Fotodarlington	138
Fototranzystor FET	138
Wartości	139
Działanie w porównaniu z innymi czujnikami światła	139
Selekcjonowanie	140
Stosowanie	140
Obliczanie napięcia wyjściowego	140
Możliwe błędy	141
Niewłaściwa identyfikacja wizualna	141
Sygnał wyjściowy poza zakresem	141
23. Termistor NTC	143
Funkcja	143
Symbole schematyczne	143
Zastosowania	143
Działanie	144
Interpretacja sygnału wyjściowego	144
Dobór rezystora szeregowego	145
Obwód mostka Wheatstone'a	145
Wyznaczanie wartości temperatury	146
Ogranicznik prądu początkowego	146
Restart	147
Wartości	147
Czas i temperatura	148
Rezystancja i reakcja	148
Kiloomy i kelwiny	148
Temperatura odniesienia	148
Rezystancja odniesienia	148
Stała rozpraszania	148
Współczynnik temperaturowy	148
Ciepłna stała czasowa	148
Tolerancja	148
Zakres temperatur	149

Prąd przełączania	149
Ograniczenia mocy	149
Wymiennosc	149
Możliwe błędy	149
Samonagrzewanie	149
Rozpraszanie ciepła	149
Brak ciepła	149
Uzupełnienie — porównanie czujników temperatury	149
Termistor NTC	149
Termistor PTC	150
Termopara	150
Rezystancyjny czujnik temperatury	150
Półprzewodnikowy czujnik temperatury	150

24. Termistor PTC153

Funkcja	153
Symbole schematyczne	153
Przegląd termistorów PTC	154
Silistory do pomiaru temperatury	154
Rezystancyjne czujniki temperatury	155
Termistory nieliniowe PTC	155
Jako ochrona przed nadmierną temperaturą	155
Jako zabezpieczenie nadprądowe	156
Jako ogranicznik prądu rozruchowego	156
Termistor PTC do statecznika oświetleniowego	158
Termistor PTC jako element grzejny	158
Możliwe błędy	158
Samonagrzewanie	158
Nagrzewanie innych elementów	158

25. Termopara 159

Funkcja	159
Symbol schematyczny	160
Zastosowania termopary	160
Działanie	161
Kilka faktów na temat termopary	162
Stosowanie	162
Rodzaje termopar	162
Współczynniki Seebecka	163
Układy do interpretowania danych wyjściowych	163
Termostos	164
Możliwe błędy	165
Polaryzacja	165
Zakłócenia elektryczne	165
Zmęczenie metalu i utlenianie	165
Zastosowanie termopary niewłaściwego typu	165
Uszkodzenie termopary pod wpływem ciepła	165

26. Rezystancyjny czujnik temperatury 167

Funkcja	167
Atrybuty elementów RTD	167
Symbol schematyczny	168
Zastosowania	168
Działanie	168
Rodzaje	168
Połączenia	169
Sonda RTD	169
Przetwarzanie sygnału	170
Możliwe błędy	170
Samonagrzewanie	170
Wpływ ciepła na izolację	170
Niekompatybilny element pomiarowy	170

27. Półprzewodnikowy czujnik temperatury171

Funkcja	171
Zastosowania półprzewodnikowych czujników temperatury	172
Symbol schematyczny	172
Właściwości	172
Działanie	173
Czujniki CMOS	173
Zestawy tranzystorowe	173
PTAT i układ Brokawa	173
Rodzaje	174
Analogowe wyjście napięciowe	174
Analogowe wyjście prądowe	175
Wyjście cyfrowe	177
Półprzewodnikowe czujniki temperatury typu CMOS	178
Możliwe błędy	179
Różne skale temperatury	179
Zakłócenia indukowane w przewodach	179
Opóźnienie	179
Czas przetwarzania	179

28. Czujnik temperatury na podczerwień181

Funkcja	181
Zastosowania	182
Symbol schematyczny	182
Działanie	182
Termostos	183
Pomiar temperatury	183
Rodzaje	184
Parametry czujników montowanych powierzchniowo	184
Układy czujników	185

Wartości	185
Zakres temperatur	185
Pole widzenia	185
Możliwe błędy	185
Niewłaściwe pole widzenia	185
Obiekty odbłaskowe	185
Przeszkody szklane	186
Wiele źródeł ciepła	186
Gradienty termiczne	186

29. Mikrofon 187

Funkcja	187
Symbol schematyczny	187
Działanie	188
Mikrofon węglowy	188
Mikrofon dynamiczny	188
Mikrofon pojemnościowy	188
Mikrofon elektretowy	188
Mikrofon typu MEMS	189
Mikrofon piezoelektryczny	189
Wartości	190
Czułość	190
Kierunkowość	190
Charakterystyka częstotliwościowa	191
Impedancja	191
Zniekształcenia harmoniczne	192
Stosunek sygnału do szumu	192
Możliwe błędy	192
Czułość przewodów	192
Zakłócenia ze strony zasilacza	192

30. Czujnik natężenia prądu 193

Funkcja	193
Zastosowania	193
Amperomierz	193
Symbol schematyczny	194
Podłączanie amperomierza	194
Rezystor szeregowy	194
Rezystory pomiarowe	195
Pomiar napięcia	196
Czujnik prądu z efektem Halla	196
Możliwe błędy	197
Pomylenie prądu przemiennego ze stałym	197
Zakłócenia magnetyczne	197
Nieprawidłowe podłączenie miernika	197
Prąd poza zakresem	197

3I. Czujnik napięcia	199
Funkcja	199
Zastosowania	199
Woltomierz	199
Symbol schematyczny	200
Podłączanie woltomierza	200
Działanie	200
Niedokładności związane z obciążeniem	201
Bargraf	201
Możliwe błędy	201
Pomylenie prądu przemiennego ze stałym	201
Wysoka impedancja obwodu	202
Napięcie poza zakresem	202
Napięcie względem masy	202
 A. Sygnały wyjściowe czujników	203
Wyjścia czujników	203
1. Wyjście analogowe — napięcie	204
2. Wyjście analogowe — rezystancja	205
3. Wyjście analogowe — otwarty kolektor	206
4. Wyjście analogowe — natężenie prądu	207
5. Wyjście binarne — stan wysoki lub niski	207
6. Wyjście binarne — PWM	207
7. Wyjście binarne — częstotliwość	208
8. Wyjście cyfrowe — I2C	208
9. Wyjście cyfrowe — SPI	208
 Słowniczek	211
O autorach	213
 Skorowidz	215