

<b>1. Wiadomości wstępne o wzmacniaczach pomiarowych</b> .....	7
1.1. Wzmacniacz pomiarowy a wzmacniacz operacyjny: różnice.....	8
1.1.1. Wzmocnienie sygnału różnicowego i tłumienie sygnału sumacyjnego.....	10
1.1.2. CMR: wzmacniacz operacyjny kontra wzmacniacz pomiarowy.....	11
1.2. Wzmacniacze różnicowe.....	13
1.3. Gdzie stosuje się wzmacniacze pomiarowe i wzmacniacze różnicowe?.....	14
1.3.1. Zbieranie danych.....	14
1.3.2. Sprzęt medyczny.....	14
1.3.3. Elektroniczne układy pomiarowo-kontrolne.....	14
1.3.4. Aplikacje sterowane programowo.....	14
1.3.5. Aplikacje audio.....	14
1.3.6. Kondycjonowanie szybkich sygnałów.....	15
1.3.7. Aplikacje wideo.....	15
1.3.8. Zastosowania w układach sterowania mocą.....	15
1.4. Wzmacniacze pomiarowe: widok z zewnątrz.....	15
1.5. Dodatkowe własności definiujące wzmacniacz pomiarowy wysokiej klasy.....	17
1.5.1. Wysoka wartość CMR dla prądu zmiennego (nie tylko dla stałego).....	17
1.5.2. Małe napięcie niezrównoważenia i jego dryft.....	17
1.5.3. Jednakowe impedancje wejściowe o dużej wartości.....	17
1.5.4. Małe błędy wejściowych prądów polaryzacji i niezrównoważenia.....	18
1.5.5. Małe szумы.....	18
1.5.6. Małe nieliniowości.....	18
1.5.7. Proste nastawianie wzmocnienia.....	18
1.5.8. Odpowiednie pasmo.....	19
1.5.9. Konwersja sygnału symetrycznego (różnicowego) na niesymetryczny.....	19
1.5.10. Zakres zmian napięcia <i>rail-to-rail</i> na wejściu i wyjściu.....	19
1.5.11. Pobór mocy a pasmo, szybkość i szумы.....	19
<b>2. Wnętrze wzmacniacza pomiarowego</b> .....	21
2.1. Prosty układ odejmujący ze wzmacniaczem operacyjnym jako wzmacniacz pomiarowy.....	22
2.2. Usprawnienie prostego układu odejmującego buforami wejściowymi.....	23
2.3. Wzmacniacz pomiarowy zbudowany z 3 wzmacniaczy operacyjnych.....	24
2.4. Projektowanie wzmacniacza pomiarowego z 3 wzmacniaczami operacyjnymi.....	25
2.5. Podstawowy układ wzmacniacza pomiarowego z 2 wzmacniaczami operacyjnymi.....	27
2.6. Wzmacniacz pomiarowy złożony z 2 wzmacniaczy operacyjnych.....	28
<b>3. Monolityczne wzmacniacze pomiarowe</b> .....	33
3.1. Wyższość wzmacniaczy pomiarowych monolitycznych nad dyskretnymi.....	34
3.1.1. Co wybrać – wzmacniacz pomiarowy czy różnicowy.....	35
3.2. Konstrukcja monolitycznego wzmacniacza pomiarowego – co kryje się wewnątrz.....	35
3.2.1. Wzmacniacze pomiarowe wysokiej jakości.....	35
3.2.2. Wzmacniacze pomiarowe o niskim koszcie.....	42
3.2.3. Precyzyjne wzmacniacze pomiarowe programowane końcówkami.....	43

3.2.4.	Wzmacniacze pomiarowe z autozerowaniem .....	47
3.2.5.	Wzmacniacze pomiarowe o ustalonym (i stabilnym) wzmacnieniu .....	58
3.2.6.	Monolityczne wzmacniacze pomiarowe optymalizowane do zasilania pojedynczym napięciem .....	60
3.2.7.	Wzmacniacze pomiarowe o niskim poborze mocy zasilane pojedynczym napięciem.....	63
3.2.8.	Wzmacniacze pomiarowe o programowanym wzmacnieniu .....	67
<b>4.</b>	<b>Monolityczne wzmacniacze różnicowe .....</b>	<b>69</b>
4.1.	Seria wzmacniaczy różnicowych (odejmujących) .....	70
4.2.	Wzmacniacz różnicowy AD8205 .....	74
4.3.	Ustalanie wzmacnienia.....	82
4.4.	Wzmacniacze/odbiorniki różnicowe dużej częstotliwości .....	85
<b>5.</b>	<b>Skuteczne stosowanie wzmacniaczy pomiarowych .....</b>	<b>87</b>
5.1.	Zasilanie wzmacniaczy pomiarowych.....	88
5.1.1.	Zasilanie podwójnym napięciem .....	88
5.1.2.	Zasilanie pojedynczym napięciem .....	88
5.1.3.	Potrzeba niskonapięciowych wzmacniaczy pomiarowych typu <i>rail-to-rail</i> z pojedynczym zasilaniem .....	88
5.1.4.	Blokowanie i odprężanie zasilania oraz kwestie stabilności .....	89
5.2.	Znaczenie wejściowej masy powrotnej.....	90
5.2.1.	Zagwarantowanie odpowiedniego zakresu zmian napięć wejściowych i wyjściowych przy sprzężeniu zmiennoprądowym i pojedynczym napięciu zasilania .....	92
5.2.2.	Dobór i parowanie elementów sprzęgających RC .....	93
5.2.3.	Poprawne sterowanie wejścia referencyjnego wzmacniacza pomiarowego.....	94
5.3.	Dopasowanie do impedancji kabli .....	95
5.4.	Podstawy zabezpieczania wejść wzmacniaczy pomiarowych ADI .....	95
5.4.1.	Zabezpieczanie wejść przed ESD i przeciążeniami stałoprądowymi .....	95
5.4.2.	Dołączanie zewnętrznych diod zabezpieczających.....	102
5.4.3.	Zabezpieczenie przed ESD i przeciążeniami przejściowymi .....	103
5.5.	Elementy projektowania wpływające na dokładność stałoprądową .....	104
5.5.1.	Minimalizacja dryftu napięcia niezrównoważenia .....	104
5.5.2.	Minimalizacja dryftu wzmacnienia .....	104
5.5.3.	Rozwiązania praktyczne .....	107
5.6.	Błędy RTI i RTO.....	108
5.6.1.	Błąd niezrównoważenia .....	108
5.6.2.	Szumy .....	109
5.7.	Zmniejszanie błędów prostowania RFI we wzmacniaczach pomiarowych .....	109
5.7.1.	Projektowanie praktycznych filtrów RFI.....	110
5.7.2.	Poradnikowa metoda wyznaczania wartości elementów filtra wejściowego RFI.....	112
5.7.3.	Przykładowe projekty .....	112
5.8.	Filtr RFI dla wzmacniacza sygnałów z czujników AD8555 .....	115
5.8.1.	Wzmacniacz pomiarowy z wewnętrznymi filtrami EMI/RFI.....	116
5.8.2.	Filtry sygnałów sumacyjnych z kondensatorami X2Y®.....	118
5.8.3.	Stosowanie dławików wzdluznych w.cz. w filtrach RFI dla wzmacniaczy pomiarowych.....	119

5.9.	Testowanie RFI .....	121
5.10.	Stosowanie filtracji dolnopasmowej do poprawy stosunku sygnał/szum .....	122
5.11.	Zewnętrzna regulacja CMR i czasu ustalania .....	123
<b>6.</b>	<b>Zastosowanie wzmacniaczy pomiarowych i różnicowych .....</b>	<b>125</b>
6.1.	Wzmacniacz pomiarowy z wyjściem różnicowym .....	126
6.2.	Wzmacniacz różnicowy do pomiaru wysokich napięć .....	127
6.2.1.	Precyzyjne źródło prądowe .....	128
6.2.2.	Integrator dla regulatora PID .....	129
6.2.3.	Złożony wzmacniacz pomiarowy ze znakomitym CMR dla w.cz .....	130
6.2.4.	Pomiary tensometryczne z pobudzeniem zmiennoprądowym .....	132
6.3.	Zastosowania precyzyjnego bloku wzmacniającego AD628 .....	133
6.3.1.	Dlaczego stosuje się bloki wzmacniające? .....	133
6.3.2.	Typowy bufor przetwornika ADC z wejściem różnicowym i jednobiegunowym filtrem dolnopasmowym .....	134
6.3.3.	Zmiana wyjściowego współczynnika skalowania .....	134
6.3.4.	Dodatkowy rezystor zewnętrzny umożliwiający pracę AD628 ze wzmocnieniami mniejszymi od 0,1 .....	135
6.3.5.	Różnicowy układ wejściowy z dwubiegunowym filtrem dolnopasmowym .....	136
6.3.6.	Zastosowanie AD628 do budowy precyzyjnych bloków wzmacniających .....	137
6.3.7.	AD628 jako precyzyjny blok wzmacniający o wzmocnieniu +10 lub -10 .....	139
6.3.8.	AD628 w układzie o precyzyjnym wzmocnieniu +11 .....	140
6.3.9.	AD628 w układzie o precyzyjnym wzmocnieniu +1 .....	140
6.3.10.	Blok wzmacniający z poszerzonym pasmem, wzmocnieniem -9,91 i sprzężeniem wprzód .....	141
6.4.	Nadajnik prądowy redukuje zakłócenia związane z masą .....	141
6.5.	Interfejs przetwornika ADC dla dużych sygnałów .....	143
6.6.	Szybki, nieodwracający wzmacniacz sumujący .....	145
6.7.	Monitor wysokiego napięcia .....	147
6.8.	Precyzyjny monitor linii 48 V .....	148
6.9.	Pomiar prądu od strony wysokiego potencjału, gdy klucz jest włączony od strony masy .....	151
6.10.	Pomiar prądu od strony wysokiego potencjału, gdy klucz jest włączony również od strony wysokiego potencjału .....	152
6.10.1.	Sterowanie silnikami .....	152
6.11.	Zastosowanie w mostkach .....	153
6.11.1.	Klasyczny mostek pomiarowy .....	153
6.11.2.	System zbierania danych z pojedynczym napięciem zasilającym .....	154
6.11.3.	Bipolarny układ sterowania mostka o małym spadku napięcia .....	154
6.12.	Interfejsy przetworników pomiarowych .....	155
6.13.	Kondycjonowanie sygnałów EKG .....	156
6.14.	Technika pomiaru zdalnego obciążenia .....	158
6.15.	Precyzyjny przetwornik napięcie-prąd .....	159
6.16.	Interfejs czujnika prądu .....	160

6.17.	Separowanie wyjścia wzmacniaczy pomiarowych o małym poborze mocy.....	161
6.18.	Odbiornik 4...20 mA zasilany pojedynczym napięciem.....	161
6.19.	Wzmacniacz termopary zasilany pojedynczym napięciem.....	163
6.20.	Układy specjalne.....	164
<b>7.</b>	<b>Dobór wzmacniaczy pomiarowych do współpracy z nowoczesnymi przetwornikami ADC.....</b>	<b>165</b>
7.1.	Obliczanie wymagań stawianych przetwornikowi ADC.....	166
7.2.	Dobór wzmacniaczy pomiarowych ADI do popularnych przetworników ADC.....	167
7.3.	Zbieranie danych z dużą szybkością.....	173
7.4.	Szybki wzmacniacz pomiarowy dla systemu zbierania danych.....	175
	<b>Dodatki.....</b>	<b>177</b>
	<b>Dodatek A. Parametry wzmacniaczy pomiarowych.....</b>	<b>178</b>
A.1.	Parametry (Warunki).....	178
A.2.	Tłumienie sygnałów sumacyjnych.....	178
A.3.	Tłumienie zmiennoprądowych sygnałów sumacyjnych.....	182
A.4.	Napięcie niezrównoważenia.....	183
A.5.	Wejściowe prądy polaryzacji i niezrównoważenia.....	184
A.6.	Zakres napięć pracy.....	184
A.7.	Spoczynkowy prąd zasilania.....	185
A.8.	Czas ustalania.....	185
A.9.	Wzmocnienie.....	185
A.10.	Zakres wzmocnienia.....	186
A.11.	Błąd wzmocnienia.....	186
A.12.	Nieliniowość.....	187
A.13.	Wzmocnienie w funkcji temperatury.....	188
A.14.	Kluczowe parametry wzmacniaczy pomiarowych zasilanych pojedynczym napięciem.....	188
	<b>Dodatek B. Tabela wyboru wzmacniaczy.....</b>	<b>189</b>
	<b>Wykaz literatury.....</b>	<b>192</b>