

Współczesne wzmacniacze monolityczne w układach i systemach pomiarowych (2)

▶ Jacek Korytkowski

Zaprezentowano zestawienie charakterystycznych wzmacniaczy stosowanych w układach i systemach pomiarowych oraz przedstawiono przegląd parametrów wybranych typów współczesnych wzmacniaczy monolitycznych. Pierwsza część artykułu została opublikowana w PAR nr 2/2009.

Przegląd parametrów wybranych typów współczesnych wzmacniaczy monolitycznych

Dla układów i systemów pomiarowych, ze względu na zastosowanie, wyróżnić można dwie charakterystyczne grupy wzmacniaczy:

- wzmacniacze precyzyjne o małych dryftach parametrów wejściowych
- wzmacniacze mikromocowe o szczególnie małym poborze mocy zasilania.

Wzmacniacze precyzyjne o małych dryftach

Wzmacniacze o małych dryftach parametrów wejściowych, zwane wzmacniaczami wysokiej precyzji (*high precision*), są stosowane jako wzmacniacze pomiarowe małych poziomów sygnałów elektrycznych, pracują w układach dokładnych przetworników pomiarowych z czujnikami elektrycznymi generacyjnymi (np. termoelementy) i parametrycznymi (np. termorezystory, tensometry rezystancyjne), służą do realizacji dokładnych źródeł sygnałów odniesienia, są stosowane w dokładnych symulatorach rezystancji, stanowią najważniejsze elementy przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowo-analogowych wykorzystywanych w testach oraz w stanowiskach pomiarowych do kontroli właściwości metrologicznych urządzeń i systemów pomiarowych.

Od wzmacniaczy do wymienionych zastosowań wymaga się dużej wartości wzmocnienia oraz odporności parametrów na zmiany warunków pracy (temperatura otoczenia, napięcia zasilania). Wymagana jest także długotrwała, wielomiesięczna lub wieloletnia ciągła praca, bez potrzeby wzorcowania układów pomiarowych.

W tab. 1 podano przegląd parametrów najlepszych wzmacniaczy o małych dryftach produkcji kilku przodujących firm światowych: LT1097 [7] – Linear Technology, OP97 [8] i OP77 [11] – Analog Devices, MAX427 [9] MAXIM, OPA227 [10] i OPA277 [12] –

Burr-Brown oraz Texas Instruments. Są to nieliczne typy najlepszych wzmacniaczy oferowanych przez firmy zastępujące starsze opracowania wzmacniaczy mono OP05 i mono OP07 nieistniejącej już firmy Precision Monolithics Inc.

Większość producentów liniowych układów scalonych oferuje wzmacniacze monolityczne o małych dryftach, ale nie wszystkie z oferowanych mają wyspecyfikowane dryfty długoterminowe napięcia niezrównoważenia, a jest to parametr kluczowy przy zastosowaniach do dokładnych układów pomiarowych. Wzmacniacze rozpatrywane w tab. 1 charakteryzują się deklarowanymi przez producentów dryftami długoterminowymi napięcia niezrównoważenia.

Wzmacniacze precyzyjne charakteryzuje bardzo duża wartość współczynnika wzmocnienia napięciowego, którego wartość typowa jest zawarta w przedziale od 10^6 V/V do 10^8 V/V (tab. 1).

Współczesne wzmacniacze precyzyjne charakteryzują się bardzo małymi typowymi wartościami wejściowego napięcia niezrównoważenia w przedziale od $5 \mu\text{V}$ do $10 \mu\text{V}$. Jednak biorąc pod uwagę, że w niektórych egzemplarzach maksymalna wartość tego parametru może dochodzić do $75 \mu\text{V}$, to w układach scalonych jednowzmacniaczowych istnieje z reguły możliwość zerowania tego napięcia za pomocą zewnętrznego potencjometru strojenowego. Rezystancja wejściowa dla wejścia różnicowego tych wzmacniaczy przyjmuje bardzo duże wartości z przedziału od $10 \text{ M}\Omega$ do $100 \text{ M}\Omega$. Nietrudno wyliczyć, że prąd sterowania wejścia różnicowego w rezystancji wejściowej R_{we} na schemacie wzmacniacza monolitycznego z rys. 1 (w pierwszej części artykułu) przyjmuje bardzo małe wartości, zazwyczaj znacznie poniżej 1 pA .

Dryfty temperaturowe napięcia niezrównoważenia, typowe dla wzmacniaczy precyzyjnych, są bardzo małe i na ogół zawarte są w przedziale od $0,1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ do $0,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Współczesne wzmacniacze precyzyjne charakteryzują się bardzo dużymi wartościami typowych rezystancji dla napięcia wspólnego w przedziale od $1 \text{ G}\Omega$ do $1000 \text{ G}\Omega$. Nietrudno wyliczyć, że prąd upływności od napięcia wspólnego w rezystancji dla napięcia wspólnego R_{sw} na schemacie wzmacniacza monolitycznego z rys. 1 przyjmuje małe wartości w przedziale od 10 pA (np. dla $U_{ws} = 10 \text{ V}$ i $R_{sw} = 1000 \text{ G}\Omega$)

▶ dr inż. Jacek Korytkowski

do 10 nA (np. dla $U_{ws}=10$ V i $R_{sw}=1$ G Ω). Biorąc pod uwagę, że prądy robocze wejściowe lub sprzężenia zwrotnego we współczesnych wzmacniaczowych układach przetwarzania sygnałów są na ogół rzędu 100 μ A (np. 10 V/100 k Ω =100 μ A), to wyżej wyliczone wartości prądów upływności są co najmniej o cztery rzędy wielkości mniejsze.

Co można powiedzieć o dryfcie długoterminowym napięcia niezrównoważenia? Firmy podające ten parametr zakładają, że dotyczy on wielomiesięcznej pracy ciągłej wzmacniacza w warunkach odniesienia (np. $U_z=\pm 15$ V, $T=25$ $^{\circ}$ C), ale po odrzuceniu dryftu początkowego w trakcie pierwszych 30 dni od chwili włączenia wzmacniacza. Dryft długoterminowy napięcia niezrównoważenia wy-

raza aproksymowaną średnią linię trendu zmian tego napięcia w czasie jednego miesiąca (720 h). Jak wynika z tab. 1, typowa wartość tego parametru jest deklarowana od 0,2 μ V/miesiąc [9–12] do 0,3 μ V/miesiąc [7, 8]. A co wiemy o dryfcie w początkowym okresie pracy? Firma MAXIM [9] podaje, że po odrzuceniu początkowej godziny pracy wzmacniacza, zmiana napięcia niezrównoważenia w czasie pierwszych 30 dni jego pracy zazwyczaj wynosi ok. 2,5 μ V. Taki właśnie charakter dryftów napięcia niezrównoważenia w okresie 5 miesięcy dla kilku reprezentatywnych egzemplarzy wzmacniaczy typu LT1028 [19] podaje inna firma Linear Technology. A jak wygląda zmiana napięcia niezrównoważenia w czasie pierwszych minut po włączeniu wzmacniacza? Firma Linear

Tab. 1. Wartości parametrów wybranych wzmacniaczy precyzyjnych o małych dryftach

Producent			A	B
			Linear Technology	Analog Devices
Typ wzmacniacza			LT1097CN8 [7]	OP97EP [8]
Prąd polaryzacji wejścia I_p	nA	typ. maks.	0,040 0,250	0,030 0,100
Wejściowy prąd niezrównoważenia I_n	nA	typ. maks.	0,040 0,250	0,030 0,100
Wejściowe napięcie niezrównoważenia U_n	μ V	typ. maks.	10 50	10 25
Rezystancja dla napięcia wspólnego R_{sw}	G Ω	typ.	1000	-
Rezystancja wejściowa R_{we}	M Ω	typ. min.	80 30	- 30
Rezystancja wyjściowa R_{wy}	Ω	typ.	6000 ¹⁾	2600 ¹⁾
Wzmocnienie napięciowe k_U (dla rezystancji obciążenia)	V/V	typ. typ. min.	2,5 \cdot 10 ⁶ (10 k) 10 ⁶ (2 k) 0,7 \cdot 10 ⁶ (10 k)	2,0 \cdot 10 ⁶ (10 k) 1,1 \cdot 10 ⁶ (2 k) 0,3 \cdot 10 ⁶ (2 k)
Współczynnik tłumienia napięcia wspólnego $WTNW_{log}$	dB	typ. min.	130 115	132 114
Współczynnik tłumienia zmian napięcia zasilania $WTNZ_{log}$	dB	typ. min.	130 114	132 114
Dryft temperaturowy napięcia niezrównoważenia δU_{nT}	μ V/ $^{\circ}$ C	typ. maks.	0,2 1	0,2 0,6
Dryft długoterminowy napięcia niezrównoważenia δU_{nt} (μ V/miesiąc)	μ V/720 h	typ. min.	0,3 -	0,3 -
Dryft temperaturowy prądu polaryzacji δI_{pT}	nA/ $^{\circ}$ C	typ. maks.	0,0004 0,004	0,0004 0,0025
Dryft temperaturowy prądu niezrównoważenia δI_{nT}	nA/ $^{\circ}$ C	typ. maks.	0,0004 0,004	0,0004 0,0025
Napięcia zasilania podwójne $\pm U_z$ lub unipolarne U_z	V	min. typ. maks.	\pm 1,2 \pm 15 \pm 20	\pm 2 \pm 15 \pm 20
Pobór prądu zasilania I_z	μ A	typ. maks.	350 560	380 600
Szybkość narastania sygnału wyjściowego SR	V/ μ s	typ. min.	0,2 0,1	0,2 0,1
Pasma tłumienia 3 dB GB (3dB)	Hz	typ.	1	-
Pasma wzmocnienia jednostkowego $k_U \geq 1$ V/V	MHz	typ. min.	0,7 -	0,9 0,4

¹⁾ Wartość rezystancji wyliczona według wzoru (19)

Technology [7] podaje przebieg czasowy początkowego nagrzewania się wzmacniacza LT1097, typowa zmiana napięcia niezrównoważenia w czasie pierwszych dwu minut wynosi ok. 0,8 μV , a po tym czasie następuje ustalenie się wartości napięcia niezrównoważenia wynikające z nagrzania własnego mocą wydzielaną we wzmacniaczu.

Wzmacniacze precyzyjne charakteryzują się małymi typowymi wartościami prądu polaryzacji wejścia od 30 pA do 10 nA oraz bardzo małymi typowymi wartościami dryftu temperaturowego prądu polaryzacji wejścia od 0,4 pA/°C do 50 pA/°C (tab. 1).

Współczesne wzmacniacze precyzyjne są przystosowane do pracy nawet przy bardzo niskich podwój-

nych napięciach zasilania począwszy od $\pm 1,2$ V, aż do ± 20 V lub ± 22 V. Charakteryzują je też umiarkowane wartości prądów zasilania od 350 μA do 3,8 mA, co oznacza w skrajnym przypadku przy napięciu zasilania $\pm 1,2$ V, przy prądzie 350 μA mały pobór mocy nieco poniżej 1 mW.

Wzmacniacze precyzyjne charakteryzują małe szybkości narastania sygnału wyjściowego od 0,1 V/ μs do 2,8 V/ μs oraz niskie pasmo tłumienia 3 dB od 0 Hz (napięcia stałe) do 0,08 Hz lub 1 Hz (tab. 1).

Pasmo wzmocnienia jednostkowego, które wykorzystywane może być tylko przy bardzo małych amplitudach wyjściowych sygnałów sinusoidalnych (rzędu pojedynczych mikrowoltów), dla wzmacniaczy wędług tab. 1 zawarte jest w granicach od 0,4 MHz do 8 MHz.

Bardzo rzadko producenci wzmacniaczy podają informację o wartości rezystancji wyjściowej wzmacniacza. We współczesnych wzmacniaczach rezystancja ta przyjmuje duże wartości porównywalne do rezystancji obciążenia, co objawia się dużą zależnością współczynnika wzmocnienia napięciowego od rezystancji obciążenia. Należy szczególnie zwrócić uwagę na fakt, że wzmacniacze przystosowane do zasilania pojedynczym napięciem mają charakter wyjść o wymuszeniach prądowych, a więc na schemacie z rys. 1 rezystancja R_{wy} przyjmuje celowo duże wartości. Przeważnie w danych technicznych wzmacniaczy są podawane wartości wzmocnień napięciowych $k_U^{(1)}$ dla rezystancji obciążenia $R_o^{(1)}$ oraz $k_U^{(2)}$ dla rezystancji obciążenia $R_o^{(2)}$. W takim przypadku rezystancja wyjściowa wzmacniacza może zostać wyliczona ze wzoru (19):

$$R_{wy} = \frac{k_U^{(1)} - k_U^{(2)}}{\frac{k_U^{(2)}}{R_o^{(2)}} - \frac{k_U^{(1)}}{R_o^{(1)}}} \quad (19)$$

Odpowiednich wyliczeń rezystancji wyjściowych wzmacniaczy dokonał autor tworząc tab. 1. W tabelicy tej rezystancje wyjściowe wzmacniaczy są zawarte w przedziale od 60 Ω do 6 k Ω .

C		D		E		F	
MAXIM		Burr-Brown Texas Instruments		Analog Devices		Burr-Brown Texas Instruments	
MAX427EPA [9]		OPA227P [10]		OP77A [11]		OPA277P [12]	
10	35	2,5	10	1,2	2	0,5	1
7	30	2,5	10	0,3	-	0,5	1
5	15	5	75	10	25	10	20
7	-	1	-	200	-	250	-
-	-	10	-	45	26	100	-
800 ¹⁾	-	bardzo mała ¹⁾	-	60	-	3300 ¹⁾	-
20·10 ⁶ (2 k)	12·10 ⁶ (0,6 k)	10 ⁸ (10 k)	10 ⁸ (0,6 k)	12·10 ⁶ (2 k)	-	10·10 ⁶ (10 k)	5·10 ⁶ (2 k)
7·10 ⁶ (2 k)	-	4·10 ⁶ (0,6 k)	-	5·10 ⁶ (2 k)	-	2·10 ⁶ (2 k)	-
130	117	138	120	140	120	140	130
130	110	126	114	123	110	130	126
0,1	0,8	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,15
0,2	1	0,2	-	0,2	-	0,2	-
0,05	-	0,005	-	0,008	0,025	0,004	-
0,02	-	-	-	0,0015	0,025	-	-
±4	±15	±2,5	±5, ±15	±3	±15, ±18	±2	±5, ±15, ±18
±22	-	±18	-	±22	-	-	-
2700	4000	3700	3800	1670	2000	790	825
2,8	1,7	2,3	-	0,3	0,1	0,8	-
0,6	-	0,08	-	0,08	-	0,6	-
6	-	8	-	0,6	0,4	1	-

Wzmacniacze mikromocowe o szczególnie małym poborze mocy zasilania

Wzmacniacze o małym poborze mocy zasilania, zwane mikromocowymi (*Micro Power*), są stosowane najczęściej w urządzeniach zasilanych bateryjnie, a więc pożądanym parametrem jest możliwość stosowania niskich napięć zasilających. Minimalizacja mocy wydzielanej w układzie scalonym daje dodatkowe korzyści w postaci szybko zanikających stanów przejściowych po załączeniu zasilania układu w wyniku zminimalizowania efektu nagrzewania własnego. Układ pracuje jako mikromocowy, co wiąże się również z bardzo małymi prądami polaryzacji i nierównoważenia, ale niestety występują małe wartości szybkości narastania napięcia wyjściowego SR , co obniża częstotliwościowe pasmo robocze. Szczególną zaletą tych układów jest szeroki zakres napięć zasilania od $\pm 1,5$ V do ± 15 V oraz możliwość zasilania pojedynczym napięciem z przedziału od 2,2 V do 44 V. Przy zasilaniu wzmacniacza pojedynczym napięciem, sygnał wyjściowy odbierany jest względem połowy napięcia zasilania,

formowanej na odpowiednim dzielniku rezystancyjnym, lub odbierany jest względem innego napięcia odniesienia.

Producenci tych wzmacniaczy podają jako charakterystyczny parametr pobór prądu zasilania I_z , przy braku poboru prądu wyjściowego wzmacniacza. Typowy pobór mocy przy pomijalnym prądzie wyjściowym, dla tej grupy wzmacniaczy, to tylko 100 μ W (5 V, 20 μ A). Nietrudno zauważyć, że przy typowym poborze prądu zasilania wynoszącym 20 μ A i zasilaniu z baterii o pojemności 1 Ah, czas ciągłej pracy układu wzmacniacza przekracza 6 lat. Wzmacniacze mikromocowe umożliwiają realizację różnych zasilanych bateryjnie układów pomiarowych. Przykładem są powszechnie stosowane w Europie bateryjne mikroprocesorowe ciepłomierze jako przyrządy rozliczeniowe do pomiaru pobranej przez odbiorców energii cieplnej mierzonej przy wykorzystaniu czujników rezystancyjnych temperatury i odpowiednich przetworników przepływu wody. Ciepłomierze te mają wymieniane baterie zasilające raz na 5 lat przy legalizacji ciepłomierzy wymaganej polskimi przepisami.

Tab. 2. Wartości parametrów wybranych wzmacniaczy mikromocowych

Producent			G	H
			Linear Technology	Burr-Brown Texas Instruments
Typ wzmacniacza			LT1636CN8 [13]	OPA241PA [14]
Prąd polaryzacji wejścia I_p	nA	typ. maks.	5 8	4 20
Wejściowy prąd nierównoważenia I_n	nA	typ. maks.	0,1 0,8	0,1 2
Wejściowe napięcie nierównoważenia U_n	μ V	typ. maks.	50 225	50 250
Rezystancja dla napięcia wspólnego R_{sw}	G Ω	typ.	12	1
Rezystancja wejściowa R_{we}	M Ω	typ.	13	10
Wzmocnienie napięciowe k_U	V/V	typ. min.	$2 \cdot 10^6$ $0,2 \cdot 10^6$	10^6 $0,1 \cdot 10^6$
Współczynnik tłumienia napięcia wspólnego $WTNW \log$	dB	typ. min.	110 84	106 80
Współczynnik tłumienia zmian napięcia zasilania $WTNZ \log$	dB	typ. min.	103 90	110 90
Dryft temperaturowy napięcia nierównoważenia δU_{nT}	μ V/ $^{\circ}$ C	typ. maks.	1 4	0,4 -
Dryft długoterminowy napięcia nierównoważenia δU_{nt} (μ V/miesiąc)	μ V/720 h	typ.	-	-
Napięcia zasilania podwójne $\pm U_z$ lub unipolarne U_z	V	min. typ. maks.	3 5, ± 15 44	2,7 ± 15 36
Pobór prądu zasilania I_z	μ A	typ. maks.	42 55	25 36
Szybkość narastania sygnału wyjściowego SR	V/ μ s	typ. min.	0,07 0,035	0,01 -
Pasma tłumienia 3 dB GB (3dB)	Hz	typ.	-	0,02
Pasma wzmocnienia jednostkowego ($k_U \geq 1$ V/V)	MHz	typ. min.	0,200 0,110	0,035 -

W tab. 2 podano przegląd parametrów najlepszych wzmacniaczy mikromocowych produkcji kilku przodujących firm światowych: LT1636 [13] – Linear Technology, OPA241 [14] i OPA336 [15] – Burr Brown oraz Texas Instruments, LMC7111 [16] – National Semiconductor, OP90 [17] – Analog Devices, MAX478 [18] – MAXIM.

W porównaniu z tab. 1 wzmacniacze mikromocowe mają gorsze parametry w zakresie wzmocnienia napięciowego, napięcia niezrównoważenia i dryftu temperaturowego napięcia niezrównoważenia, przeważnie nie mają deklarowanych dryftów długoterminowych napięcia niezrównoważenia ani dryftów temperaturowych prądu polaryzacji i prądu niezrównoważenia.

Wzmacniacze mikromocowe charakteryzują się możliwością pracy przy bardzo niskich pojedynczych napięciach zasilania oraz mają bardzo niskie pobory prądu zasilania. W porównaniu ze wzmacniaczami precyzyjnymi mają znacznie mniejszą szybkość narastania sygnału wyjściowego i niskie pasmo tłumienia 3 dB oraz bardzo niskie pasmo wzmocnienia jednostkowego.

Wzmacniacze mikromocowe charakteryzuje dość duża wartość współczynnika wzmocnienia napięciowego, którego wartość typowa jest zawarta w przedziale od $0,5 \cdot 10^6$ V/V do $2 \cdot 10^6$ V/V (tab. 2).

Wzmacniacze te charakteryzują się niezbyt małymi typowymi wartościami wejściowego napięcia niezrównoważenia w przedziale od 30 μ V do 900 μ V. Jednak biorąc pod uwagę, że w niektórych egzemplarzach maksymalna wartość tego parametru może być duża, to dla większości układów scalonych jednowzmacniaczowych, istnieje możliwość zerowania tego napięcia za pomocą zewnętrznego potencjometru strojenowego. Dla układów scalonych podanych w tab. 2 wzmacniacze podane w kolumnach oznaczonych G, H oraz K mają możliwość zerowania zewnętrznym potencjometrem.

Rezystancja wejściowa dla wejścia różnicowego dla wzmacniaczy z tab. 2 przyjmuje bardzo duże wartości z przedziału od 10 M Ω do 10 000 G Ω .

Dryfty temperaturowe napięcia niezrównoważenia, typowe dla wzmacniaczy mikromocowych są małe i na ogół mieszczą się w przedziale od 0,3 μ V/ $^{\circ}$ C do 2 μ V/ $^{\circ}$ C.

Współczesne wzmacniacze mikromocowe charakteryzują się bardzo małymi wartościami typowych rezystancji dla napięcia wspólnego w przedziale od 1 G Ω do 10 000 G Ω . Nietrudno wyliczyć, że prąd upływności od napięcia wspólnego w rezystancji dla napięcia wspólnego R_{sw} na schemacie wzmacniacza monolitycznego z rys. 1 przyjmuje bardzo małe wartości w przedziale od 0,1 pA (np. dla $U_{ws}=1$ V i $R_{sw}=10\ 000$ G Ω) do 1 nA (np. dla $U_{ws}=1$ V i $R_{sw}=1$ G Ω).

Wzmacniacze mikromocowe charakteryzują się bardzo małymi typowymi wartościami prądu polaryzacji wejścia od 0,1 pA do 5 nA. Producenci tych wzmacniaczy przeważnie nie deklarują wartości dryftu temperaturowego prądu polaryzacji.

Współczesne wzmacniacze mikromocowe są przeważnie przystosowane do pracy przy pojedynczych (unipolarnych) bardzo niskich napięciach zasilania począwszy od 2,2 V, aż do 44 V, a niektóre przy podwójnych napięciach

I	J	K	L
Burr-Brown Texas Instruments	National Semiconductor	Analog Devices	MAXIM
OPA336N [15]	LMC7111AI [16]	OP90A [17]	MAX478ACP [18]
0,001 0,010	0,0001 0,020	4 15	3 6
0,001 0,010	0,00001 0,010	0,4 3	0,05 0,35
60 125	900 5000	50 150	30 70
$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	20	12
$10 \cdot 10^6$	-	30	2000
$0,56 \cdot 10^6$ $0,03 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$ $0,2 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$ $0,2 \cdot 10^6$	$0,7 \cdot 10^6$ $0,08 \cdot 10^6$
90 80	85 70	130 90	103 93
92 80	60 50	120 104	104 94
1,5 -	2 -	0,3 2,5	0,5 2,2
-	-	-	0,5
2,3 5 5,5	2,5 2,7; 5; 10 11	$\pm 1,5$ ± 15 36	2,2 3; 5; ± 15 ± 22
20 32	20 60	14 20	14 21
0,03 -	0,03 0,015	0,012 0,005	0,025 0,013
-	20	-	0,1
0,100 -	0,050 0,040	0,020 -	0,060 -

od $\pm 1,5$ V do ± 22 V. Charakteryzują te wzmacniacze bardzo małe typowe wartości prądów zasilania od $14 \mu\text{A}$ do $42 \mu\text{A}$ (tab. 2), co oznacza w skrajnym przypadku przy napięciu zasilania 2,2 V i przy prądzie $14 \mu\text{A}$ bardzo mały pobór mocy ok. $30 \mu\text{W}$.

Wzmacniacze mikromocowe charakteryzują bardzo małe typowe szybkości narastania sygnału wyjściowego od $0,01 \text{ V}/\mu\text{s}$ do $0,07 \text{ V}/\mu\text{s}$ oraz niskie pasmo tłumienia 3 dB od 0 Hz (napięcia stałe) do 0,02 Hz lub do 20 Hz jak to podano w tab. 2.

Pasmo wzmocnienia jednostkowego, które wykorzystywane może być tylko przy bardzo małych amplitudach wyjściowych sygnałów sinusoidalnych (rzędu pojedynczych mikrowoltów) dla wzmacniaczy mikromocowych według tab. 2 zawarte jest w granicach od 0,02 MHz do 0,2 MHz.

Podsumowanie

Aktualnie dostępna jest obszerna oferta kilkunastu firm światowych produkujących wzmacniacze monolityczne różnych typów, które mogą być stosowane w układach i systemach pomiarowych. Konkurencja pomiędzy firmami spowodowała, że część tych firm oferuje po zbliżonych cenach wzmacniacze o podobnych parametrach. Autor wyselekcjonował z oferty kilku przodujących firm najlepsze wzmacniacze monolityczne i przedstawił przegląd ich parametrów w dwu charakterystycznych grupach: wzmacniacze precyzyjne o małych dryftach parametrów wejściowych do układów i systemów pomiarowych oraz wzmacniacze mikromocowe do zasilanych bateryjnie układów pomiarowych.

Jakich zmian można oczekiwać w nowych konstrukcjach wzmacniaczy? Obserwuje się tendencję, aby w ramach jednego typu układu scalonego realizować wykonania wzmacniaczy wielokrotnych [3, 5, 6, 10, 12, 14, 15, 18, 20] w obudowach miniaturowych do montażu płaskiego. Drugą charakterystyczną tendencją dla nowych układów, którą obserwuje się, na razie w niewielkiej [21–23] pojawiających się wzmacniaczach, jest wyposażanie wzmacniaczy w dodatkowe wejście logicznego sygnału sterującego realizującego funkcję „shutdown”. Jest to funkcja przełączania układu ze stanu pracy wzmacniania w stan odciążenia, w którym nie ma funkcji wzmacniania, wyjście wzmacniaczy przyjmuje wtedy stan wysokiej impedancji, a pobory prądów zasilania wzmacniaczy stają się wielokrotnie mniejsze od prądów zasilania w stanie normalnego wzmacniania. Jest to funkcja szczególnie wygodna dla zasilanych bateryjnie układów pomiarowych, gdyż pozwala na oszczędzanie pojemności baterii zasilających.

Bibliografia

- Harasimowicz J.: Przegląd monolitycznych wzmacniaczy operacyjnych. Elektronika nr 11. 1972 r.
- Korytkowski J.: Wzmacniacze monolityczne i metoda analizy elektronicznych układów z tymi wzmacniaczami. Wyd. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów. Warszawa 2000.
- Reza Moghimi: OP07 is still evolving. AN-573 rev. A. Application Note. Analog Devices. 2003.
- Korytkowski J.: Cyfrowo sterowane symulatory rezystancji i konduktancji – przegląd, opisy działania, przykłady rozwiązań. PAR 2/2008.
- Fairchild Semiconductor: FAN4174/FAN4274, Single and Dual, Ultra-Low Cost, Rail-to-Rail I/O, CMOS Amplifier, May 2008, www.fairchildsemi.com/ds/FH%2FFAN4274.pdf.
- Fairchild Semiconductor: FHP3132, FHP3232, Single and Dual, High-Speed, Rail-to-Rail Amplifiers. March 2007, www.fairchildsemi.com/ds/FH%2FFHP3132.pdf.
- Linear Technology: LT1097, Low Cost, Low Power, Precision Op Amp, 1989.
- Analog Devices: Low Power, High Precision Operational Amplifier OP97, 2007.
- MAXIM: Low Noise, High-Precision Op Amps MAX427, 1992.
- Burr-Brown Products from Texas Instruments: OPA 227, OPA 2227, OPA4227, OPA228, OPA2228, OPA4228, 2005.
- Analog Devices: Next Generation OP07, Ultra Offset Voltage Operational Amplifier OP77, 2002.
- Burr-Brown Products from Texas Instruments: OPA 277, OPA 2277, OPA4277, 2005.
- Linear Technology: LT1636, Over-The-Top, Micropower Rail-to-Rail, Input and Output Op Amp, 1998.
- Burr-Brown: OPA 241, OPA 2241, OPA4241, OPA251, OPA2251, OPA4251, Single-Supply, Micropower Operational Amplifiers, 1998.
- Burr-Brown Products from Texas Instruments: OPA336, OPA2336, OPA4336, Single-Supply, micro Power CMOS Operational Amplifiers, micro Amplifier Series, 2005.
- National Semiconductor: LMC7111, Tiny CMOS Operational Amplifier with Rail-to-Rail Input and Output, 1999.
- Analog Devices: Precision Low-Voltage Micropower Operational Amplifier OP90, 2002.
- MAXIM: $17 \mu\text{A}$ Max, Dual/Quad, Single-Supply, Precision Op Amps MAX478, 1998.
- Linear Technology: LT1028/1128 Ultralow Noise Precision High Speed Op Amps, 1992.
- Analog Devices: Precision Micropower Single-Supply Operational Amplifier OP777/OP727/OP747, 2001.
- Linear Technology: LT1218/1219 Precision Rail-to-Rail Input and Output Op Amps, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/70363/LINER/LT1218.html>.
- MAXIM: Single/Dual/Quad, $+1,8\text{V}/10 \mu\text{A}$, SOT23, Beyond-the-Rails Op Amps, MAX4240-MAX4244, 1998, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73315/MAXIM/MAX4240.html>.
- Analog Devices: Ultralow Distortion, High Speed $0,95 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ Voltage Noise Op Amp AD8099, 2004, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/124320/AD/AD8099.html>. ■