

Piotr PENKALA  
Instytut Elektroniki  
Politechnika Śląska

## WZMACNIACZE SPECJALNE

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono własności wzmacniaczy pomiarowych prądu stałego i ich klasyfikację ze względu na sposób przetwarzania sygnału. Szczególną uwagę zwrócono na wzmacniacze z przetwarzaniem. Zaprezentowano zasadę działania oraz własności tych układów. Następnie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wzmacniacza z regulacją i przetwarzaniem sygnału.

### Special amplifiers

**Abstract.** Classification of instrumentation amplifiers, according to the way of signal processing, is presented in this paper. Especially the chopper-stabilized amplifiers are considered. Principle of operation and basic specification of the amplifiers are discussed. Some results of operation research are described.

### Sonder Verstärker

**Zusammenfassung.** In diesem Bericht wurden die Eigenschaften der Gleichstrommeßverstärker wie auch ihre Klassifikation in Beziehung zu der Art der Signalverarbeitung dargestellt. Besonderes Gewicht wurde auf Modulationsverstärker, Zehackerverstärker und Verstärker mit Driftkorrektur gelegt. Es wurden das Wirkungsprinzip und Eigenschaften dieser Schaltungen beschrieben. In weiteren wurden die Ergebnisse der Experimentaluntersuchungen von gegengekoppelter Zehackerverstärker zusammengestellt.

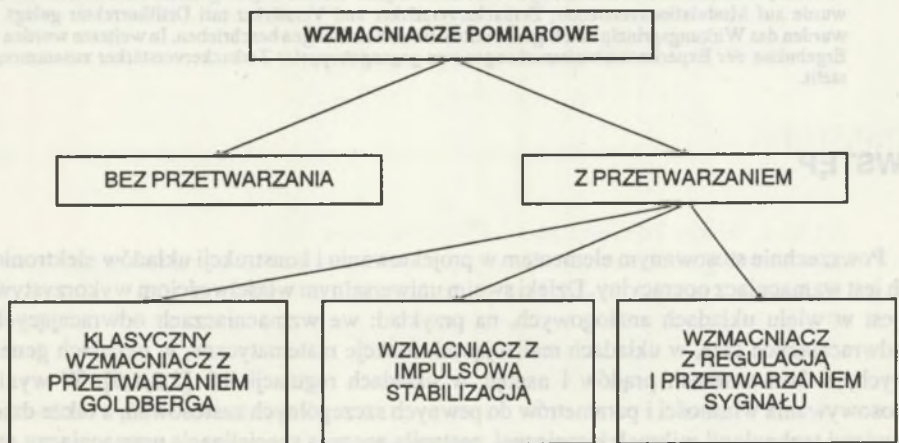
## 1. WSTĘP

Powszechnie stosowanym elementem w projektowaniu i konstrukcji układów elektronicznych jest wzmacniacz operacyjny. Dzięki swoim uniwersalnym właściwościom wykorzystywany jest w wielu układach analogowych, na przykład: we wzmacniaczach odwracających i nieodwracających fazę, w układach realizujących funkcje matematyczne, w układach generacyjnych, w konwerterach prądów i napięć, w układach regulacji itd. [2,3,4,5]. W wyniku dostosowywania własności i parametrów do pewnych szczególnych zastosowań, a także dzięki rozwojowi technologii mikroelektronicznej, nastąpiła znaczna specjalizacja wzmacniaczy operacyjnych. Efektem tego procesu jest powstanie grupy tzw. wzmacniaczy specjalnych. We wzmacniaczach tych niektóre bardzo dobre parametry uzyskuje się kosztem pogorszenia innych właściwości. Wśród wzmacniaczy specjalnych możemy wyróżnić wzmacniacze o bardzo dużej rezystancji wejściowej, wzmacniacze bardzo szybkie, wzmacniacze pomiarowe, wzmacniacze Nortona (transkonduktancyjne), wzmacniacze z przetwarzaniem i wzmacniacze izolacyjne. Wzmacniacz pomiarowy przeznaczony jest do dokładnego wzmacniania sygnałów różnicowo-

wych, występujących w obecności dużego wspólnego sygnału zakłócającego. Powinien posiadać wejście różnicowe, zamkniętą pętlę sprzężenia zwrotnego (możliwość ustalenia dużego wzmocnienia), bardzo dużą impedancję wejściową, małą impedancję wyjściową, liniową zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego, duży współczynnik tłumienia sygnału wspólnego, małe niezerównoważenie oraz dryft termiczny i czasowy, a także małe szумы. Wzmacniacz pomiarowy przeznaczony jest do dokładnego wzmacniania sygnałów różnicowych, występujących w obecności dużego wspólnego sygnału zakłócającego [1,2,3].

## 2. KLASYFIKACJA WZMACNIACZY POMIAROWYCH

Ze względu na sposób działania wzmacniacze pomiarowe można podzielić na dwie grupy: wzmacniacze o działaniu bezpośrednim i sprzężeniach stałoprądowych oraz wzmacniacze z przetwarzaniem. Do wzmacniaczy o działaniu bezpośrednim zalicza się między innymi najprostszy wzmacniacz różnicowy, wykonany na bazie pojedynczego wzmacniacza operacyjnego, a także wzmacniacze różnicowe, złożone z większej ilości wzmacniaczy operacyjnych. W grupie wzmacniaczy z przetwarzaniem mieszczą się "klasyczne" wzmacniacze z modulacją i demodulacją sygnału, wzmacniacze z impulsową stabilizacją napięcia niezrównoważenia oraz wzmacniacze z regulacją i przetwarzaniem. Podział wzmacniaczy pomiarowych przedstawiono symbolicznie na rys. 1.

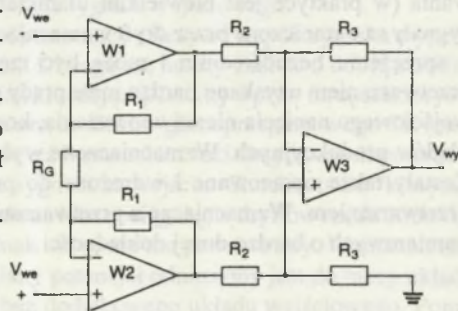


Rys. 1. Klasyfikacja wzmacniaczy pomiarowych  
 Fig. 1. Classification of instrumentation amplifiers

### 3. WZMACNIACZE POMIAROWE BEZ PRZETWARZANIA

Spośród wzmacniaczy pomiarowych o działaniu bezpośrednim i sprzężeniach stałoprądowych najczęściej stosowany bywa układ, zbudowany z wykorzystaniem trzech wzmacniaczy operacyjnych [2,6,7]. Schemat tego dobrze znanego wzmacniacza pomiarowego przedstawiony został na rys 2.

Wzmocnienie układu dla prądu stałego wyraża się wzorem:



Rys. 2. Wzmacniacz pomiarowy  
Fig. 2. Instrumentation amplifier

$$K = \frac{V_{wy}}{V_{we+} - V_{we-}} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \frac{R_3}{R_2} \quad (1)$$

Zwykle do regulacji wzmocnienia służy rezystor  $R_G$  oraz spełniona jest zależność  $R_2=R_3$ . Zaletami tego układu są: duża impedancja wejściowa, łatwa regulacja wzmocnienia, mały dryft napięcia niezrównoważenia (dzięki odpowiedniemu doborowi wzmacniaczy W1 i W2). Ponadto nie jest konieczny dokładny dobór rezystorów  $R_1$  dla uzyskania dużego współczynnika tłumienia sygnału wspólnego (CMRR) oraz rezystory  $R_1$ ,  $R_2$ , i  $R_3$  nie muszą posiadać dużych wartości rezystancji. Wadami układu są jego złożoność, konieczność stosowania wzmacniaczy operacyjnych o dużym CMRR oraz konieczność doboru rezystancji  $R_2$  i  $R_3$ .

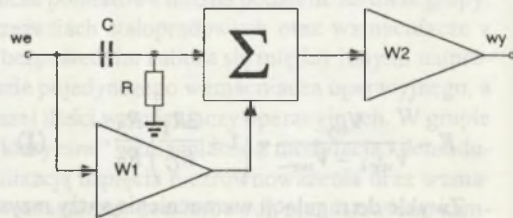
### 4. WZMACNIACZE POMIAROWE Z PRZETWARZANIEM

Przy wzmacnianiu z dużą dokładnością sygnałów stałoprądowych lub wolnozmiennających się powstaje problem zapewnienia bardzo małego i stabilnego napięcia niezrównoważenia. Tam, gdzie wymagane są szczególnie dobre parametry stałoprądowe, znalazły zastosowanie wzmacniacze z przetwarzaniem sygnału (ang. chopper-stabilized amplifiers) [1,3,6]. Wzmacniacz z przetwarzaniem to wzmacniacz przebiegów wolnozmiennych, w którym zastosowano modulację amplitudy impulsów przebiegu nośnego wejściowym sygnałem wolnozmiennym. Następnie zmodulowany sygnał zostaje wzmocniony za pomocą wzmacniacza prądu zmiennego. Wzmocnienie może być dokonywane we wzmacniaczu o sprzężeniu pojemnościowym między stopniami, wskutek czego unika się trudności występujących w przypadku zastosowania sprzężenia bezpośredniego. Wreszcie wzmocniony sygnał podlega detekcji w celu odzyskania sygnału modulującego. Modulacja i demodulacja jest dokonywana przez synchroniczne i synfazowe kluczowanie dzielników impedancyjnych, najczęściej rezystancyjnych i pojemnościowych oraz całkowanie przebiegu wyjściowego. Jako klucze stosowane mogą być przetworniki mechanicz-

ne, diodowe, tranzystorowe i fotoelektryczne. Częstotliwość kluczowania jest niewielka: od kilkudziesięciu Hz do kilkudziesięciu kHz. Górna częstotliwość graniczna wzmacniacza z przetwarzaniem, zgodnie z twierdzeniem o próbkowaniu, wynosi połowę częstotliwości kluczowania (w praktyce jest niewielkim ułamkiem tej częstotliwości). Najmniejsze wzmacniane sygnały są ograniczone przez dryft wzmacniacza, który to jest mniejszy od dryftu wzmacniacza o sprzężeniu bezpośrednim i może być rzędu ułamka mikrowolta. We wzmacniaczach z przetwarzaniem uzyskano bardzo małe prądy polaryzujące i bardzo dobrą stabilność termiczną wejściowego napięcia niezrównoważenia, kosztem skomplikowania układu i podniesienia nakładów produkcyjnych. Wzmacniacze te wykonuje się jako układy dyskretne lub hybrydowe. Zostały także opracowane i wdrożone do produkcji scalone, monolityczne wzmacniacze z przetwarzaniem. Wzmacniacze z przetwarzaniem są stosowane przede wszystkim w układach pomiarowych o bardzo dużej dokładności.

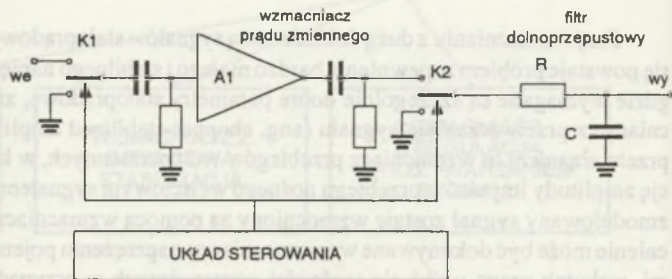
### “Klasyczny” wzmacniacz prądu stałego z przetwarzaniem

We wzmacniaczu prądu stałego z przetwarzaniem, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 3, zmniejszenie napięcia niezrównoważenia i jego dryftu osiągnięte zostaje przez wydzielenie z sygnału wejściowego składowej niskiej częstotliwości i jej wzmocnienie w pomocniczym wzmacniaczu W1 typu modulator-demodulator (MDM). Składowa wysokiej częstotliwości wchodzi bezpośrednio na wejście zasadniczego wzmacniacza W2. Wspomagający wzmacniacz W1 może posiadać stosunkowo wąski zakres roboczych częstotliwości, ale jego napięcie niezrównoważenia i dryft muszą być minimalne, a współczynnik wzmocnienia duży.



Rys. 3. Schemat blokowy wzmacniacza z przetwarzaniem  
Fig. 3. Block diagram of chopper-stabilized amplifier

Pomocniczy wzmacniacz z przetwarzaniem typu MDM stanowi “klasyczną” koncepcję E. A. Goldberga (rys. 4). Klucz K1 spełnia rolę modulatora przetwarzającego składowe stałą i niskiej częstotliwości wejściowego napięcia, w napięcie przemienne, o amplitudzie proporcjonalnej do wielkości sygnału wejściowego. Zmodulowany sygnał zostaje następnie wzmocniony we wzmacniaczu prądu zmiennego. Klucz K2, pracujący jako demodulator synchronicznie z K1, otwiera wzmocniony po-



Rys. 4. Struktura wzmacniacza z przetwarzaniem Goldberga  
Fig. 4. Structure of Goldberg's chopper-stabilized amplifier

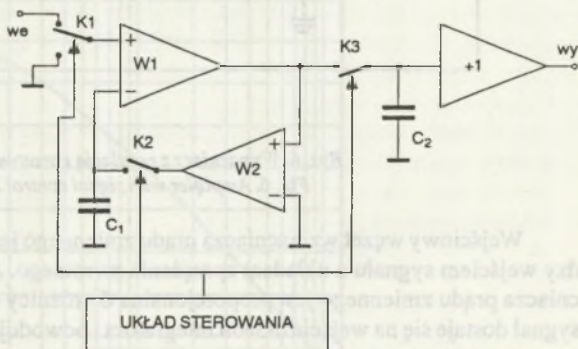
ziom składowej stałej i niskiej częstotliwości sygnału wejściowego. Zdemodulowany sygnał przechodzi przez filtr dolnoprzepustowy (na przykład filtr  $RC$ ) w celu odzyskania składowej niskoczęstotliwościowej i wchodzi na sumujące wejście głównego wzmacniacza  $W2$  (rys. 3), gdzie łączy się ze składową wysokiej częstotliwości sygnału wejściowego.

Maksymalne wzmocnienie układu w sposób znaczący zależy od współczynnika wypełnienia prostokątnego sygnału sterującego kluczami. Dlatego też należy zadbać o dobrą stabilność czasową i temperaturową oraz symetryczność fali kluczującej. Istotny wpływ na charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza ma dobór parametrów filtrów górnoprzepustowego  $CR$  (na rys. 3) i dolnoprzepustowego  $RC$  (na rys. 4). Zwykle też wzmacniacz taki dosyć powoli powraca do normalnego stanu pracy po skokowej zmianie sygnału na wejściu. Choć takie "klasyczne" podejście do wzmacniania prądu stałego pozwala na łatwe osiągnięcie dryftów rzędu  $100\text{nV/deg}$  i wzmocnień rzędu 100 milionów  $V/V$ , to jednak układ ten ma pewne wady. Wzmacniacz ten posiada na ogół pojedyncze wejście (wzmacniany potencjał odniesiony jest do masy układu) i nie może wzmacniać sygnałów różnicowych bez dodatkowego układu wejściowego. Ponadto jego pasmo przenoszenia ograniczone jest do ułamkowej części częstotliwości nośnej. Z kolei częstotliwość nośna ograniczona jest przez pasmo wzmacniacza prądu zmiennego (wynikające z charakterystyk częstotliwościowych) i błędy powodowane przez skończone czasy przełączania kluczy. Zapewnienie dobrych parametrów stałoprądowych wymaga zminimalizowania wyżej wymienionych niekorzystnych efektów. Dlatego też częstotliwości nośne są nie większe niż kilkanaście  $\text{kHz}$  i tym samym zapewniają bardzo wąskie pasmo wzmacniacza.

### Wzmacniacz prądu stałego z impulsową stabilizacją napięcia niezrównoważenia

Zastosowanie we wzmacniaczu impulsowej stabilizacji jest inną metodą kompensacji napięcia niezrównoważenia i jego dryftu. Polega ona na okresowej regulacji napięcia niezrównoważenia, zrealizowanej automatycznie za pomocą dodatkowego układu (rysunek 5). W czasie regulacji niezrównoważenia układ zostaje odłączony od źródła sygnału, co jest pewnym niedostatkiem tej metody. Wzmacniacz ten nazywany jest układem z "dynamicznym" kondensatorem.

Kiedy klucz  $K1$  znajduje się w górnym położeniu,  $K2$  jest rozarty, a  $K3$  zwarty, cały układ pracuje jako wzmacniacz prądu stałego. Po przełączeniu kluczy w dolne położenie, wejście wzmacniacza zostaje uziemione i na wejściu wzmacniacza  $W1$  ustala się potencjał równy zero. Klucz  $K2$ , kondensator  $C_1$  i wzmacniacz  $W2$  przedstawiają układ próbkująco-pamiętający. Sygnał kompensacji, ustalający zerowe przesunięcie wzmacniacza

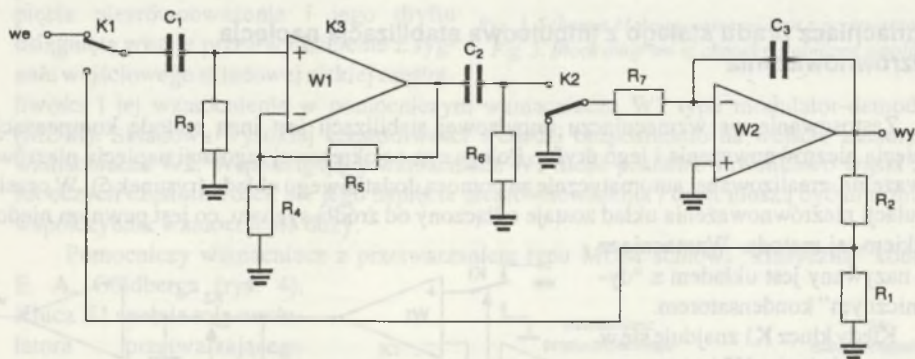


Rys. 5. Impulsowa stabilizacja we wzmacniaczu prądu stałego  
Fig. 5. Chopper-stabilized DC amplifier

W1, zostaje zapamiętany na pojemności  $C_1$ , po czym klucz K2 otwiera się. Klucz K3, kondensator  $C_2$  i wzmacniacz W3 przedstawiają drugi układ próbkująco - pamiętający, którego funkcja sprowadza się do zapamiętania poprzedniej wartości sygnału wyjściowego wzmacniacza W1 na czas automatycznej regulacji zera. Niezależnie od tego, że przedstawiona struktura jest bardziej złożona od struktury wzmacniacza z modulacją i demodulacją, staje się ona znacznie wygodniejsza w realizacji półprzewodnikowej (jako monolityczny układ scalony), dlatego że nie ma konieczności stosowania rezystorów o dużych wartościach i wykorzystywane są tylko dwa zewnętrzne kondensatory. Brak sprzężeń pojemnościowych pozwala na dużo szybsze odtworzenie normalnego trybu pracy po zmianie wartości sygnału na wejściu. W szybko działających wzmacniaczach ze stabilizacją impulsową należy stosować szybkie układy próbkująco-pamiętające. Jakość regulacji jest ograniczona błędami układów próbkująco-pamiętających.

### Wzmacniacz prądu stałego z okresową regulacją i przetwarzaniem sygnału

Układ wzmacniacza z okresową regulacją i przetwarzaniem sygnału, według koncepcji zaprezentowanej przez firmę Linear Technology [6,8], opiera się na "klasycznej" idei wzmacniacza prądu stałego z przetwarzaniem. Modyfikacja układu Goldberga polega na zastosowaniu dodatkowego wewnętrznego sprzężenia zwrotnego, które umożliwi ustalenie wzmocnienia oraz kompensację napięcia niezrównoważenia i jego dryftu (rys. 6). Wyjściowy sygnał z integratora zostaje dostarczony przez dzielnik rezystancyjny do drugiego wejścia klucza K1.



Rys. 6. Wzmacniacz z regulacją i przetwarzaniem sygnału  
Fig. 6. Amplifier with signal control and chopping

Wejściowy węzeł wzmacniacza prądu zmiennego jest teraz przełączany na zmianę pomiędzy wejściem sygnału a układem sprzężenia zwrotnego. Amplituda sygnału na wyjściu wzmacniacza prądu zmiennego jest proporcjonalna do różnicy sygnałów na wejściu. Po demodulacji sygnał dostaje się na wejście układu integratora i powoduje zmianę napięcia wyjściowego, która przez dzielnik sprzężenia zawraca jest na wejście. W stanie ustalonym oba napięcia wejściowe, tj. sygnał zewnętrzny i sygnał sprzężenia, są równe (przy ujemnym sprzężeniu zwrotnym). Wzmacniacz prądu zmiennego nie otrzymuje przebiegu prostokątnego na wejściu, czyli na jego wyjściu brak jest sygnału zmiennoprądowego i po demodulacji kluczem K2 na wejściu integra-

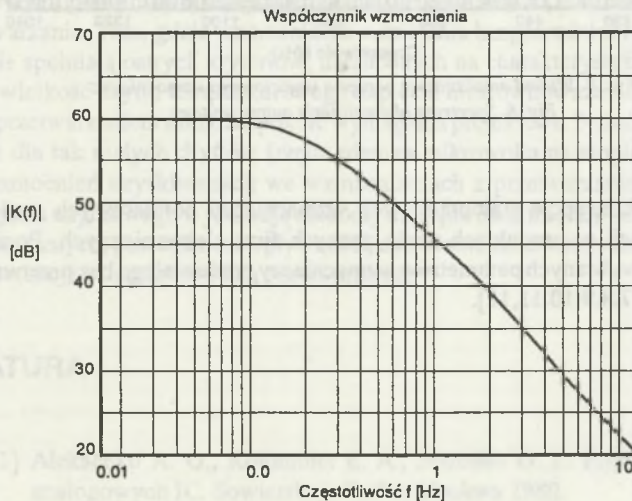
tora otrzymujemy sygnał na poziomie masy układu. Na wyjściu integratora utrzymuje się więc zapamiętane uprzednio napięcie, a tym samym sygnał sprzężenia zwrotnego nie ulega zmianie. Układ znajduje się w równowadze. Powyższy układ zachowuje się tak, jak układ regulacji: porównuje sygnał wejściowy z sygnałem sprzężenia i tak modyfikuje wyjście, by sygnały wejściowe były sobie równe. Oznacza to, że w stanie równowagi, gdy układem sprzężenia zwrotnego jest dzielnik, napięcie wyjściowe podzielone przez stosunek rezystancji równe jest napięciu wejściowemu, czyli:

$$U_{wy} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{we} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) U_{we} \quad (2)$$

W ten sposób dzięki prostemu doborowi wartości rezystorów w dzielniku można ustalić wartość wzmocnienia wzmacniacza. Wzmocnienie to możemy zmieniać w szerokim przedziale ze względu na bardzo duże wzmocnienie układu w otwartej pętli.

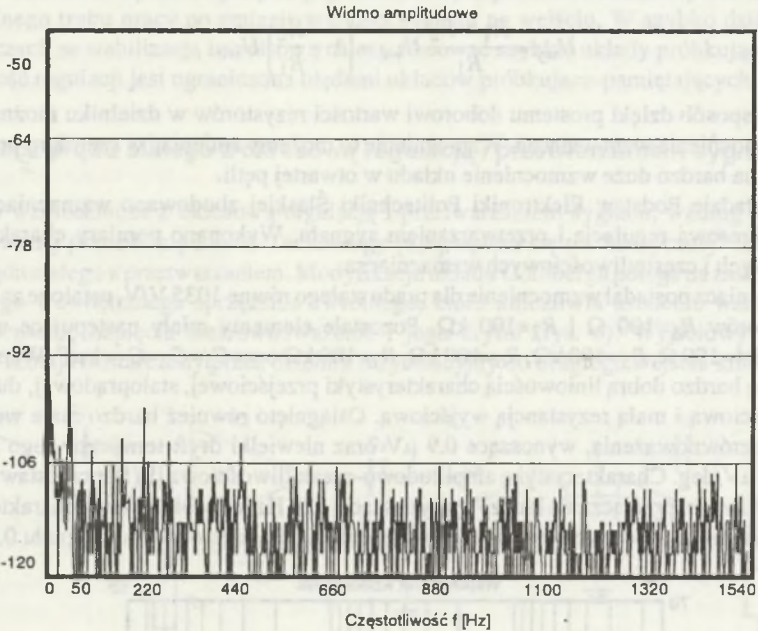
W Zakładzie Podstaw Elektroniki Politechniki Śląskiej zbudowano wzmacniacz prądu stałego z okresową regulacją i przetwarzaniem sygnału. Wykonano pomiary charakterystyk stałoprądowych i częstotliwościowych wzmacniacza.

Wzmacniacz posiadał wzmocnienie dla prądu stałego równe 1035 V/V, ustalone za pomocą pary rezystorów  $R_1=100 \Omega$  i  $R_2=100 \text{ k}\Omega$ . Pozostałe elementy miały następujące wartości:  $R_3=1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_4=100 \Omega$ ,  $R_5=100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_6=100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_7=100 \text{ k}\Omega$  oraz  $C_1=C_2=C_3=1 \mu\text{F}$ . Wzmacniacz cechował się bardzo dobrą liniowością charakterystyki przejściowej, stałoprądowej, dużą rezystancją wejściową i małą rezystancją wyjściową. Osiągnięto również bardzo małe wejściowe napięcie niezrównoważenia, wynoszące  $0.9 \mu\text{V}$  oraz niewielki dryft termiczny tego napięcia równy  $0.55 \mu\text{V}/\text{deg}$ . Charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową  $|K(f)|$  przedstawia rys. 7. Przy częstotliwości przełączania kluczy  $f_0$  wynoszącej 220 Hz jednobiegunowa charakterystyka wzmacniacza miała trójdecybelowy spadek wzmocnienia dla częstotliwości sygnału 0.14 Hz.



Rys. 7. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa wzmacniacza  
Fig. 7. Frequency response of amplifier

Ponieważ w układzie występuje kluczowanie, sygnał wyjściowy wzmacniacza zawiera także, w wyniku niedoskonałej filtracji, harmoniczne częstotliwości przełączającej  $f_0$ . Rys. 8 przedstawia widmo amplitudowe napięcia wyjściowego w czasie, gdy sygnał wejściowy jest równy zero. Dla zastosowanej w układzie pojemności  $C_3=1 \mu\text{F}$  i rezystancji  $R_7=100 \text{ k}\Omega$  stwierdzono dobre tłumienie harmonicznych częstotliwości kluczującej  $f_0=220 \text{ Hz}$  (poziom amplitud harmonicznych leży poniżej  $-90 \text{ dBVrms}$ ).



Rys. 8. Widmo amplitudowe napięcia wyjściowego wzmacniacza  
 Fig. 8. Spectrum of amplifier's output voltage

Przedstawione koncepcje stałoprądowych wzmacniaczy pomiarowych znalazły szereg praktycznych realizacji w produktach wielu znanych firm elektronicznych. Poniższa tabela zawiera zestawienie wybranych parametrów wzmacniaczy prądu stałego bez przetwarzania oraz z przetwarzaniem [6,7,8,9,10,11,12].



Wybrane parametry wzmacniaczy prądu stałego

Lp.	Symbol	Producent	Zakres wzmocnienia [V/V]	Nieliniowość wzmocnienia [%], G=100	Dryft napięcia niezrównoważenia [%/deg], G=100	CMRR [dB]	GBW [MHz]	Typ
1	INA104P	BB	1+1000	0.003	0.26	96	2.5	b.p.
2	PGA200G	BB	1,10,100,1000	0.003	0.4	96	3.0	b.p.
3	MAX400	MAX	—	—	0.3	—	0.4	b.p.
4	MAX420	MAX	—	—	0.05	—	0.125+0.5	z.p.
5	ICL7652	MAX	—	—	0.05	—	0.45	z.p.
6	ICL7650S	HA	135dB (o)	—	0.02	120	2.0	z.p.
7	HA5177	HA	126dB (o)	—	0.2	110	1.4	b.p.
8	HA2900	HA	170dB (o)	—	0.3	160	—	z.p.
9	AD522	AD	1+1000	0.005	0.51	110	0.3	b.p.
10	AD707	AD	138dB (o)	—	0.1+1.0	100	0.9	b.p.
11	OP177	AD	141dB (o)	—	0.1+1.2	110	0.6	b.p.
12	LTC1052	LT	120dB (o)	—	0.05	120	1.2	z.p.
13	LTC1100	LT	10+100	0.005	0.4	100	0.3	z.p.

Oznaczenia: BB = Burr-Brown, MAX = Maxim, HA = Harris, AD = Analog Devices, LT = Linear Technology, G = wzmocnienie, (o) = w otwartej pętli, b.p. = bez przetwarzania, z.p. = z przetwarzaniem.

## 5. PODSUMOWANIE

Wzmacniacz z regulacją i przetwarzaniem sygnału dzięki swoim dobrym parametrom stałoprądowym, pomimo większej złożoności, stanowi ciekawą alternatywę dla wzmacniaczy bez przetwarzania. Tam, gdzie wzmacniacze o działaniu bezpośrednim i sprzężeniach stałoprądowych nie spełniają ostrych kryteriów, narzuconych na charakterystyki stałoprądowe, szczególnie na wielkość dryftu temperaturowego napięcia niezrównoważenia, zastosowanie wzmacniaczy z przetwarzaniem może zaspokoić wymagania projektowe. Należy zwrócić także uwagę na fakt, iż dla tak małych dryftów (rzędu ułamka mikrowolta na stopień Celsjusza) i bardzo dużych wzmocnień uzyskiwanych we wzmacniaczach z przetwarzaniem znaczny wpływ na jakość sygnału użytkowego wywierają niekorzystne zjawiska, między innymi oddziaływanie sił termoelektrycznych, pasożytnicze upływności, zakłócenia elektrostatyczne i elektromagnetyczne oraz interakcje z częstotliwością przetwarzania.

## LITERATURA

- [1] Aleksenko A. G., Kołombiet E. A., Starodub G. I.: Priemiennije precizionnych analogowych IC. Sowietsoje Radio, Moskwa 1980.
- [2] Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.

- [3] Połonnikow D. J.: Wzmacniacze operacyjne - Teoria i projektowanie. WNT, Warszawa 1987.
- [4] Golde W.: Układy elektroniczne. WNT, Warszawa 1974.
- [5] Pawłowski J.: Podstawowe układy elektroniczne. Wzmacniacze i generatory. WKiŁ, Warszawa 1975.
- [6] Linear Applications Handbook, A Guide to Linear Circuits Design '90, Linear Technology Corporation, USA 1990.
- [7] Linear Circuits for Design Engineers, Texas Instruments Inc., USA 1989.
- [8] Linear Databook 1990, Linear Technology Corporation, USA 1989.
- [9] Burr-Brown Integrated Circuits Data Book Volume 33 and 33c, USA 1992.
- [10] Linear & Telecom ICs For Analog Signal Processing Applications, Harris Semiconductor, USA 1992.
- [11] Amplifier Reference Manual 1992, Analog Devices Inc., USA 1992.
- [12] Analog Design Guide Series 1992, Book 1. Maxim Integrated Products 1991.

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994 r.

#### Abstract

Operational amplifiers are frequently used in electronic systems. Thanks to their versatility operational amplifiers are utilised in many analogue systems. Yet the adaptation of amplifiers characteristics to some specific applications and progress of semiconductor technology have resulted in the specialisation of operational amplifiers. Therefore, a group of special amplifiers has been developed. These special amplifiers include such specific types as high-speed amplifiers, instrumentation amplifiers, transconductance amplifiers, chopper-stabilised amplifiers and isolation amplifiers. Instrumentation amplifiers ought to amplify precisely differential signals interfered with large common signals. Instrumentation amplifiers should have differential inputs, closed negative feedback loop, high input impedance, low output impedance, linear relationship between output and input differential signal, high common mode rejection, low offset, low thermal and time drift and low noise. According to the way of signal processing instrumentation amplifiers are divided into two groups: direct-coupled amplifiers and chopper-stabilised amplifiers. First group of amplifiers includes devices based upon one or more (usually three) operational amplifiers. Second group includes 'classic' amplifiers with modulation and demodulation, chopper-stabilised amplifiers and amplifiers with drift correction. This paper presents principles of operation and basic specifications of instrumentation amplifiers. Especially the chopper-stabilised amplifiers are considered. Some of the results of operational tests are described. They show that instrumentation amplifiers not always satisfy given severe requirements related to d.c. characteristics, especially those concerning offset drift. In this case only the application of the chopper-stabilised amplifiers can satisfy design requirements.