

Wzmacniacz mocy

2

Skrypt opracował Marek Wójcikowski.

1. Wstęp

Ćwiczenie umożliwia zbadanie podstawowych właściwości wzmacniacza wzmacniacza scalonego mocy, na przykładzie scalonego wzmacniacza UL1481 stosowanego do dostarczania mocy do głośników w popularnym sprzęcie radiowo-telewizyjnym. W ramach ćwiczenia wykonuje się pomiary: mocy wyjściowej, sprawności wzmacniacza, amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej oraz zniekształceń nieliniowych.

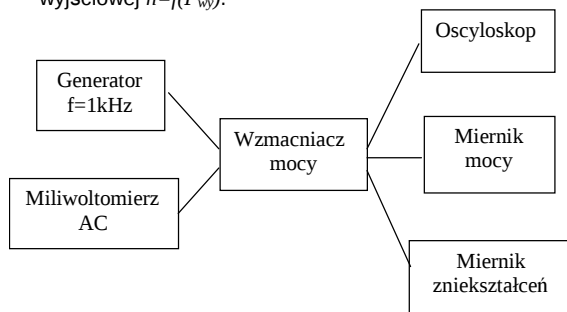
Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zapoznać się z jego przebiegiem (podstawowe informacje zamieszczono w niniejszym opracowaniu). Prowadzący ma obowiązek sprawdzić przygotowanie do ćwiczenia.

2. Pomiary

2.1 Pomiar mocy wyjściowej, sprawności wzmacniacza oraz współczynnika zawartości harmonicznych przy różnych wartościach obciążenia R_o oraz napięcia wejściowego.

Dla każdej wartości obciążenia $R_o = 4\Omega$, 6Ω i 10Ω przeprowadzić pomiary dla częstotliwości $f = 1\text{kHz}$:

- poboru prądu zasilania przez wzmacniacz w funkcji napięcia wejściowego $I_{zas} = f(V_{we})$,
- mocy na obciążeniu w funkcji napięcia wejściowego $P_{wy} = f(V_{we})$,
- współczynnika zawartości harmonicznych w funkcji mocy wyjściowej $h = f(P_{wy})$.



Rys.1 Pomiar mocy wyjściowej

Napięcie V_{we} zmieniać od wartości minimalnej $V_{we\min} = 5\text{mV}$ do wartości $V_{we\max} = 60\text{mV}$. **W żadnym wypadku napięcie V_{we} nie może przekroczyć 60mV_{RMS} ze względu na możliwość uszkodzenia wzmacniacza!**

$R_o = 4\Omega$, $f = 1\text{kHz}$

V_{we}	[V] _{RMS}		...		$V_{we\max}$
I_{zas}	[mA]		...		
P_{wy}	[W]		...		

$R_o = 6\Omega$, $f = 1\text{kHz}$

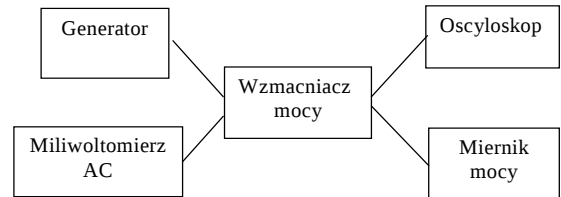
V_{we}	[V] _{RMS}		...		$V_{we\max}$
I_{zas}	[mA]		...		
P_{wy}	[W]		...		

$R_o = 10\Omega$, $f = 1\text{kHz}$

V_{we}	[V] _{RMS}		...		$V_{we\max}$
I_{zas}	[mA]		...		
P_{wy}	[W]		...		

2.2 Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza

Dla każdej wartości obciążenia $R_o = 4\Omega$, 6Ω i 10Ω przeprowadzić pomiary mocy wyjściowej w funkcji częstotliwości $P_{wy} = f(f)$ przy napięciu $V_{we} = 10\text{mV}_{RMS}$.



Rys.2 Pomiar charakterystyki częstotliwościowej

$R_o = 4\Omega$, $V_{we} = 10\text{mV}_{RMS}$

f	[kHz]	0.05	0.1	...	30
P_{wy}	[W]			...	

$R_o = 6\Omega$, $V_{we} = 10\text{mV}_{RMS}$

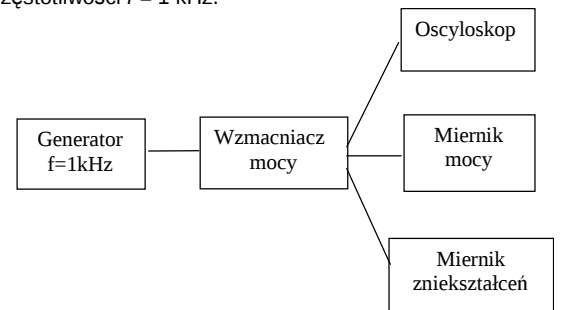
f	[kHz]	0.05	0.1	...	30
P_{wy}	[W]			...	

$R_o = 10\Omega$, $V_{we} = 10\text{mV}_{RMS}$

f	[kHz]	0.05	0.1	...	30
P_{wy}	[W]			...	

2.3 Pomiar zniekształceń nieliniowych

Dla każdej wartości obciążenia $R_o = 4\Omega$, 6Ω i 10Ω przeprowadzić pomiary współczynnika zawartości harmonicznych w funkcji mocy wyjściowej $h = f(P_{wy})$ dla częstotliwości $f = 1\text{kHz}$.



Rys.3 Pomiar zniekształceń nieliniowych

$R_o = 4\Omega$, $P_{wy} = f(V_{we} = 5\text{mV} \div 60\text{mV}_{RMS})$

P_{wy}	[W]			...	
h	[%]			...	

$R_o = 6\Omega$, $P_{wy} = f(V_{we} = 5\text{mV} \div 60\text{mV}_{RMS})$

P_{wy}	[W]			...	
h	[%]			...	

$R_o = 10\Omega$, $P_{wy} = f(V_{we} = 5\text{mV} \div 60\text{mV}_{RMS})$

P_{wy}	[W]			...	
h	[%]			...	

2.4 Pomiar zniekształceń nieliniowych źródła sygnału

W celu oszacowania zniekształceń sygnału dostarczanego do wzmacniacza należy zmierzyć wartość zniekształceń generatora sygnału o częstotliwości $f = 1\text{kHz}$ i amplitudzie około 500mV_{RMS} .

3. Opracowanie wyników

3.1. Na podstawie wyników pomiarowych z punktu 2.1 wykreślić $P_{zas} = f(V_{we})$, $P_{wy} = f(V_{we})$ i $P_{str} = f(V_{we})$ na wspólnym wykresie (oś rzędnych i odciętych: liniowe).

(P_{zas} = moc zasilania, którą oblicza się: $P_{zas} = U_{zas} \cdot I_{zas}$, $U_{zas} = 15\text{V}$, P_{str} = moc strat, którą oblicza się: $P_{str} = P_{zas} - P_{wy}$)

Określić wartość V_{we} , przy której występuje maksymalna moc strat.

3.2 Wykorzystując wyniki z punktu 2.2, wykreślić charakterystyki częstotliwościowe wzmacniacza dla każdego R_o na wspólnym wykresie. Oś rzędnych: liniowa, oś odciętych: logarytmiczna.

3.3 Wykreślić otrzymane zależności z punktu 2.3 na wspólnym wykresie. Oś rzędnych i odciętych: liniowe.

Na podstawie wyników pomiarowych z punktu 2.1 wykreślić na wspólnym wykresie wartości współczynnika zawartości harmonicznych w zależności od V_{we} . Oś rzędnych i odciętych: liniowe.

3.4 Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określić optymalną wartość rezystancji obciążenia R_o :

- ze względu na moc wyjściową i sprawność;
- ze względu na zniekształcenia.

3.5 Porównać wyniki pomiarów z danymi katalogowymi wzmacniacza mocy i wyciągnąć wnioski

4. Teoria

4.1 Wstęp

Wzmacniacze mocy służą do dostarczania odpowiednio dużej mocy do obciążenia. W zależności od zakresu częstotliwości pracy, rozróżnia się wzmacniacze mocy małej i wielkiej częstotliwości. Najczęściej spotyka się wzmacniacze mocy o paśmie 15Hz-20kHz (akustyczne wzmacniacze mocy). Stąd ich zastosowania jako wzmacniacze wyjściowe do sterowania głośników w torach akustycznych odbiorników radiofonicznych, radiokomunikacyjnych, telewizyjnych, w magnetofonach, urządzeniach nagłaśniających, itp. Istnieją również inne zastosowania wzmacniaczy mocy, jak np. sterowanie urządzeń wykonawczych lub stopnie wyjściowe nadajników w.c.z. Wyjściowym układem wszystkich wzmacniaczy operacyjnych jest również wzmacniacz mocy o niedużej mocy wyjściowej.

Wzmacniacze mocy charakteryzują się pracą z:

- dużymi sygnałami wyjściowymi;
- dużymi obciążeniami (tj. małymi rezystancjami obciążenia).

4.2 Zniekształcenia nieliniowe we wzmacniaczach mocy

Zniekształcenia nieliniowe to szczególnie ważny parametr we wzmacniaczach mocy. Tranzystory pracują przy silnych sygnałach, co prowadzi do wejścia w obszary nieliniowości charakterystyk. Przy sterowaniu wzmacniacza sygnałem sinusoidalnym, na wyjściu - wskutek zniekształceń - pojawiają się, obok sygnału użytecznego, także jego harmoniczne. Stosunek amplitud k -tej harmonicznej do pierwszej harmonicznej:

$$h_k = \frac{I_k}{I_1}$$

nazywa się *zawartością k -tej harmonicznej*. Współczynnik zniekształceń nieliniowych h definiuje się następująco:

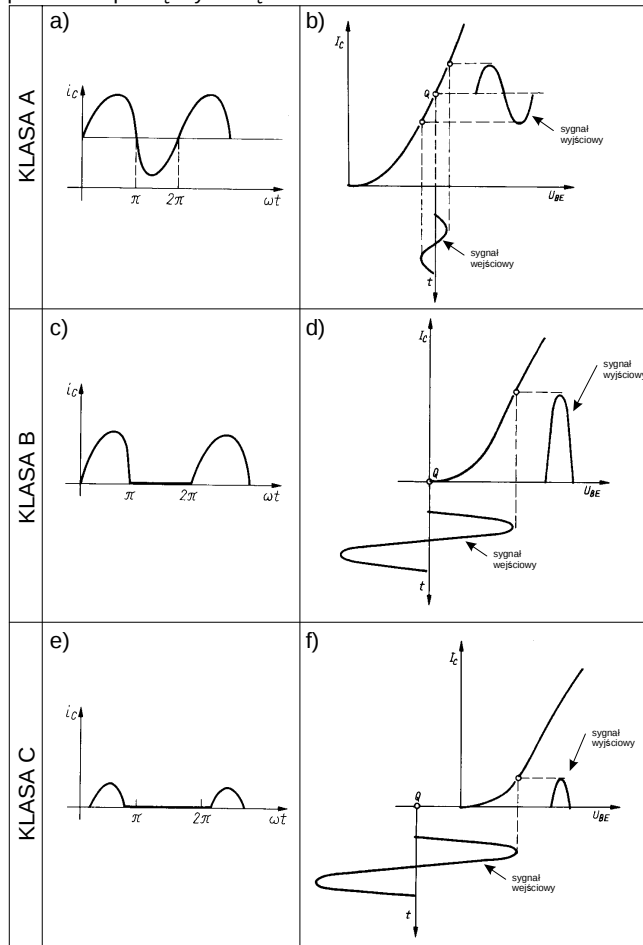
$$h = \sqrt{h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + \dots}$$

We wzmacniaczach akustycznych, największymi do przyjęcia zniekształceniami jest $h=10\%$, a w urządzeniach wysokiej jakości żąda się zniekształceń poniżej 1%.

4.3 Klasyfikacja i parametry energetyczne wzmacniaczy mocy

Wzmacniacze mocy, ze względu na rodzaj pracy, dzieli się na klasy: **A**, **AB**, **B** i **C**. O przynależności do klasy decyduje kąt przepływu prądu wyjściowego wzmacniacza. Na rys.4 pokazano, na przykładzie przepływu prądu kolektora i_c , przynależność do wymienionych klas. Jak widać, jeżeli prąd i_c płynie przez cały okres sygnału wejściowego (rys.4a), to wzmacniacz jest klasy A - wtedy punkt pracy tranzystora znajduje się na środku charakterystyki roboczej (rys.4b). Klasa B ma miejsce wówczas, gdy prąd i_c płynie przez pół okresu (rys.4c), a punkt pracy tranzystora znajduje się na początku charakterystyki w pobliżu granicy odcięcia prądu (rys.4d). Wyróżnia się również klasę C - prąd płynie mniej niż przez połowę okresu sygnału wejściowego (rys.4e), a punkt pracy znajduje się w zakresie odcięcia (rys.4f).

Jeżeli prąd płynie przez więcej niż pół okresu, a mniej niż przez cały okres, to jest to klasa AB będąca stopniem pośrednim pomiędzy klasą A i B.



Rys.4 Podział wzmacniaczy mocy na klasy

Wzmacniacze mocy m.c.z. bez przetwarzania sygnałów konstruuje się w klasach A, AB i B, głównie w klasie B i AB bliskiej klasie B. Klasa C jest stosowana we wzmacniaczach w.c.z. z obciążeniem np. w postaci równoległego obwodu rezonansowego.

Podstawowe parametry charakteryzujące wzmacniacze mocy to:

- *moc użyteczna wzmacniacza* P_{wy} , czyli moc sygnału dostarczanego do obciążenia;
- *moc zasilania* P_{zas} , - moc dostarczana do układu ze źródła zasilania;
- *sprawność energetyczna*, definiowana następująco:

$$\eta = \frac{P_{wy}}{P_{zas}}$$

- *zniekształcenia nieliniowe*, określane za pomocą zawartości harmonicznych sygnału wyjściowego;
- *charakterystyka częstotliwościowa*, określana przez dolną i górną częstotliwość graniczną.

Przy przejściu od klasy A, przez AB, B do C wzrasta sprawność energetyczna i (niestety!) zwiększają się zniekształcenia nieliniowe. W idealnym przypadku sprawność wzmacniacza klasy A wynosi 50%, klasy B wynosi 78,5%. Niestety duża sprawność klasy B okupiona jest dużymi zniekształceniami. Wzmacniacz klasy AB jest wynikiem kompromisu między dużą sprawnością a małymi zniekształceniami.

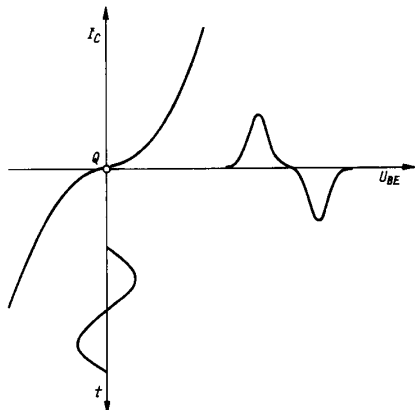
Dla akustycznych wzmacniaczy mocy istotne są dodatkowo następujące parametry:

- *znamionowa moc wyjściowa*, definiowana jako moc, którą wzmacniacz może wydzielić na znamionowej impedancji obciążenia przy danej częstotliwości lub w danym paśmie częstotliwości bez przekroczenia określonego współczynnika zniekształceń nieliniowych w ciągu 10 minut.
- *zniekształcenia liniowe*, które można podzielić na zniekształcenia częstotliwościowe oraz zniekształcenia

fazowe. Zniekształcenia częstotliwościowe, zwane też zniekształceniami tłumieniowymi, które się objawiają nierównomiernym wzmocnieniem napięcia w funkcji częstotliwości; zniekształcenia fazowe występują w wyniku różnicy przesunięć kątów fazowych pomiędzy napięciem wejściowym i wyjściowym w funkcji częstotliwości.

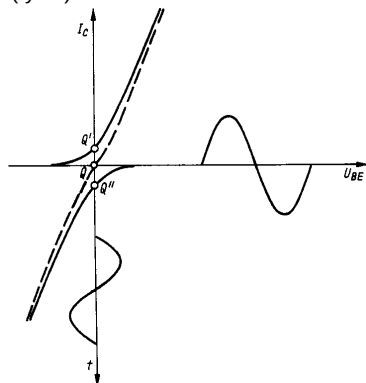
4.4 Przeciwsobne wzmacniacze mocy

Wzmacniacze mocy klasy B uzyskują dużą sprawność. Jak to wynika z położenia punktu pracy elementu aktywnego, wzmacniana jest jednak tylko jedna połówka sygnału wejściowego. Konieczne jest zatem zastosowanie układu przeciwsobnego - dodanie do układu drugiego tranzystora wzmacniającego drugą połowę sygnału. W przypadku zastosowania pary takich samych tranzystorów, konieczne jest doprowadzenie do nich sygnału przesuniętego w fazie o 180° . Niestety, w przypadku, gdy obydwa tranzystory pracują w klasie B, powstają tzw. *zniekształcenia skrośne*, będące efektem silnych nieliniowości charakterystyk tranzystorów w pobliżu początku układu współrzędnych (rys.5).



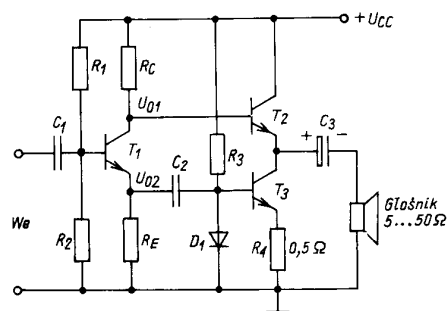
Rys.5 Zniekształcenia skrośne we wzmacniaczu przeciwsobnym - klasa B

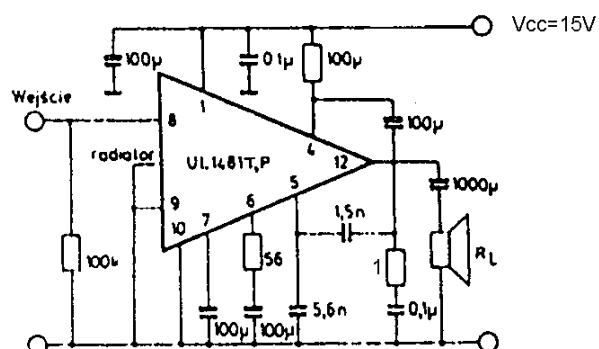
Rozwiązaniem tego problemu jest niewielkie przesunięcie punktu pracy każdego z tranzystorów w kierunku klasy A, co oznacza przepływ niewielkiego, stałego prądu spoczynkowego. Kosztownością niewielkiej straty mocy, wynikającej z przepływu prądu spoczynkowego, osiąga się znaczną poprawę liniowości charakterystyki, a zatem zmniejszenie zniekształceń nieliniowych (rys.6).



Rys.6 Zniekształcenia skrośne we wzmacniaczu przeciwsobnym - klasa AB

Jak wspomniano wyżej, zastosowanie takich samych tranzystorów w stopniu wyjściowym powoduje, że konieczne jest sterowanie ich osobnymi sygnałami przesuniętymi względem siebie w fazie. Na rys.7 przedstawiono wzmacniacz, w którym tranzystor T_1 odpowiednio steruje tranzystorami mocy T_2 i T_3 sygnałami przesuniętymi względem siebie w fazie o 180° .





Parametry charakterystyczne UL1481

/t_{smb} = +25°C/

Rys.10 Schemat aplikacyjny układu UL1481

Literatura:

- [1] A. Guziński, "Linowe elektroniczne układy analogowe" WNT 1992.
- [2] A. Filipkowski, "Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe", WNT 1978.
- [3] T. Masewicz, "Radioelektronika dla praktyków", WKiŁ 1986.
- [4] M. Rusek, R. Ćwirko, W. Marciniak, "Przewodnik po elektronice", WNT 1986.
- [5] H. Gucz, "Beztransfornatorowy wzmacniacz mocy" Skrypt do Laboratorium Układów Analogowych Liniowych

Ozna- czenie	Nazwa	Jedn.	Wartość			Warunki pomiaru Uwagi
			min	typ	max	
I _{CCQ}	Spoczynkowy prąd za- silania	mA		12	20	U _{CC} =14,4 V
P _O	Moc wyjściowa	W		6		h=10% U _{CC} =14,4 V
			3,5	4,6		h=2,5% R _L =4Ω ; f _p =1 kHz
				2,5		h=10% U _{CC} =9 V
				2,0		h=2,5% R _L =4Ω ; f _p =1 kHz
h	Współczynnik zawar- tości harmonicznych	%		0,3	1,5	U _{CC} =14,4 V; R _L =4Ω , P _O =50 mW+3 W; R _F =56Ω f _p =1 kHz
A _U	Wzmocnienie napię- ciowe	dB	34	37	40	U _{CC} =14,4 V; R _L =4Ω R _F =56Ω ; f _p =1 kHz
BW	Pasmo przenoszenia /dla 3 dB spadku przenoszenia/	Hz		40+20000		C=820 pF U _{CC} =14,4 V
				40+10000		C=1500 pF R _L =4Ω R _F =56Ω
Ozna- czenie	Nazwa	Jedn.	Wartość			Warunki pomiaru Uwagi
			min	typ	max	
U _I	Napięcie wejściowe	mV		80	220	U _{CC} =14,4 V; R _L =4Ω P _O =6 W; R _F =56Ω ; f _p =1 kHz
I _{IB}	Wejściowy prąd polu- ryzacji	μA		0,4	4	U _{CC} =14,4 V
I _{IN}	Wejściowy prąd szu- mów	nA		0,1		U _{CC} =14,4 V; BW=20 Hz + 20 kHz
U _{IN}	Napięcie szumów na wejściu	μV		2		U _{CC} =14,4 V; R _L =0Ω BW=20 Hz + 20 kHz
SVR	Współczynnik odpor- ności na zmiany na- pięcia zasilania	dB		48		U _{CC} =14,4 V; R _L =4Ω R _F =56Ω f _p =100 Hz
R _I	Rezystancja wej- ściowa	MΩ		5		