

ĆWICZENIE 15 BADANIE WZMACNIACZY MOCY MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

15.1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych właściwości wzmacniaczy mocy małej częstotliwości oraz przyswojenie umiejętności badania ich parametrów i charakterystyk.

15.2. WPROWADZENIE

Końcowe stopnie wzmacniaczy m.cz., których zadaniem jest dostarczenie wymaganej mocy do obciążenia, pracują z dużymi sygnałami wejściowymi i wyjściowymi. Wpływa to w zasadniczy sposób na analizę pracy tych sygnałów, gdzie zwykle stosuje się metody graficzne, gdyż opieranie się na parametrach dla małych sygnałów prowadzi do znacznych błędów. Praca przy dużych sygnałach wejściowych wiąże się również z występowaniem zniekształceń sygnału wyjściowego, co jest bezpośrednią konsekwencją nieliniowości charakterystyk tranzystora.

Tranzystory użyte w układach wzmacniaczy mocy, jak i same układy wzmacniaczy są wybierane ze względu na :

- a) zapewnienie żądanej mocy wyjściowej,
- b) dopuszczalny stopień zniekształceń nieliniowych i liniowych.

Sprawność energetyczna wzmacniacza, która nie była dotychczas brana pod uwagę dla wzmacniaczy napięciowych, staje się dla wzmacniaczy mocy ważnym parametrem ze względu na to, że stanowią one główne obciążenie źródła zasilania.

Klasyfikację wzmacniaczy mocy przeprowadza się w oparciu o kąt przepływu prądu kolektora 2θ . Kąt przepływu definiuje się jako względny czas przepływu prądu odniesienia do okresu sinusoidalnego napięcia wejściowego przyjętego jako $360^\circ = 2\pi$. Jeżeli kąt przepływu $2\theta = 360^\circ$, to wzmacniacz nazywa się wzmacniaczem klasy A. Jeżeli kąt przepływu jest w granicach

$180^\circ + 360^\circ$, to mamy wzmacniacz klasy AB. Wzmacniacz, dla którego kąt przepływu $2\theta = 180^\circ$ jest wzmacniaczem klasy B, a jeżeli $2\theta < 180^\circ$, to mówimy, że układ pracuje w klasie C. Pojedyncze wzmacniacze mocy małej częstotliwości pracują wyłącznie w klasie A. Układy przeciwobne pracują w klasie AB lub B.

Biorąc pod uwagę przeznaczenie wzmacniacza mocy, za główne parametry tego układu należy uznać : wartość mocy wyjściowej (P_{wy}), sprawność energetyczną (η), wzmocnienie mocy (K_p), współczynnik zniekształceń (h), rezystancję wyjściową (R_{wy}).

Sprawnością energetyczną wzmacniacza nazywamy stosunek mocy oddawanej do obciążenia (moc wyjściowa P_{wy}) do mocy P_z , jaką wzmacniacz pobiera ze źródła zasilania

$$\eta = \frac{P_{wy}}{P_z} \quad (15.1)$$

Sprawność wzmacniacza najczęściej wyraża się w procentach.

Współczynnik wzmocnienia mocy (wzmocnienie mocy) jest równy stosunkowi mocy oddawanej do obciążenia (moc wyjściowa P_{wy}) do mocy wejściowej (P_{we})

$$K_p = \frac{P_{wy}}{P_{we}} \quad (15.2)$$

Zniekształcenia sygnału wyjściowego są charakteryzowane za pomocą współczynnika zniekształceń całkowitych (h), który jest równy stosunkowi wartości skutecznej wyższych harmonicznych do wartości skutecznej pełnego przebiegu tego sygnału

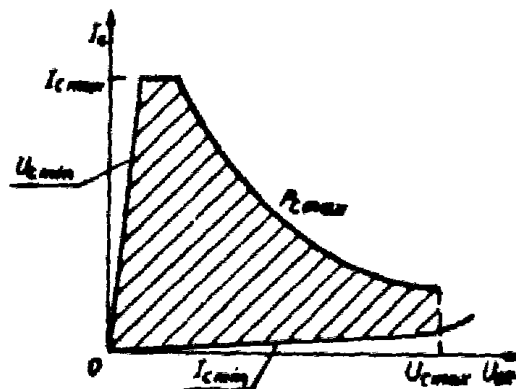
$$h = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}} \quad (15.3)$$

Szczególnie ważną cechą wzmacniacza mocy jest wysoki poziom mocy wyjściowej uzyskiwany przy możliwie małych zniekształceniach sygnału. Natomiast wartość wzmocnienia napięciowego jest sprawą drugorzędną. Istotnym parametrem jest również sprawność energetyczna wzmacniacza mocy. Wszystkie te parametry są ze sobą ściśle związane i zależą od warunków pracy elementu wzmacniającego, jakim jest tranzystor.

Moc wyjściowa jest uzależniona od mocy maksymalnej strat kolektora ($P_{C \text{ MAX}}$), która z kolei jest ograniczona dopuszczalną temperaturą złącza i zależy od temperatury otoczenia oraz sposobu odprowadzania ciepła.

O właściwym wykorzystaniu tranzystora decydują również: dopuszczalna wartość napięcia kolektora ($U_{C \text{ MAX}}$ - jej przekroczenie grozi zniszczeniem tranzystora), maksymalna wartość prądu kolektora ($I_{C \text{ MAX}}$) oraz minimalne wartości prądu ($I_{C \text{ MIN}}$) i napięcia ($U_{C \text{ MIN}}$) kolektora, których przekroczenie powoduje zniekształcenia nieliniowe. Wymienione wartości parametrów tranzystora ograniczają pole możliwych charakterystyk tranzystora (obszar zakresowany na Rys.15.1).

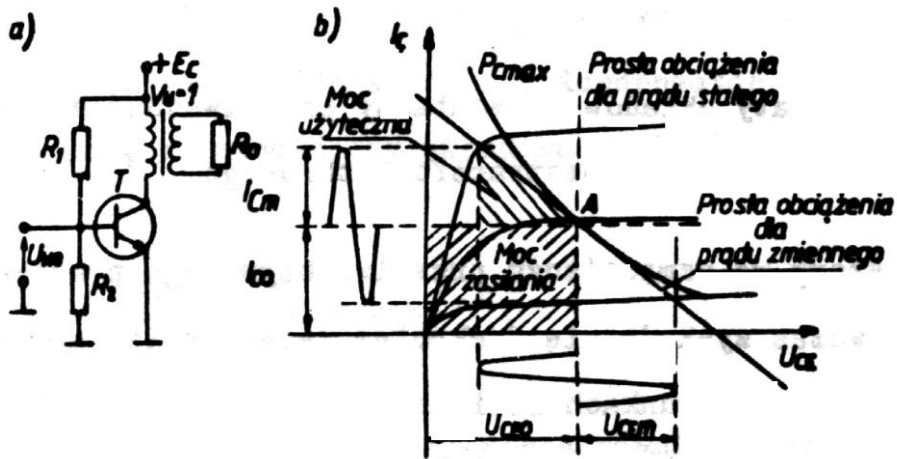
Stopnie końcowe wzmacniaczy mocy mogą pracować z jednym elementem wzmacniającym lub dwoma. W układzie wzmacniacza mocy z pojedynczym tranzystorem (Rys.15.2a) obwód kolektora jest najczęściej sprzężony z obciążeniem za pomocą transformatora.



Rys.15.1. Ograniczenie pola charakterystyk wyjściowych tranzystora

Tranzystor w tego typu wzmacniaczu pracuje w klasie A (Rys.15.2b), tzn. punkt pracy A znajduje się na dynamicznej prostej obciążenia w środku między punktami odcięcia i nasycenia. W ten sposób tranzystor przewodzi

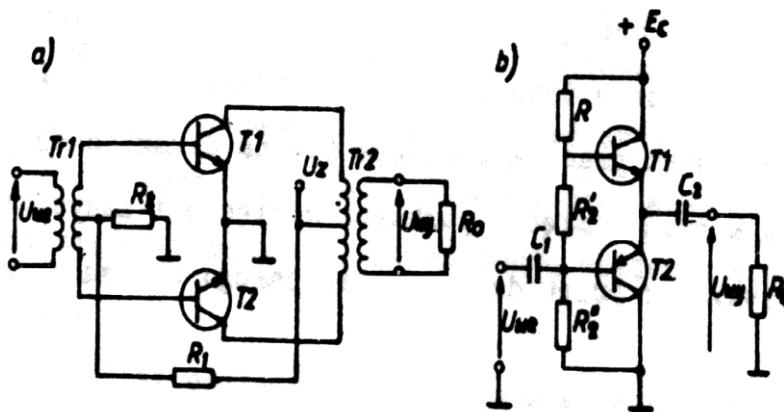
w czasie całego okresu sygnału sterującego.



Rys.15.2. Schemat układu wzmacniacza mocy A o sprzężeniu transformatorowym a) i charakterystyka wzmacniacza klasy A b)

Ze względu na szereg wad wzmacniaczy mocy z pojedynczymi tranzystorami (m.in. - pobierają stałą moc bez względu na poziom wysterowania, przez uzwojenie pierwotne transformatora płynie składowa stała prądu, która powoduje nasycenie rdzenia itp.), obecnie buduje się najczęściej wzmacniacze przeciwobne z dwoma tranzystorami. Przykładowe schematy układów wzmacniaczy przeciwobnych podano na Rys.15.3. Są to układy wzmacniaczy przeciwobnych : transformatorowego (Rys.15.3a) i beztransformatorowego (Rys.15.3b).

Ten ostatni zbudowany jest z wykorzystaniem pary tranzystorów komplementarnych włączonych w układzie OC.

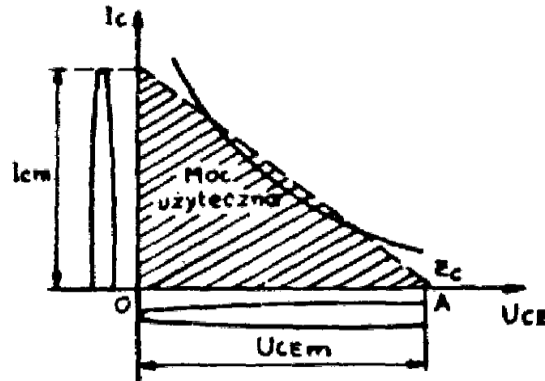


Rys.15.3. Schematy układów wzmacniaczy przeciwobnych : a) transformatorowego, b) beztransformatorowego

Tranzystory we wzmacniaczu przeciwobnym mogą pracować w klasie A - wówczas zyskuje się dwukrotnie zwiększenie mocy wyjściowej (w takich samych warunkach zasilania poszczególnych tranzystorów) i zmniejszenie zniekształceń nieliniowych. Sprawność wzmacniacza pozostaje bez zmian ($\eta_{MAX} = 50\%$).

Znacznie lepiej wykorzystywane są pod względem energetycznym tranzystory pracujące w klasie B. Prąd kolektora płynie wówczas przez pół okresu sygnału sterującego. Odpowiada to wyborowi punktu pracy A

($U_{CE} = E_C$, $I_{CO} = 0$) na prostej dynamicznej obciążenia (Rys.15.4). Rysunek ten odpowiada charakterystykom idealnym tranzystora.



Rys.15.4. Charakterystyka wzmacniacza klasy B

We wzmacniaczu transformatorowym odwrócona w fazie para sygnałów sterujących powoduje, że tranzystory przewodzą na przemian, a sumowanie sygnałów w obciążeniu odbywa się przez transformator wyjściowy. Warunkiem właściwej pracy jest dobranie tranzystorów o takim samym przebiegu charakterystyk. We wzmacniaczu beztransformatorowym na bazy tranzystorów T1 i T2 oddziałuje to samo napięcie sterujące (U_{WE}). Jednakże, ze względu na przeciwstawność tych tranzystorów, prądy w ich obwodach są w przeciwfazie, a napięcie wyjściowe zależy od ich różnicy. W tym przypadku elementem sumującym sygnał jest kondensator C_2 . Kondensator ten powinien mieć na tyle dużą pojemność, by składowa napięcia nie uległa na nim zmianom

$$U_C = \frac{1}{2} (2E_C) = E_C \quad (15.4)$$

Napięcie na tym kondensatorze zawiera również składową zmienną i jest źródłem energii w półokresie przewodzenia tranzystora T2. Aby warunki pracy tranzystorów T1 i T2 były jednakowe, wzmacniacz beztransformatorowy należy zasilić napięciem dwukrotnie wyższym ($2E_C$) niż miało to miejsce w przypadku wzmacniacza transformatorowego i należy odpowiednio dobrać wartości rezystorów R_1 , R_2' , R_3'' .

Istotną zaletą wzmacniaczy beztransformatorowych jest nieobecność transformatorów wejściowego i wyjściowego, które zwiększały gabaryty wzmacniaczy i zniekształcały sygnał wyjściowy. Dlatego obecnie buduje się przeważnie wzmacniacze mocy beztransformatorowe.

Ważną zaletą wzmacniaczy przeciwobnych, pracujących w klasie B, jest ich duża sprawność energetyczna. Jej maksymalna wartość teoretycznie wynosi 78.5%. Ma to miejsce dla rezystancji obciążenia spełniającej warunek

$$R_o = \frac{E_C^2}{\pi^2 P_{c \max}} \quad (15.5)$$

Wartości mocy wyjściowej (P_{WY}), mocy strat w kolektorze (P_C) i sprawności są funkcją napięcia wejściowego (U_{WE}).

Wadą wzmacniaczy przeciwobnych klasy B są zwiększone zniekształcenia nieliniowe. Są to tzw. zniekształcenia skrośne, które związane są z rzeczywistymi przebiegami charakterystyk przejściowych tranzystorów

$I_C = f(U_{BE})$. Wykazują one znaczne nieliniowości przy małych wartościach prądów kolektorów obydwu tranzystorów, co w konsekwencji prowadzi do zniekształceń sygnału wyjściowego.

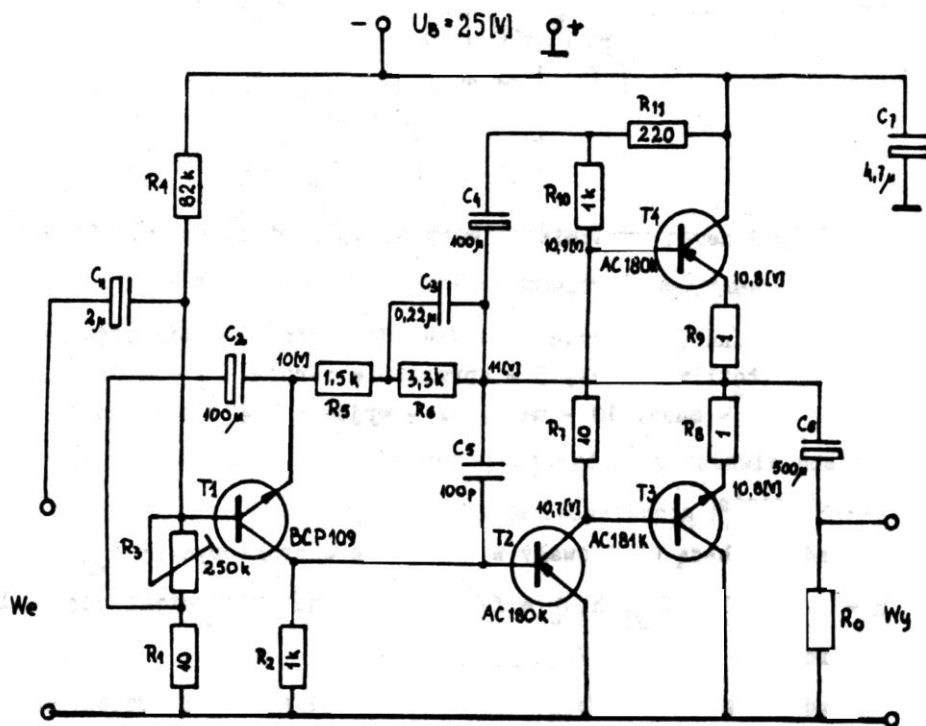
Zniekształcenia te można znacznie zmniejszyć stosując pracę tranzystorów w klasie AB. Każdy tranzystor przewodzi wówczas w czasie dłuższym od połowy okresu sygnału sterującego. Jest to równoznaczne z linearyzacją „wypadkowej” charakterystyki przejściowej, a tym samym ze zmniejszeniem zniekształceń nieliniarnych sygnału.

Właściwości energetyczne wzmacniaczy przeciwobnych klasy AB są zbliżone do wzmacniaczy klasy B.

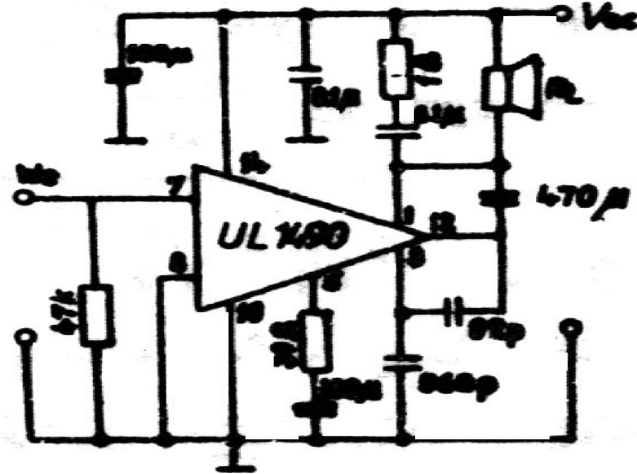
Przykładowy schemat wzmacniacza m.cz. z komplementarną parą tranzystorów pracujących w przeciwobnym stopniu mocy klasy B przedstawiono na Rys.15.5.

Układ wzmacniacza z Rys.15.5 składa się ze stopnia dopasowującego zbudowanego na tranzystorze T1, z układu prostego wzmacniacza sterującego z tranzystorem T2 i komplementarnego wzmacniacza mocy (tranzystory T3 i T4).

Obecnie buduje się również wzmacniacze mocy w wersji scalonej. Takim analogowym układem scalonym produkowanym w CEMI może być np. wzmacniacz mocy m.cz. UL 1490N. Na Rys.15.6 pokazano schemat wzmacniacza mocy zbudowanego na tym właśnie układzie scalonym.



Rys.15.5. Schemat układu beztransformatorowego wzmacniacza mocy kl. B zbudowanego z elementów dyskretnych



Rys.15.6. Schemat wzmacniacza mocy m.cz. zbudowanego na układzie scalonym UL 1490N

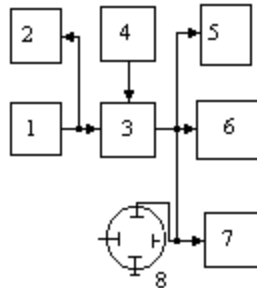
Funkcje wyprowadzeń : 1 - bootstrap, 3 - korekcja częstotliwościowa, 5 - sprzężenie zwrotne, 7 - wejście, 8 - masa, 10 - masa, 12 - wyjście, 14 - zasilanie

15.3. BADANIA

Badania będą obejmowały wyznaczenie charakterystyk P_{WY} , $h = f(R_0); P_Z, P_{WY}, h, \eta = f(U_{WE})$ oraz charakterystyki częstotliwościowej - $P_{WY} = f(f)$.

Badaniami należy objąć układ wzmacniacza mocy zbudowany z elementów dyskretnych (np. o strukturze z Rys.15.5) i wzmacniacza mocy wykonanego techniką scaloną, np. UL 1490N (Rys.15.6).

Do badań należy zestawić uniwersalny układ pomiarowy (Rys.15.7).



Rys.15.7. Schemat układu pomiarowego : 1 - generator, 2 - miliwoltomierz elektroniczny, 3 - badany wzmacniacz, 4 - zasilacz z możliwością pomiaru mocy zasilania, 5 - miernik mocy wyjściowej, 6 - woltomierz elektroniczny, 7 - miernik zniekształceń nieliniowych, 8 - oscyloskop

15.3.1. Pomiar wzmocnienia

Pomiary wzmocnienia napięciowego można realizować przez pomiary napięcia wejściowego i wyjściowego przy określonej częstotliwości sygnału sterującego i rezystancji obciążenia. Wzmocnienie wyznacza się ze wzoru

$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad (15.6)$$

15.3.2. Pomiary mocy zasilania, mocy wyjściowej oraz sprawności

Pomiar mocy zasilania przeprowadza się mierząc napięcie U_z i prąd I_z pobierany przez układ wzmacniacza

$$P_z = U_z I_z \quad (15.7)$$

Moc wyjściową wzmacniacza można wyznaczyć na podstawie pomiaru napięcia wyjściowego przy obciążeniu rezystancją R_0

$$P_{wy} = \frac{U_{wy}^2}{R_0} \quad (15.8)$$

Do pomiaru mocy wyjściowej można stosować również miernik mocy wyjściowej.

Znajomość wartości P_{wy} i P_z pozwala określić sprawność energetyczną wzmacniacza

$$\eta = \frac{P_{wy}}{P_z} \quad (15.9)$$

15.3.3. Pomiar zniekształceń nieliniowych sygnału wyjściowego

Współczynnik zniekształceń nieliniowych (h) mierzy się przy pomocy miernika zniekształceń, który dołączyć należy równolegle z obciążeniem na wyjściu wzmacniacza.

Współczynnik h mierzy się w funkcji napięcia wejściowego, rezystancji obciążenia i częstotliwości.