



INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

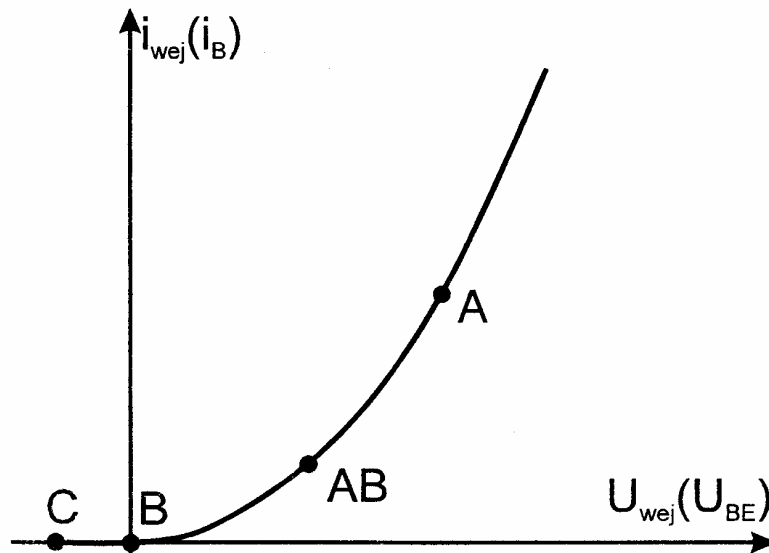
NR.6

Badanie tranzystorowych wzmacniaczy mocy.

Wzmacniaczami mocy nazywamy takie wzmacniacze, które dostarczają znaczne ilości mocy do obwodu wyjściowego. Uzyskanie dużej mocy wyjściowej oznacza, że amplitudy zarówno prądu jak i napięcia na wyjściu powinny być duże. Dążąc do zminimalizowania kosztów wzmacniaczy mocy, należy stosować element aktywny w którym podczas działania układu jest tracona jak najmniejsza moc. Wymaga to odpowiedniego zaprojektowania układu. Przy dużych mocach nie jest możliwe pominięcie nieliniowości elementu, które wprowadzają zniekształcenia. Od wzmacniaczy mocy oczekuje się następujących parametrów:

- maksymalnej mocy wyjściowej P_{wy} ;
- minimalnych zniekształceń nieliniowych h ;
- maksymalnej sprawności energetycznej η ;
- maksymalnego wzmocnienia k ;
- odpowiedniego pasma częstotliwości B .

Wzmacniacze mocy mogą pracować w zależności od przeznaczenia we wszystkich klasach pracy wzmacniaczy liniowych, jak na rys. 1.

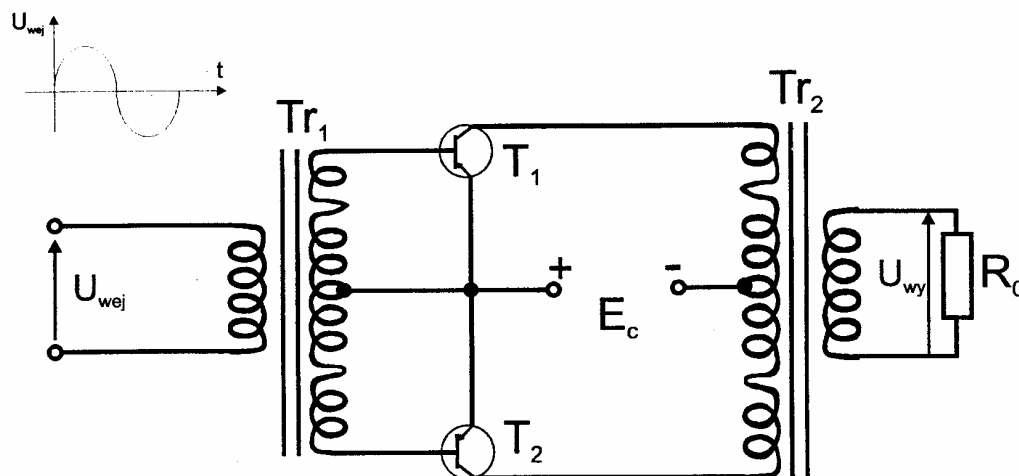


Rys.1. Położenia statycznego punktu pracy w różnych klasach wzmacniaczy liniowych.

Podczas pracy wzmacniacza w klasie C sinusoidalny sygnał wejściowy ma na wyjściu postać odcinków sinusoidy. Klasa C nie może być stosowana we wzmacniaczach pasmowych i jest ograniczona do selektywnych wzmacniaczy mocy, które nie będą tutaj omawiane.

Wzmacniacze pracujące w klasie *A* wytwarzają sygnały o najmniejszych zniekształceniach nieliniowych lecz posiadają one jednocześnie najniższą sprawność do 50 %. Wzmacniacze pracujące w klasach *AB*, *B* i *C* charakteryzują większe zniekształcenia sygnałów wyjściowych ale większą sprawność niż w klasie *A*.

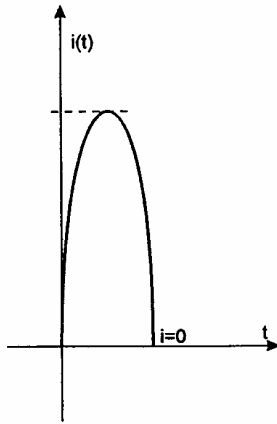
Największe zastosowanie w praktyce z powodu wielu zalet znalazły tzw. wzmacniacze przeciwobne obciążone transformatorem pracujące w klasach *B* lub *AB*. Zaletą wzmacniacza w klasie *B* jest fakt, że układ taki nie potrzebuje polaryzacji złącza Baza - Emiter ($U_{be} = 0$), zatem w nieobecności sygnału sterującego moc tracona w tranzystorze jest praktycznie równa zero. Wzmacniacz klasy *AB* nie posiada tej zalety; punkt pracy tego wzmacniacza wymaga pewnego napięcia $U_{be} \neq 0$ czego konsekwencją jest pewna moc tracona w tranzystorze, nawet przy braku sterowania zewnętrznego. Zaletą wzmacniacza klasy *AB* są mniejsze zniekształcenia liniowe sygnałów wyjściowych niż w klasie *B*.



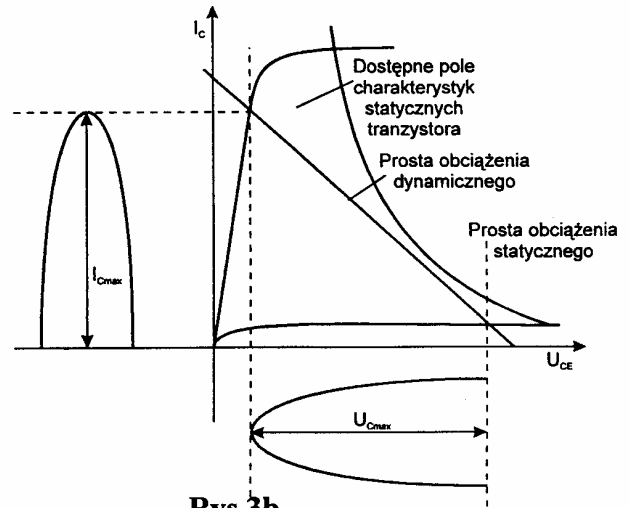
Rys.2. Układ podstawowy wzmacniacza klasy *B* przeciwobnego.

Układ taki wymaga dwóch transformatorów – Tr_1 , który służy jako odwracacz fazy sygnału wyjściowego oraz Tr_2 , który dopasowuje obciążenie R_0 do oporności dynamicznej wyjściowej stopnia o przekładni każdego odczepu w stosunku do uzwojenia wyjściowego $U/2:1$.

Zasada działania: wzmacniacz ten przy braku sygnału sterującego nie wytwarza składowych stałych prądów kolektorów tranzystorów T_1 i T_2 , ze względu na odpowiednie położenie punktów pracy, przez co nie wytwarza wstępnego namagnesowania rdzenia transformatora Tr_2 . Pojawiająca się po stronie pierwotnej transformatora Tr_1 dolna połówka sygnału sterującego jest w ten sposób przenoszona na stronę wtórną, że powoduje przewodzenie tranzystora T_1 , natomiast tranzystor T_2 nie przewodzi podczas tego półokresu. Płynący prąd kolektor tranzystora T_1 wytwarza na obciążeniu napięcia kształtu sinusoidalnego w ciągu tegoż półokresu. Górna połówka napięcia sterującego powoduje napięcie tranzystora T_2 i zatkanie T_1 , oraz wytwarzanie na wyjściu drugiej połówki sinusoidy, tak że napięcie wyjściowe po każdym okresie pracy ma kształt pełnej sinusoidy. Kształt prądu kolektora tranzystora wzmacniacza oraz napięcia uzyskiwanego z jednego tranzystora pokazują rys. 3a i 3b



Rys 3a.



Rys 3b.

Sprawność wzmacniacza wygodnie jest przeliczyć posługując się wartościami mocy dotyczącymi jednego tranzystora. Zatem :

$$\eta = \frac{P_{\text{użyteczna tranzystora}}}{P_{\text{dostarczana do tranzystora}}}$$

$$P_{\text{dost1T}} \cong E_c \cdot I_{C_{sr}}$$

gdzie $I_{C_{sr}}$ - prąd średni kolektora tranzystora za okres

$$I_{C_{sr}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(t) d(\omega t) = \frac{I_{C_{max}}}{\pi};$$

$$P_{\text{dost1T}} \cong E_c \cdot \frac{I_{C_{max}}}{\pi}$$

Moc użyteczna:

$$P_{\text{uż1T}} = \frac{1}{2} P_{\text{uż całkowita}}$$

$$P_{\text{uż całk}} = \frac{1}{2} I_{C_{max}} \cdot U_{C_{max}}$$

$$P_{\text{uż1T}} = \frac{1}{4} U_{C_{max}} \cdot I_{C_{max}}$$

Czyli sprawność:

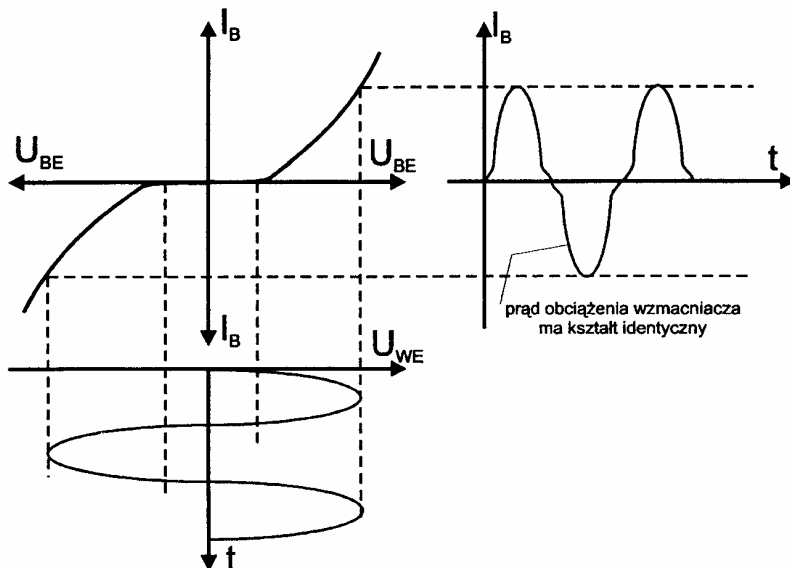
$$\eta = \frac{\frac{1}{4} I_{C_{max}} \cdot U_{max}}{E_c \frac{I_{C_{max}}}{\pi}} = \frac{\pi}{4} \cong 0,78$$

Należy zauważyć, że podana poniżej sprawność jest tzw. sprawnością teoretyczną maksymalną. Sprawność taka może być teoretycznie otrzymana w stanie pełnego wystęrowania tranzystora maksymalna możliwa ze względu na zniekształcenia wartość napięcia sterującego, przyjęto bowiem w tej zależności przybliżenie $U_{C_{max}} = E_c$ - co możliwe jest teoretycznie tylko w tym stanie. Sprawność wzmacniaczy mocy jest zależna w dużej mierze od stopnia wystęrowania i maleje ona wraz z zmniejszającym się stopniem wystęrowania wzmacniacza.

Do zalet przeciwsobnych wzmacniaczy mocy należy brak składowej stałej prądów kolektorów tranzystorów w transformatorze oraz wyeliminowanie wpływu parzystych harmonicznych w obciążeniu dzięki odpowiedniej charakterystyce zastępczej

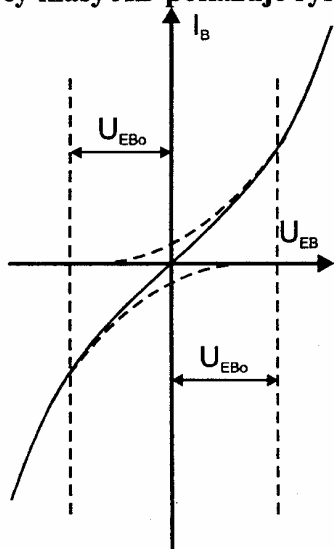
(nieliniowej) obu tranzystorów połączonych przeciwobnie. Podobnie wyeliminowane są składowe nieparzyste prądu przepływającego przez źródło zasilania.

Wadą wzmacniacza przeciwobnego klasy *B* są duże zniekształcenia skrośne sygnału wyjściowego. Zniekształcenia skrośne są to zniekształcenia nieliniowe sygnału wyjściowego w przypadku wzmacniacza małymi napięciami sterującymi. Spowodowane są one dużą nieliniowością charakterystyki zastępczej wejścia wzmacniacza dla zakresu małych wysterowań, którą wraz z sygnałem prądu bazy tego elementu pokazaną na rys. 4.

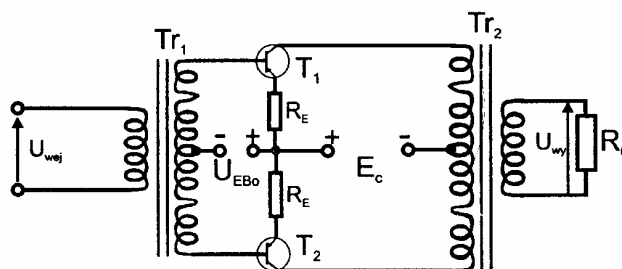


Rys. 4. Zniekształcenia skrośne, mechanizm powstawania.

Zniekształcenia te powodują, że praca w klasie *B* jest niezbyt korzystna i często w związku z tym budowane są wzmacniacze pracujące w klasie *AB*, posiadające pewną polaryzację stałą złącz. baza-emiter, a dzięki temu bardziej liniową charakterystykę strony wejściowej wzmacniacza. Charakterystykę oraz typowy układ pracy wzmacniacza mocy klasy *AB* pokazuje rys. 5a i 5b



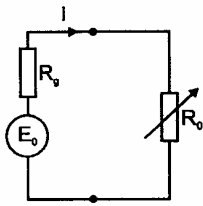
Rys. 5a



Rys. 5b

Jednym z istotnych problemów występujących przy budowie wzmacniaczy mocy jest taki dobór oporności obciążenia wzmacniacza aby można było otrzymać na tym obciąż-

zeniu jak największą możliwą moc. Zastosowanie zapewniającego spełnienia tego warunku obciążenia nosi nazwę dopasowania wzmacniacza i obciążenia. Wartość obciążenia niezbędnej do dopasowania mocowego można wyznaczyć w poniższy sposób.



E_0 - napięcie wyjściowe stopnia wzmacniającego
 R_g - oporność wyjściowa stopnia wzmacniającego
 R_o - poszukiwana wartość oporności obciążenia

Moc P wydzielona w obciążeniu R_o jest pewną funkcją R_o :

$$P = I^2 \cdot R_o = \frac{E^2}{(R_o + R_g)^2} \cdot R_o$$

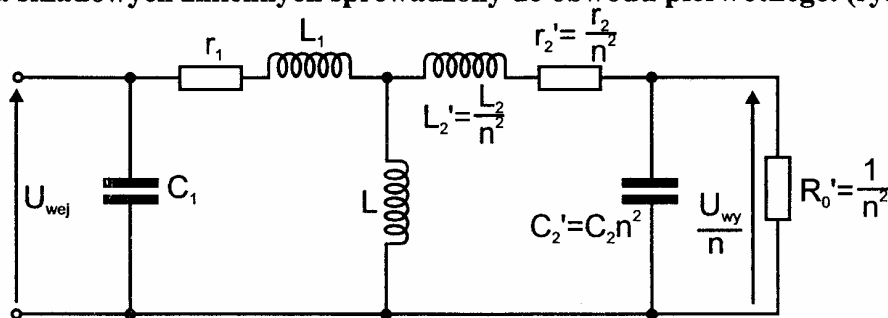
której wartość maksymalna jest gdy:

$$\frac{dP}{dR_o} = 0$$

warunek ten pozwala wyznaczyć taką wartość R_o aby moc wydzielana w tym obciążeniu była największa. Okazuje się, że warunkiem dopasowania mocowego jest warunek $R_o = R_g$. Wtedy moc wydzielona w R_o jest maksymalna i równa:

$$P_{max} = \frac{E^2}{4R_o}$$

Wyjściowe stopnie mocy układów przeciwsobnych pracujących w konfiguracji OE charakteryzują się opornością wyjściową rzędu pojedynczych kiloomów. W przypadku pracy na niskoomowe obciążenia R_o , w celu dopasowania tegoż obciążenia konieczne jest stosowanie transformatora dopasowującego przenoszącego oporność R_o na pierwotną jako $U_2 R_o / n : 1$ - przekładnia transformatora dopasowującego. Transformator, który jest elementem dopasowującym mocowo obciążenie i źródło sterujące zapewnia ponadto dogodne warunki zasilania na skutek małej rezystancji uzwojeń oraz symetryczne obciążanie tranzystorów końcowych. Jednocześnie jednak wpływa on na pogorszenie charakterystyki przenoszenia (częstotliwościowej) wzmacniaczy. Wpływ transformatora na przebieg tych charakterystyk wygodnie jest rozpatrywać w oparciu o jego schemat zastępczy dla składowych zmiennych sprowadzony do obwodu pierwotnego. (rys.6).



Rys.6. Schemat zastępczy transformatora dopasowującego.

- L - indukcyjność główna transformatora przez którą przepływa prąd magnesujący rdzeń
- L_1, L_2 - indukcyjność rozproszenia uzwojeń pierwotnego i wtórnego
- L_2' - indukcyjność przeniesiona
- C_2, C_2' - pojemności uzwojeń
- r_1, r_2 - rezystancje strat uzwojeń
- n - przekładnia transformatora

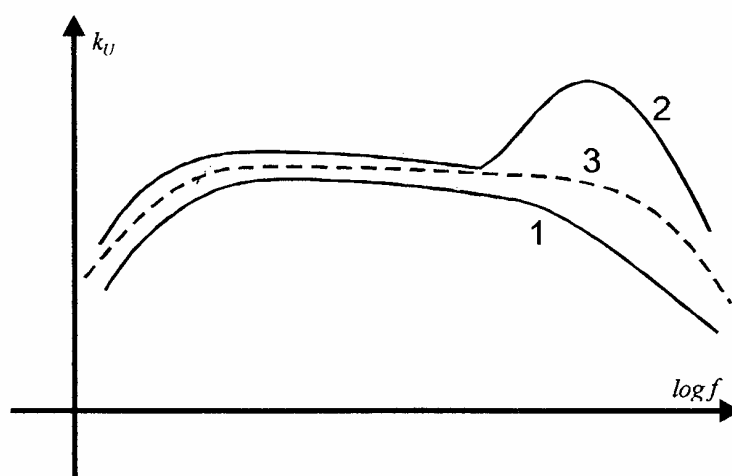
R_o - rezystancja obciążenia

U_{wyj} - napięciu na obciążeniu

Pracę transformatora rozpatruje się w trzech przedziałach częstotliwościowych:

- I. zakres średnich częstotliwości: najczęściej pomija się wpływ w tym zakresie wszystkich elementów reaktacyjnych może występować czasami zależnie od parametrów rezonans równoległy elementów C_1 , C_2 i L tłumiony jednak silnie przez rezystancję R_o . Praktycznie charakterystykę pasmową można uważać w tym zakresie za płaską.
- II. zakres dolnych częstotliwości: w zakresie tym pomija się wpływ elementów L_1 , L_2 oraz C_1 , C_2 , które można traktować jako elementy o rezystancjach odpowiednio zerowych i nieskończonych. Jedynym elementem reaktacyjnym mającym wpływ na charakterystykę pasmową w tym zakresie jest L , która wraz z rezystancją R_o tworzy dzielnik prądowy działający w kierunku prądu magnesującego, a za tym obniżający napięcie wyjściowe.
- III. zakres częstotliwości górnych: zakres, w którym wpływ indukcyjności górnej L można zaniedbać. Istotne są natomiast teraz indukcyjności L_1 i L_2 oraz pojemności C_1 i C_2 . Zależnie od konstrukcji transformatora można uwzględniać wpływ tylko indukcyjności L_1 i L_2 (pomijając C_1 i C_2) lub wszystkich tych elementów razem (L i C). W przypadku pierwszym indukcyjności L_1 i L_2 tworzą wraz z R_o dzielnik napięcia wejściowego, który wraz ze wzrostem częstotliwości wytwarza coraz to mniejsze napięcia wejściowe. W przypadku drugim, kiedy uwzględnia się dodatkowo wpływ C_1 i C_2 - występuje obwód rezonansu szeregowego elementów L_1 i L_2 oraz C_1 i C_2 , który niejednokrotnie wykorzystuje się do poprawienia charakterystyki częstotliwościowej w tym zakresie.

Wobec powyższej analizy można przedstawić charakterystykę pasmową wzmacniacza mocy z uwzględnieniem transformatora, (przypadek najczęściej spotykany - kiedy wpływ transformatora jest najsilniejszy) (rys. 7)



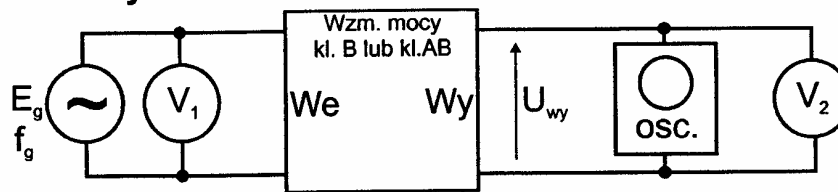
Rys. 7. Charakterystyka (1) odpowiada uwzględnieniu tylko wpływu indukcyjności transformatora we wszystkich zakresach częstotliwości.

Charakterystyka (2) odpowiada uwzględnieniu wpływu obydwu rezonansów między elementami transformatora.

Charakterystyka (3) pokazuje możliwość uzyskania charakterystyki pasmowej maksymalnie płaskiej wykorzystując opisane powyżej zjawiska rezonansowe.

Typowy wzmacniacz mocy obciążony transformatorem posiada 3 dB przenoszenia mieszczące się w zakresie częstotliwości akustycznych najczęściej w granicach 100 Hz - 10 kHz.

Układ pomiarowy.



- E_g - generator napięć sinusoidalnych o regulowanej amplitudzie oraz częstotliwości
 R_{obc} - oporność obciążenia, którą w układzie pomiarowym symuluje miernik mocy wyjściowej
 Osc - oscyloskop
 V_1 - pomiar napięcia U_{we}
 V_2 - pomiar napięcia U_{wy}

Przebieg ćwiczenia

- Badanie właściwości wzmacniacza przeciwobnego pracującego w klasie B.
 - Dla stałej częstotliwości generatora f_g oraz stałego napięcia generatora E_g znaleźć, posługując się miernikiem mocy wyjściowej, oporność obciążenia w warunkach dopasowania mocy.
 - Zaobserwować zniekształcenia skróśne wzmacniacza przy pomocy oscyloskopu.
 - Obciążając wzmacniacz opornością dopasowania, sterując napięciem zmiennym o parametrach jak w punkcie 1a, zdjąć charakterystykę napięciową wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$. Pomiaru należy zakończyć gdy sygnał wyjściowy jest silnie zniekształcony. Otrzymaną w ten sposób charakterystykę zestawić w postaci tabletki oraz wykreślić. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów narysować charakterystykę $k_u = f(U_{we})$ gdzie $k_u = U_{wy} / U_{we}$.
 - Obciążając wzmacniacz opornością dopasowania oraz sterując napięciem wartości skutecznej E_g zdjąć charakterystykę pasmową wzmacniacza zmieniając częstotliwość generatora sterującego f_{gen} . Wyniki zestawić w tabelce i narysować charakterystykę $k_u = f(f_g)$.
 - Używając miernika mocy wyjściowej wyznaczyć zależność oporności dopasowania obciążenia od częstotliwości pracy wzmacniacza $R_{dop} = f(f_g)$. Wyniki pomiarów zestawić w tabelce oraz wykreślić. Podczas pomiaru utrzymywać stałą wartość napięcia.
- Badanie właściwości wzmacniacza przeciwobnego pracującego w klasie AB.
 - Wyznaczyć oporność obciążenia w warunkach dopasowania mocowego na wyjściu, w warunkach $f_g E_g$, metodą jak w punkcie 1a.
 - Zaobserwować i narysować oscylogramy napięcia wyjściowego wzmacniacza przy sterowaniu małymi napięciami sterującymi. Porównać z oscylogramami otrzymanymi w punkcie 1b.
 - Postępując analogicznie jak w punkcie 1c zdjąć charakterystykę napięciową wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ oraz $k_u = f(U_{we})$. Wyniki zestawić w odpowiednich tabelkach i narysować.
 - Postępując jak w punkcie 1d wyznaczyć i narysować charakterystykę pasmową wzmacniacza $k_u = f(f_g)$.
 - Określić pobór mocy przez wzmacniacz przy braku wysterowania mierząc w tym celu stałe prądy I_b oraz I_c i napięcia stałe U_{be} oraz U_{ce} . Pobieraną moc wyznaczyć ze wzoru dla jednego tranzystora.