

Układy wzmacniające

Podział wzmacniaczy

Wielkość sygnału

- Małosygnałowe
- Mocy

Pasmo przenoszenia

- Dolno przepustowe
- Pasmowe (szerokopasmowe, impulsowe)
- Selektywne

Funkcje w układzie

- Wejściowe
- Pośrednie
- Końcowe

Konfiguracja

WE, WK, WB

Parametry wzmacniaczy

- Współczynnik wzmocnienia
- Pasmo przenoszenia
- Współczynnik zniekształceń liniowych i nieliniowych
- Impedancja wejściowa i wyjściowa

Wzmacnianie sygnałów

4.2.12 Układy wzmacniające

Układy wzmacniające (**wzmacniacze**) stosowane są, gdy konieczne jest **wzmocnienie poziomu lub mocy sygnału**. W analizie układów wzmacniacze przedstawiane są jako **aktywne układy czwórnikowe** z dwoma zaciskami **wejściowymi** i dwoma **zaciskami wyjściowymi**

Aktywne układy czwórnikowe wymagają zasilania zewnętrznego. Zasilanie zewnętrzne jest konieczne, ponieważ w układach wzmacniających zachodzi wzmocnienie mocy elektrycznej, a zatem musi być dostarczana moc zewnętrzna.

Współczynnik wzmocnienia

Podstawowym parametrem charakteryzującym układ wzmacniający jest współczynnik wzmocnienia.

Współczynnik wzmocnienia jest definiowany jako stosunek wartości wielkości wyjściowej do wartości wielkości wejściowej.

Zależnie od przyjętej definicji wielkości wejściowych i wyjściowych mamy do czynienia ze współczynnikami **wzmocnienia napięciowego**, **prądowego** lub **wzmocnienia mocy**.

Współczynnik wzmocnienia

S_1 – wielkość wejściowa

S_2 – wielkość wyjściowa

$$k = \frac{S_2}{S_1}$$

Współczynnik tłumienia

Współczynnik wzmocnienia prądowego

$$k_i = \frac{I_2}{I_1}$$

Współczynnik wzmocnienia napięciowego

$$k_u = \frac{U_2}{U_1}$$

Współczynnik wzmocnienia [dB]

$$K = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Współczynnik tłumienia

Współczynnik wzmocnienia może przyjmować w pewnych układach wzmacniających wartości mniejsze niż 1. W tym przypadku mówimy raczej o **tłumieniu** niż o wzmacnianiu sygnałów.

Współczynnik tłumienia jest definiowany jako odwrotność współczynnika wzmocnienia.

Tłumienie często wyrażamy w mierze logarytmicznej, w jednostkach zwanych **decybelami**. Wówczas wartość wzmocnienia ma wartość tłumienia ujemnego.

$$A = 10 \cdot \log \frac{U_1^2/R}{U_2^2/R}$$

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}$$

$$A = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2}$$

$$A = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$A = A_1 + A_2 + \dots$$

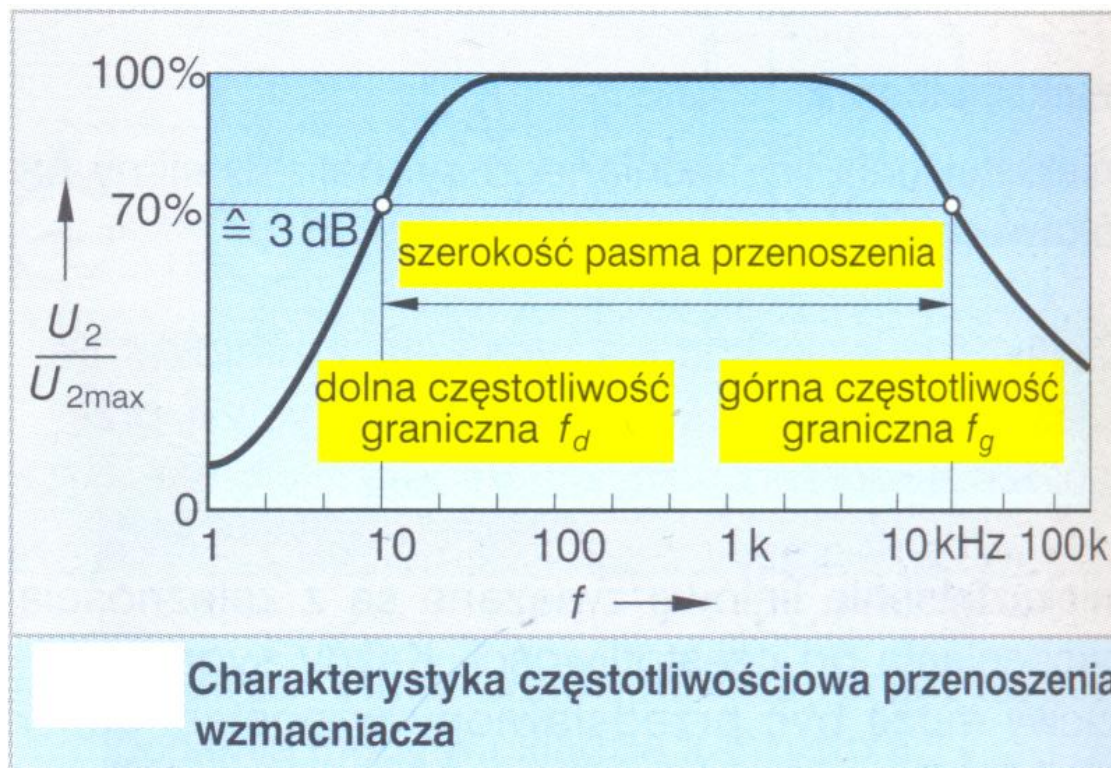
$$K = -A$$

A	– współczynnik tłumienia w [dB]
P_1	– moc wejściowa
P_2	– moc wyjściowa
R	– rezystancja
U_1	– napięcie wejściowe
U_2	– napięcie wyjściowe
$A_1, A_2 \dots$	– tłumienia elementów składowych
K	– wzmocnienie w [dB]

Częstotliwościowa charakterystyka przenoszenia

Charakterystyką przenoszenia wzmacniacza nazywamy zależność współczynnika wzmocnienia od częstotliwości sygnału wejściowego

Charakterystyka przenoszenia idealnego wzmacniacza jest charakterystyką o stałej i niezależnej od częstotliwości wartości wzmocnienia w zakresie częstotliwości od $0-\infty$ Hz. W rzeczywistości charakterystyka taka nie jest charakterystyką płaską. Na rzeczywistej charakterystyce przenoszenia wyróżnić można dwa charakterystyczne punkty, zwane **dolną** f_d i **górną** f_g **częstotliwością graniczną**.



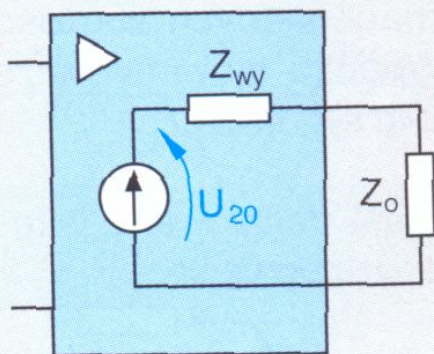
Impedancja wejściowa i wyjściowa

Impedancja wejściowa Z_{we} wzmacniacza jest jego impedancją widzianą od strony zacisków wejściowych. Napięcie na zaciskach wejściowych wzmacniacza po przyłączeniu źródła sygnału wejściowego jest zależne nie tylko od wartości tego sygnału, ale także od impedancji wewnętrznej źródła sygnału R_i i impedancji wejściowej wzmacniacza. Im większy jest stosunek impedancji wejściowej wzmacniacza do impedancji wyjściowej źródła sygnału, tym większa część sygnału tego źródła pojawia się na zaciskach wejściowych wzmacniacza.

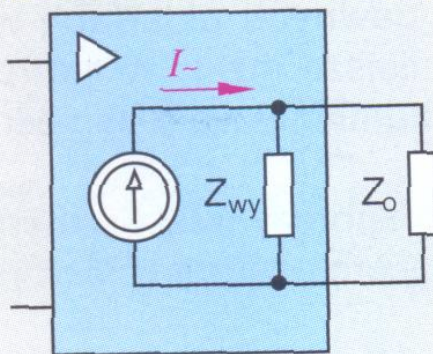
Impedancja wejściowa wzmacniacza napięcia powinna być możliwie duża.

Impedancja wyjściowa Z_{wy} wzmacniacza jest jego impedancją widzianą od strony zacisków wyjściowych. Stosowane są dwa schematy zastępcze wzmacniaczy. Pierwszy ze źródłem napięcia i szeregową impedancją wyjściową i drugi w postaci źródła prądu i równoległej impedancji wyjściowej.

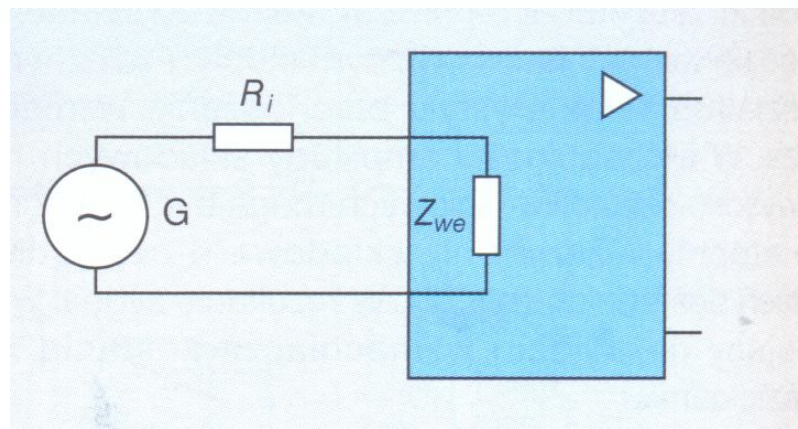
zastępcze źródło napięcia



zastępcze źródło prądowe



Schemat zastępczy wzmacniacza z wyodrębnioną rezystancją wyjściową



Schemat zastępczy wzmacniacza z wyodrębnioną rezystancją wejściową

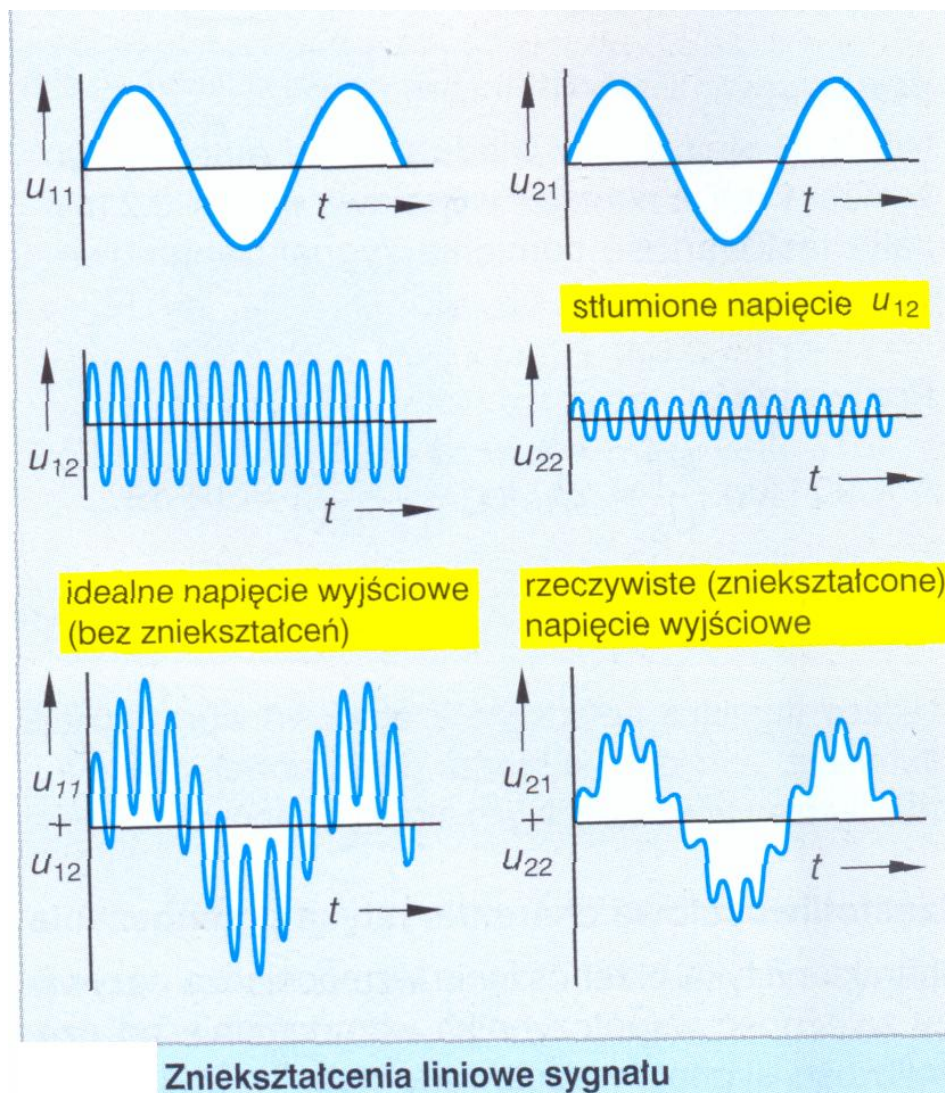
Zniekształcenia

Zniekształcenia wzmacnianego sygnału dzielimy na **liniowe** i **nielinowe**.

Zniekształcenia liniowe wynikają z nieidealnie płaskiej częstotliwościowej charakterystyki przenoszenia wzmacniacza.

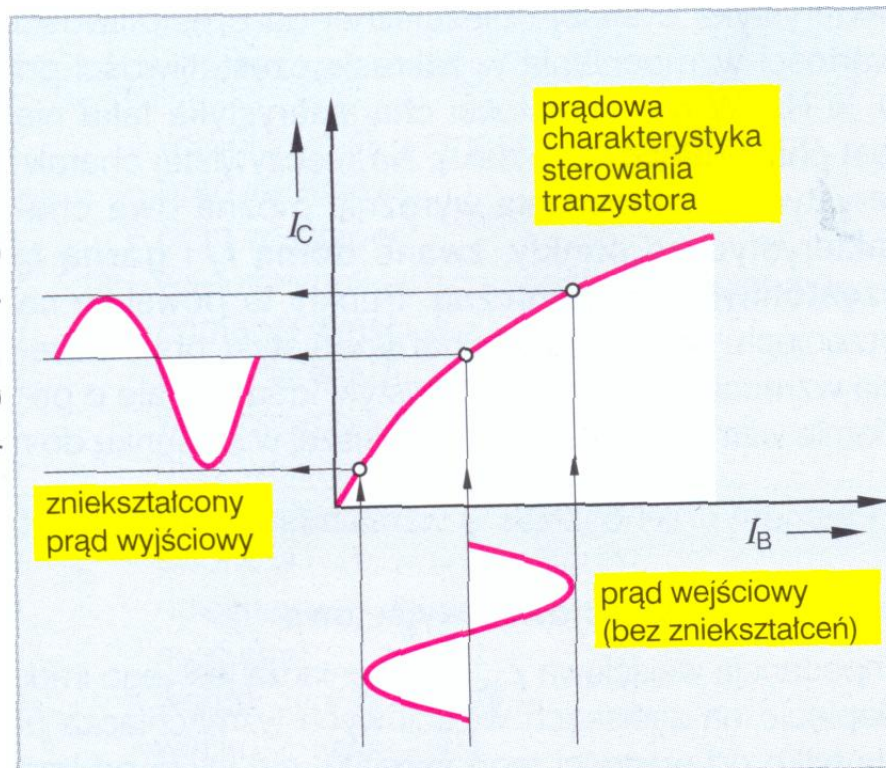
Zniekształcenia liniowe związane są z zależnością wzmocnienia od częstotliwości. Każdy sygnał wejściowy może być przedstawiony w postaci sumy składowych sinusoidalnych o różnych częstotliwościach, amplitudach i fazach. Każda ze składowych będzie wzmacniana w różnym stopniu zależnym od kształtu charakterystyki przenoszenia wzmacniacza. W szczególności amplitudy składowych nisko i wysoko częstotliwościowych mogą być wzmacniane w stopniu niższym niż składowe o częstotliwościach pośrednich. W rezultacie sygnał występujący na wyjściu wzmacniacza zostanie zniekształcony.

Zniekształcenia liniowe wynikają z liniowych zniekształceń amplitudowych i fazowych wzmocnionego sygnału.



Zniekształcenia nieliniowe

Przyczyną tego rodzaju zniekształceń jest nieliniowy przebieg charakterystyki wejściowo-wyjściowej wzmacniacza. Nieliniowość charakterystyki statycznej jest właściwością konstrukcyjną samego wzmacniacza. W przypadku prostego wzmacniacza tranzystorowego o charakterystyce pokazanej na sinusoidalny prąd bazy tranzystora po wzmocnieniu ulega przekształceniu w niesinusoidalny prąd kolektora.



Zniekształcenia nieliniowe wywołane nieliniową charakterystyką wzmacniacza

Zniekształcenia nieliniowe powodują pojawienie się w widmie wzmocnionego sygnału składowych częstotliwościowych, nie występujących w sygnale wejściowym. Jeśli na wejście wzmacniacza zostanie podany przebieg sinusoidalny o częstotliwości f , to miarą zniekształceń nieliniowych może być procentowa zawartość składowych częstotliwościowych o częstotliwościach różnych od f w sygnale wyjściowym. Współczynnik wyrażający tę zawartość nazywa się **współczynnikiem zawartości harmonicznych**.

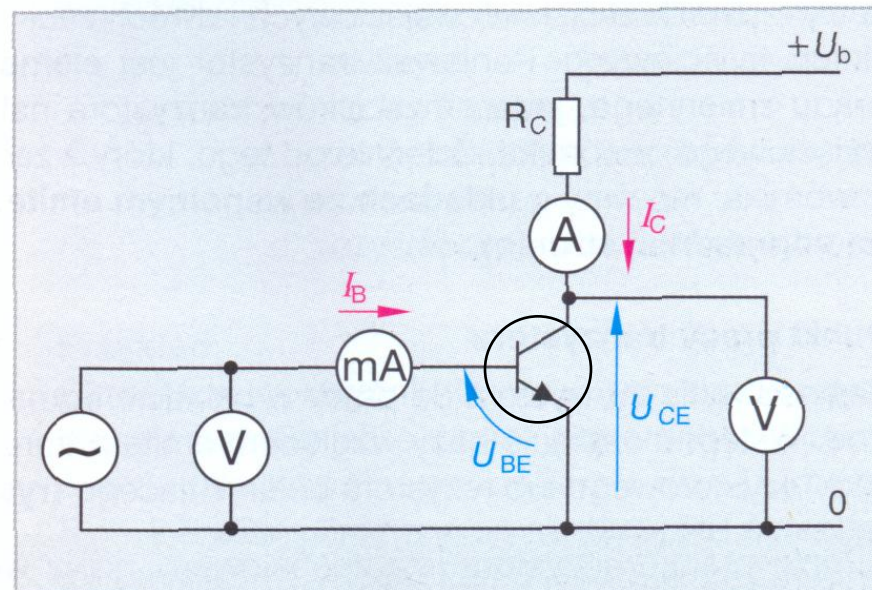
Współczynnik zawartości harmonicznych wzmacniaczy akustycznych o dużej wierności odtwarzania (HiFi) nie przekracza wartości 1%.

Wzmacniacze z tranzystorami bipolarnymi

Do budowy układów wzmacniających stosowane są zarówno tranzystory bipolarne, jak i unipolarne.

Podstawowe układy pracy wzmacniaczy tranzystorowych

W przypadku tranzystorów bipolarnych wykorzystywana jest ich właściwość polegająca na tym, że zmiana napięcia baza–emiter U_{BE} wywołuje zmianę prądu bazy I_B , co z kolei powoduje zmianę prądu kolektora I_C . Zmiana prądu kolektora istotnie przewyższa zmianę wartości prądu bazy. Możemy zatem mówić o wzmacnieniu prądowym w obwodzie tranzystora. Jeśli w obwodzie kolektora dołączony jest rezystor R_C (rys.), to zmiana prądu kolektora wywoła zmiany napięcia kolektor–emiter. Zmiany tego napięcia są zwykle istotnie większe od zmian napięcia w obwodzie baza–emiter. Możemy zatem w tym przypadku mówić o wzmacnieniu napięciowym lub biorąc pod



Tranzystor jako układ wzmacniający w układzie ze wspólnym emiterem

uwagę także efekt wzmacnienia prądowego, o wzmacnieniu mocy w układzie tranzystora.

Uzyskanie wzmacnienia napięciowego w układzie tranzystorowym wymaga zastosowania rezystora w jego obwodzie wyjściowym.

Charakterystyczną cechą wzmacniacza tranzystorowego, przedstawionego na rys. ,

jest to, że wzrost napięcia wejściowego U_{BE} wywołuje spadek napięcia wyjściowego U_{CE} . Występuje zatem efekt przesunięcia fazowego sygnału wyjściowego względem wejściowego o kąt fazowy $\varphi = 180^\circ$.

Tranzystor jako czwórnik

Ponieważ tranzystor jest elementem trójzaczaskowym, stąd, przynajmniej w układach prądu zmiennego, jeden z zacisków tranzystora należy jednocześnie do obwodu wejściowego i obwodu wyjściowego czwórnika. Zależnie od tego, który z zacisków (elektrod) tranzystora jest elementem wspólnym czwórnika, mówimy o **układach ze wspólnym emiterem, wspólnym kolektorem** lub **wspólną bazą**

Tab. 1. Podstawowe układy pracy tranzystorów

Układ	ze wspólnym emiterem	ze wspólnym kolektorem	ze wspólną bazą
Schemat			
Współczynnik wzmocnienia prądowego	duży (np. 300)	duży (np. 300)	< 1
Współczynnik wzmocnienia napięciowego	duży (np. 300)	< 1	duży (np. 100)
Współczynnik wzmocnienia mocy	bardzo duży (np. 30 000)	duży (np. 300)	duży (np. 100)
Rezystancja wejściowa Rezystancja wyjściowa	średnia, np. 5 kΩ duża, np. 10 kΩ	duża, np. 50 kΩ mała, np. 100 Ω	mała, np. 50 Ω duża, np. 10 kΩ
Faza napięcia wyjściowego w stosunku do napięcia wejściowego	w fazie przeciwnej $\varphi = 180^\circ$	w fazie zgodnej $\varphi = 0^\circ$	w fazie zgodnej $\varphi = 0^\circ$

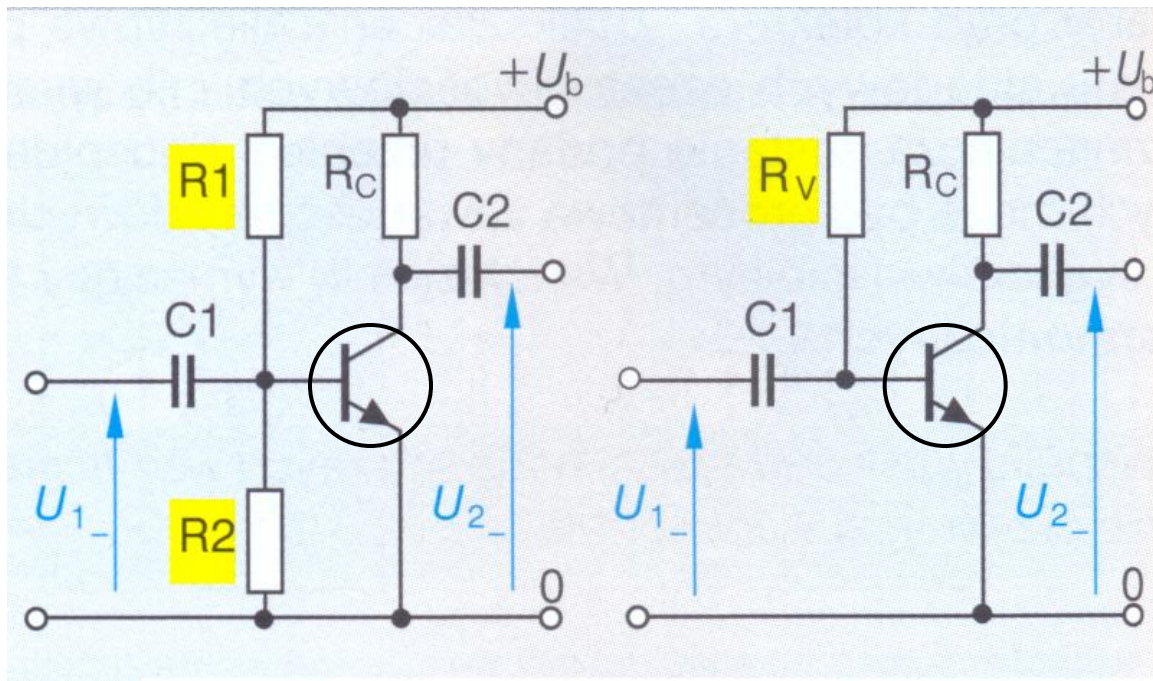
Uwaga: Podane w tablicy wartości dotyczą tranzystorów NPN małej mocy i niskich częstotliwości

Wzmacniacz małosygnałowy - - układ wzmacniacza z wspólnym emiterem

Punkt pracy tranzystora

Zastosowanie tranzystora do pracy w układzie wzmacniającym wymaga odpowiedniej polaryzacji jego elektrod. Wstępne napięcie bazy względem emitera tranzystora może być osiągnięte przez zastosowanie dzielnika rezystorowego lub rezystora polaryzującego

Punkt pracy tranzystora jest zdefiniowany przez wartości napięcia wstępnego bazy względem emitera oraz napięcia kolektora względem emitera



Ujemne sprzężenie zwrotne

Jeśli jakaś część napięcia wyjściowego wzmacniacza zostanie doprowadzona na jego wejście, to mówimy o **sprężeniu zwrotnym**. Jeśli napięcie to jest w fazie z napięciem wejściowym, to mówimy o **dodatnim sprzężeniu zwrotnym**. Jeśli napięcie doprowadzone zwrotnie jest w fazie przeciwnej z napięciem wejściowym, to mówimy o **ujemnym sprzężeniu zwrotnym**.

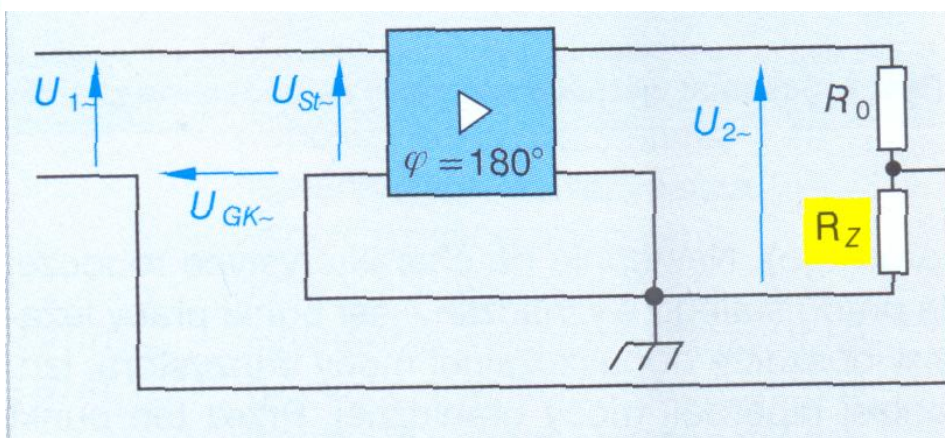
Ujemne sprzężenie zwrotne prowadzi do zmniejszenia współczynnika wzmocnienia napięciowego wzmacniacza, ponieważ napięcie na zaciskach wejściowych wzmacniacza ulega zmniejszeniu przez napięciowy sygnał sprzężenia zwrotnego.

$$k'_u = \frac{k_u}{1 - K \cdot k_u}$$

- k'_u – współczynnik wzmocnienia napięciowego układu ze sprzężeniem zwrotnym
- k_u – współczynnik wzmocnienia napięciowego układu bez sprzężenia zwrotnego
- K – współczynnik sprzężenia zwrotnego

Współczynnik sprzężenia zwrotnego K określa, jaka część sygnału wyjściowego jest podawana na jego wejście. W przypadku, gdy współczynnik wzmocnienia napięciowego jest dostatecznie duży, to po objęciu wzmacniacza pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego o współczynniku K wzmocnienie napięciowe ulegnie zmniejszeniu w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnym do wartości tego współczynnika. Zatem wszelkiego rodzaju wahania napięcia zasilania, zmiany termiczne i czasowe parametrów elementów wzmacniacza mają istotnie mniejszy wpływ na wartość wynikowego współczynnika wzmocnienia.

Ujemne sprzężenie zwrotne pozwala na zmniejszenie współczynnika zniekształceń.



Schemat ideowy układu ze sprzężeniem zwrotnym napięciowym

$k_u K < 0$ ujemne SZ – zmniejszenie wzmocnienia
 $0 < k_u K < 1$ dodatnie SZ – zwiększenie wzmocnienia
 $k_u K > 1$ dodatnie SZ – wzbudzenie układu generatory

Zalety i wady ujemnego SZ

Ze względu na swoje zalety ujemne sprzężenie zwrotne znalazło liczne zastosowanie w układach wzmacniających. Pozwala ono na uzyskanie następujących właściwości układu:

1. Zmniejszenie wrażliwości wzmocnienia całego układu na zmiany parametrów tranzystorów, warunków zasilania, starzenia się tranzystorów, na rozrzut technologiczny przy wymianie i in.

2. Zmniejszenie zniekształceń nieliniowych, zakłóceń i szumów powstających wewnątrz obwodu objętego pętlą sprzężenia zwrotnego.

3. Możliwość kształtowania charakterystyki częstotliwości układu.

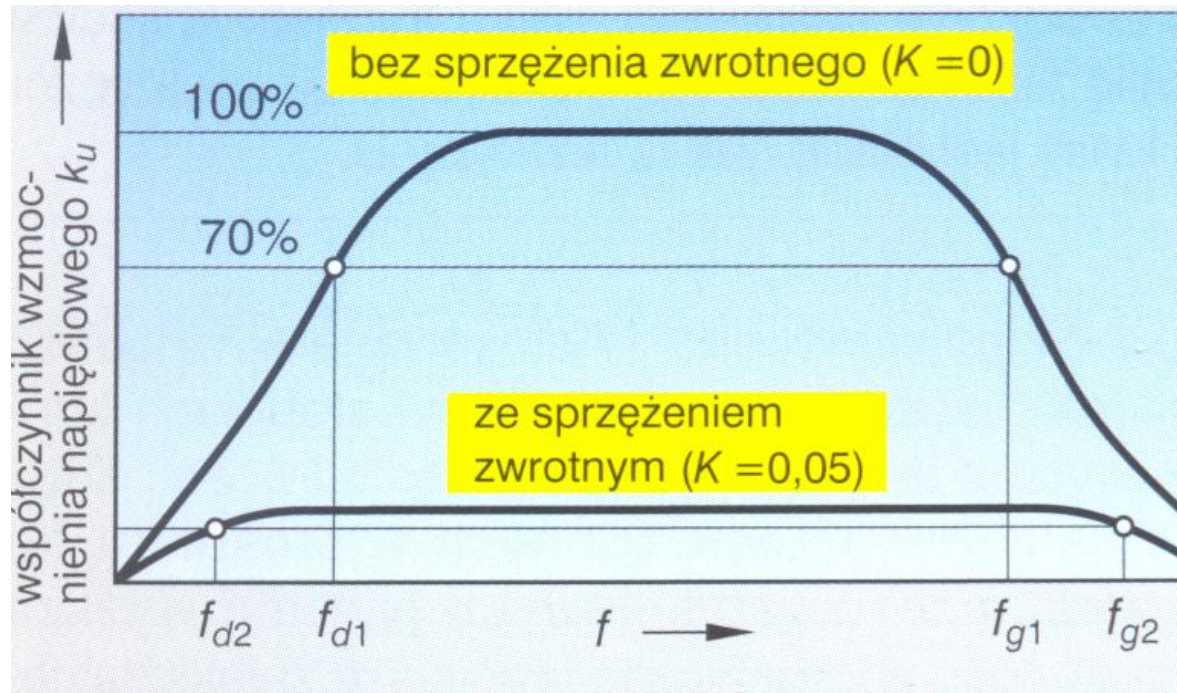
4. Możliwość regulowania poziomu impedancji wejściowej i wyjściowej układu.

Zalety te są okupione następującym kosztem:

5. Spadkiem wzmocnienia układu.

6. Pogorszeniem stabilności układu, szczególnie gdy sprzężenie zwrotne obejmuje trzy lub więcej stopni wzmocnienia.

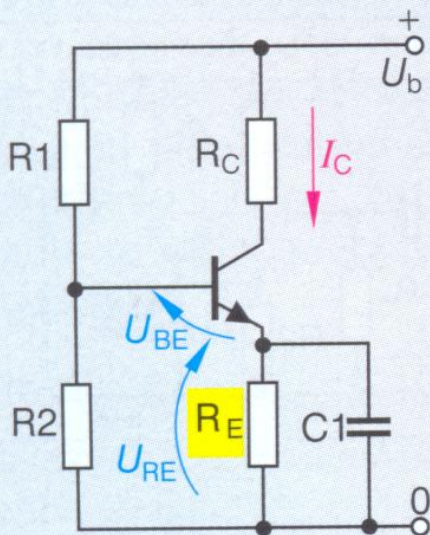
W wyniku wprowadzenia pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego ulega poszerzeniu pasmo przenoszonych częstotliwości



Pasmo przenoszenia układów bez i ze sprzężeniem zwrotnym

Metody stabilizacji punktu pracy

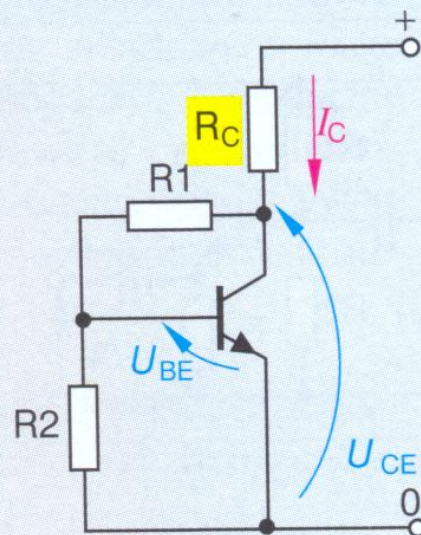
Ujemne prądowe sprzężenie zwrotne



$$I_C \uparrow \rightarrow U_{RE} \uparrow \rightarrow U_{BE} \downarrow$$

Dla wyeliminowania efektu ujemnego sprzężenia zwrotnego w obwodach prądu przemiennego rezystor R_E jest bocznikowany kondensatorem $C1$

Ujemne napięciowe sprzężenie zwrotne



$$I_C \uparrow \rightarrow U_{CE} \uparrow \rightarrow U_{BE} \downarrow$$

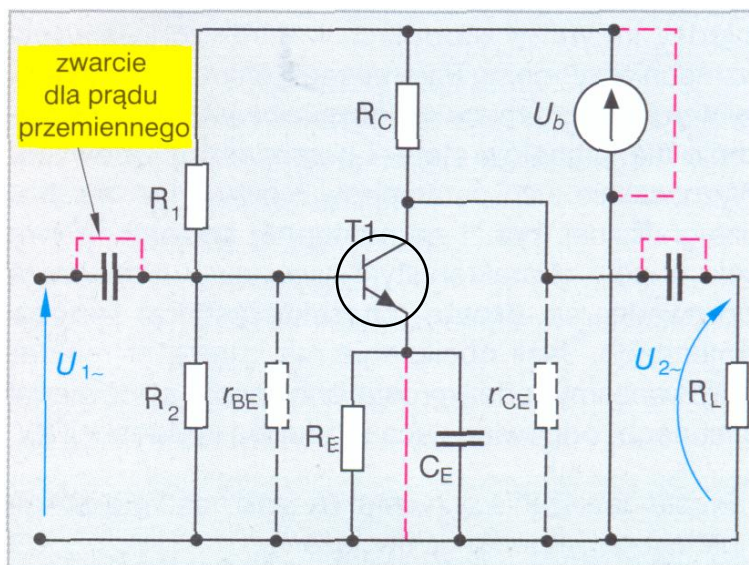
Sprzężenie zwrotne występuje zarówno dla prądów stałych, jak i przemiennych

W układzie z **ujemnym prądowym sprzężeniem zwrotnym** w obwodzie emitera znajduje się rezystor R_E . Wraz ze wzrostem prądu emitera rośnie napięcie na tym rezystorze, co przy stałej wartości

napięcia wejściowego powoduje zmniejszenie napięcia sterującego U_{BE} tranzystora, a to z kolei prowadzi do zmniejszenia prądu emitera. Ten rodzaj sprzężenia zwrotnego nazywany jest **ujemnym prądowym szeregowym sprzężeniem zwrotnym**, ponieważ napięcie wejściowe i napięcie sprzężenia zwrotnego są sumowane szeregowo.

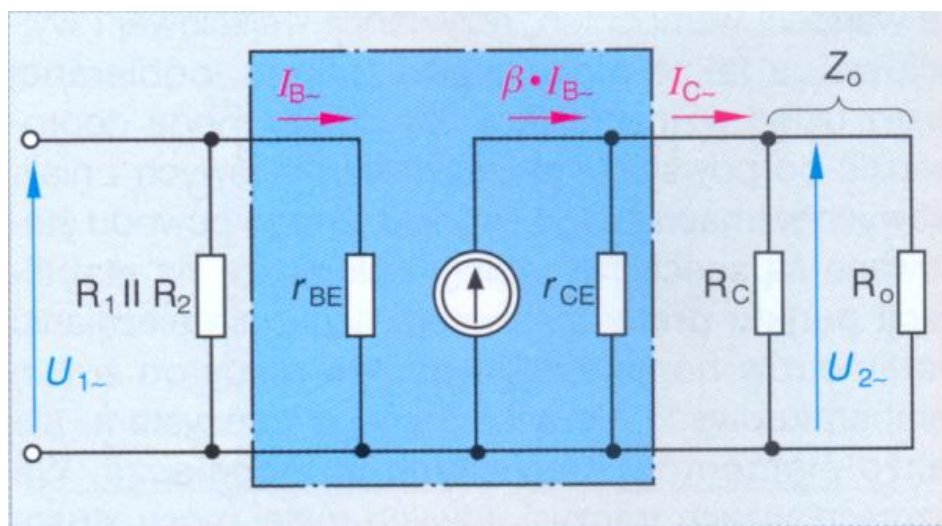
W układzie z **ujemnym napięciowym sprzężeniem zwrotnym** następuje

przekazanie części napięcia wyjściowego do poprzednich stopni wzmacniających. Sprzężenie obejmujące jeden stopień wzmacnienia nazywane jest **napięciowym sprzężeniem równoległym**. W tym przypadku część prądu wejściowego płynie przez gałąź sprzężenia zwrotnego, a zatem rezystancja wejściowa zmniejsza się.



Schemat ideowy stopnia wzmacniającego w układzie wspólnego emitera

Rezystory R_1 i R_2 polaryzujące bazę tranzystora T_1 są zwarte od strony bazy tranzystora T_1 oraz przez źródło napięcia V_b o rezystancji wewnętrznej bliskiej zero. Stąd na schemacie tym obwód wejściowy wzmacniacza został przedstawiony w postaci równoległego połączenia rezystancji zastępczej dzielnika polaryzującego bazę tranzystora ($R_1 \parallel R_2$) oraz rezystancji zastępczej złącza baza–emiter r_{BE} . Z kolei obwód wyjściowy wzmacniacza został przedstawiony w postaci generatora prądu o wartości proporcjonalnej do składowej zmiennej prądu bazy $I_{B\sim}$ oraz do współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora β . Obwód wyjściowy jest obciążony rezystancją wyjściową tranzystora r_{CE} , rezystancją rezystora R_C i rezystancją obciążenia R_o .



Schemat zastępczy układu ze wspólnym emiterem dla sygnałów zmiennoprądowych

W wielu praktycznych zastosowaniach rezystancja obciążenia R_o jest istotnie mała w stosunku do rezystancji wyjściowej r_{CE} tranzystora. Zatem tranzystor pracuje w warunkach zbliżonych do warunków pełnego zwarcia, a zatem jego wzmocnienie prądowe jest bliskie wartości zwarciovemu współczynnikowi wzmocnienia prądowego tranzystora $\beta = h_{21e}$.

Współczynnik wzmocnienia prądowego k_i układu wzmacniacza tranzystorowego ze wspólnym emiterem jest w przybliżeniu równy co do wartości zwarciovemu współczynnikowi wzmocnienia prądowego β tranzystora.

$$U_{2\sim} = \beta \cdot I_{B\sim} \cdot \frac{r_{CE} \cdot Z_o}{r_{CE} + Z_o}$$

$$k_u = \frac{\beta}{r_{BE}} \cdot \frac{r_{CE} \cdot Z_o}{r_{CE} + Z_o}$$

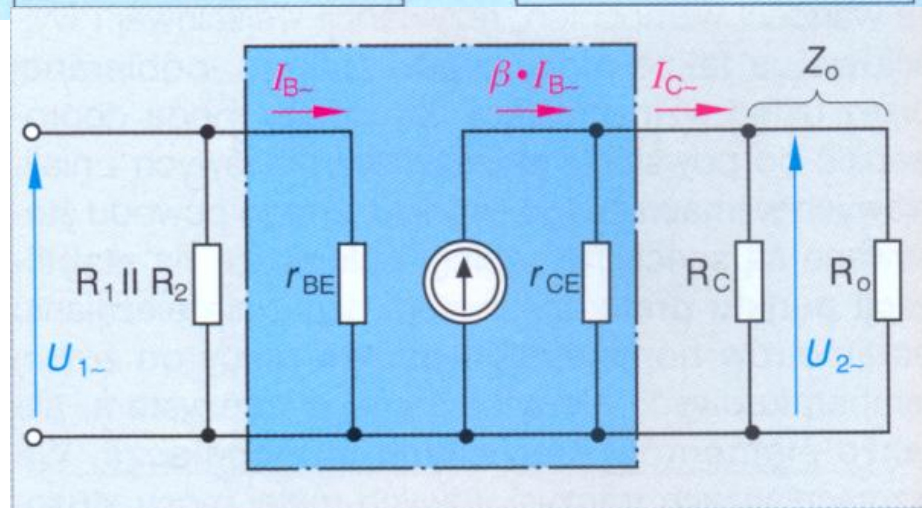
$$U_{1\sim} = I_{B\sim} \cdot r_{BE}$$

$$k_u = \frac{U_{2\sim}}{U_{1\sim}}$$

$$k_u = k_i \frac{Z_o}{r_{BE}}$$

$$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} = \frac{\beta}{r_{BE}}$$

$$k_u = g_m \cdot \frac{r_{CE} \cdot Z_o}{r_{CE} + Z_o}$$



Schemat zastępczy układu ze wspólnym emiterem dla sygnałów zmiennoprądowych

- k_u – współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza
- k_i – współczynnik wzmocnienia prądowego wzmacniacza
- $r_{CE} \approx 1/h_{22e}$ – rezystancja wyjściowa tranzystora
- $r_{BE} \approx 1/h_{11e}$ – rezystancja wejściowa tranzystora
- Z_o – zastępcza impedancja obciążenia wzmacniacza
- $\beta = h_{21e}$ – zwarciový współczynnik wzmocnienia prądowego
- g_m – transkonduktancja tranzystora
- ΔI_C – zmiana prądu kolektora
- ΔU_{BE} – zmiana napięcia sterującego baza-emiter
- U_1 – przemienne napięcie wejściowe wzmacniacza
- U_2 – przemienne napięcie wyjściowe wzmacniacza

Wzmacniacze mocy

Wzmocnienie dużych sygnałów

Jeśli amplituda zmian napięcia wejściowego jest na tyle duża, że wywołuje wysterowanie tranzystora w szerokim polu jego charakterystyk roboczych, to mówimy o tzw. **układzie wzmacniacza dużych sygnałów**. Ze względu na pracę wzmacniacza w obszarach nieliniowych nie jest jednak możliwe zastosowanie metod wyznaczania napięciowych i prądowych współczynników wzmocnień wyprowadzonych dla wzmacniaczy niskosygnałowych. Wzmacniacze dużych sygnałów znajdują zastosowanie między innymi w stopniach końcowych układów wzmacniaczy mocy. Parametrami charakterystycznymi wzmacniaczy mocy są: **dopuszczalna moc obciążenia dla sygnałów stało- i przeniennoprądowych**.

Do głównych parametrów roboczych wzmacniaczy mocy należą:

- 1) P_{wy} — użyteczna wartość mocy wyjściowej lub jej wartość maksymalna,
- 2) η — sprawność energetyczna,
- 3) h — współczynnik zniekształceń nieliniowych,
- 4) $k_u(f)$ — charakterystyka częstotliwościowa.

Prosta obciążenia przedstawia zależność prądu kolektora od napięcia kolektor–emiter tranzystora dla ściśle określonej impedancji obciążenia.

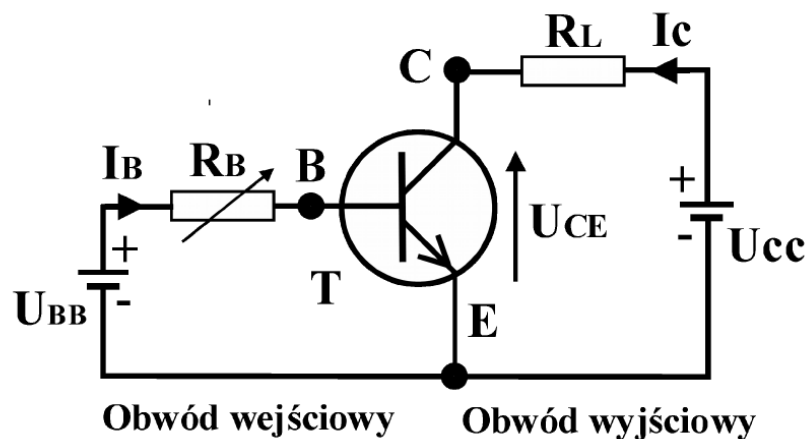
Prosta obciążenia dla prądu stałego jest prostą o współczynniku nachylenia równym $-1/R_o$. Prosta ta przecina oś prądów w punkcie o wartości U_z/R_o i oś napięć w punkcie U_z

Przestrzeń punktów pracy, czyli punktów o współrzędnych (U_{CE} , I_C), w jakich może znajdować się tranzystor (bez dodatkowych elementów) jest ograniczona przez hiperbolę maksymalnej dopuszczalnej cieplnej mocy strat tranzystora, określonej w katalogu przez producenta : $P_{MAX} = I_C \cdot U_{CE}$.
Przekroczenie jej grozi spalaniem tranzystora

Aby znaleźć optymalny punkt pracy tranzystora posługujemy się najczęściej graficzną analizą jego charakterystyk.

Prosta obciążenia (prosta robocza) jest to zbiór wszystkich punktów pracy tranzystora.

Schemat tranzystora pracującego jako wzmacniacz w układzie wspólnego emitera.



U_{BB} - napięcie zasilające obwód wejściowy;

R_B - rezystor pozwalający na regulację prądu wejściowego (prądu bazy);

U_{CC} - napięcie zasilające obwód wyjściowy;

R_L - rezystor obciążenia ograniczający prąd kolektora.

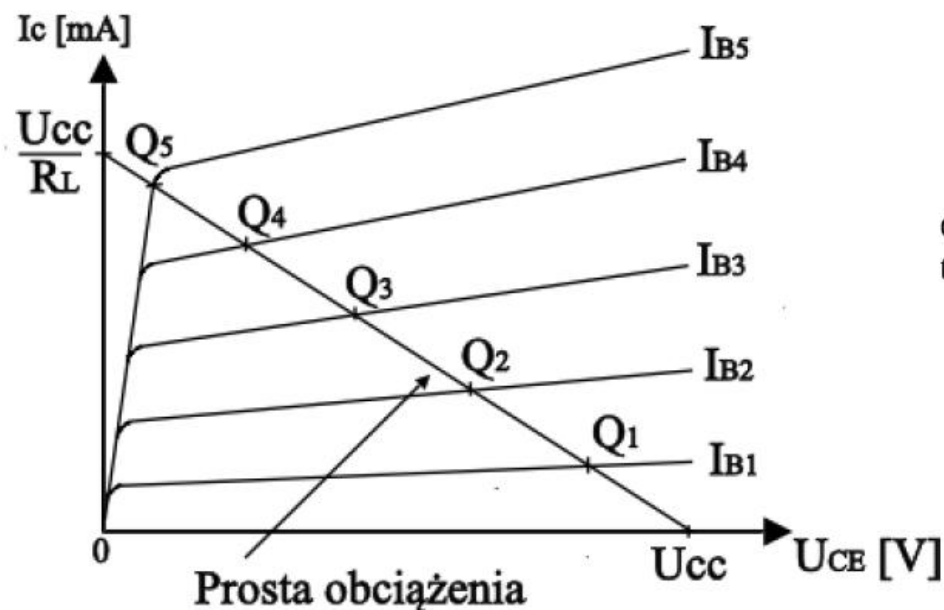
Dla obwodu wyjściowego wg II prawa Kirchhoffa

U_{CE} - reprezentuje to napięcie nieliniowej charakterystyki tranzystora. Pozostałe człony równania tworzą prostą obciążenia (prostą roboczą)

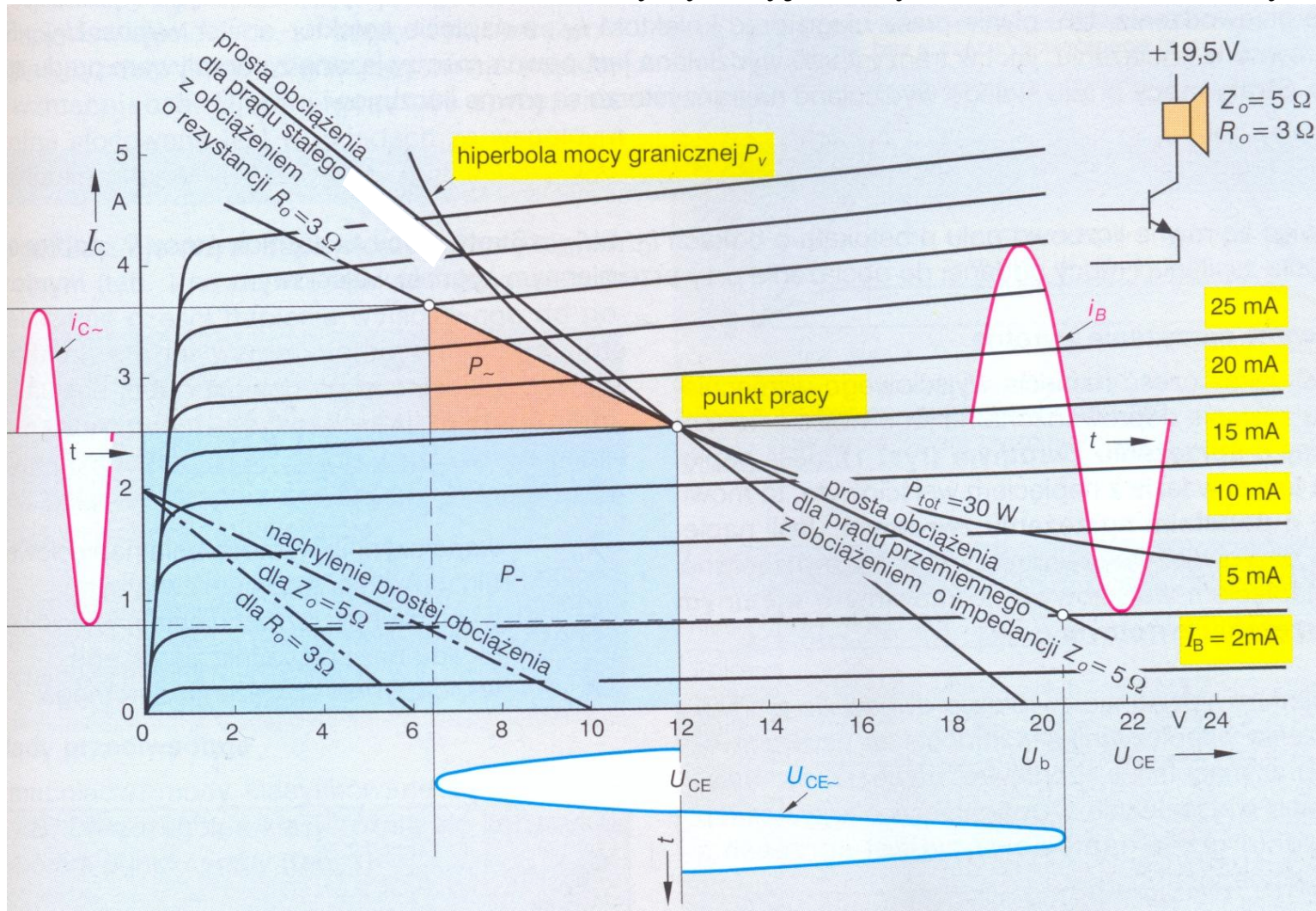
Prostą obciążenia wyznaczają dwa punkty:

1) dla $I_C = 0$; $U = U_{CC}$

2) dla $U = 0$; $I_C = U_{CC} / R_L$



Rodzina charakterystyk wyjściowych wzmacniacza mocy



Prosta obciążenia wyznacza zbiór możliwych punktów pracy tranzystora.

Pole trójkąta mocy wyraża wielkość mocy oddawanej przez tranzystor do obciążenia w warunkach sterowania sinusoidalnym sygnałem wejściowym.

Jeśli w polu charakterystyk wyjściowych tranzystora zostanie naniesiona składowa zmienna prądu bazy i_B , to przez odpowiednie rzutowanie na osie układu można uzyskać przebiegi prądu kolektora i_C i napięcia kolektor–emiter U_{CE} tranzystora. Znając te wartości, można wyznaczyć **moc chwilową, średnią, skuteczną i maksymalną dla prądu przemiennego**. Moc maksymalna dla prądu przemiennego jest równa liczbowo połowie pola prostokąta (a więc trójkąta) o bokach równych amplitudom prądu kolektora $\hat{i}_C$ i napięcia kolektor–emiter $\hat{u}_{CE}$. Pole tego trójkąta nazywamy polem **trójkąta mocy**.

$$P_{\sim} = \frac{\hat{i}_C \cdot \hat{u}_{CE}}{2}$$

$$P_{-} \approx I_{C-} \cdot U_{CE-}$$

$$P_{tot} = P_{-} - P_{\sim}$$

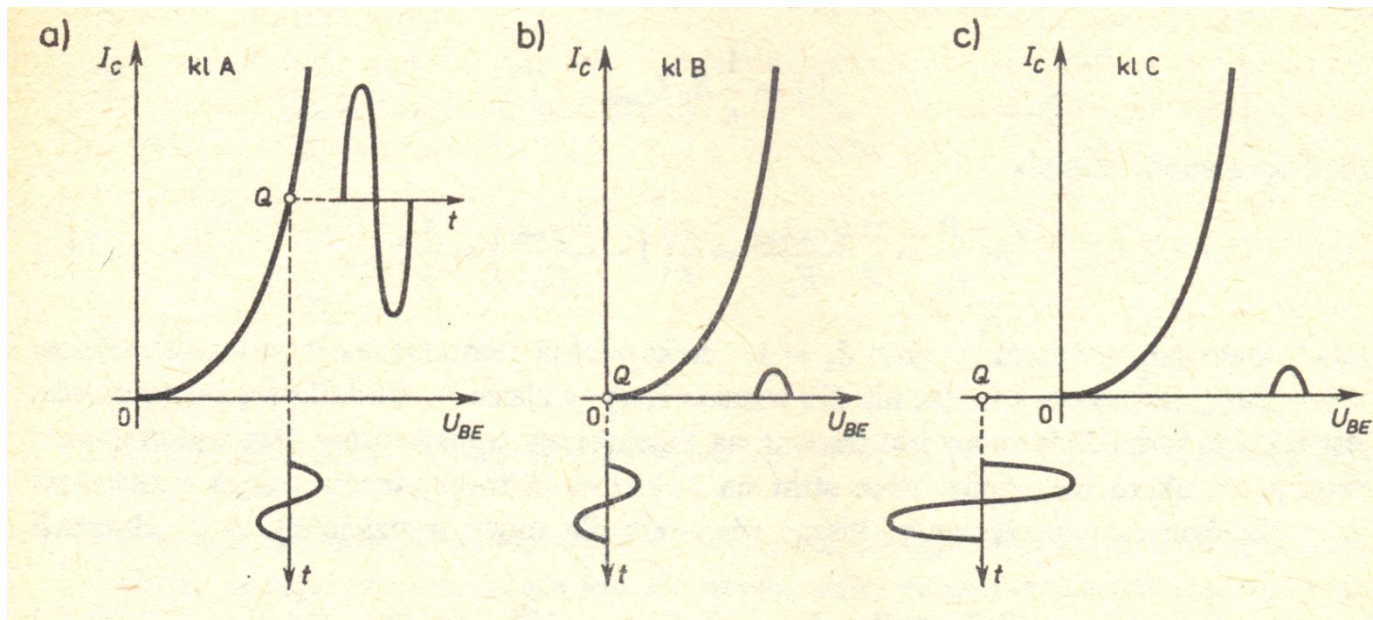
$P_{\sim}$	– moc prądu przemiennego
$\hat{i}_C$	– maksymalna amplituda prądu kolektora
$\hat{u}_{CE}$	– maksymalna amplituda napięcia kolektor–emiter
P_{-}	– moc prądu stałego
I_{C-}	– prąd kolektora w punkcie pracy
U_{CE-}	– napięcie kolektor–emiter w punkcie pracy
P_{tot}	– całkowita moc strat

W przypadku brakuysterowania tranzystora moc $P_{\sim}$ jest równa zeru. Tranzystor znajduje się jednak w stanie przewodzenia, tzn. płynie przez niego prąd kolektora I_{C-} , a napięcie kolektor–emiter wynosi U_{CE-} . Stąd zarówno w obciążeniu, jak i w tranzystorze wydzielana jest pewna moc związana z przepływem prądu stałego. **Straty mocy** prądu stałego wydzielane na tranzystorze są równe iloczynowi

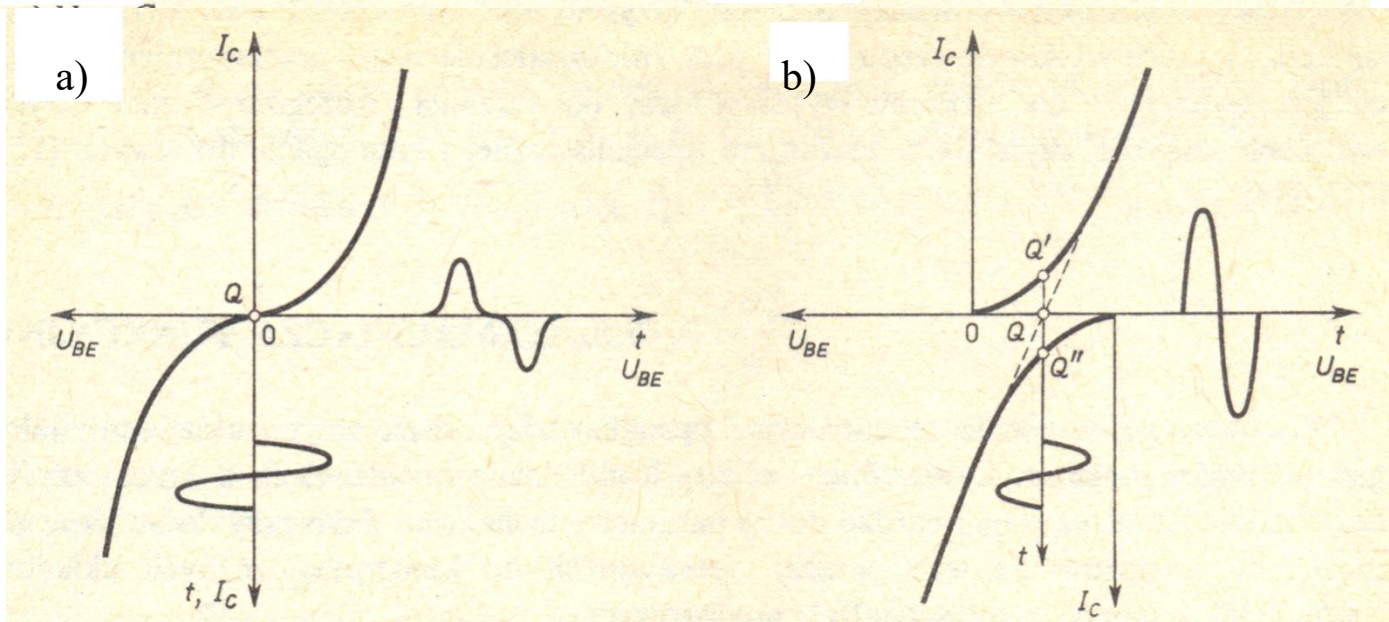
$$P_{-} = I_{C-} \cdot U_{CE-},$$

a więc są równe liczbowo polu prostokąta o bokach I_{C-} i U_{CE-} . Straty mocy są różnicą mocy P_{-} pobranej ze źródła zasilania i mocy oddanej do obciążenia przy przemiennym sygnale wejściowym.

Klasyfikacja wzmacniaczy mocy – punkty pracy



Położenie punktu pracy na charakterystyce przejściowej wzmacniacza: a) klasy A, b) klasy B,



Zniekształcenia skróśne we wzmacniaczu klasy B: a) bez polaryzacji, b) z polaryzacją wstępną

(klasaAB)

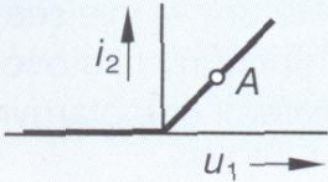
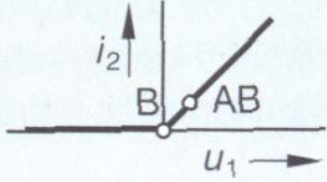
Wzmacniacze mocy klasyfikowane są w klasy A, B i AB. Poszczególne klasy różnią się konstrukcją i wyborem punktu pracy (**tab. 1**).

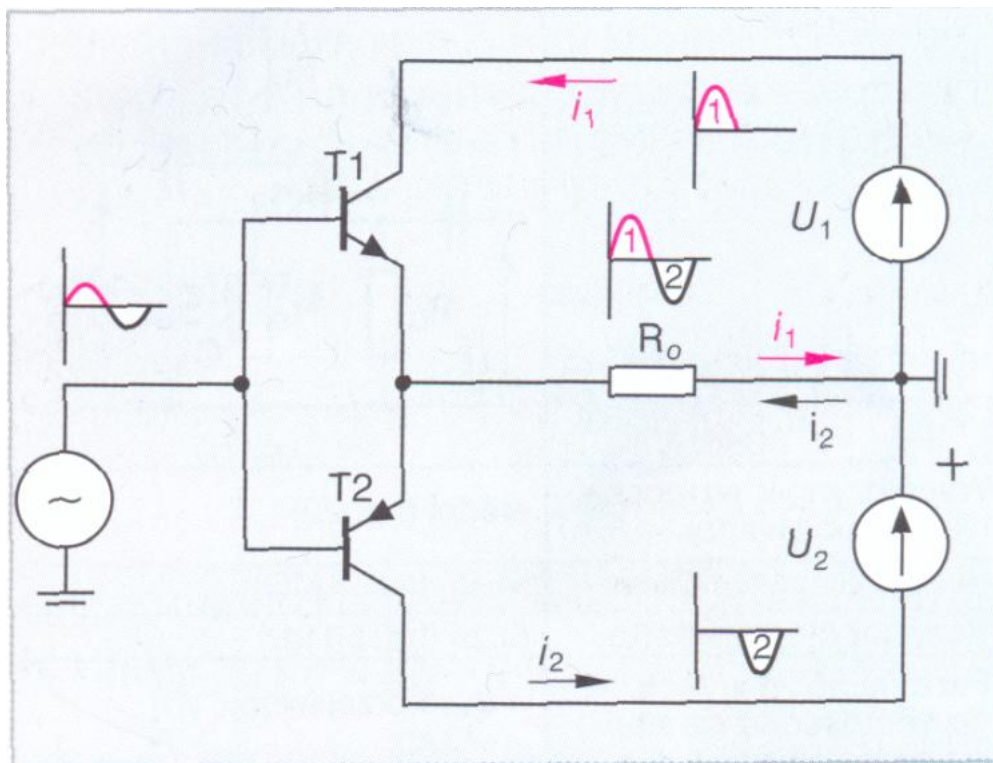
W **klasie A** punkt pracy wybierany jest w pobliżu połowy zakresu charakterystyki sterowania. W przypadku braku sygnału sterującego tranzystor przewodzi prąd spoczynkowy kolektora.

W **klasie B** punkt pracy znajduje się w dolnym końcu charakterystyki sterowania. W przypadku braku sygnału sterującego tranzystor jest zatkany i nie płynie prąd spoczynkowy kolektora. Taki stopień może byćysterowany tylko w jednym kierunku. Dla sterowania w drugim kierunku potrzebny jest drugi tranzystor pracujący na zmianę z pierwszym. Ten tryb pracy może być osiągnięty przez jednoczesne sterowanie pary tranzystorów komplementarnych

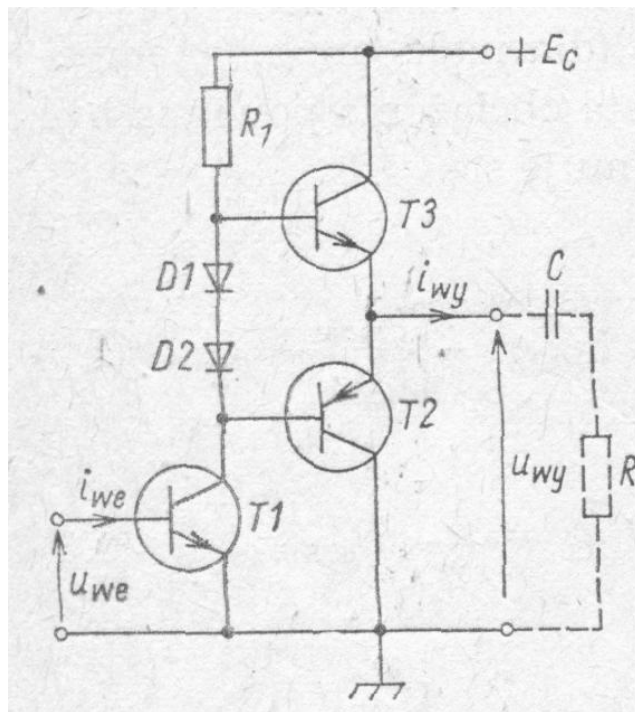
. Przy polaryzacji dodatniej napięcia sterującego prąd jest przewodzony tylko przez tranzystor typu NPN, przy ujemnej polaryzacji włączony jest tylko tranzystor PNP. Przeciwsobne stopnie końcowe klasy B nie pobierają prądu przy braku sygnału sterującego, a ich sprawność teoretyczna może osiągnąć wartość do 78%. W klasie B występują zniekształcenia prądu kolektora w zakresie napięć sterujących o wartościach mniejszych od napięcia progowego złącz baza–emiter tranzystorów. Pojawiające się zniekształcenia prądu kolektora nazywamy **zniekształceniami intermodulacyjnymi** lub **TJM**.

Tab. 1. Rodzaje pracy stopni końcowych

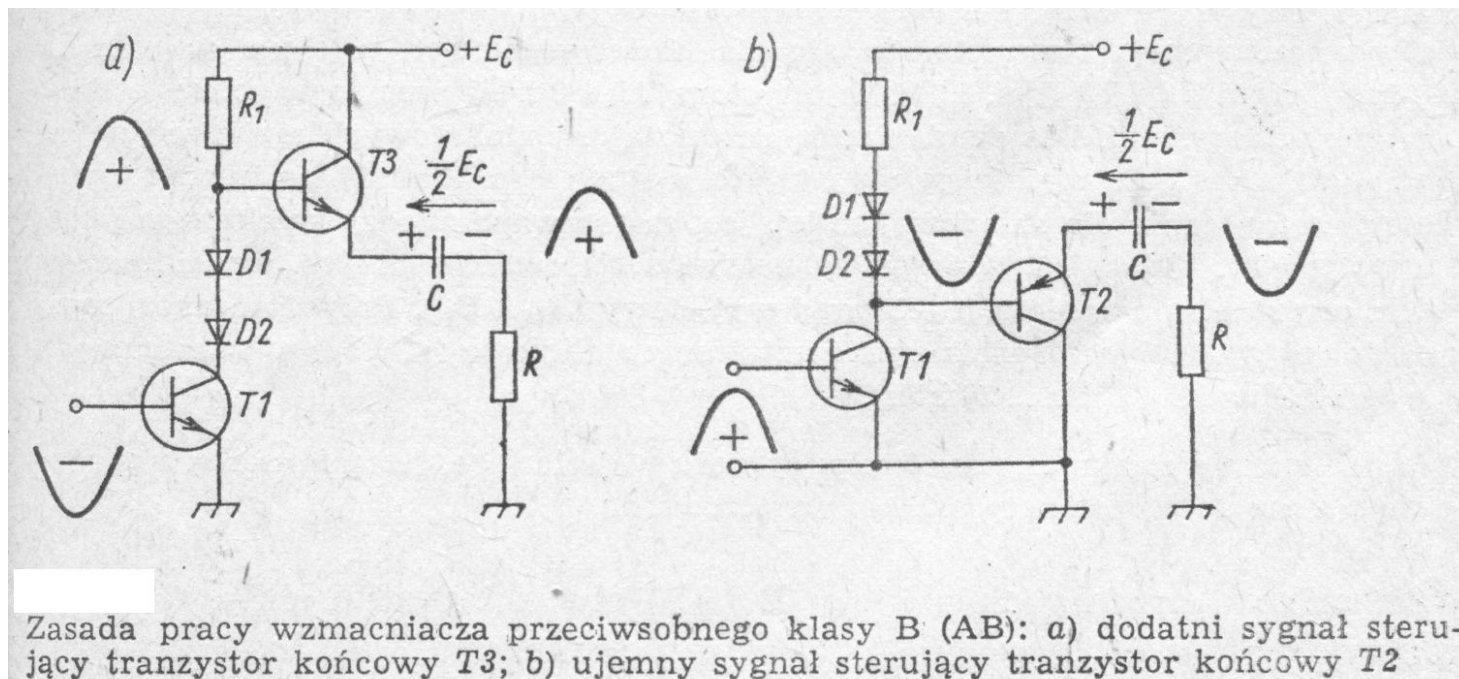
Klasa	A	AB, B
Położenie punktu pracy		
η	do 50 %	do 78 % (praca przeciwsobna)
Uwagi	Bardzo mały współczynnik zniekształceń nieliniowych. Bardzo małe zniekształcenia liniowe. Duży prąd spoczynkowy. Rzadko stosowane w stopniach mocy	Mały współczynnik zniekształceń nieliniowych. Wymaga zastosowania dodatkowego tranzystora do pracy przeciwsobnej. Zerowy (klasa B) lub niewielki (klasa AB) prąd spoczynkowy. Stosowany powszechnie w stopniach końcowych mocy.



Schemat ideowy układu stopnia przeciwzobnego w klasie B



Schemat układu beztransfornatorowego wzmacniacza przeciwsobnego klasy B (AB) z tranzystorami przeciwstawnymi (p-n-p, n-p-n)



Literatura:

1. M. Olszewski (red.), *Podstawy mechatroniki*, wyd. REA, Warszawa 2006.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, Tom III.