

Podstawowe układy wzmacniaczy

Modele tranzystorów

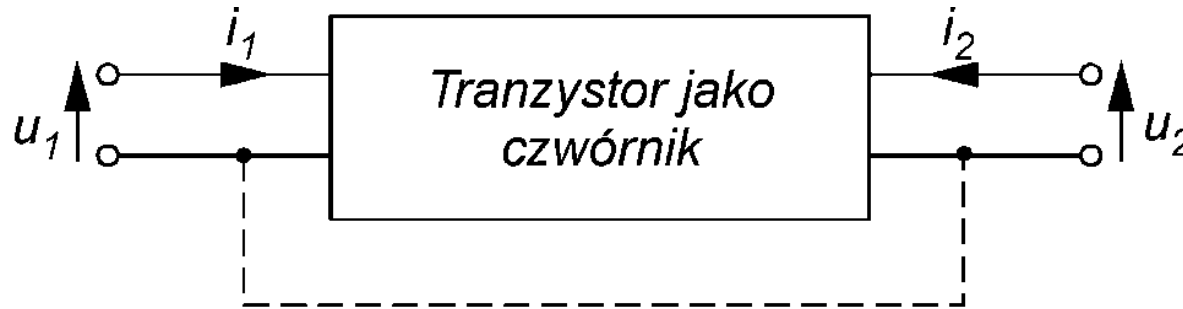
W ogólności:

Model urządzenia technicznego to zbiór wiadomości umożliwiających przewidywanie właściwości i analizowanie działania tego urządzenia w różnych sytuacjach.

Dla tranzystorów wyróżnia się dwa rodzaje modeli:

- modele fizyczne stanowiące możliwie wierne odbicie zjawisk zachodzących wewnątrz tranzystora
- modele macierzowe (końcówkowe) opisujące zewnętrzne zachowanie się tranzystora traktowanego jako "czarna skrzynka,,

Dalej rozważamy jedynie model macierzowy tranzystora
Charakteryzuje on tranzystor jako czwórnik.



Ograniczamy się do analizy właściwości wzmacniaczy w zakresie małych częstotliwości tj. dla częstotliwości do setek kHz.

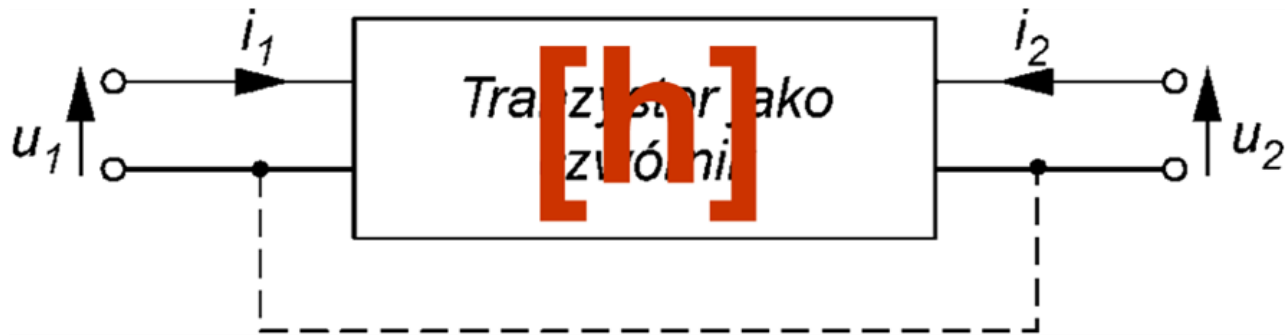
Wtedy do opisu tranzystorów w takich wzmacniaczach stosuje się macierz [h] a dokładnie macierz hybrydową z parametrami mieszanymi [h]



Dlaczego do opisu tranzystorów we wzmacniaczach stosuje się macierz [h] ?

Dlatego, że

wymagane jest podczas pomiaru zwieranie wyjścia (dla składowych zmiennych) i rozwieranie wejścia (dla składowych zmiennych) a dla tranzystora bipolarnego można łatwo spełnić te warunki ze względu na niewielką impedancję wejściową i dość znaczną impedancję wyjściową (odpowiednio rzędu kilku i kilkudziesięciu kiloomów).



Przyjmując sterowanie wejściowe i_1 i u_2 jako zmienne niezależne a sygnały wyjściowe u_1 i i_2 jako zmienne zależne można czwórnik opisać równaniami mieszanymi:

$$u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2$$

przy czym: i_1, i_2, u_1, u_2 – (pisane małymi literami) to wartości chwilowe prądów i napięć małych sygnałów zmiennych na wejściu (*indeks 1*) i wyjściu (*indeks 2*)

Ważna informacja – w opisie wzmacniaczy mówimy o sygnale a nie o składowych stałych, punktach pracy itd.

Parametry h_{ij}

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \Big|_{u_2=0}$$

- impedancja wejściowa

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \Big|_{i_1=0}$$

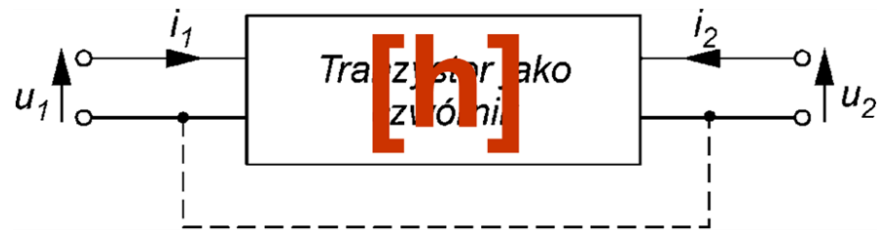
- współczynnik oddziaływania zwrotnego

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{u_2=0}$$

- współczynnik wzmocnienia prądowego

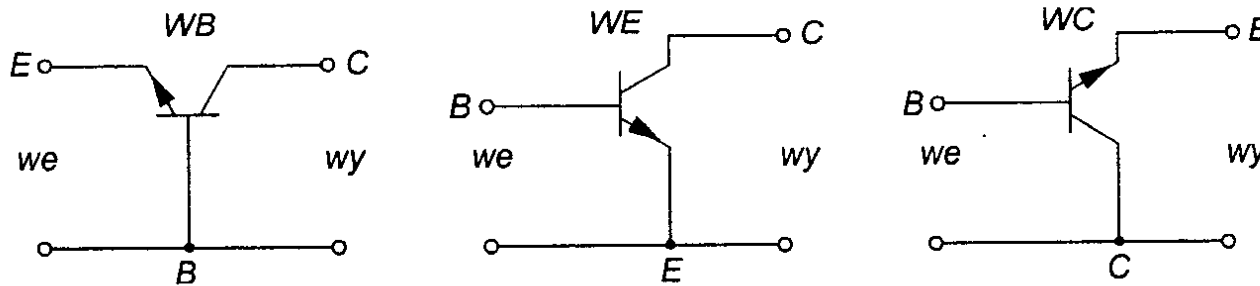
$$h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \Big|_{i_1=0}$$

- admitancja wyjściowa



Konfiguracje pracy tranzystora

przypomnienie



WB konfiguracja wspólnej bazy

wejście sygnału jest między emiterem a bazą a wyjście pomiędzy kolektorem a bazą; baza jest elektrodą wspólną;

WE konfiguracja wspólnego emitera

wejście sygnału jest pomiędzy bazą a emiterem a wyjście pomiędzy kolektorem a emiterem, emiter jest elektrodą wspólną;

WC konfiguracja wspólnego kolektora

wejście sygnału jest pomiędzy bazą a kolektorem, wyjście pomiędzy emiterem a kolektorem, kolektor jest elektrodą wspólną.

Wartości parametrów h zależą od konfiguracji pracy tranzystora. Rodzaj konfiguracji oznaczony jest przy parametrze h indeksem literowym: **b** - dla układu wspólnej bazy (WB), **e** - dla układu wspólnego emitera (WE) i indeksem **c** - dla układu wspólnego kolektora (WC).

parametry h dla konfiguracji WE

$$h_{11e} = \frac{u_{be}}{i_b} \Big|_{u_{ce}=0}$$

- impedancja wejściowa w konfiguracji WE

$$h_{12e} = \frac{u_{be}}{u_{ce}} \Big|_{i_b=0}$$

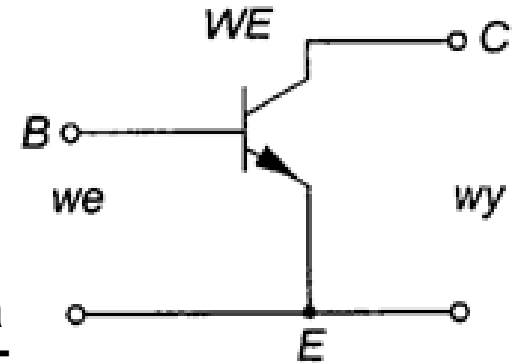
- współczynnik oddziaływania zwrotnego w konfiguracji WE

$$h_{21e} = \frac{i_c}{i_b} \Big|_{u_{ce}=0}$$

- współczynnik wzmocnienia prądowego w konfiguracji WE

$$h_{22e} = \frac{i_c}{u_{ce}} \Big|_{i_b=0}$$

- admitancja wyjściowa w konfiguracji WE



Przykładowe parametry h dla tranzystora BC107
i punktu pracy $I_C=2\text{mA}$ oraz częstotliwości
sygnału $f=1000\text{ Hz}$



impedancja wejściowa

$$h_{11e} = 4\text{k}\Omega$$

współczynnik oddziaływania zwrotnego

$$h_{12e} = 2,2 \cdot 10^{-4}$$

współczynnik wzmocnienia prądowego

$$h_{21e} = 250$$

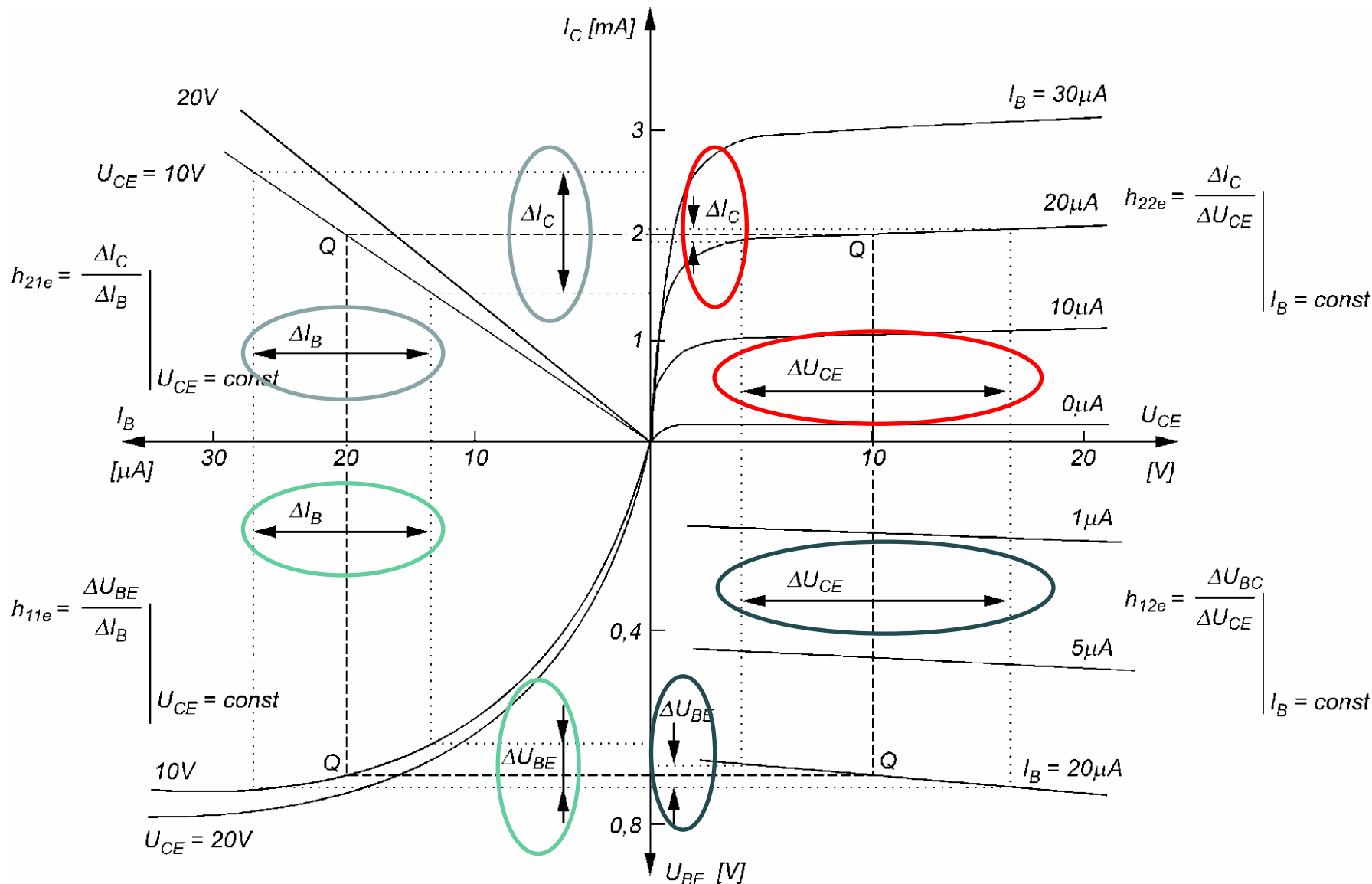
amitancja wyjściowa

$$h_{22e} = 20\mu\text{S}$$

zatem impedancja wyjściowa: $50\text{k}\Omega$

$$h_{11b} = 16\Omega$$

$$h_{21b} = 0,99$$



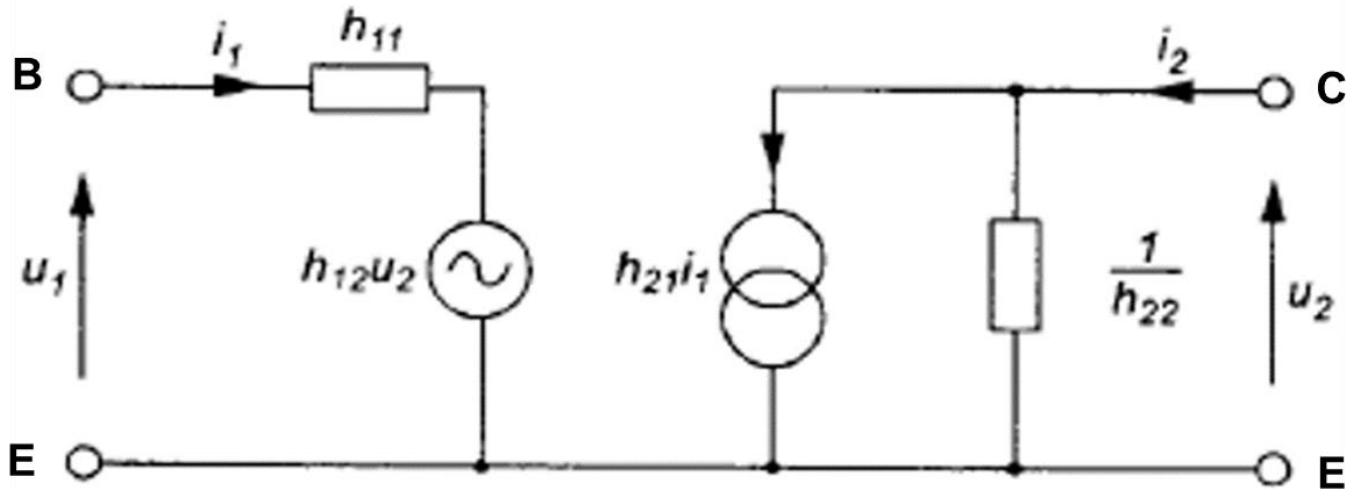
Ilustracja sposobu wyznaczania parametrów h_{ije} przy wykorzystaniu charakterystyk statycznych tranzystora w konfiguracji WE

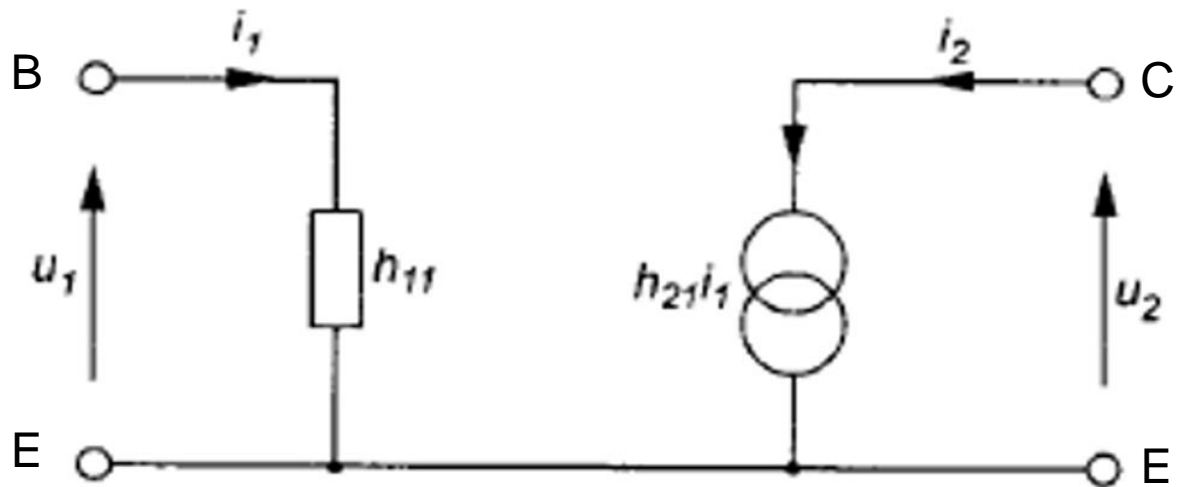
Zależność pomiędzy parametrami h dla różnych konfiguracji

Istnieje tożsamościowy związek między parametrami h_{ij} dla różnych konfiguracji.

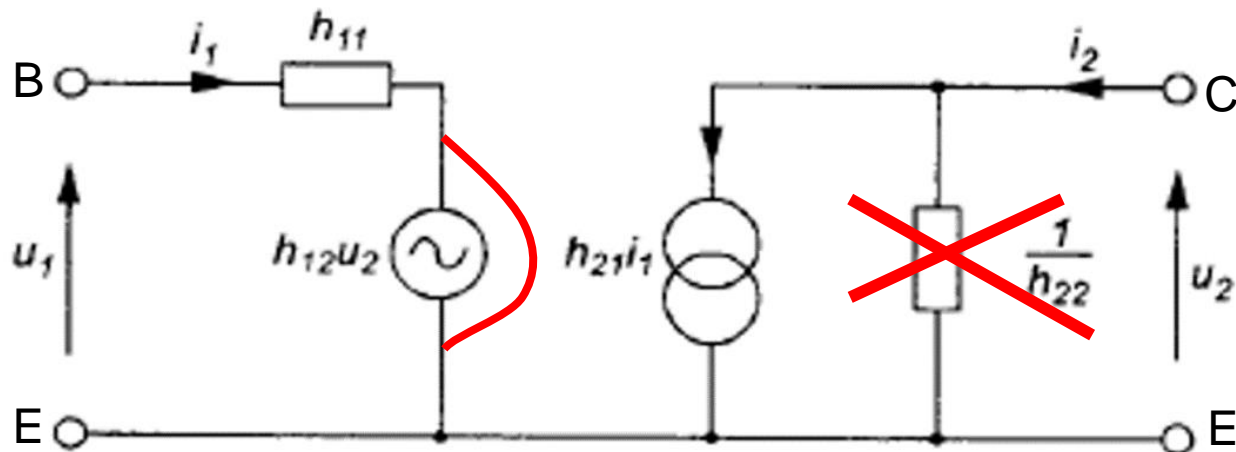
Znając zestaw tych parametrów dla jednej konfiguracji można obliczyć wszystkie parametry dla dwóch pozostałych.

Pełny model tranzystora opisany macierzą h



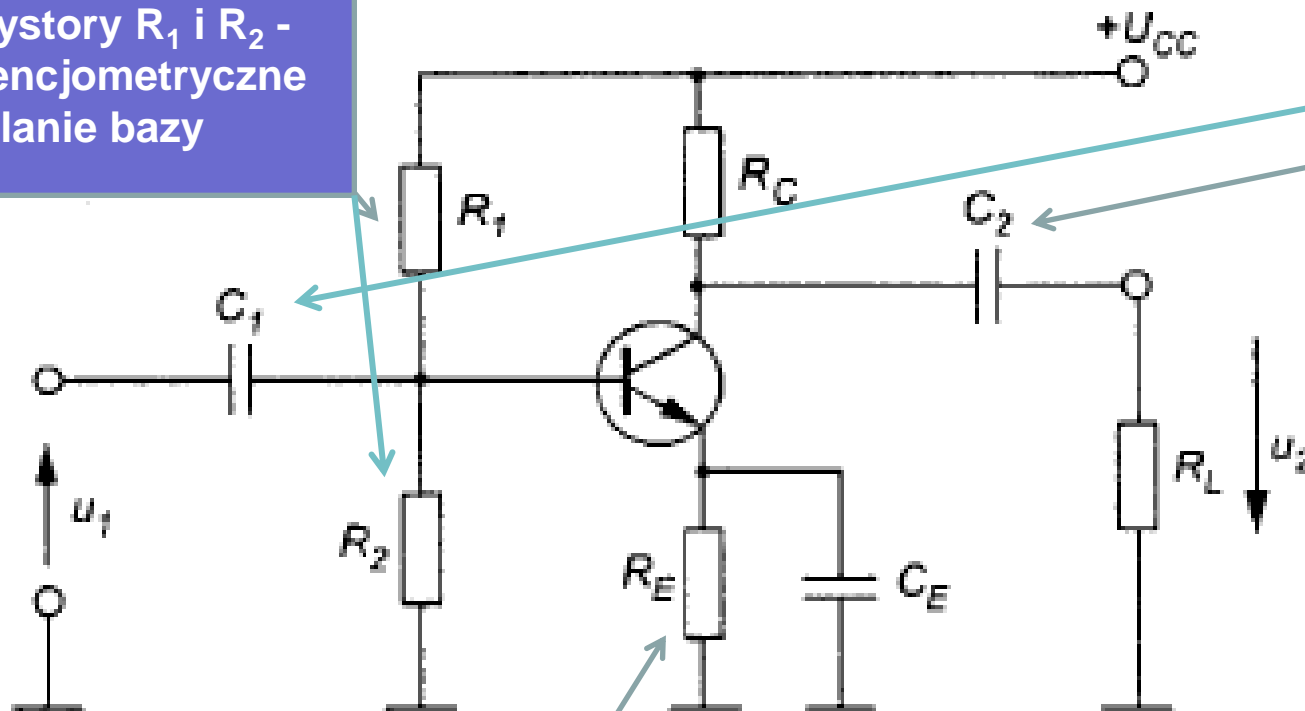


Uproszczony model tranzystora opisany macierzą h



W uproszczonej wersji pominięto parametry h_{12} i h_{22} bo w rzeczywistości $h_{12} \ll 1$ zatem źródło napięcia $h_{12}u_2$ jest niewielkie i można je traktować jako zwarcie, i $h_{22} \ll 1$ zatem impedancję $1/h_{22}$ jako bardzo dużą można traktować jako rozwarcie

Rezystory R_1 i R_2 - potencjometryczne zasilanie bazy



Kondensatory C_1 i C_2 separują układ od zewnętrznych napięć stałych oraz umożliwiają doprowadzenie sygnału zmiennego do wejścia (kondensator C_1) i odprowadzenie wzmacnionego sygnału do obciążenia (kondensator C_2)

Rezystor R_E – sprzężenie zwrotne emiterowe zapewniające dobrą stałość punktu pracy. Sprzężenie działa dla składowych stałych, bo składowe zmienne przepuszcza C_E

Schemat ideowy wzmacniacza z tranzystorem w konfiguracji WE (inaczej: wzmacniacz o sprzężeniu pojemnościowym lub wzmacniacz RC)

Przy zastosowaniu uproszczonego modelu tranzystora dla wzmacniacza w konfiguracji WE mamy:



Wzmocnienie napięciowe

$$k_u = -\frac{u_2}{u_1} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} (R_C || R_L)$$

Znak minus we wzorze oznacza, że faza napięcia wyjściowego jest odwrócona względem fazy napięcia wejściowego o 180°

Wzmocnienie prądowe

$$k_i = -\frac{i_2}{i_1} = -h_{21e} \frac{R_C}{R_L + R_C} \frac{R_B}{h_{11e} + R_B}$$

Rezystancja wejściowa

$$R_{we} = R_1 || R_2 || h_{11e}$$

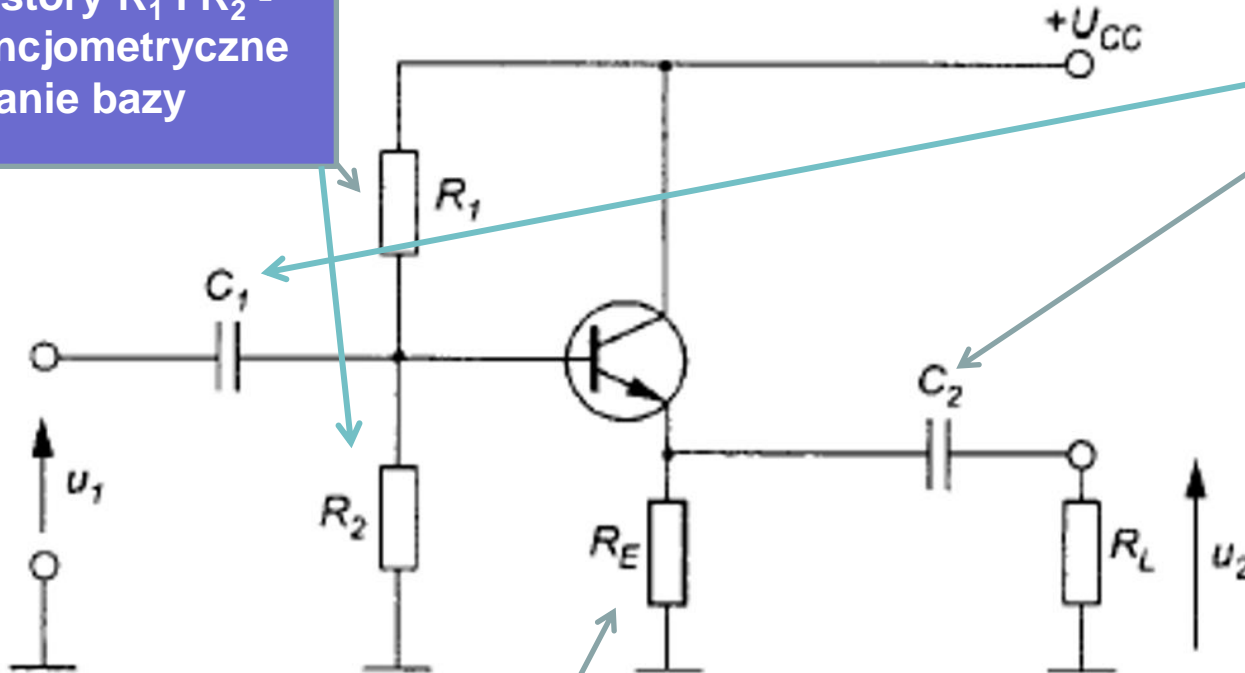
Rezystancja wyjściowa

$$R_{wy} = R_C$$

Wzmacniacz z tranzystorem w konfiguracji wspólnego kolektora (wtórnik emiterowy)

WC

Rezystory R_1 i R_2 - potencjometryczne zasilanie bazy



Kondensatory C_1 i C_2 separują układ od zewnętrznych napięć stałych oraz umożliwiają doprowadzenie sygnału zmiennego do wejścia (kondensator C_1) i odprowadzenie wzmacnionego sygnału do obciążenia (kondensator C_2)

Na rezystorze emiterowym R_E odkładane jest napięcie wyjściowe wtórnika

Schemat ideowy wzmacniacza z tranzystorem w konfiguracji WC (wtórnika emiterowego)

Przy zastosowaniu uproszczonego modelu tranzystora dla wzmacniacza w konfiguracji WC mamy:



Wzmocnienie napięciowe

$$k_u = \frac{u_2}{u_1} \approx 1$$

brak

Wzmocnienie prądowe

$$k_i = \frac{i_2}{i_1} = (h_{21e} + 1) \frac{R_E}{R_E + R_L} \frac{R_B}{R_{wet} + R_B}$$

duże

Rezystancja wejściowa

$$R_{we} = R_B \parallel R_{wet}$$

duża

Rezystancja wyjściowa

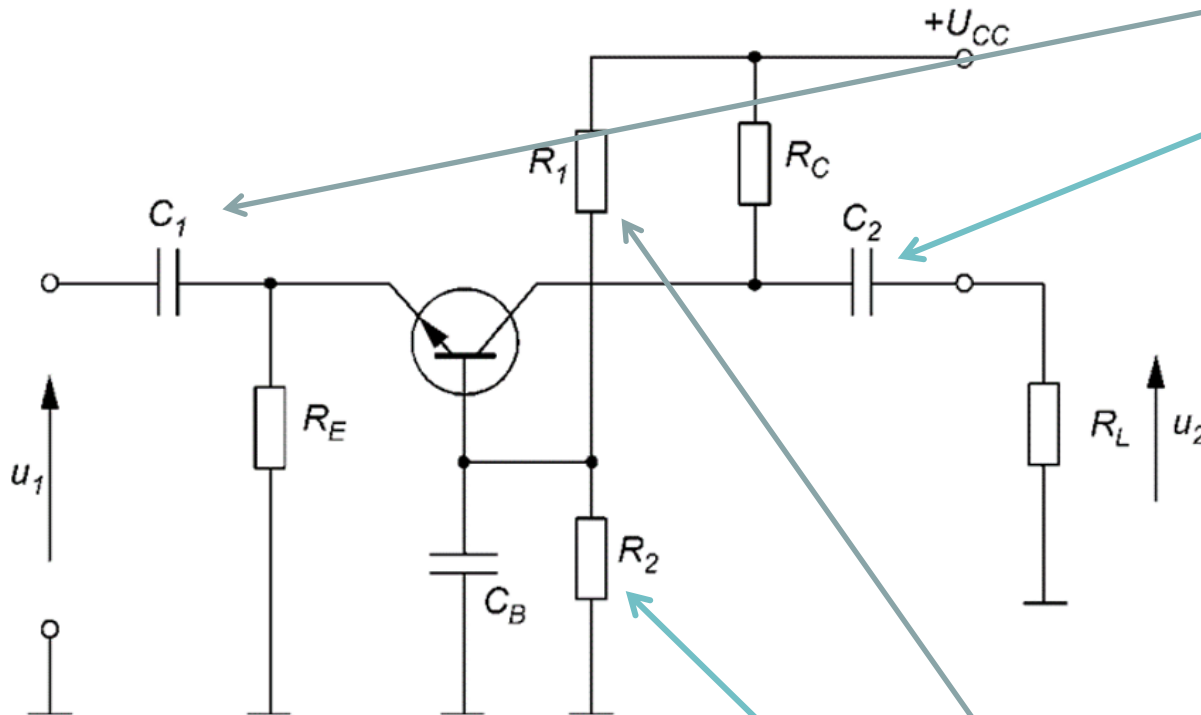
$$R_{wy} \approx \frac{h_{11e} + R_B}{h_{21e} + 1}$$

mała

gdzie:

$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{wet} = h_{11e} + (h_{21e} + 1)(R_L \parallel R_E)$$



Kondensatory C_1 i C_2 separują układ od zewnętrznych napięć stałych oraz umożliwiają doprowadzenie sygnału zmiennego do wejścia (kondensator C_1) i odprowadzenie wzmacnionego sygnału do obciążenia (kondensator C_2)

Rezystory R_1 i R_2 - potencjometryczne zasilanie bazy ze zwarcia przez C_B składowej zmiennej do masy

Schemat ideowy wzmacniacza z tranzystorem w konfiguracji WB

Przy zastosowaniu uproszczonego modelu tranzystora dla wzmacniacza w konfiguracji WB mamy:



Wzmocnienie napięciowe

$$k_u = \frac{u_2}{u_1} = h_{21b} \frac{R_C \parallel R_L}{h_{11b}} = \alpha \frac{R_C \parallel R_L}{h_{11b}}$$

duże

Wzmocnienie prądowe

$$k_i = \frac{i_2}{i_1} = h_{21b} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_E}{R_E + h_{11b}} < 1$$

brak

Rezystancje wejściowa

$$R_{we} = R_E \parallel h_{11b}$$

mała

Rezystancja wyjściowa

$$R_{wy} = R_C$$

duża

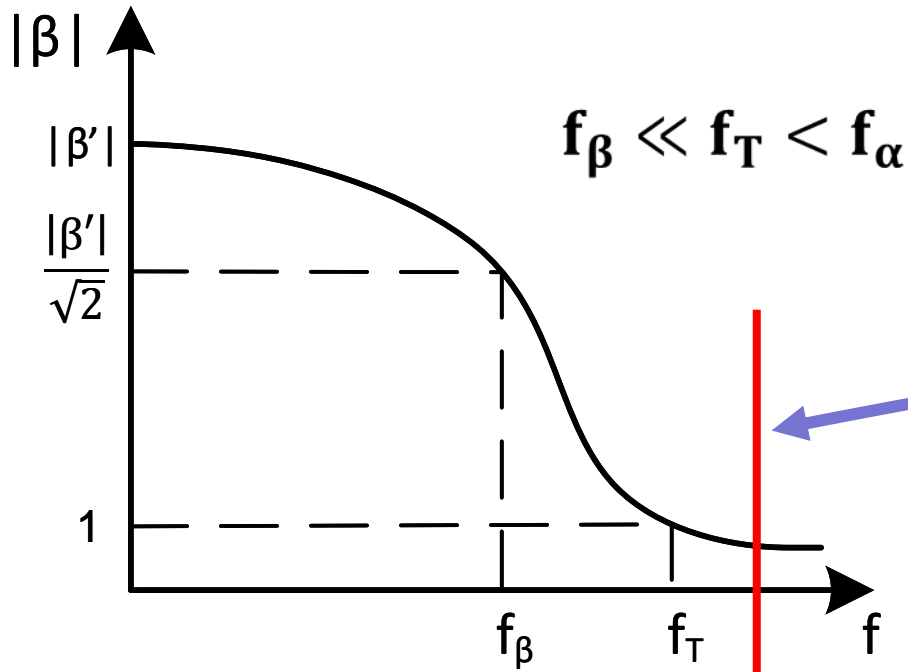
Porównanie właściwości wzmacniaczy z tranzystorami w różnych konfiguracjach

Parametr	WE	WK	WB
k_u	duże	<1	duże
k_i	duże	duże	<1
k_p	b. duże	niewielkie	niewielkie
R_{we}	średnia	duża	mała
R_{wy}	średnia	mała	duża
przesunięcie fazy między wyjściem a wejściem	180°	0°	0°

jak widać konfiguracja WB ma najgorsze parametry, ale – *patrz następny slajd*

Przypomnienie z jednego z poprzednich wykładów:

Ograniczenia częstotliwościowe tranzystora



Zaleta konfiguracji WB

Częstotliwość graniczna
tranzystora w konfiguracji WB
jest największa f_α

Charakterystyka częstotliwościowa zmian modułu współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora w konfiguracji WE z zaznaczeniem częstotliwości granicznych

Podstawowe układy wzmacniaczy

KONIEC