

Tranzystorowe wzmacniacze

OE OB OC

na tranzystorach bipolarnych

Wzmacniacz jest to urządzenie elektroniczne, którego zadaniem jest :

proporcjonalne zwiększenie amplitudy wszystkich składowych widma sygnału wejściowego, bez zmiany ich wzajemnych proporcji.

Do podstawowych parametrów wzmacniaczy należą:

- wzmocnienie: napięciowe , prądowe i mocy
- dolna i górna częstotliwość graniczna
- rezystancja wejściowa i wyjściowa
- zniekształcenia liniowe i nieliniowe

Wzmocnienie określane jest jako stosunek wartości skutecznej sygnału wyjściowego do wartości skutecznej sygnału wejściowego.

Wzmocnienie napięciowe wyraża się wzorem:

$$K_u = U_{wy}/U_{we}[V/V] \quad \text{lub} \quad K_u = 20\log(U_{wy}/U_{we})[dB]$$

Wzmocnienie prądowe jest równe:

$$K_i = I_{wy}/I_{we}[A/A] \quad \text{lub} \quad K_i = 20\log(I_{wy}/I_{we})[dB]$$

Wzmocnienie mocy:

$$K_p = P_{wy}/P_{we}[W/W] \quad \text{lub} \quad K_p = 10\log(P_{wy}/P_{we})[dB]$$

Wzmocnienie wzmacniacza jest zależne od częstotliwości sygnału wejściowego.

Oznacza to, że jeśli :

na wejście wzmacniacza będzie podany sygnał o stałej amplitudzie , ale zmiennej częstotliwości,

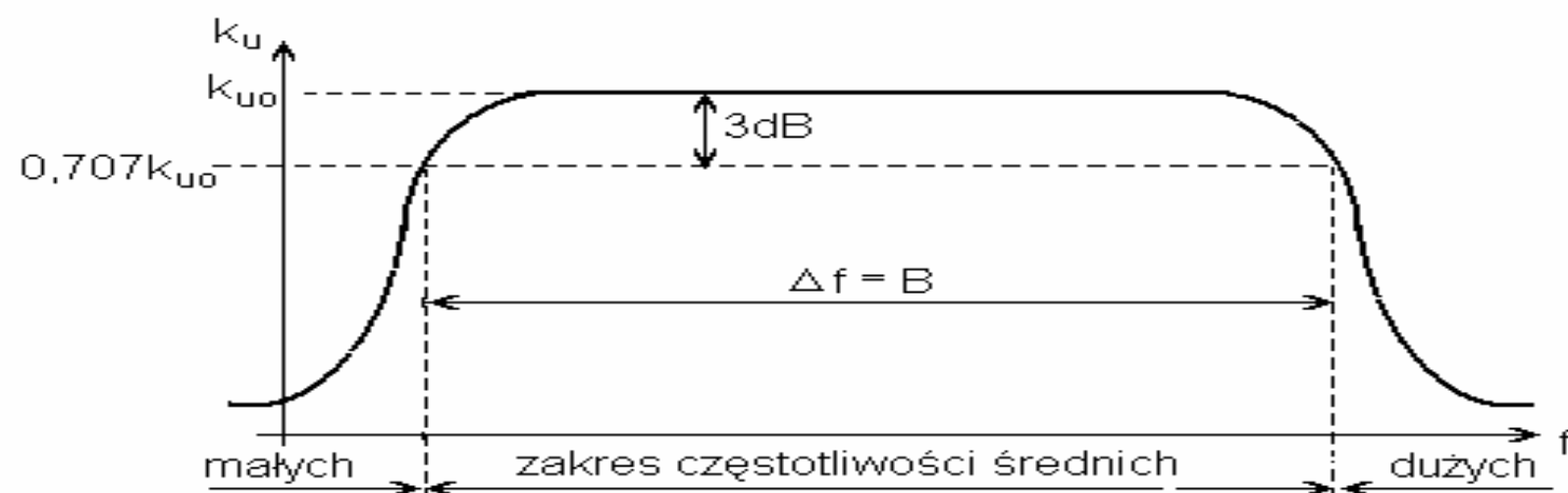
to na jego wyjściu wraz ze zmianą częstotliwości, będzie zmieniała się amplituda sygnału wyjściowego.

Właściwości wzmacniacza w zależności od częstotliwości sygnału wejściowego określają dwie zależne od siebie charakterystyki:

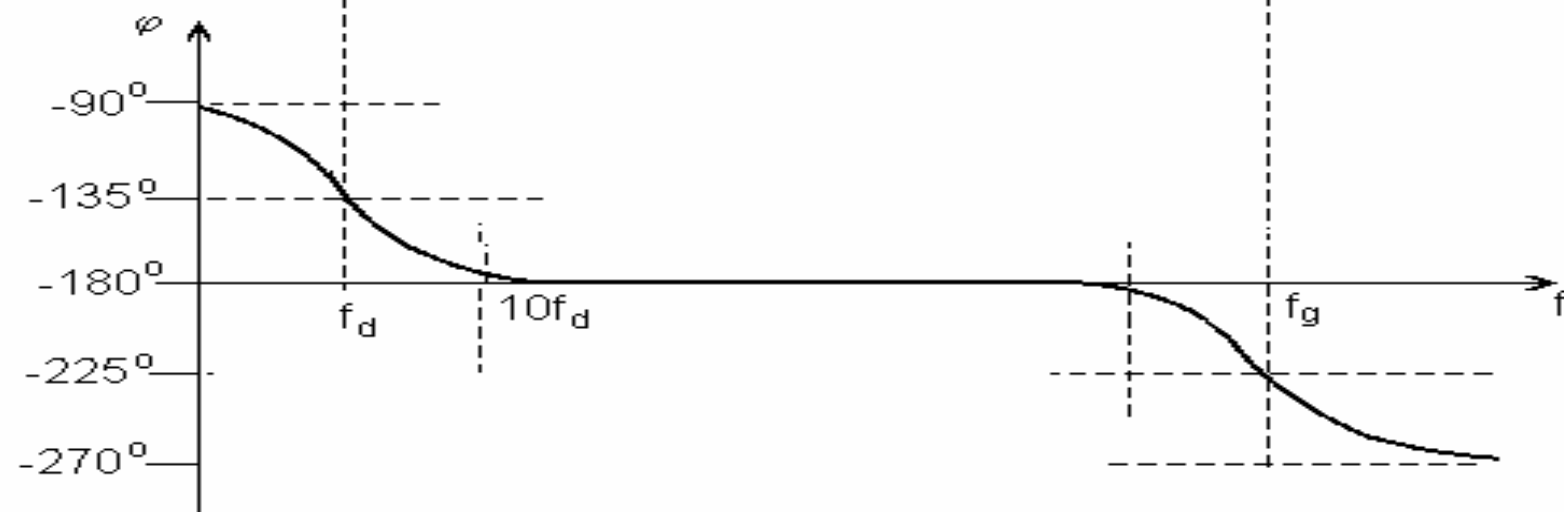
- Amplitudowa – $k_u = f(f)$

- Fazowa $\varphi = f(f)$

a)

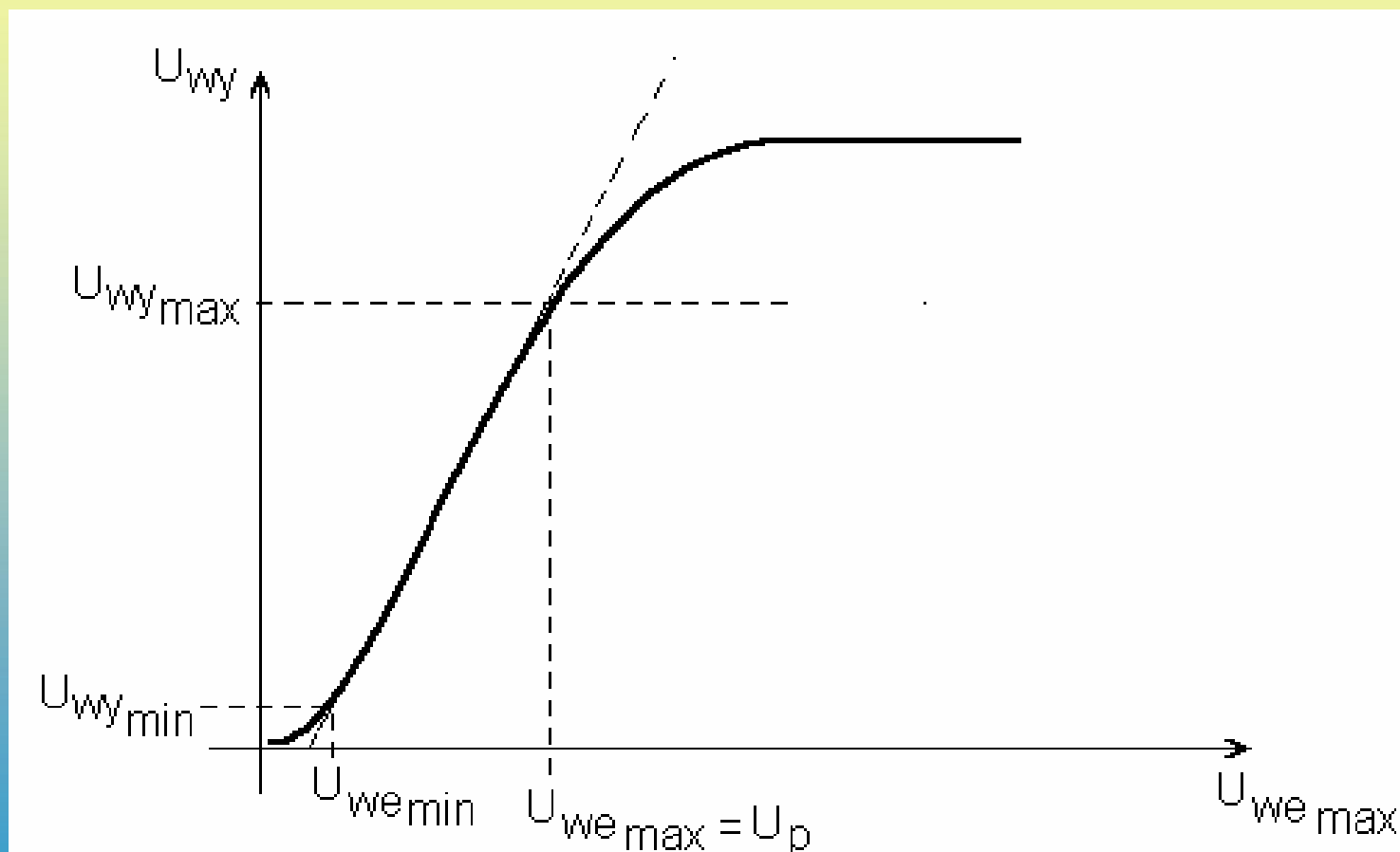


b)



- *Klasy pracy wzmacniaczy:*
- **Klasa A** – kąt przepływu prądu mniejszy od 360°
(moc tracona w tranzystorze jest największa w tej klasie)
- **Klasa B** – kąt przepływu prądu jest bliski 180°
- **Klasa AB** – kąt przepływu prądu zawiera się
między 180° a 360° ($180^\circ < \Theta < 360^\circ$)
- **Klasa C** – kąt przepływu prądu mniejszy od 180°

Wartość napięcia wyjściowego w zależności od wartości napięcia wejściowego opisuje się za pomocą charakterystyki przejściowej wzmacniacza (charakterystyki dynamicznej).



Zniekształcenia nieliniowe

są to zniekształcenia wynikające z nieliniowości charakterystyki przenoszenia wzmacniacza.

Współczynnik zniekształceń nieliniowych wyznacza się ze wzoru:

$$h_c = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_o} \cdot 100\%$$

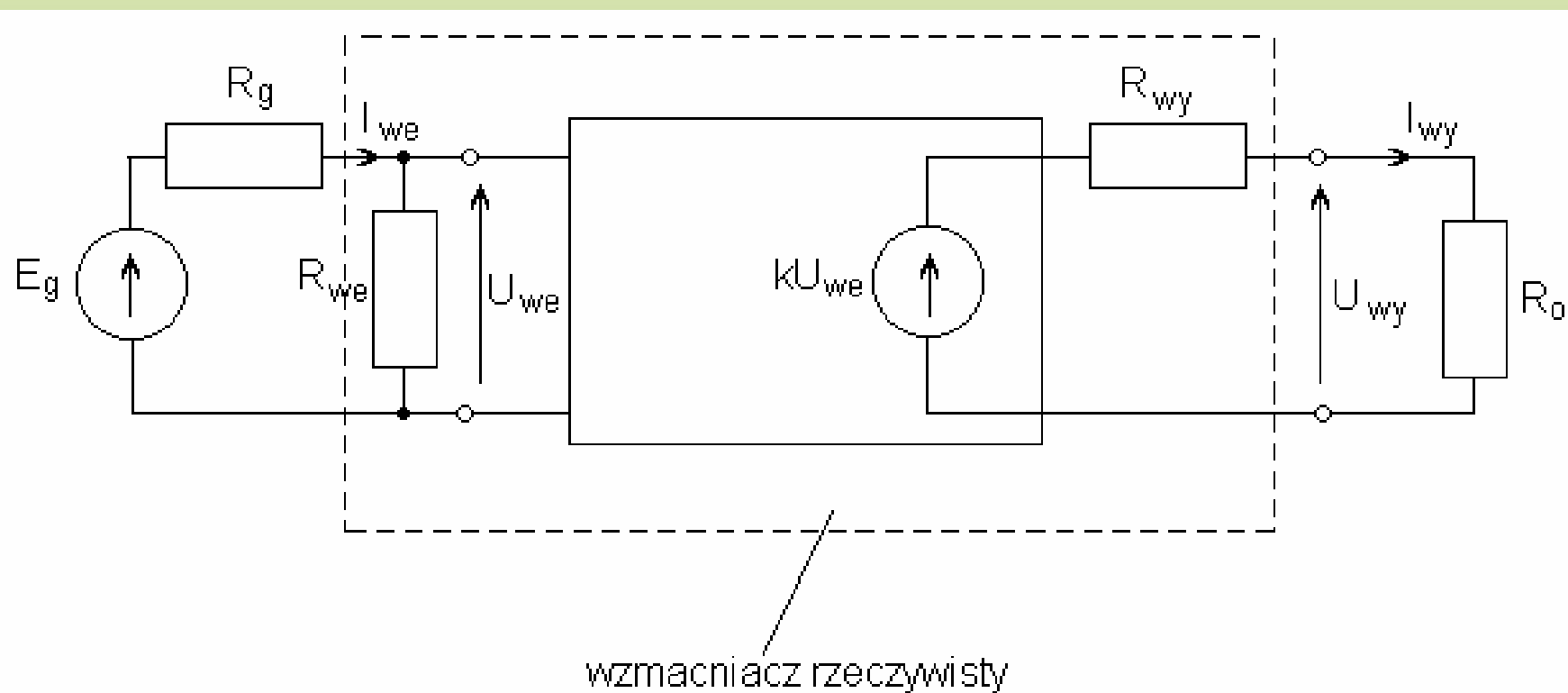
gdzie :

$$U_o = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots}$$

jest to stosunek wartości skutecznej wyższych harmoniczných do wartości skutecznej pełnego napięcia wyjściowego.

Czyli jest to stosunek wartości skutecznej wyższych harmoniczných do wartości skutecznej pełnego napięcia wyjściowego.

Schemat zastępczy wzmacniacza



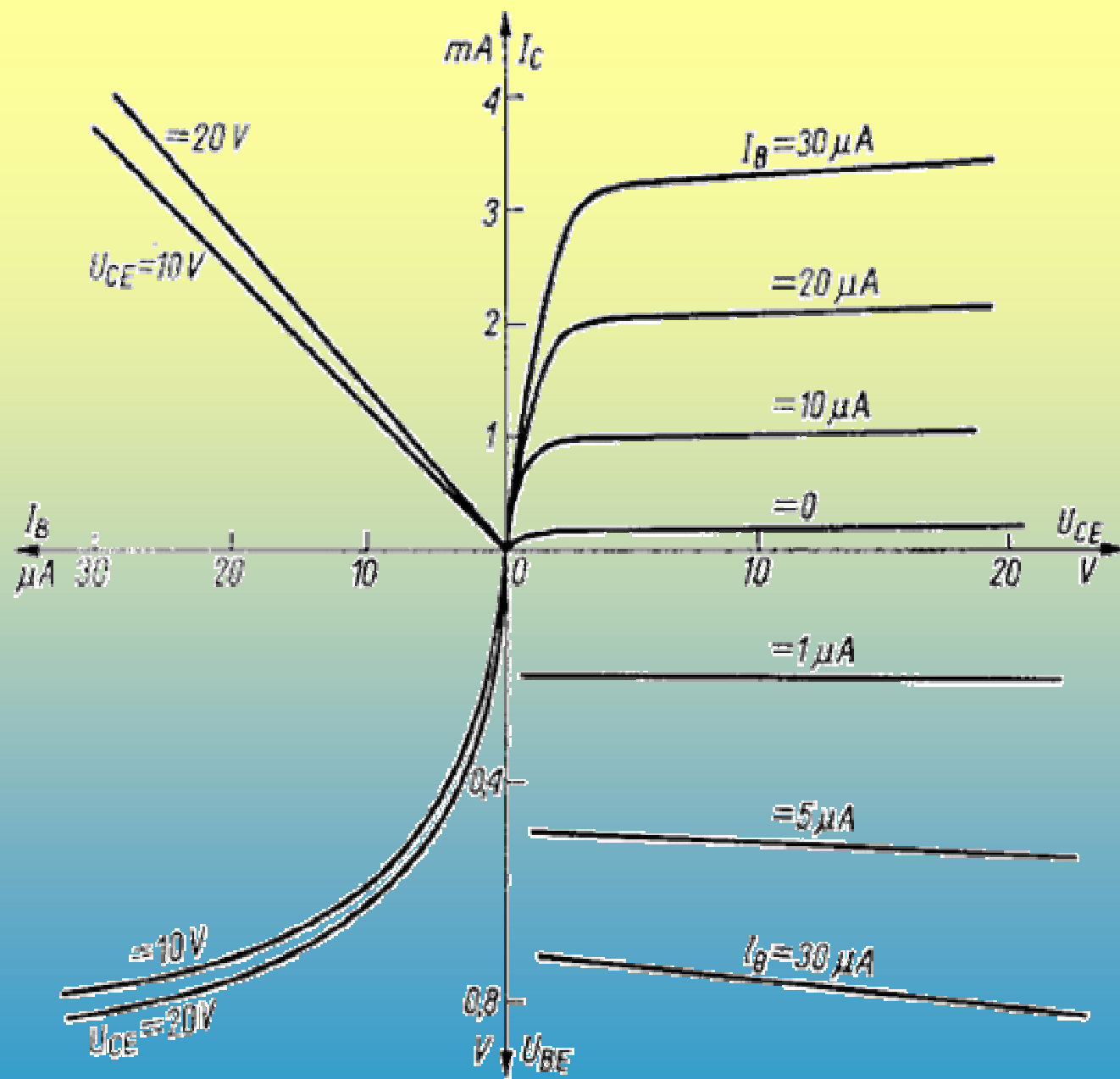
Rezystancja wejściowa jest to rezystancja „widziana” z zacisków wejściowych układu, przy rozwartym wyjściu.

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} \text{ przy } R_o = \infty$$

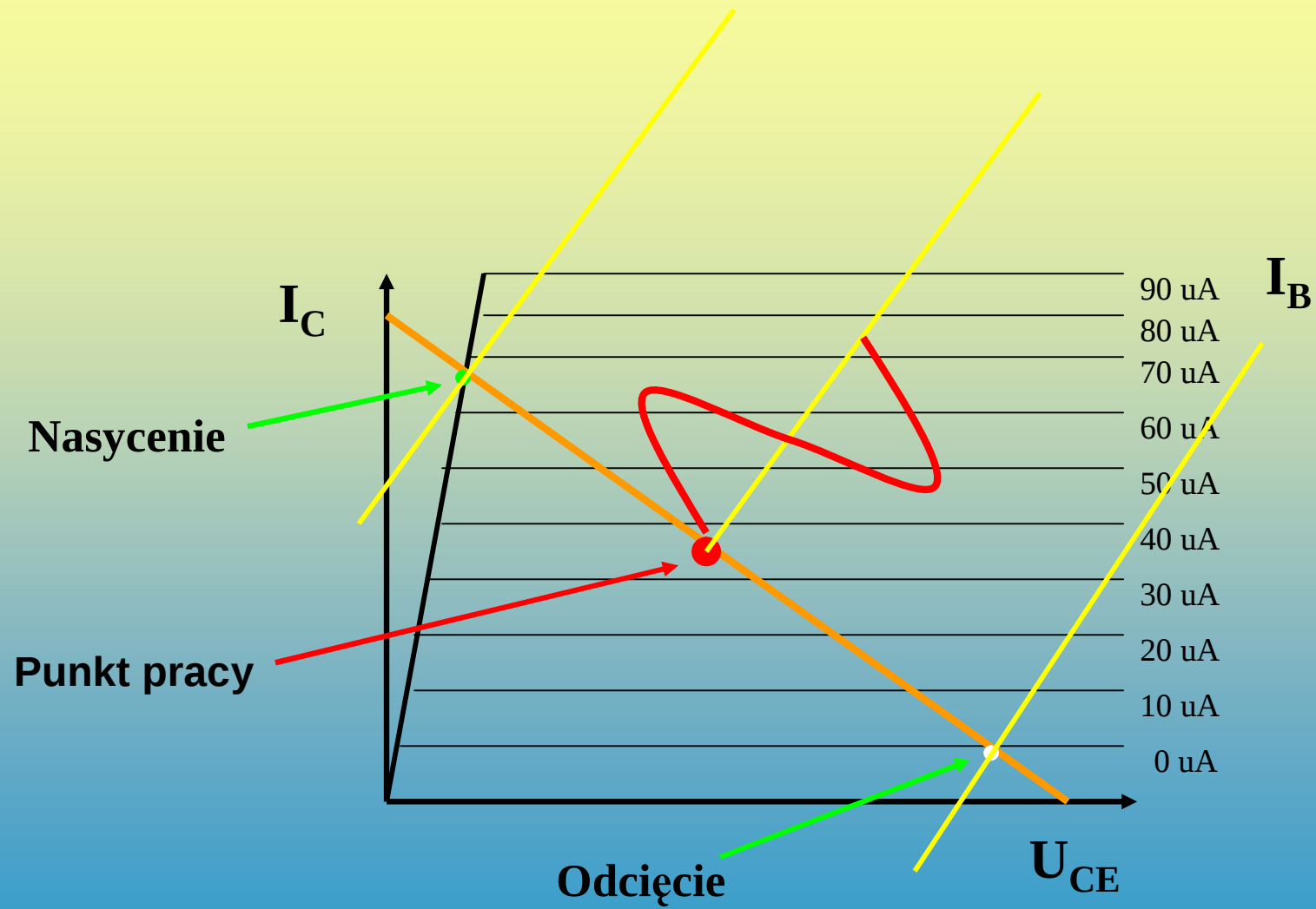
Rezystancja wyjściowa R_{wy} – jest to rezystancja „widziana” z zacisków wyjściowych układu przy zwartym wejściu.

$$R_{wy} = \frac{U_{wy}}{I_{wy}} \text{ przy } U_{we} = 0$$

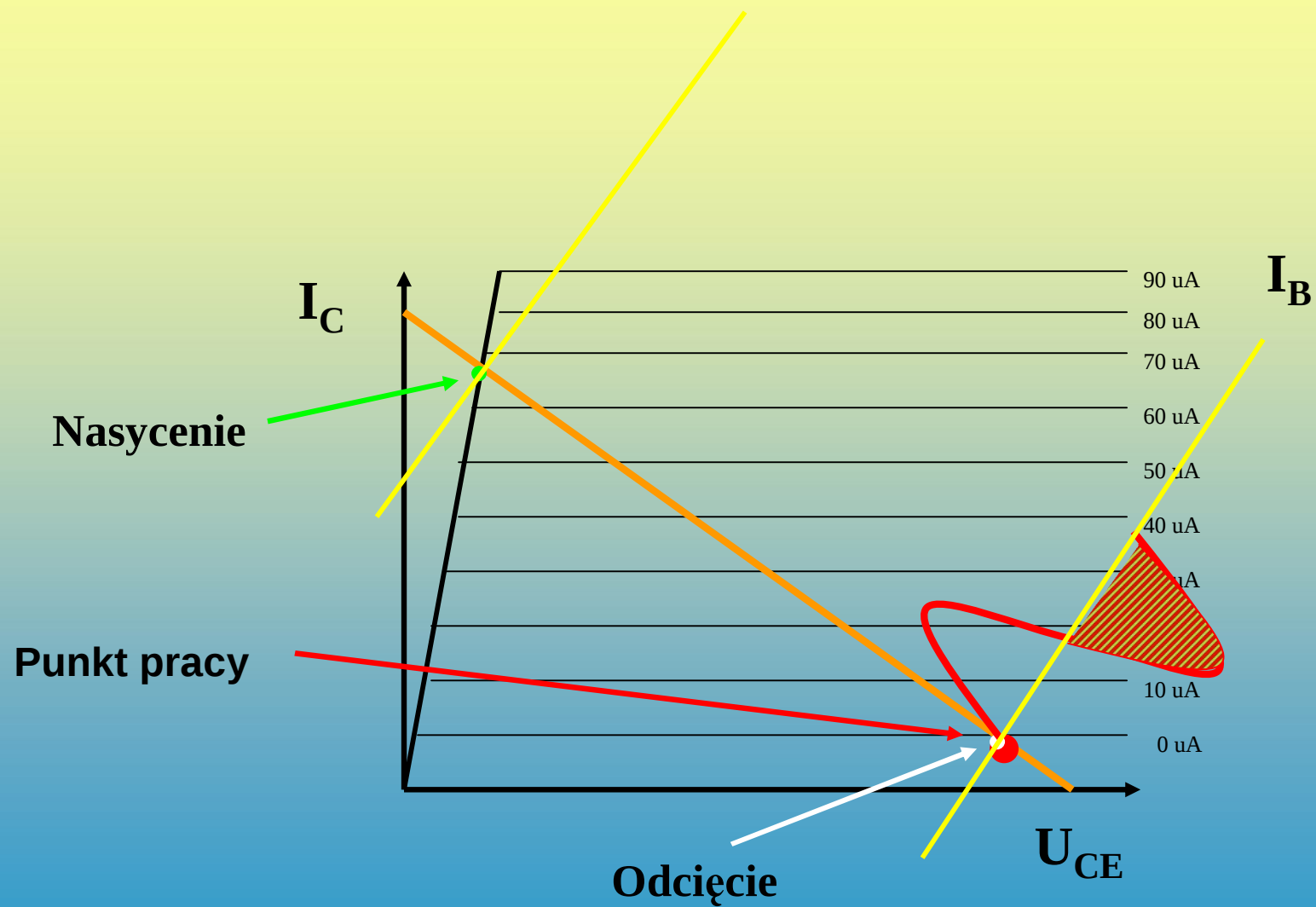
Charakterystyk
i
tranzystora
bipolarnego
w układzie OE



Wzmacniacz klasy A



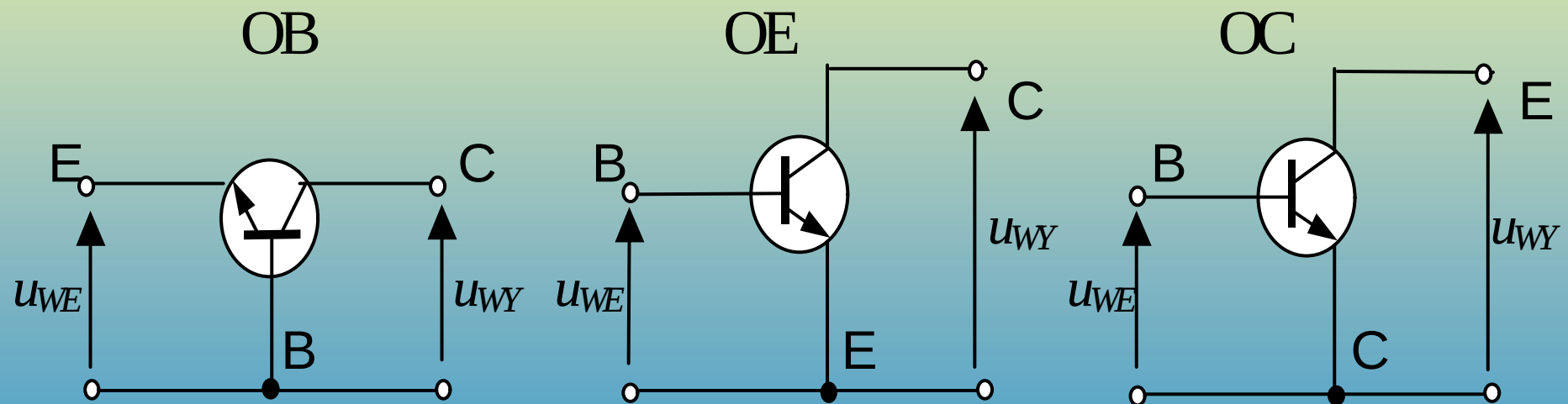
Wzmacniacz klasy B



Podstawowe konfiguracje pracy

tranzystora bipolarnego

jako wzmacniacza



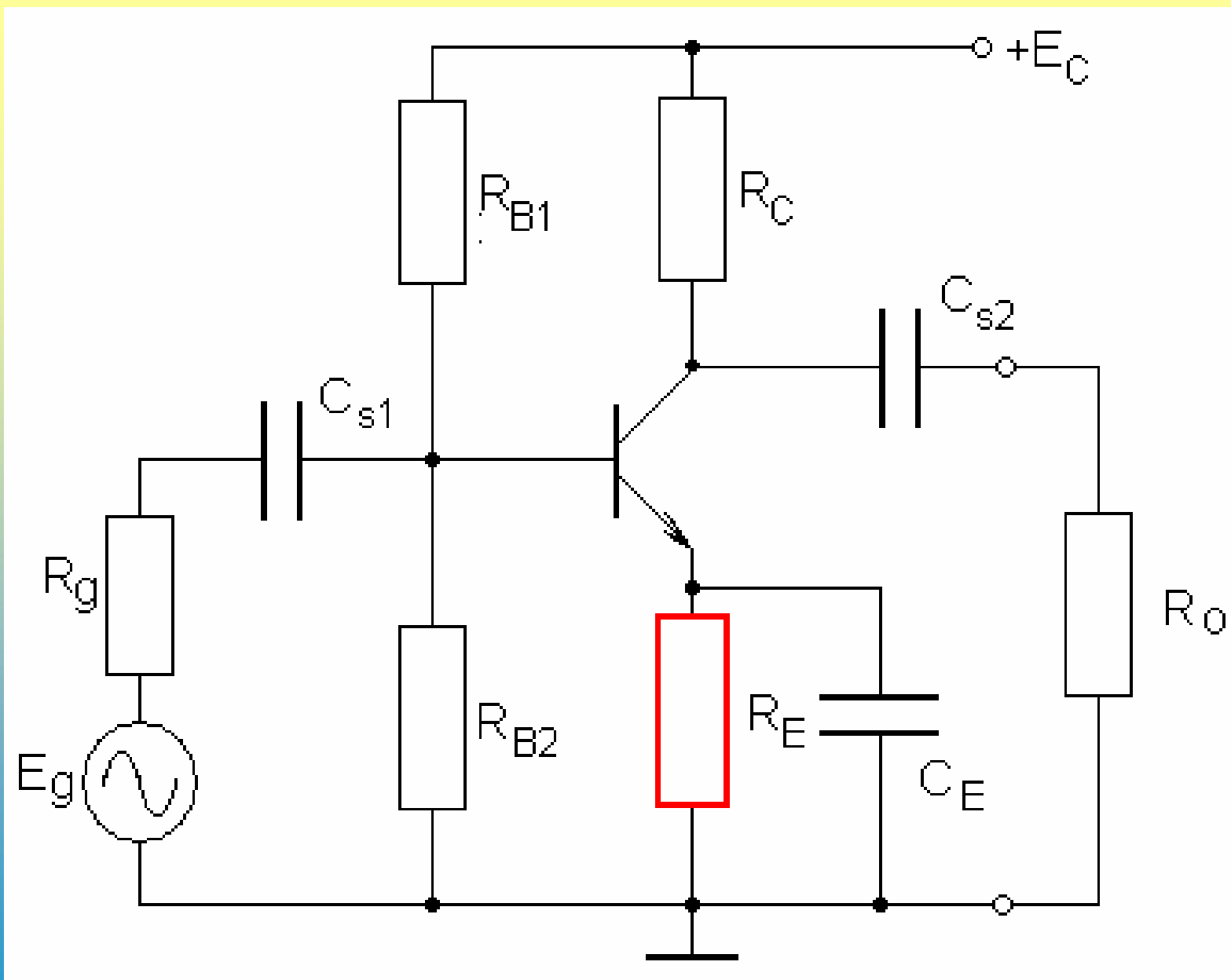
Parametry wzmacniacza w układzie OE

Podstawowa funkcja wzmacniacza – zwiększenie mocy sygnałów może być realizowana przez zastosowanie w układzie wzmacniacza elementów czynnych.

Obecnie stosuje się głównie tranzystory bipolarne w trzech podstawowych konfiguracjach: OE, OB., OC.

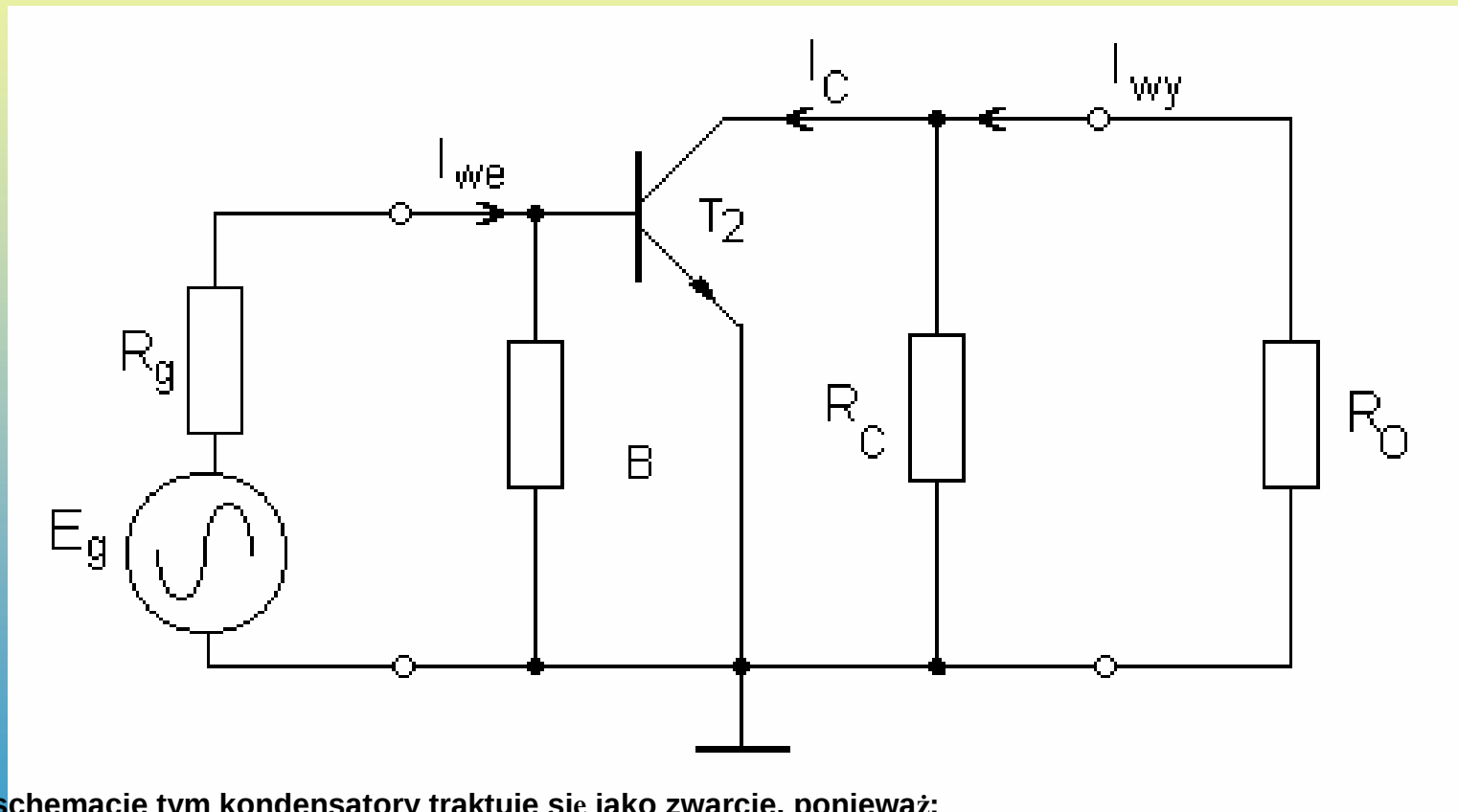
We wzmacniaczach małej częstotliwości najczęściej stosowana jest konfiguracja OE.

Schemat takiego wzmacniacza przedstawia poniższy rysunek:



Parametry wzmacniacza zbudowanego na tranzystorze oblicza się na podstawie schematu zastępczego dla sygnałów zmiennych (małych, średnich lub wielkich częstotliwości)

Poniższy rysunek przedstawia schemat zastępczy dla średnich częstotliwości.



W schemacie tym kondensatory traktuje się jako zwarcie, ponieważ:

$$X_C \ll R_{we} \quad X_{C2} \ll R_O \quad \text{oraz} \quad X_{CE} \ll R_E$$

Rezystancja wejściowa dla tego układu „widziana” z zacisków wejściowych jest to równoległe połączenie R_B i R_T .

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

gdzie : $R_T = r_{bb'} + r_{be}' = h_{11e}$

$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

Rezystancja wyjściowa „widziana” z zacisków wyjściowych:

$$R_{wy} \approx \frac{1}{h_{22e}} \parallel R_O$$

Wzmocnienie prądowe:

$$k_i = \frac{I_{wy}}{I_{we}} = \frac{R_C}{R_C + R_O} \cdot \beta \cdot \frac{R_B}{R_B + R_T}$$

Wzmocnienie napięciowe:

$$k_u = \frac{R_C \cdot R_O}{R_C + R_O} \cdot \beta \cdot \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = h_{11e}$$

Pasmo przenoszenia wzmacniacza

o paśmie przenoszenia
wzmacniacza decydują
częstotliwości górna i dolna
częstotliwość graniczna.

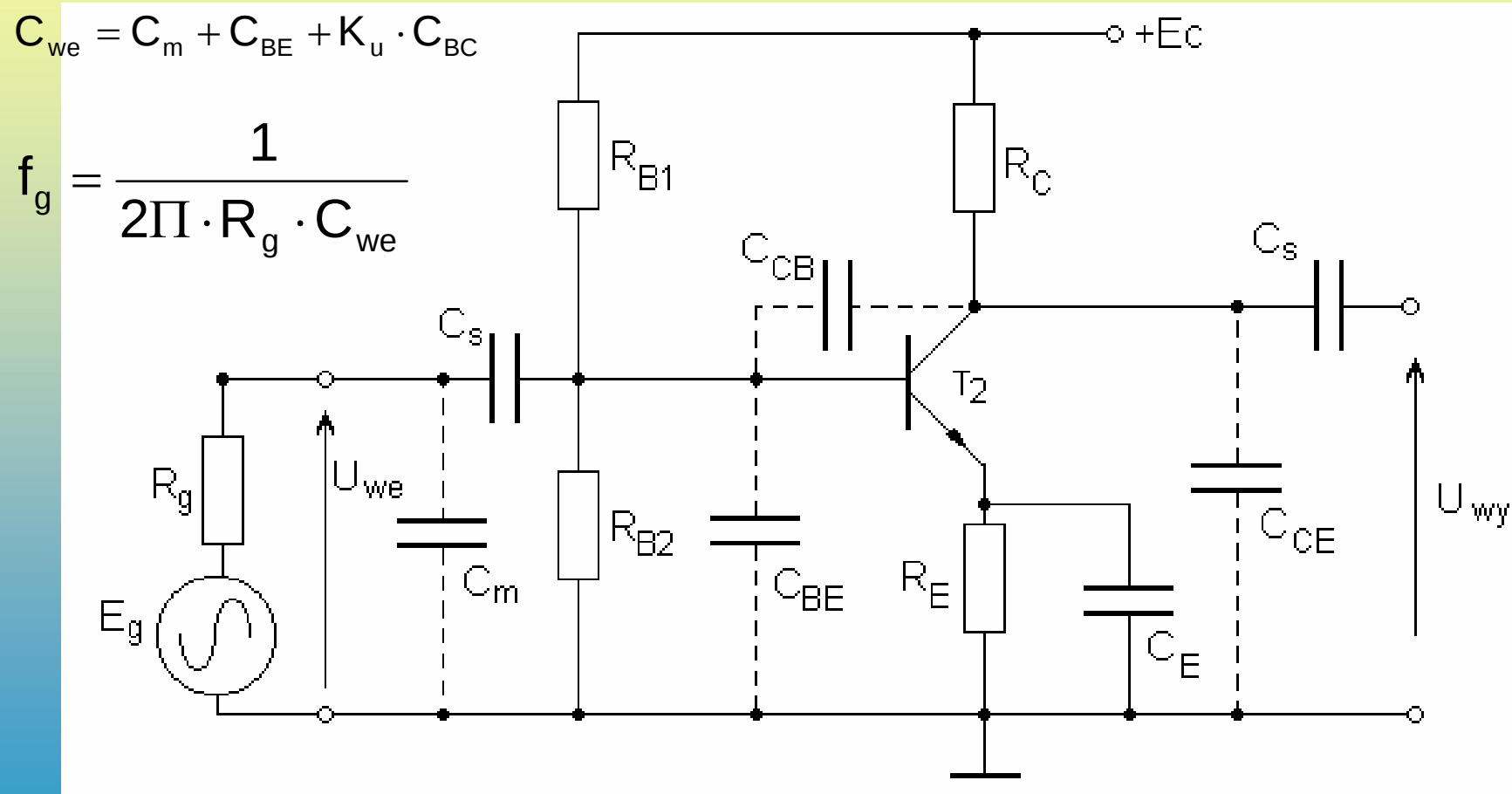
Na wartość **częstotliwości górnej** mają wpływ pojemności pasożytnicze wzmacniacza (pojemności tranzystora oraz pojemność montażowa).

Pojemności te tworzą z rezystancją źródła sygnału filtry górno-zaporowe ograniczające częstotliwość od góry.

Pojemność baza-kolektor (C_T) jest elementem ujemnego sprzężenia zwrotnego (napięciowego równoległego) i jest powodem wystąpienia tzw. efektu Millera.

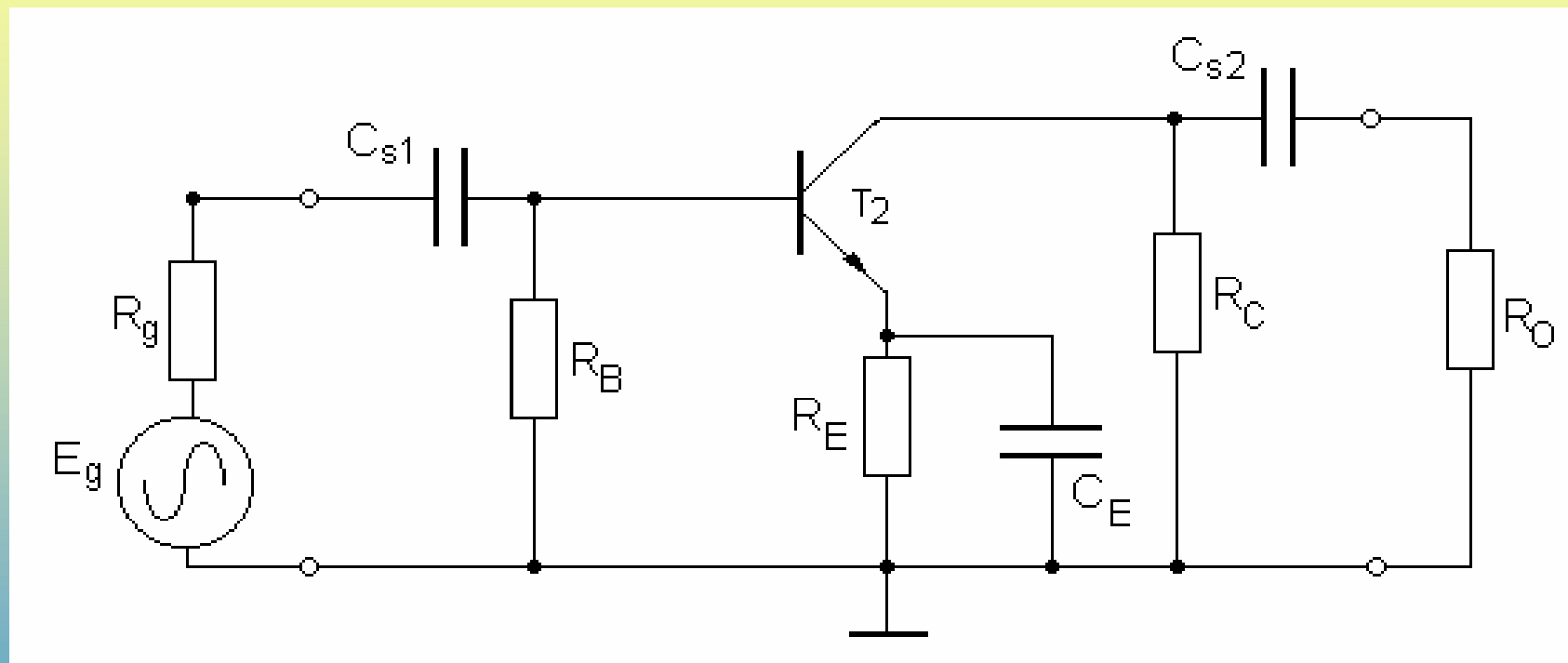
Polega on na tym, że pojemność C_{BC} nie mająca połączenia z masą przekazywana jest na wejście układu zwielokrotniona wzmocnieniem wzmacniacza (K_u –krotnie).

Schemat zastępczy układu OE dla częstotliwości górnych



o częstotliwości górnej f_g będzie decydować C_{we} , a ściślej filtr górnozaporowy stworzony przez rezystancję źródła sygnału i C_{we} .

Schemat zastępczy układu **OE** dla częstotliwości dolnych



o częstotliwości dolnej wzmacniacza decydują pojemności kondensatorów znajdujących się w układzie.
Każdy z tych kondensatorów tworzy z rezystorami filtry

Pierwszy filtr stanowi obwód wejściowy to C_{S1}, R_g, R_B i R_T

Drugi filtr to obwód emitera tzn. kondensator C_E i rezystancje R_g, R_B, R_T, R_O i R_E ,

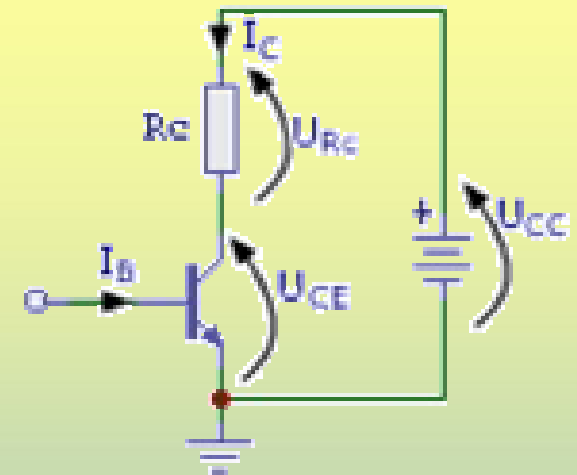
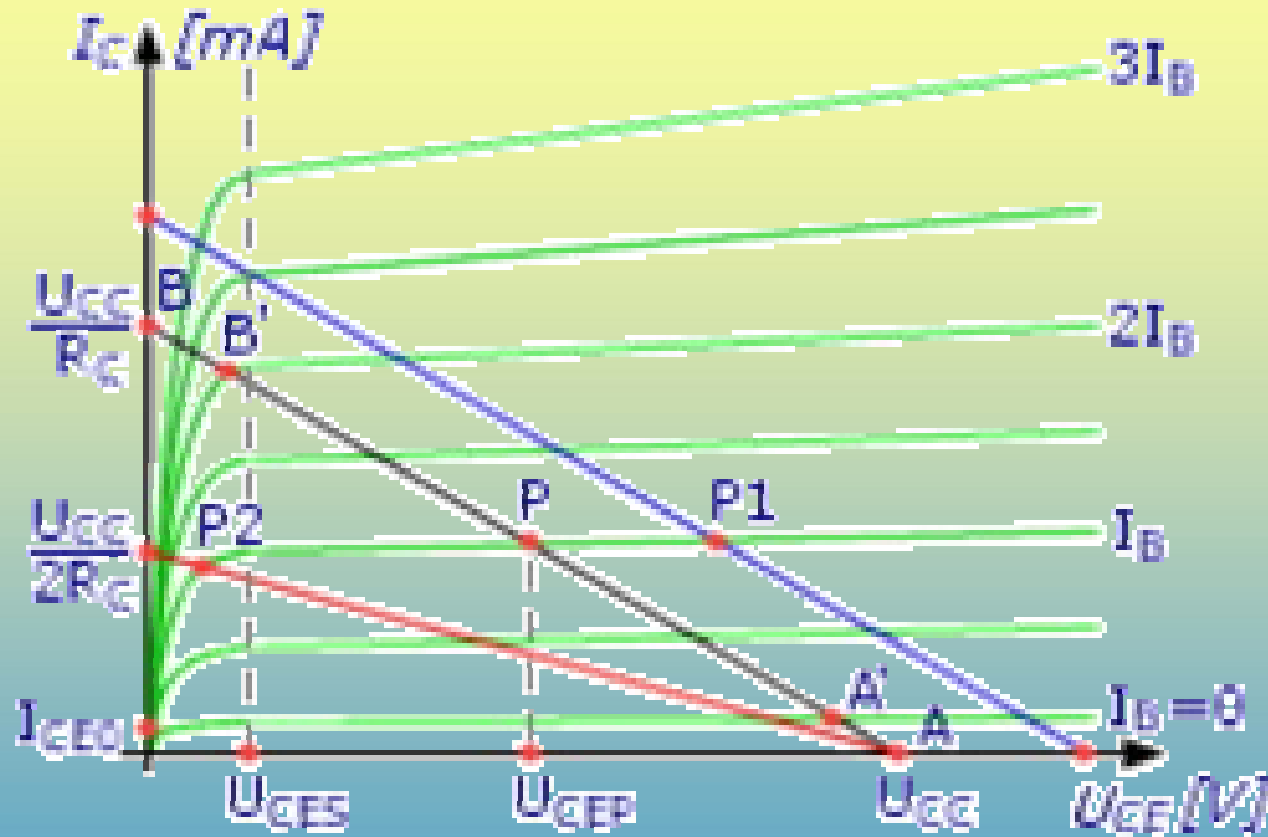
Trzeci filtr stanowi obwód wyjściowy tzn. C_{S2} i rezystory R_C, R_O

częstotliwość graniczna każdego z tych filtrów to:
Gdzie τ = stała czasowa poszczególnych filtrów

$$f_d = \frac{1}{2\pi \cdot \tau}$$

O częstotliwości dolnej wzmacniacza decyduje największa z trzech częstotliwości

Punkt pracy wzmacniacza

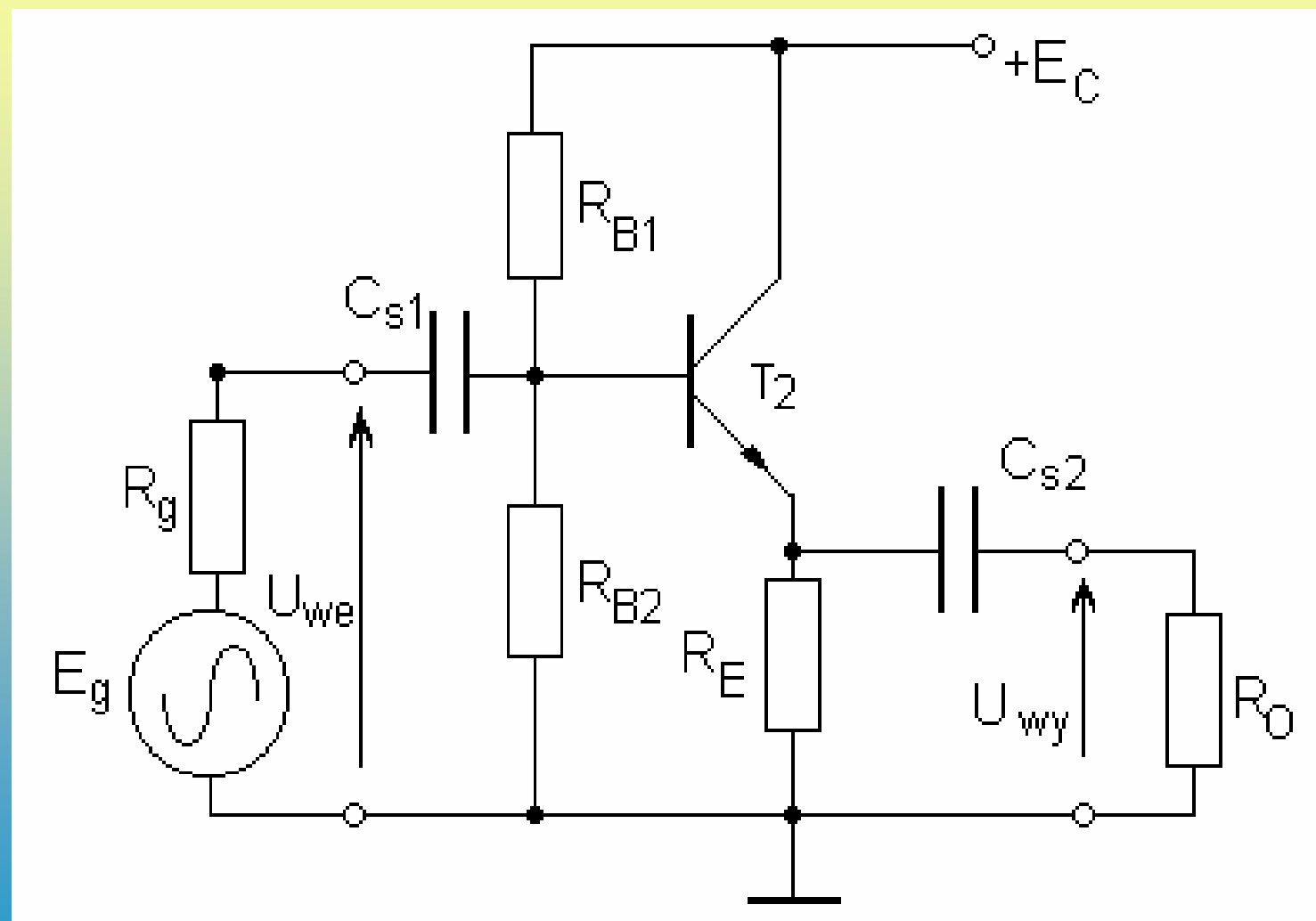


$$U_{CC} = U_{RC} + U_{CE}$$

$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE}$$

Zmiana punktu pracy spowodowana zmianą R_C lub U_{CC}

Wzmacniacz w układzie OC



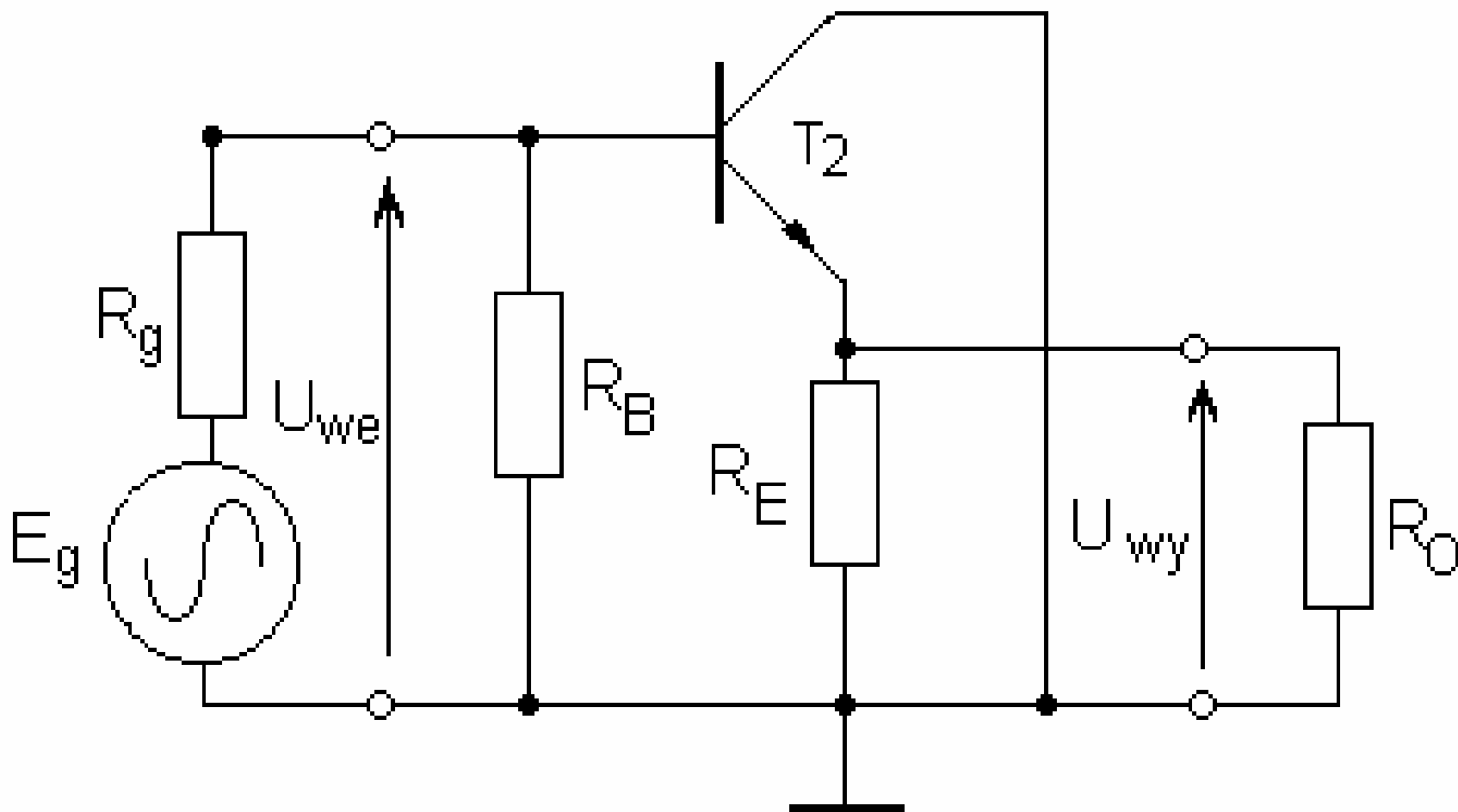
W układzie tym rezystancja kolektora jest zwykle równa zero, a sygnał wyjściowy pobierany jest z emitera.

Napięcie wyjściowe, będące spadkiem napięcia rezystorze R_E jest w całości przekazywane do obwodu wejściowego (rezystor R_E jest elementem wspólnym obwodu wejściowego i wyjściowego).

Rezystor R_E wprowadza do obwodu wejściowego spadek napięcia skierowany przeciwnie do napięcia sterującego.

Spadek napięcia na R_E jest wytworzony przez prąd wyjściowy, czyli prąd emitera. Prąd ten jest h_{21e} razy większy od prądu bazy. Zatem prąd wejściowy płynący pod wpływem wypadkowe napięcia w obwodzie wejściowym ($U_g - U_{RE}$) jest zmniejszony tak, jak gdyby w obwodzie występował rezystor $h_{21e}R_E$.

Schemat zastępczy układu OC



Rezystancja wyjściowa określana jest wzorem:

$$R_{wy} = \frac{h_{11e} + R_g}{1 + h_{21e}}$$

Wzmocnienie napięciowe w tym układzie jest bliskie jedności
(zawsze nieco mniejsze) :

$$k_u = \frac{h_{21e} \cdot R_E}{h_{11e} + h_{21e} \cdot R_E} \approx 1$$

Wzmocnienie prądowe wynosi

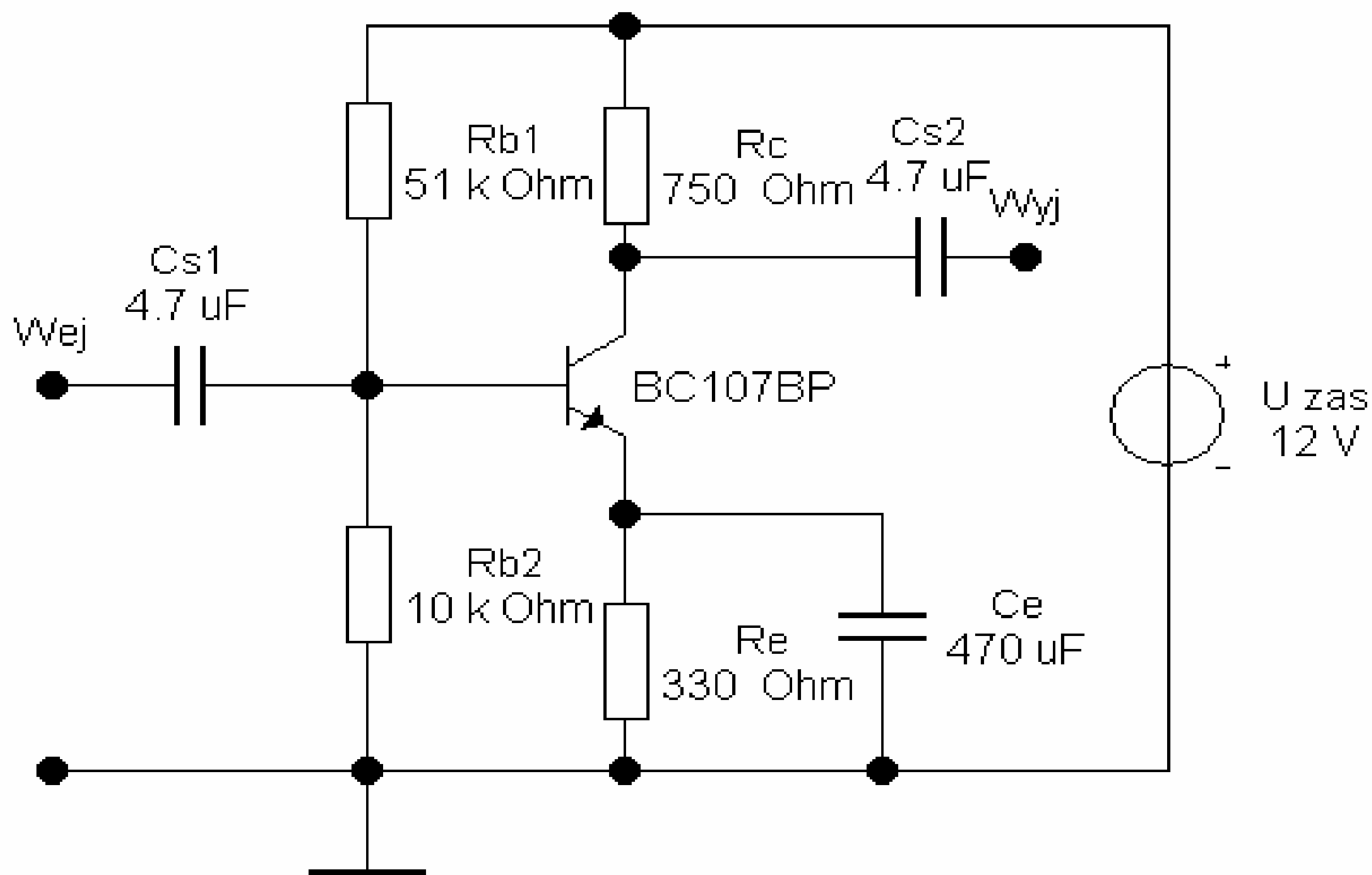
$$k_i = 1 + h_{21e}$$

Napięcie wyjściowe jest w fazie z napięciem wejściowym, a wzmocnienie napięciowe bliskie jedności.

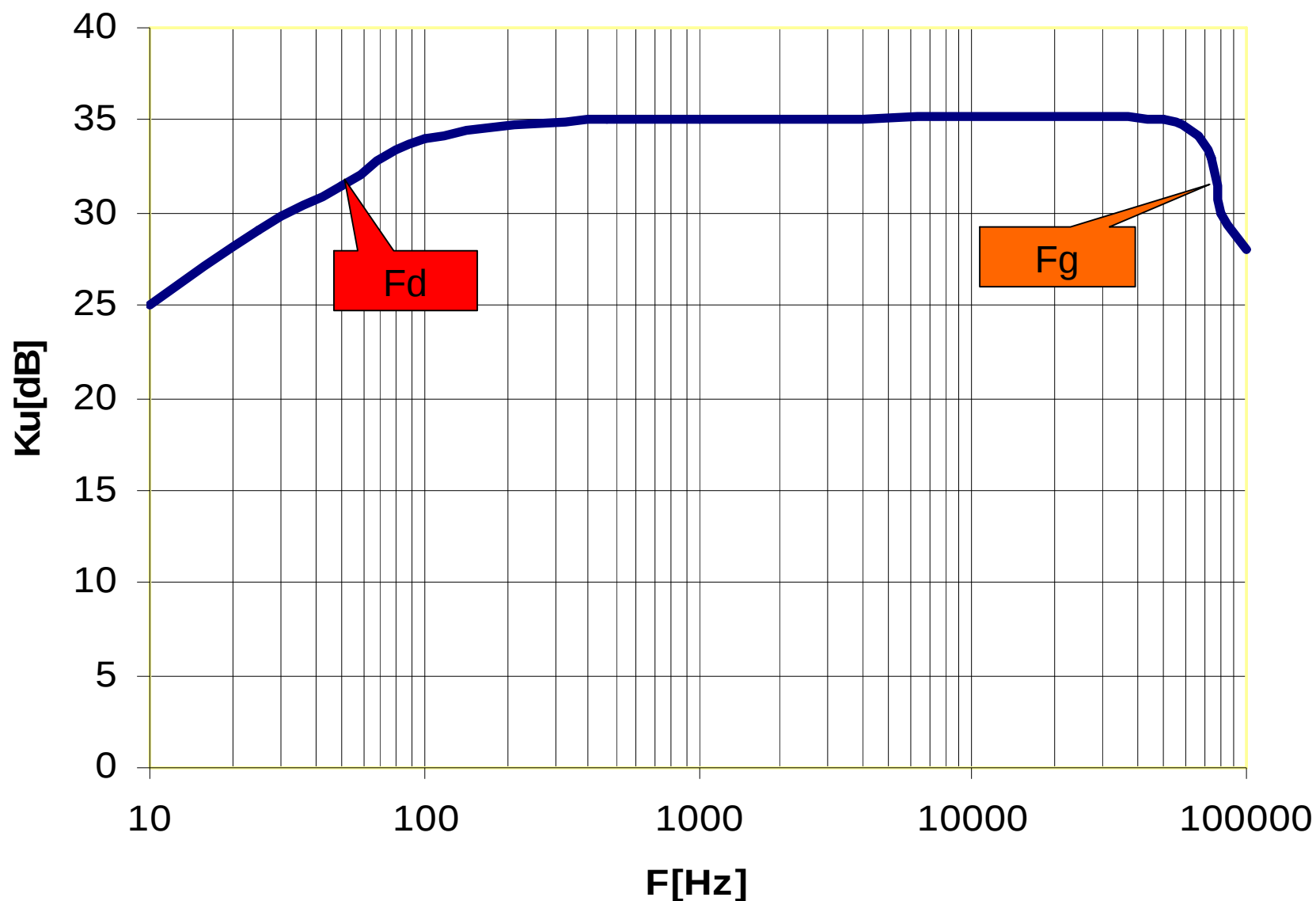
Dlatego układ OC określa się mianem wtórnika napięcia.

W układzie tym także nie występuje efekt Millera, wobec czego częstotliwość graniczna jest większa niż w układzie OE.

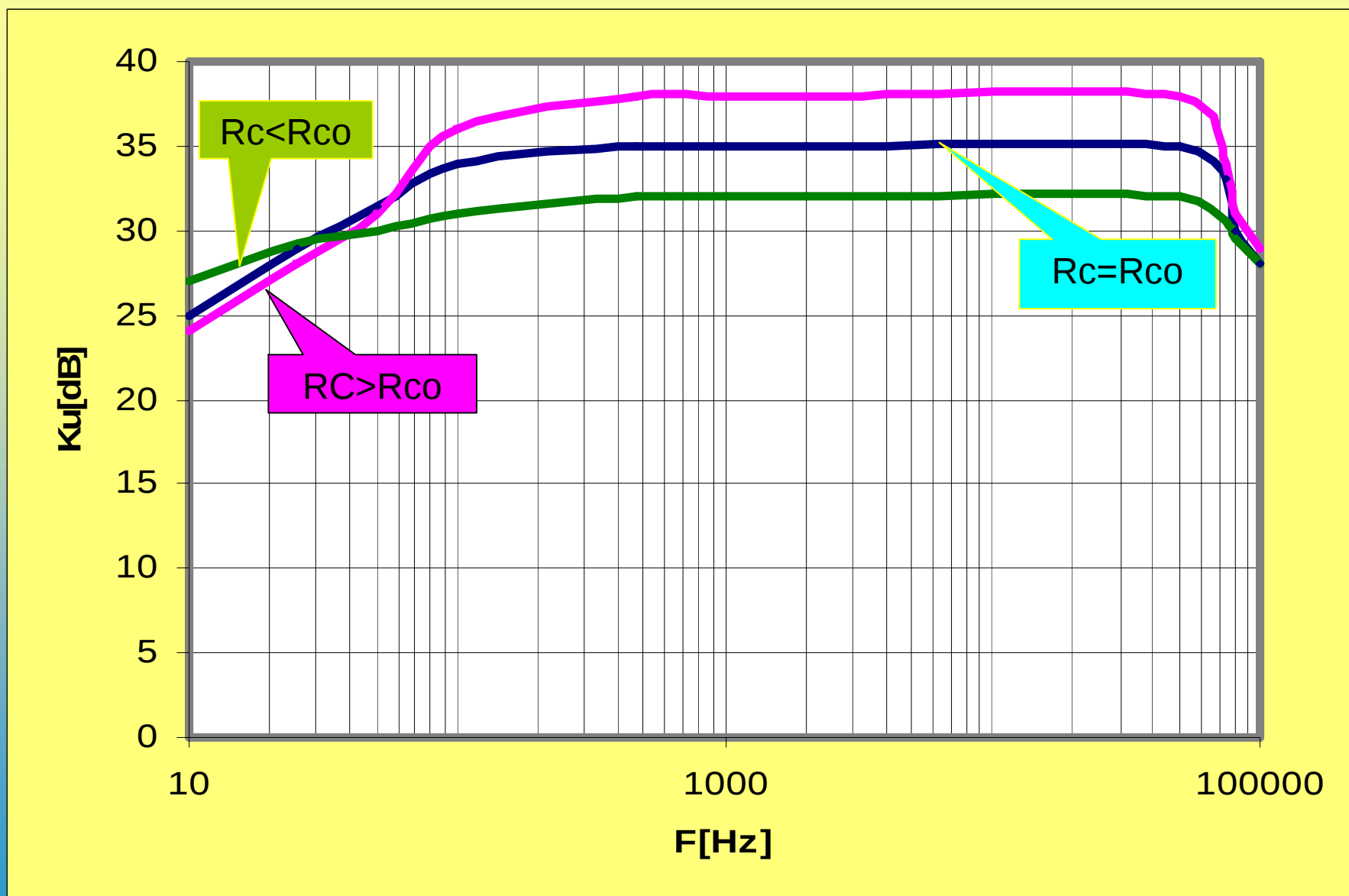
Układ podstawowy badanego wzmacniacza OE



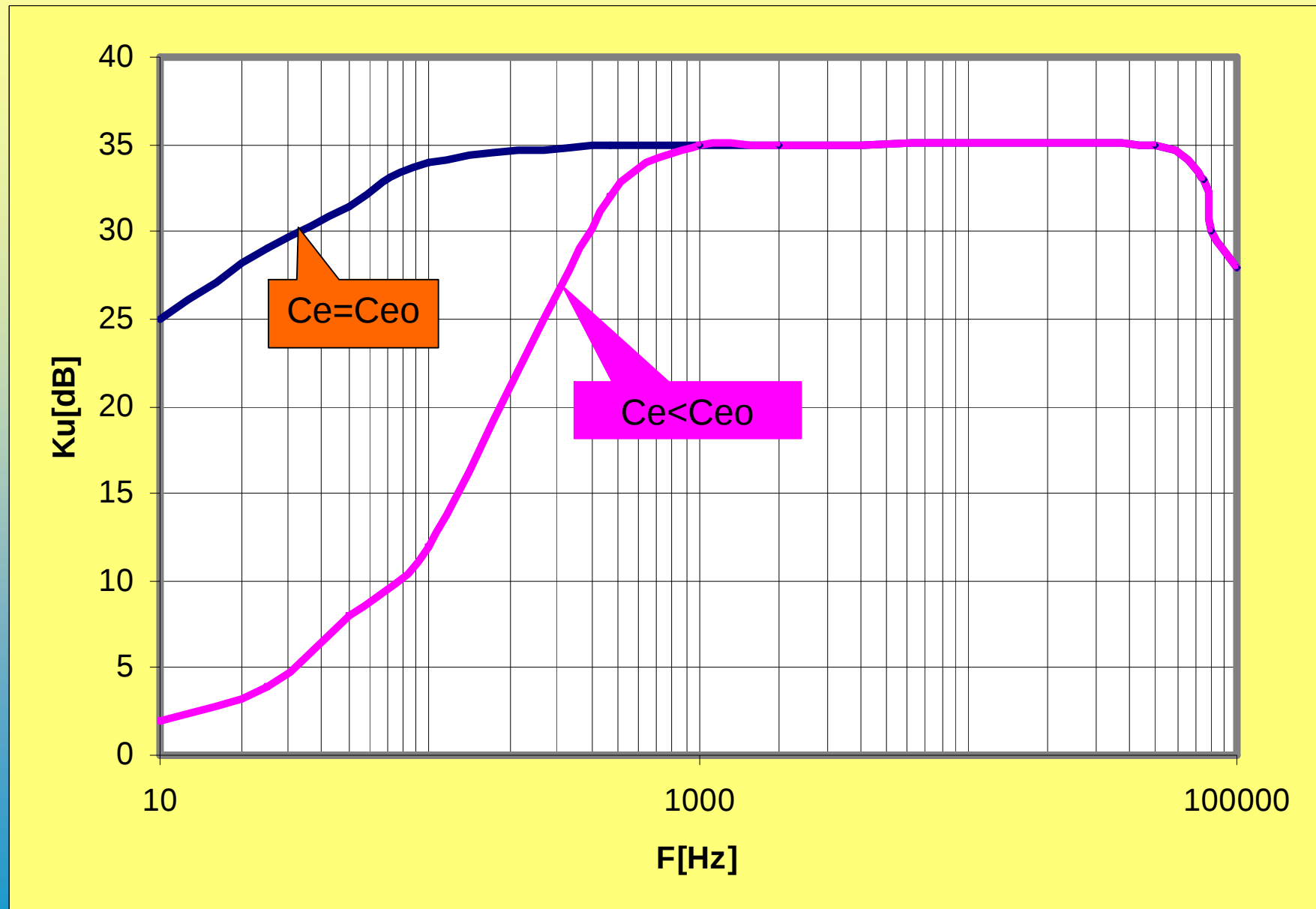
Charakterystyka amplitudowa dla podstawowego układu OE



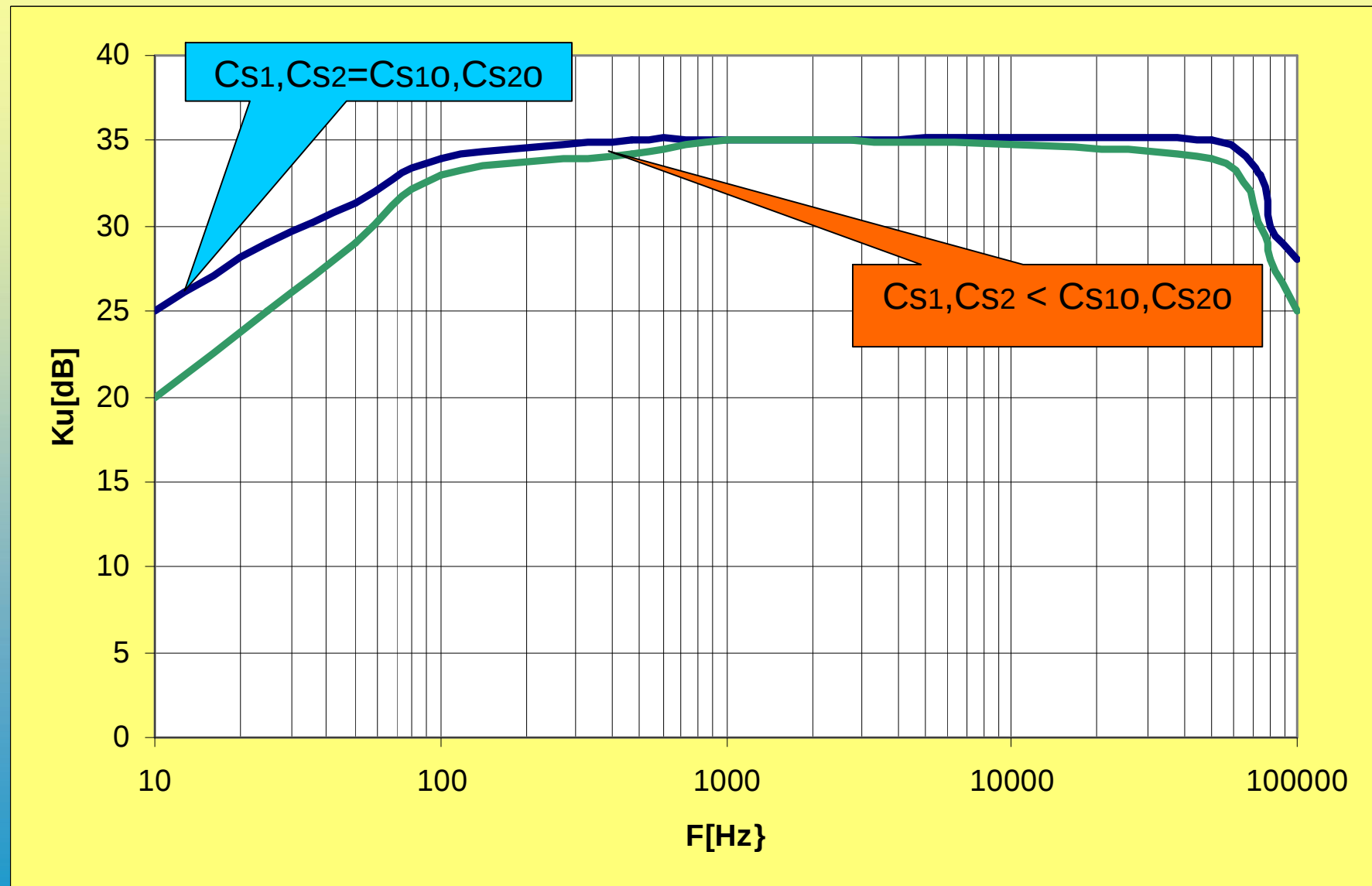
Wpływ R_c na charakterystykę wzmacniacza OE



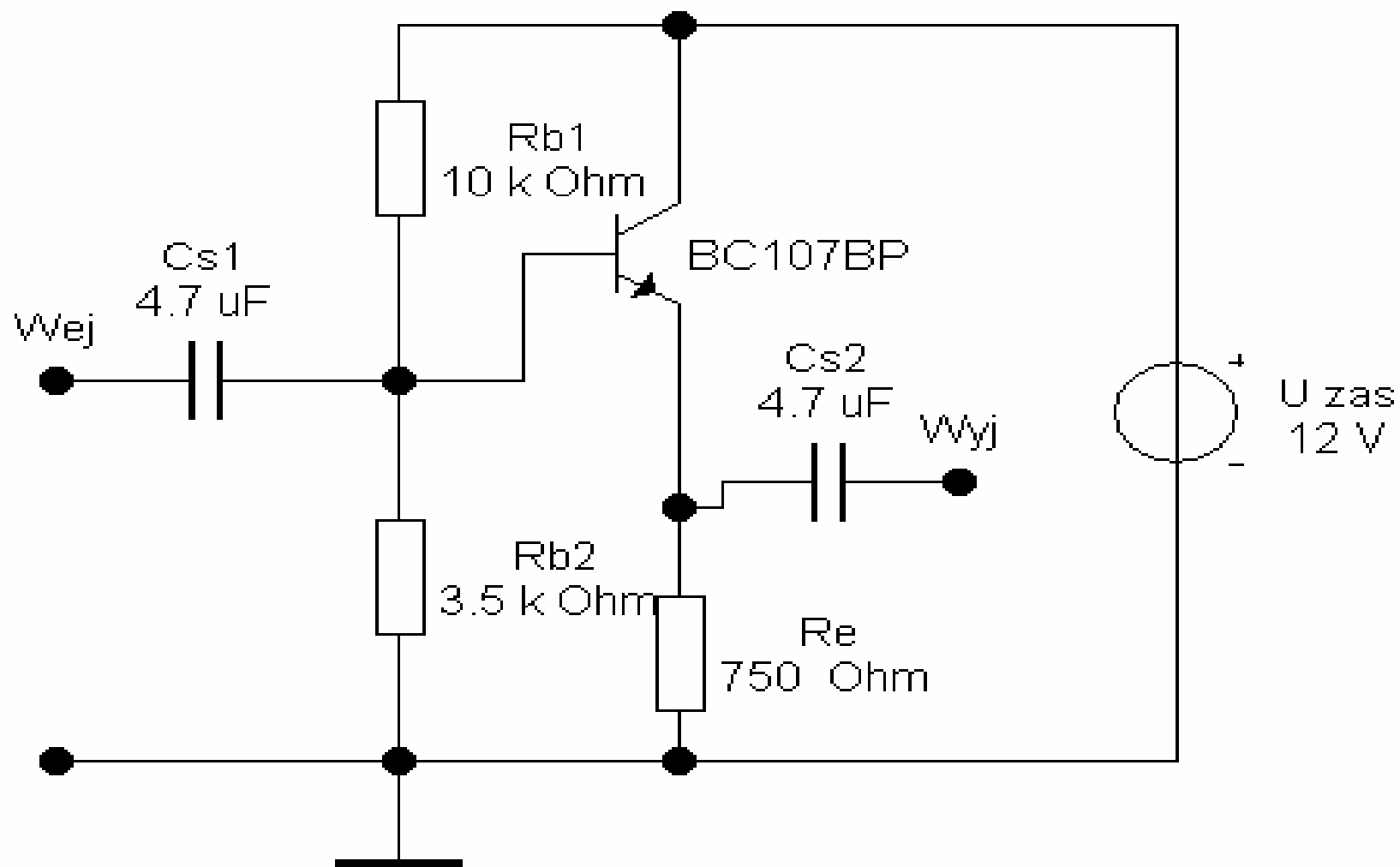
Wpływ C_e na charakterystykę wzmacniacza OE



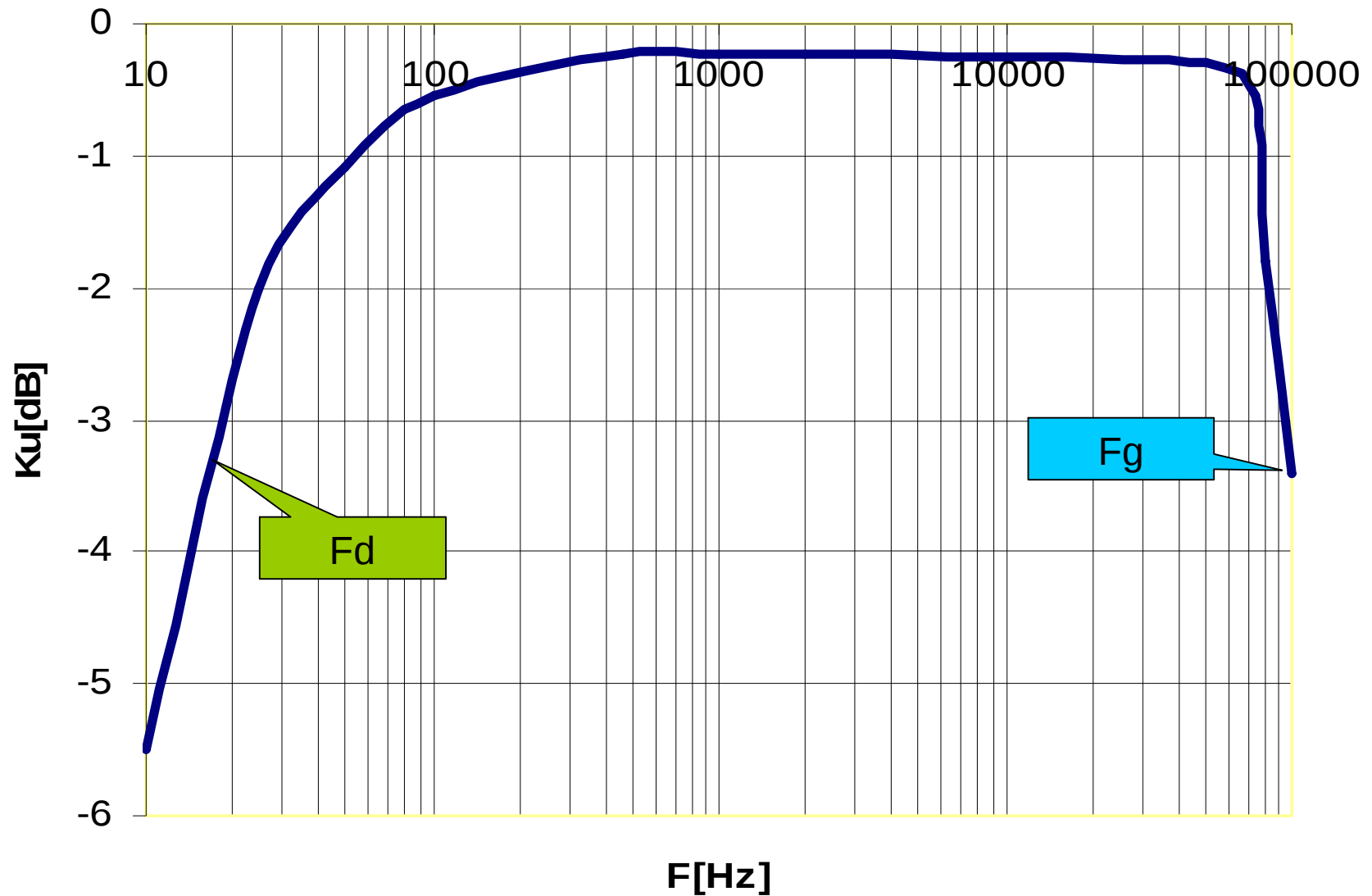
Wpływ Cs_1 i Cs_2 na charakterystykę wzmacniacza OE



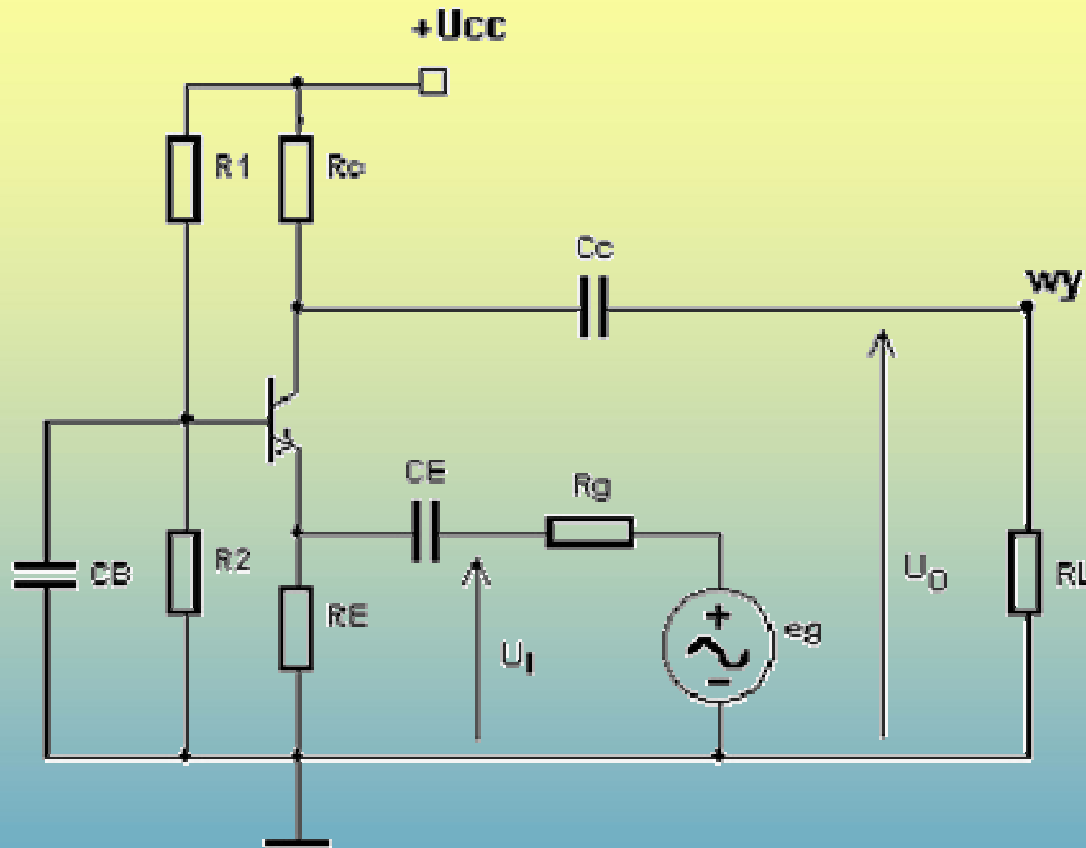
Podstawowy układ OC



Charakterystyka amplitudowa dla układu OC



Podstawowy układ pracy OB



$$\frac{U_T}{I_E} \approx \frac{U_T}{I_C}$$

$$k_i = \alpha \leq 1$$

$$k_u \approx \frac{R_c \cdot I_c}{U_T}$$

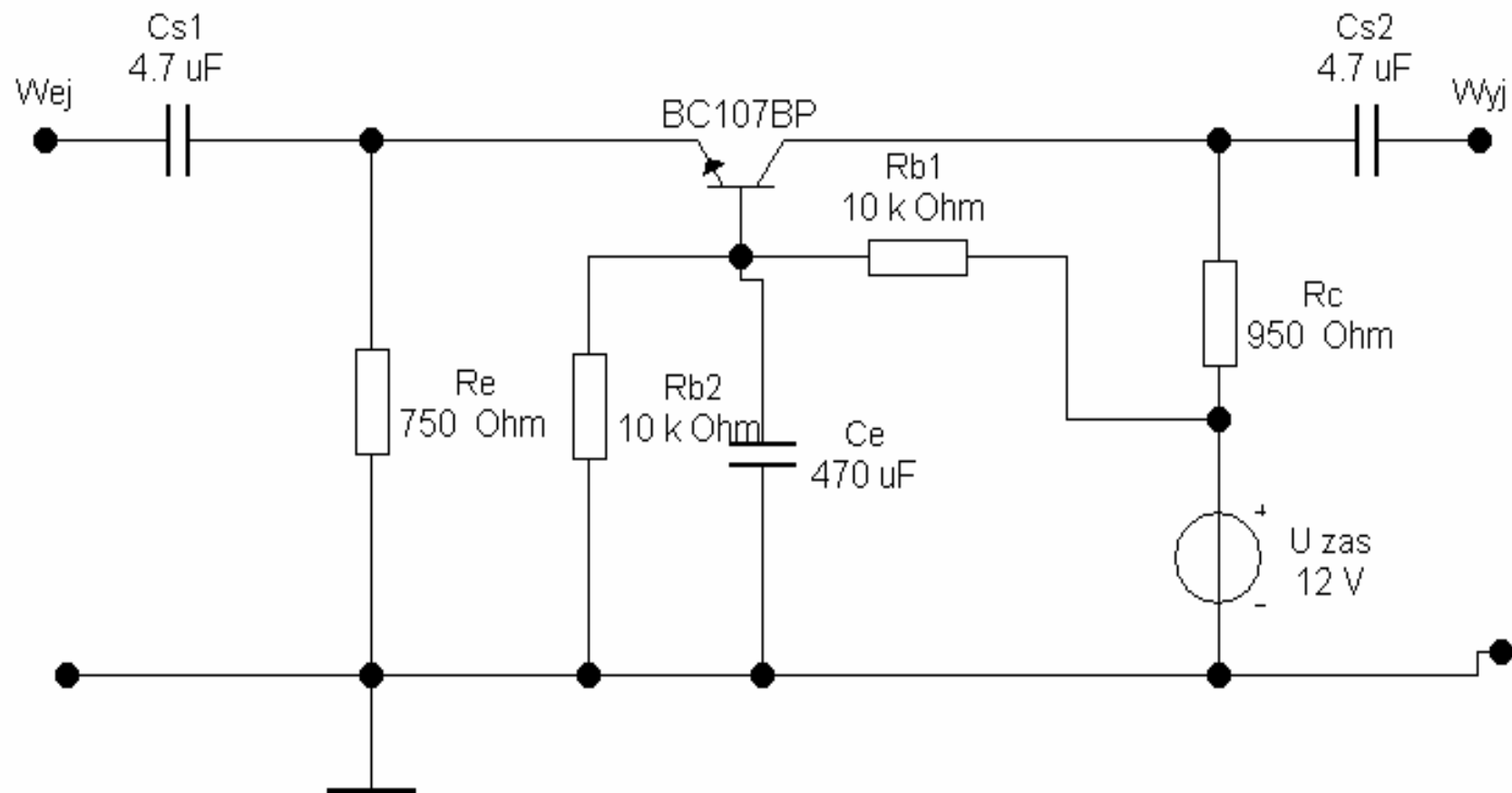
$$R_E \gg R_{IT} \gg R_g$$

$$R_L \gg R_E$$

$$R_i = R_{IT} \approx$$

Wzmocnienie napięciowe k_u	Wzmocnienie prądowe k_i	Wzmocnienie mocy k_p	Rezystancja wejściowa R_i	Rezystancja wyjściowa R_o	Przesunięcie fazy
największe	małe $\alpha \leq 1$	duże	najmniejsza	największa	0°

Praktyczny układ OB



Podsumowanie

	OE	OB	OC
wzmocnienie napięciowe Ku	Duże ok. 60	Duże ok. 60	Małe ≤ 1
wzmocnienie prądowe Ki	Duże ok.100	Małe ≤ 1	Duże ok.100
rezystancja wejściowa Rwej	Średnia kilka kΩ	Mała poniżej 500Ω	duża
rezystancja wyjściowa Rwyj	Średnia kilka kΩ	Duża kilkadziesiąt kΩ	Mała poniżej 500Ω

Definicje częstotliwości granicznych

1. f_{α} – częstotliwość w ukł. OB., przy której wartość współcz. wzmocnienia prąd. α_0 dla prądu stałego maleje do wartości $\frac{\alpha_0}{\sqrt{2}}$
2. f_{β} – częstotliwość w ukł. OE., przy której wartość współcz. wzmocnienia prąd. β_0 dla prądu stałego maleje do wartości $\frac{\beta_0}{\sqrt{2}}$
3. f_1 – częstotliwość, przy której wartość współcz. wzmocnienia prądowego w układzie OE maleje do 1