



Politechnika Wrocławska

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - wprowadzenie

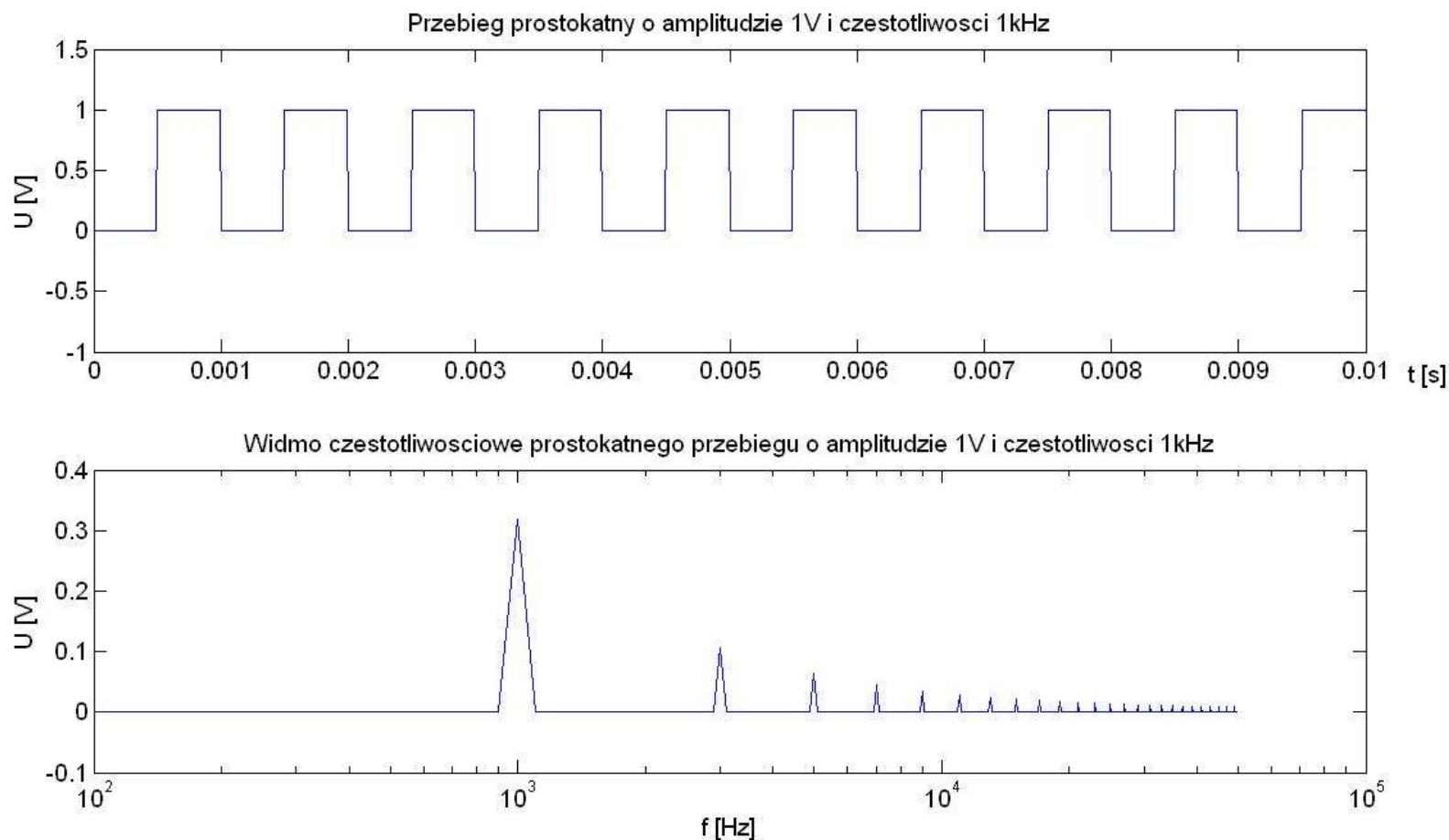
Definicja.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe są to układy służące do wzmacniania sygnałów o szerokim widmie częstotliwości, porównywalnym z polem wzmocnienia użytych do budowy wzmacniacza tranzystorów.

Względna szerokość pasma ($f_g - f_d$) wzmacniacza szerokopasmowego jest duża, rzędu przy najmniej kilku megaherców, a stosunek częstotliwości granicznych: górnej i dolnej równy co najmniej kilku.

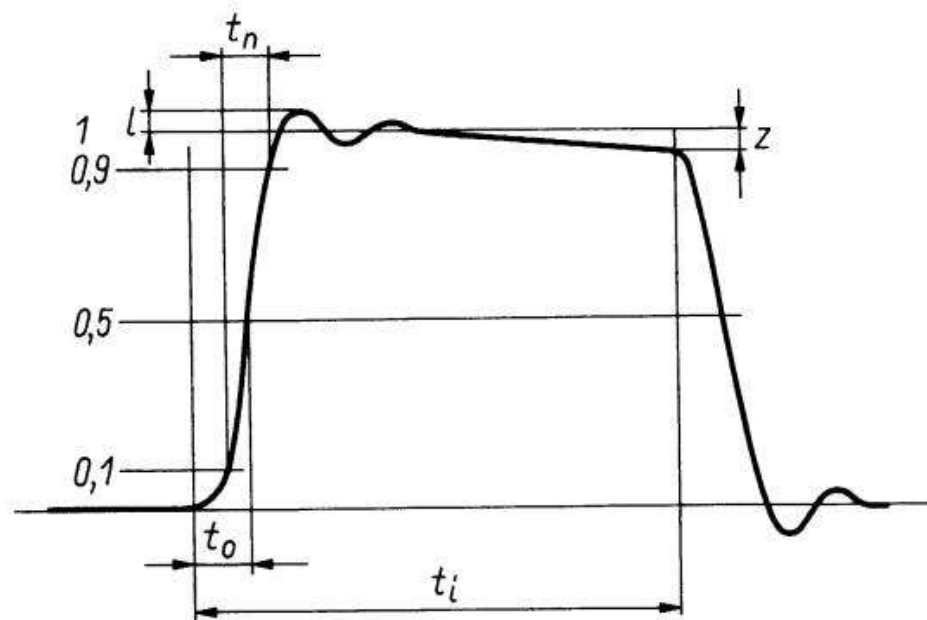
Wzmacniacze impulsowe służą do wzmacniania sygnałów, których kształt znacznie odbiega od sinusoidalnego. Ich parametry określa się głównie w dziedzinie czasu.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - wprowadzenie



Rys.1. Widmo prostokątnego sygnału: $U = 1V$, $f = 1kHz$

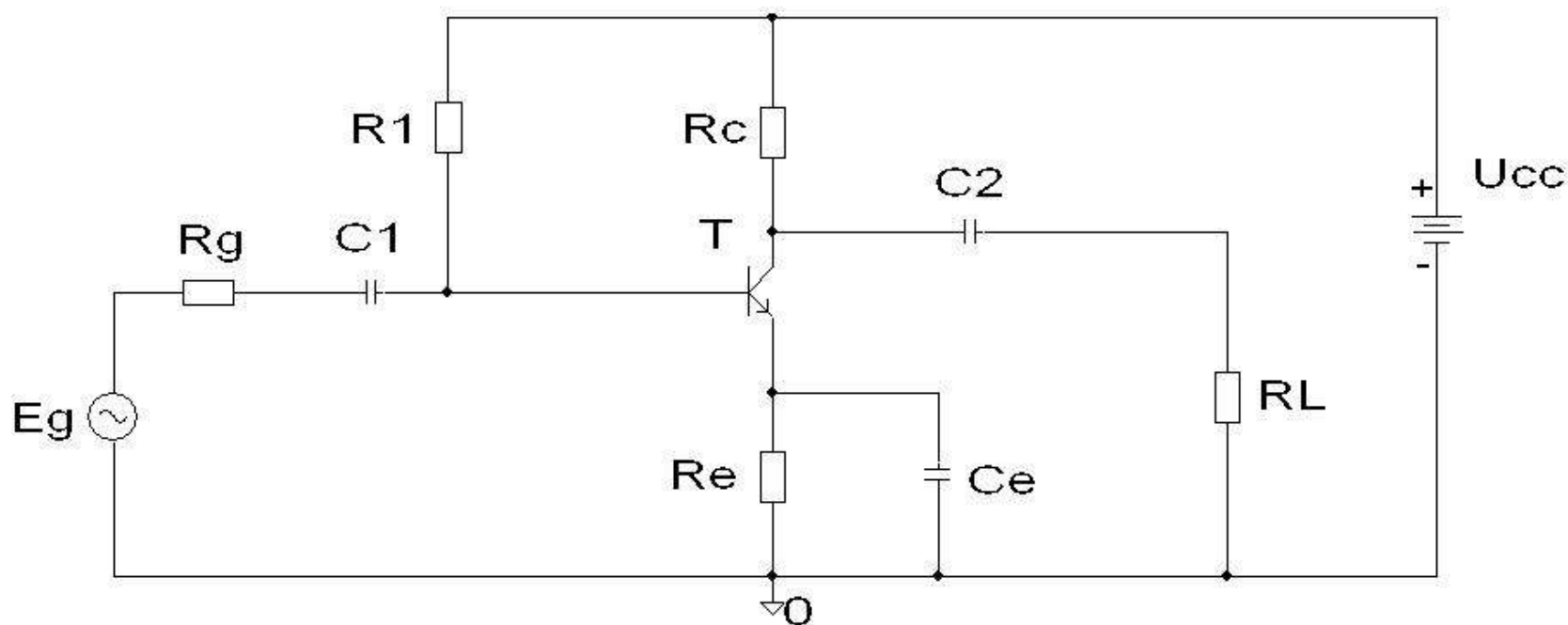
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - wprowadzenie



- t_0 – czas opóźnienia
- t_n – czas narastania
- oscylacje
- z – zwis impulsu
- t_i – czas trwania impulsu

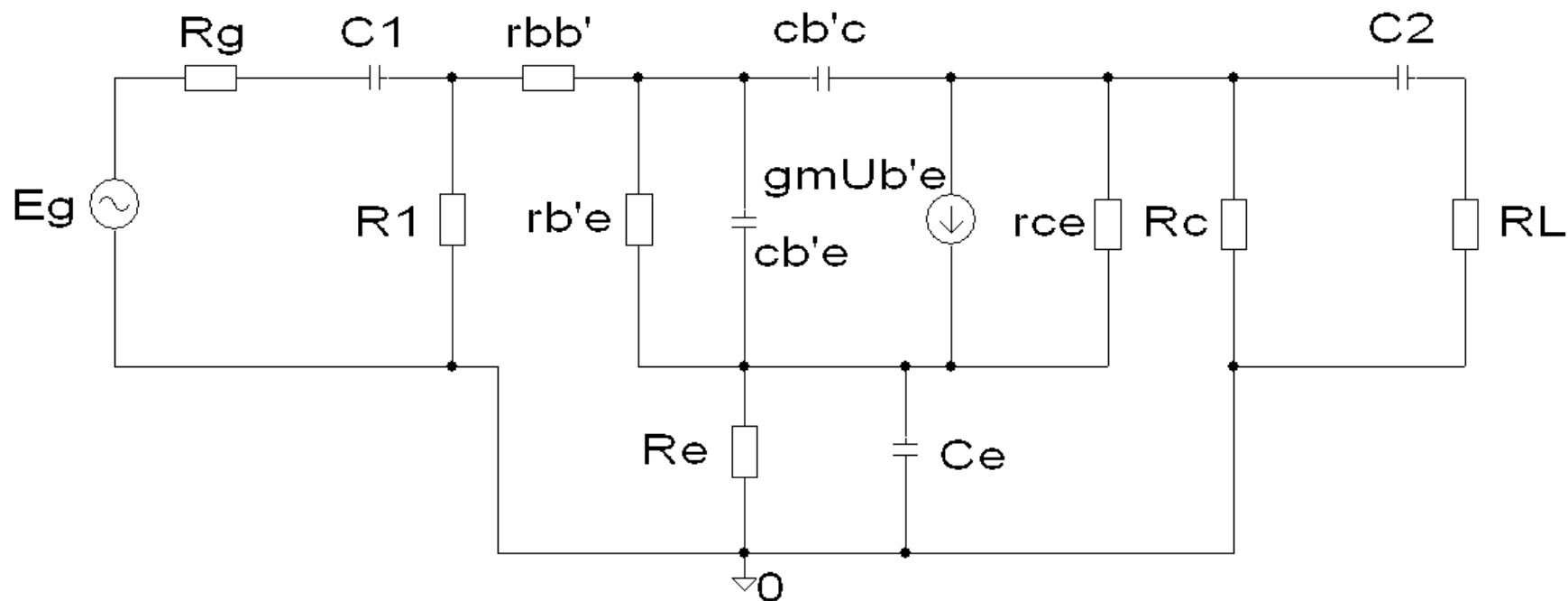
Rys. 2. Typowe zniekształcenia odpowiedzi na impuls prostokątny

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - pasmo wzmacniacza OE



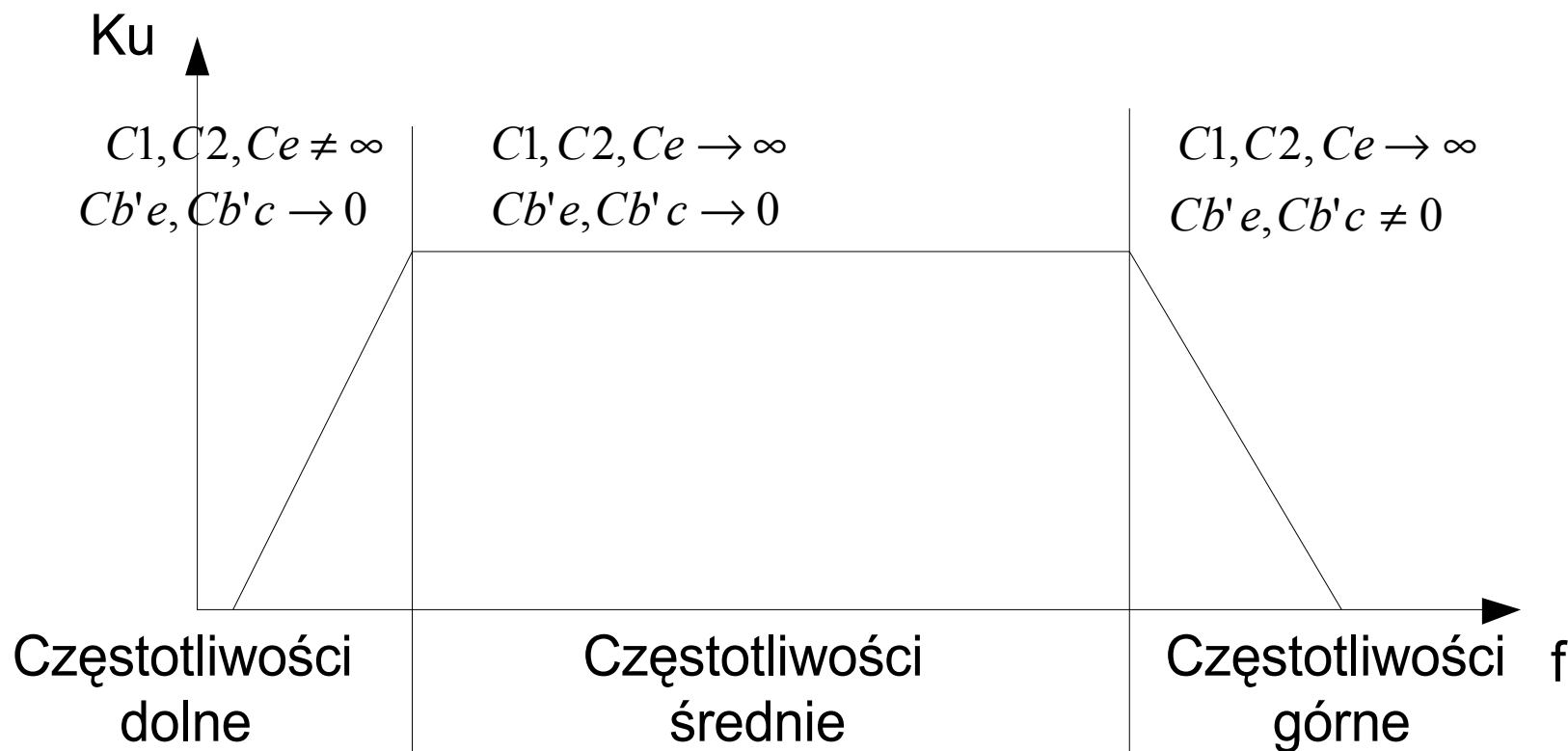
Rys. 3. Schemat tranzystorowego wzmacniacza OE

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - pasmo wzmacniacza OE



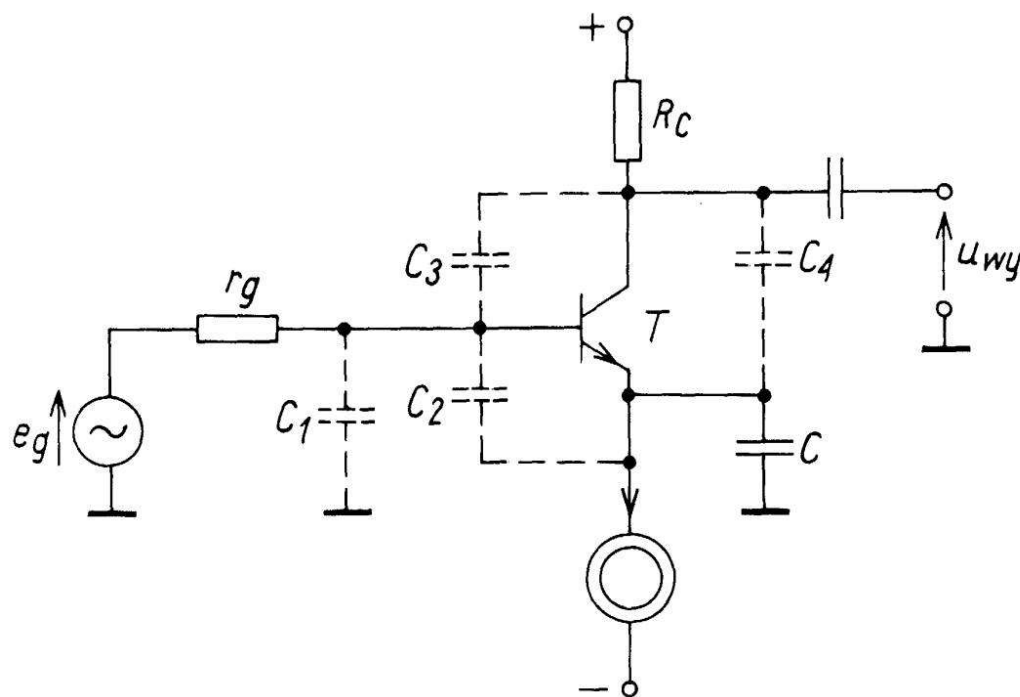
Rys. 4. Schemat wzmacniacza tranzystorowego OE – tranzystor zastąpiony małosygnałowym modelem hybryd π

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - pasmo wzmacniacza OE



Rys. 5. Wpływ pojemności wzmacniacza na pasmo częstotliwościowe

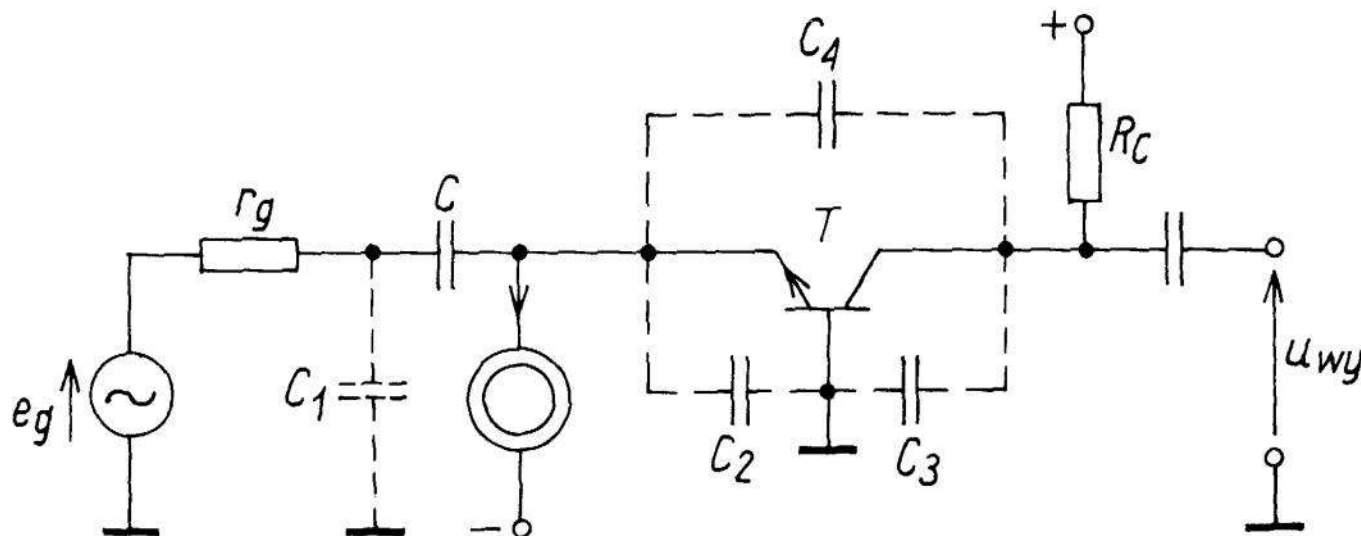
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - pasmo wzmacniacza OE



$$C_{we} = C_1 + C_2 + |K_U| C_3$$

Rys. 6. Wzmacniacz o wspólnym emiterze z zaznaczoną pojemnością montażową

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - pasmo wzmacniacza OB

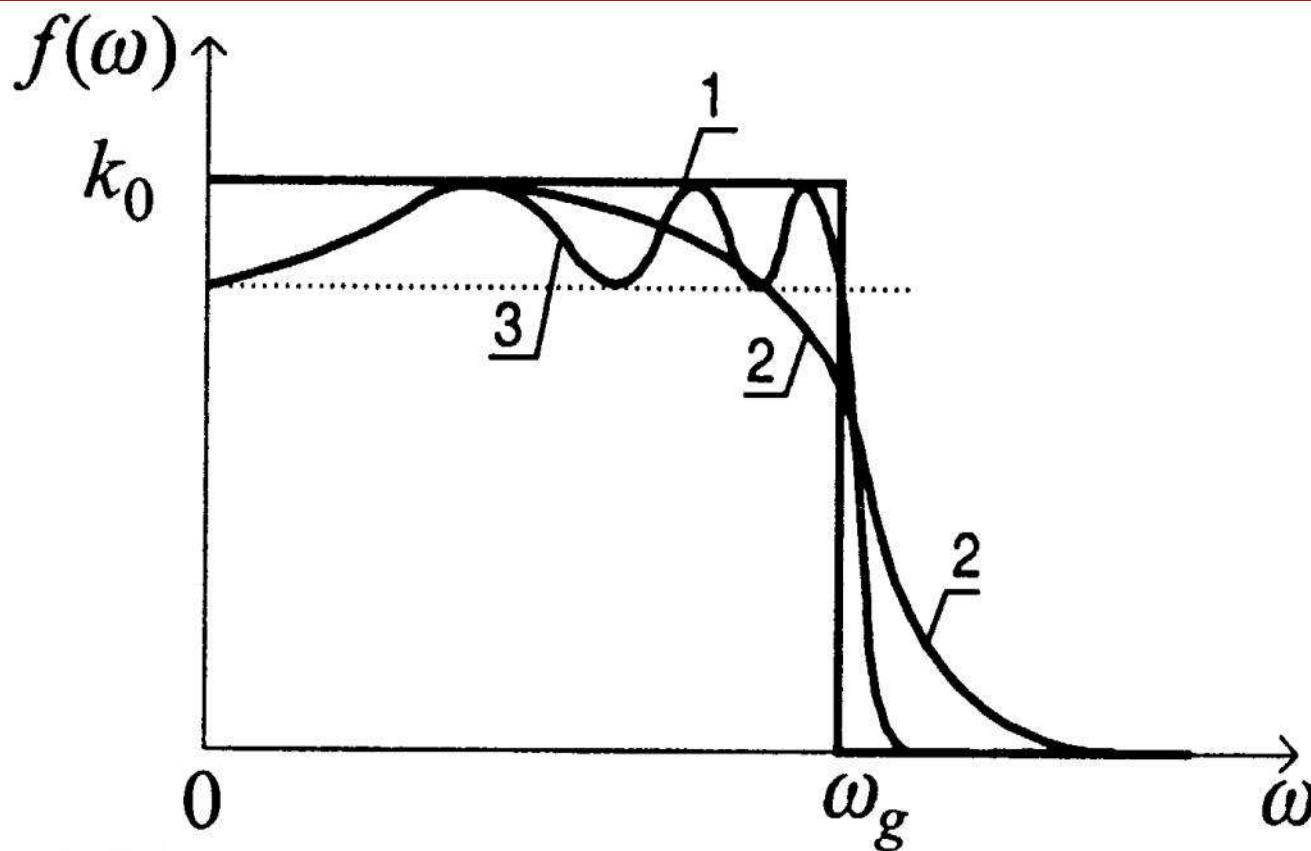


Rys.6. Wzmacniacz tranzystorowy o wspólnej bazie

Wyższa częstotliwość graniczna aniżeli układ OE,
ponieważ:

$$C_{we} = C_1 + C_2 - K_U C_4$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kształt charakterystyk częstotliwościowych



Rys. 7. Charakterystyka układu dolnoprzepustowego: 1 – idealna, 2 – maksymalnie płaska, 3 – równomiernie falista

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kształt charakterystyk częstotliwościowych

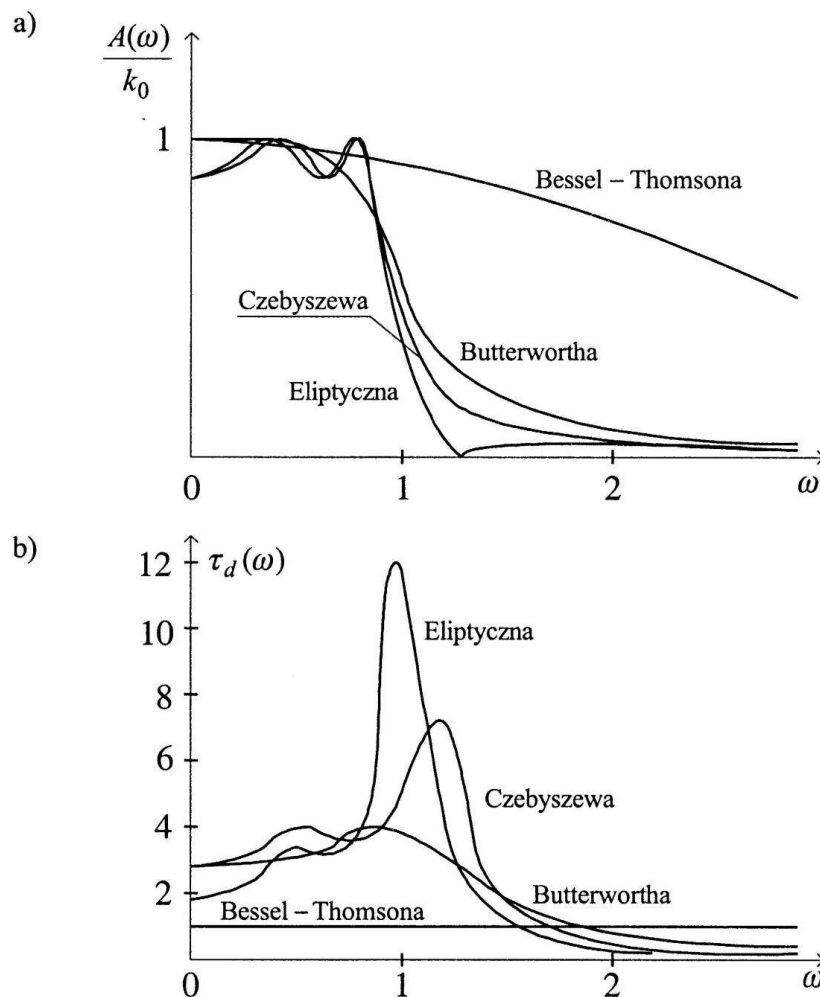
Transmitancja napięciowa wzmacniacza:

$$k(j\omega) = k(s) \Big|_{s=j\omega} = \frac{a_m s^m + \dots + a_1 s + 1}{b_n s^n + \dots + b_1 s + 1} = A(\omega) \exp j\Phi(\omega)$$

Opóźnienie grupowe wzmacniacza:

$$\tau_d(\omega) = \frac{d\Phi(\omega)}{d\omega}$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kształt charakterystyk częstotliwościowych



Rys.8. Znormalizowane charakterystyki: a) amplitudowe, b) opóźnień grupowego, transmitancji dolnoprzepustowej 4 rzędu



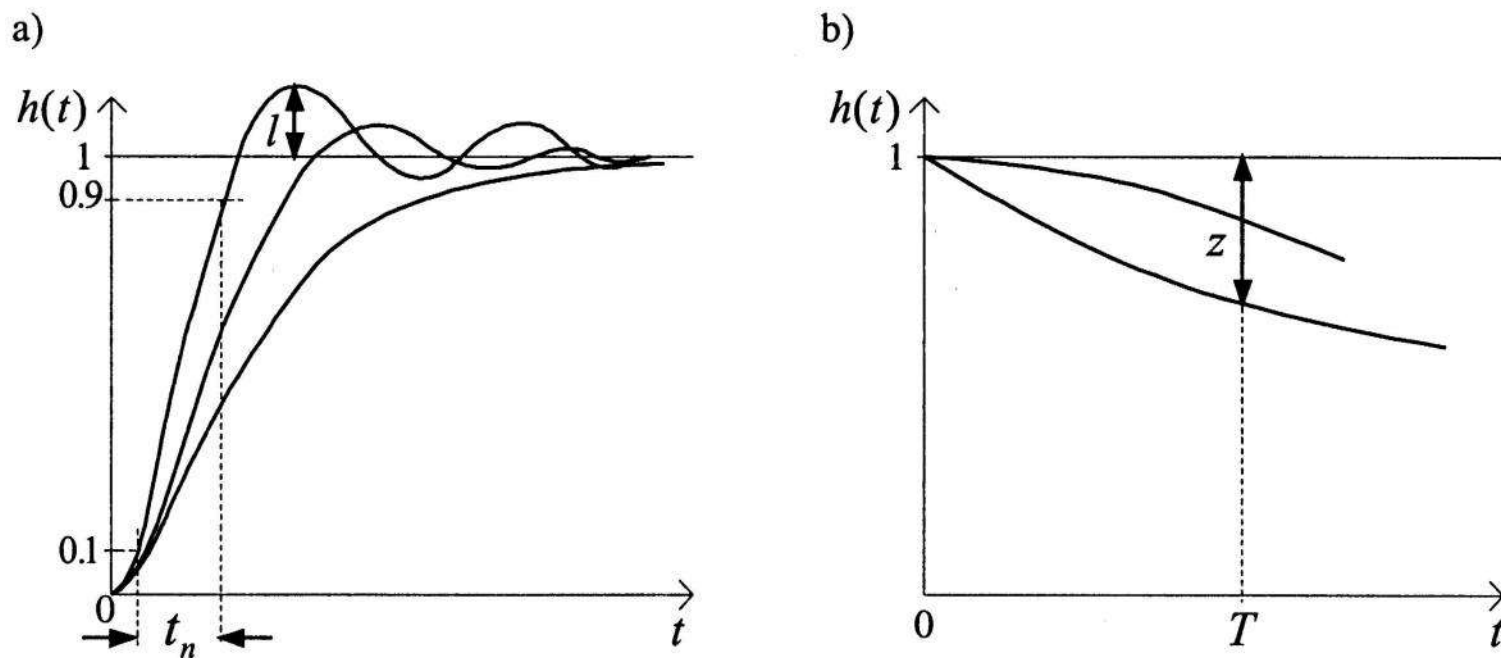
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kształt charakterystyk częstotliwościowych

Im lepiej charakterystyka amplitudowa przypomina charakterystykę idealną (prostokątną) tym bardziej nierównomierna jest charakterystyka opóźnienia grupowego (fazowa).

Transmitancja minimalnofazowa – wszystkie zera wielomianu licznika leżą w lewej półpłaszczyźnie zespolonej s , wtedy występuje minimalne przesunięcie fazowe dla wszystkich częstotliwości.

Maksymalnie płaskie charakterystyki fazowe – transmitancja Bessela – Thompsona – najlepsza do przenoszenia sygnałów impulsowych.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - związek pomiędzy parametrami częstotliwościowymi i czasowymi wzmacniaczy



Rys. 9. Typowe odpowiedzi wzmacniaczy na wymuszenie jednostkowe: a) czoło impulsu, b) grzbiet impulsu



Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - związek pomiędzy parametrami częstotliwościowymi i czasowymi wzmacniaczy

Odpowiedź układu na skok jednostkowy:

$$h(t) = L^{-1} \frac{k(s)}{s}$$

gdzie L^{-1} jest odwrotnym przekształceniem Laplace'a.

W zakresie wielkich częstotliwości (czoło impulsu):

- iloczyn czasu narastania i 3 dB częstotliwości granicznej jest stały:

$$t_n f_g = 0.35$$

- całkowity czas narastania impulsu wzmacniacza wielostopniowego wynosi:

$$t_m = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2}$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - związek pomiędzy parametrami częstotliwościowymi i czasowymi wzmacniaczy

- czas opóźnienia wzmacniacza wielostopniowego:

$$\tau_d = \tau_{d1} + \tau_{d2} + \dots + \tau_{dn}$$

W zakresie małych częstotliwości (grzbiet impulsu):

- we wzmacniaczu wielostopniowym zwis impulsu (dla małych z_i) wynosi:

$$z_m = z_1 + z_2 + \dots + z_n$$

- maksymalna płaskość początkowego grzbietu impulsu odpowiada charakterystyce minimalnofazowej dla m.cz.

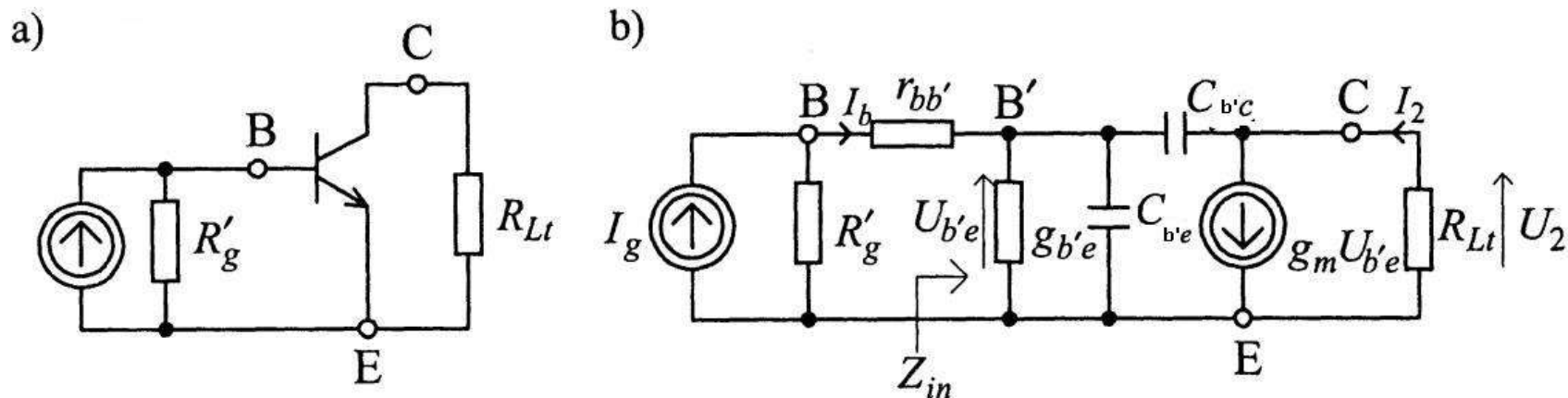


Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - związek pomiędzy parametrami częstotliwościowymi i czasowymi wzmacniaczy

Związek pomiędzy charakterystykami częstotliwościowymi i parametrami czasowymi:

- charakterystyka liniowej fazy - odpowiedź impulsowa bliska monotonicznej
- maksymalnie płaska charakterystyka amplitudowa – odpowiedź impulsowa o niewielkich oscylacjach
- falista charakterystyka amplitudowa – odpowiedź impulsowa o znacznych oscylacjach

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys.10. Tranzystorowy wzmacniacz OE: a) schemat zmiennoprądowy, b) tranzystor zastąpiony modelem małosygnałowym

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy

Górna częstotliwość graniczna wzmacniacza wynosi:

$$f_g = \frac{f_\beta}{1 + \omega_T C_{b'c} R_{Lt}} \left[1 + \frac{1}{g_{b'e} (r_{bb'} + R'_g)} \right]$$

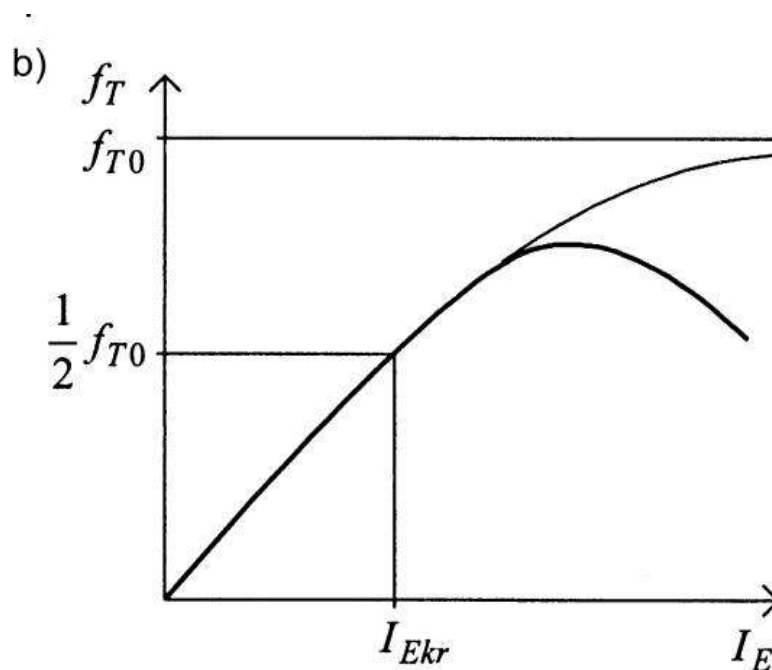
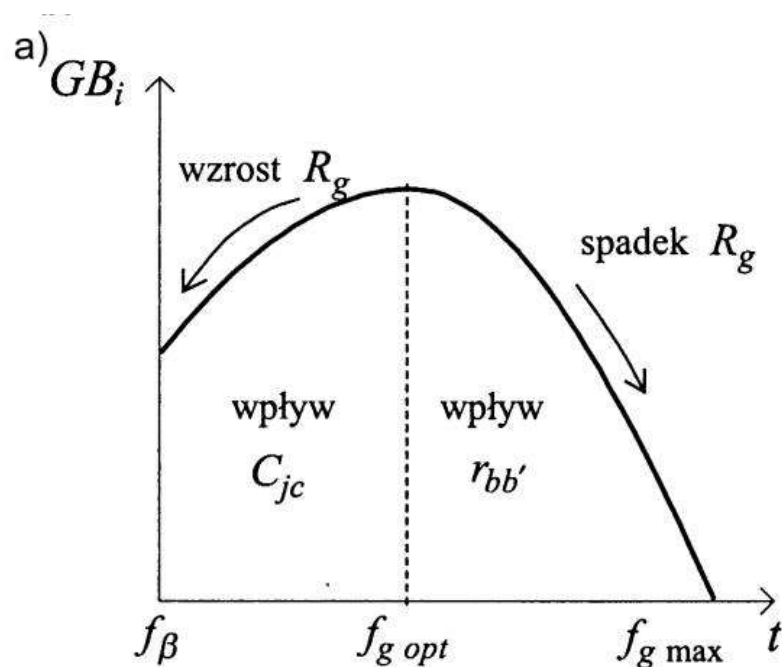
gdzie f_β jest częstotliwością graniczną w konfiguracji OB.
Pole wzmocnienia dane jest zależnością:

$$GB_i = f_g |k_{is0}| \quad GB_{i\max} = f_T \frac{1}{\left(1 + \sqrt{r_{bb'} \omega_T C_{b'c}} \right)}$$

Pole wzmocnienia tranzystora zależy od prądu emitera:

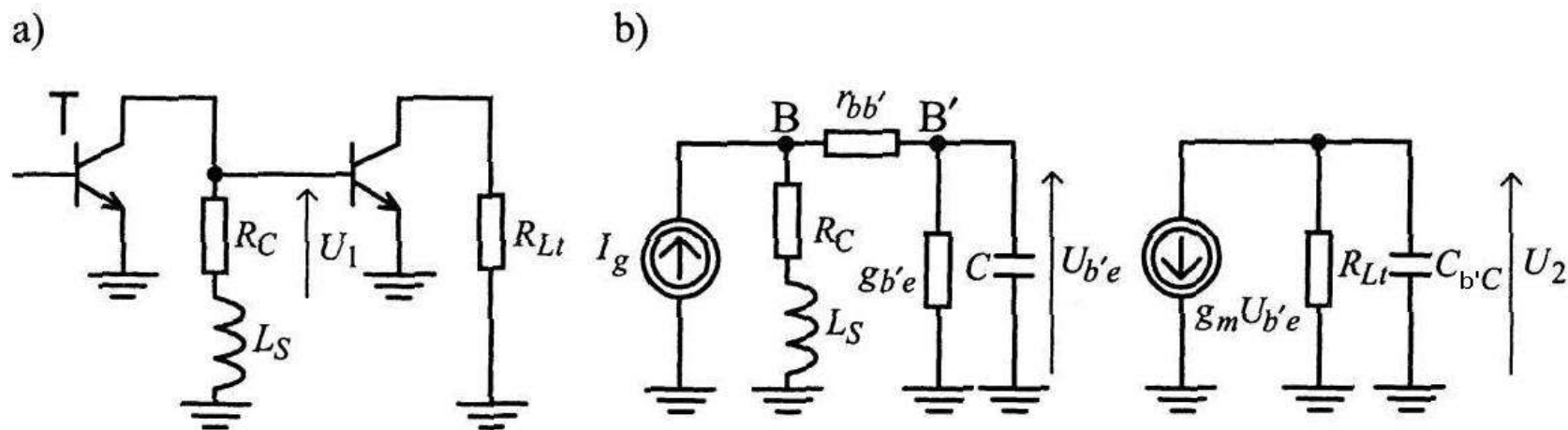
$$f_T = \frac{f_{T0}}{1 + \frac{I_{Ekr}}{I_E}}$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys.11 . Zależność pól wzmocnienia: a) wzmacniacza od częstotliwości granicznej, b) tranzystora od prądu emitera

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 12. Wzmacniacz z szeregową korekcją indukcyjną: a) schemat zmiennoprądowy, b) schemat małosygnałowy

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy

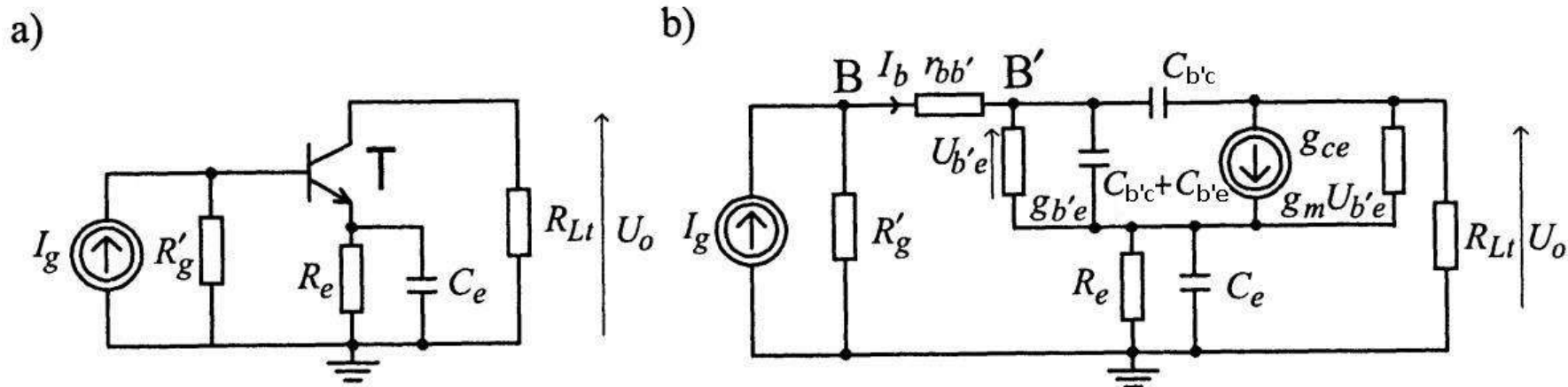
Impedancja obwodu kolektora pierwszego tranzystora wynosi:

$$|Z_C| = R_C + \omega L_S$$

Mechanizm poszerzenia pasma wzmacniacza:

$$\omega \uparrow \rightarrow |Z_C| \uparrow \rightarrow (I_g = I_{b2}) \uparrow \rightarrow K_I \uparrow$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 13. Wzmacniacz ze sprzężeniem emiterowym: a) schemat zmiennoprądowy, b) schemat małosygnałowy

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy

Pojemność C_e dobiera się równą kilku do kilkudziesięciu pF.

Impedancja obwodu emitera:

$$|Z_E| = R_e \left\| \frac{1}{\omega C_e} \right\|$$

Mechanizm poszerzenia pasma:

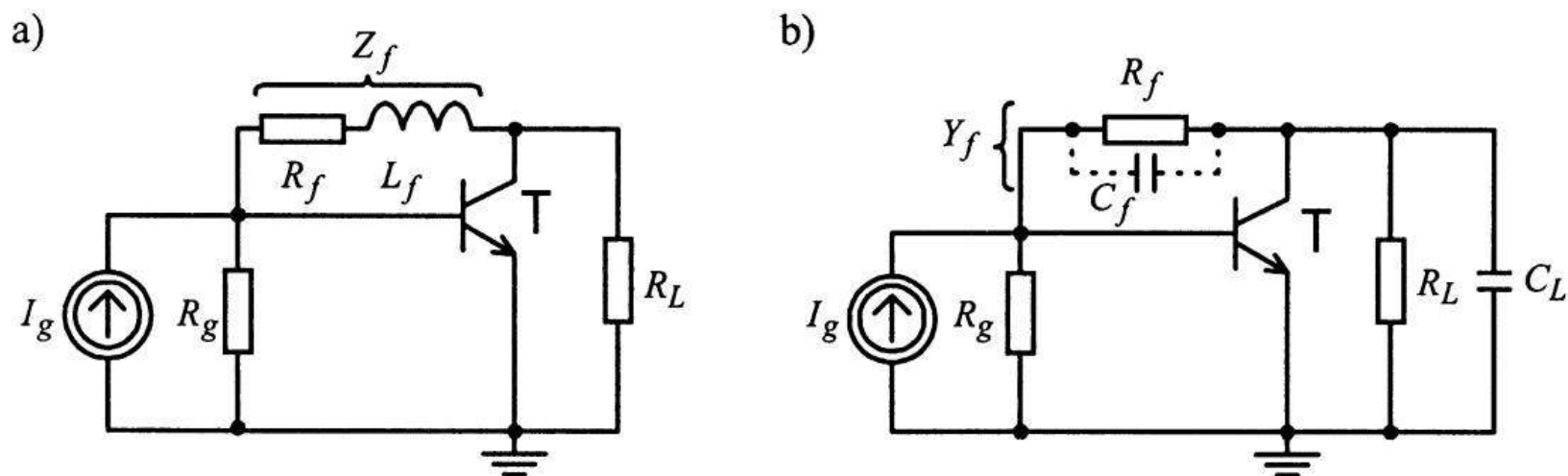
- dla zakresu małych częstotliwości:

$$|Z_E| \approx R_e$$

- dla zakresu wielkich częstotliwości:

$$|Z_E| \approx \frac{1}{\omega C_e}$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 14. Wzmacniacz ze sprzężeniem kolektorowym: a) kompensacja indukcyjnością w obwodzie sprzężenia, b) kompensacja pojemnościową impedancji obciążenia o charakterze pojemnościowym

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy

Wzmocnienie wzmacniaczy: $K_{isf} = \frac{K_{is}}{1 - \beta_{ii} K_{is}}$

Dla kompensacji indukcyjnej:

$$\beta_{ii} = \frac{R_L}{R_f + \omega L_f}$$

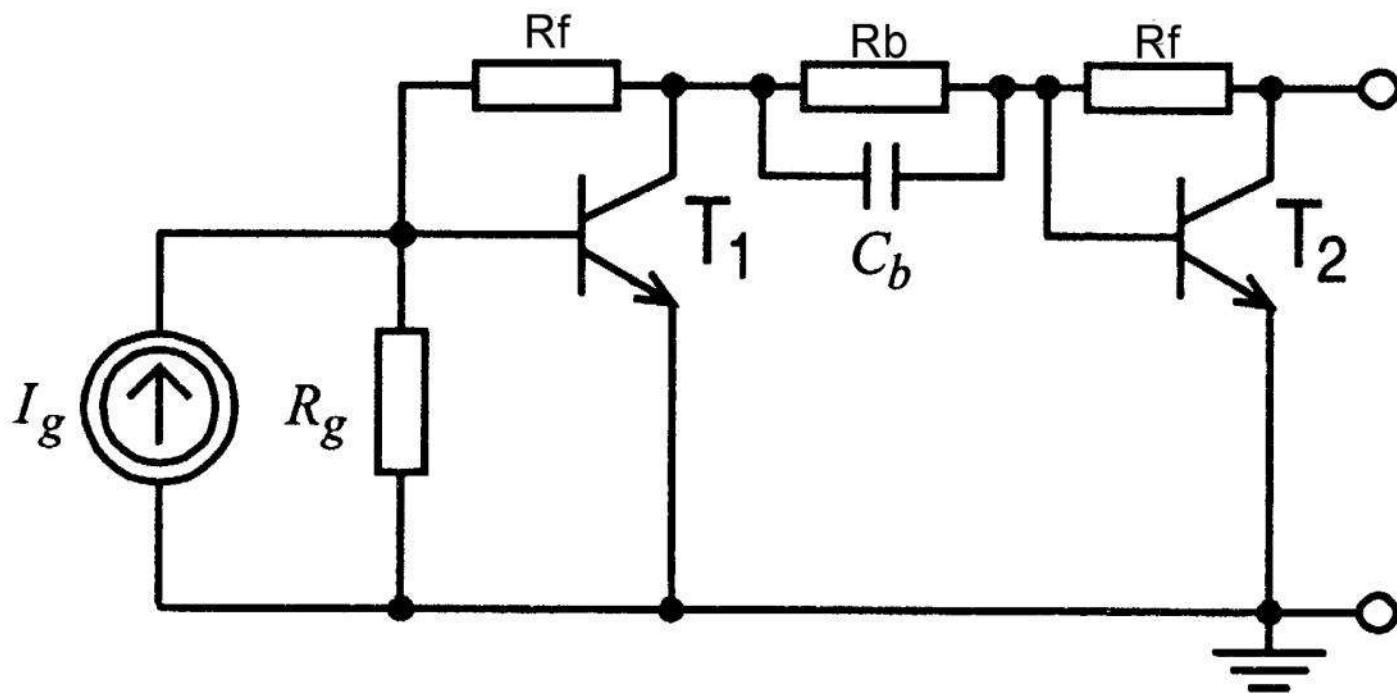
Dla kompensacji pojemnościowej:

$$|Z_L| = R_L \left\| \frac{1}{\omega C_L} \right\| \quad |Z_f| = R_f \left\| \frac{1}{\omega C_f} \right\| \quad \beta_{ii} = \frac{|Z_L|}{|Z_f|}$$

Mechanizm działania kompensacji:

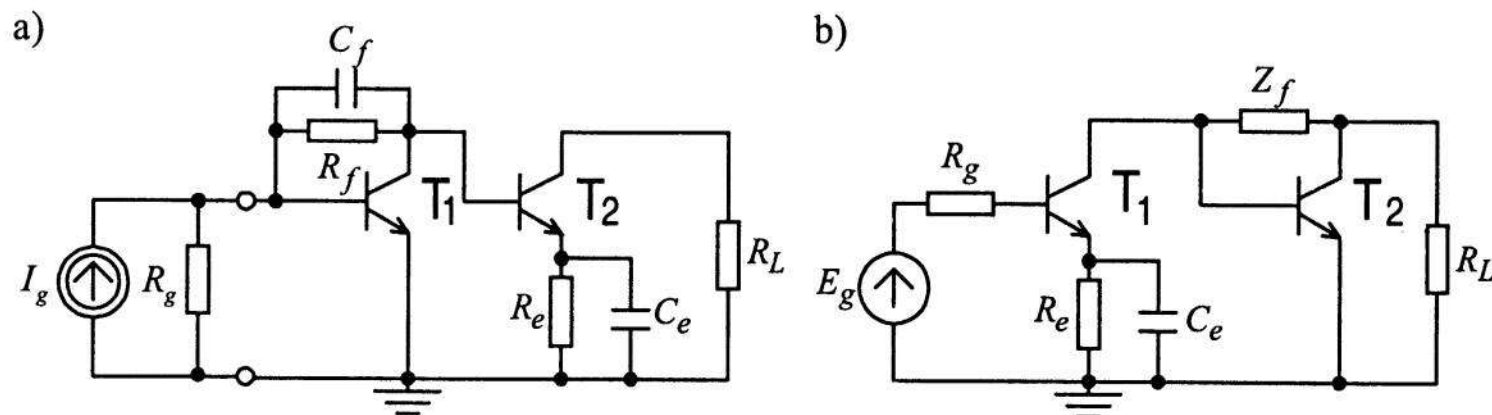
$$\omega \uparrow \rightarrow |Z_L| \downarrow \rightarrow |Z_f| \downarrow \rightarrow \beta_{ii} = \text{const} \rightarrow K_{isf} = \text{const}$$

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 15. Wzmacniacz ze sprzężeniem kolektorowym i korekcją szeregową w obwodzie sprzęgającym stopnie

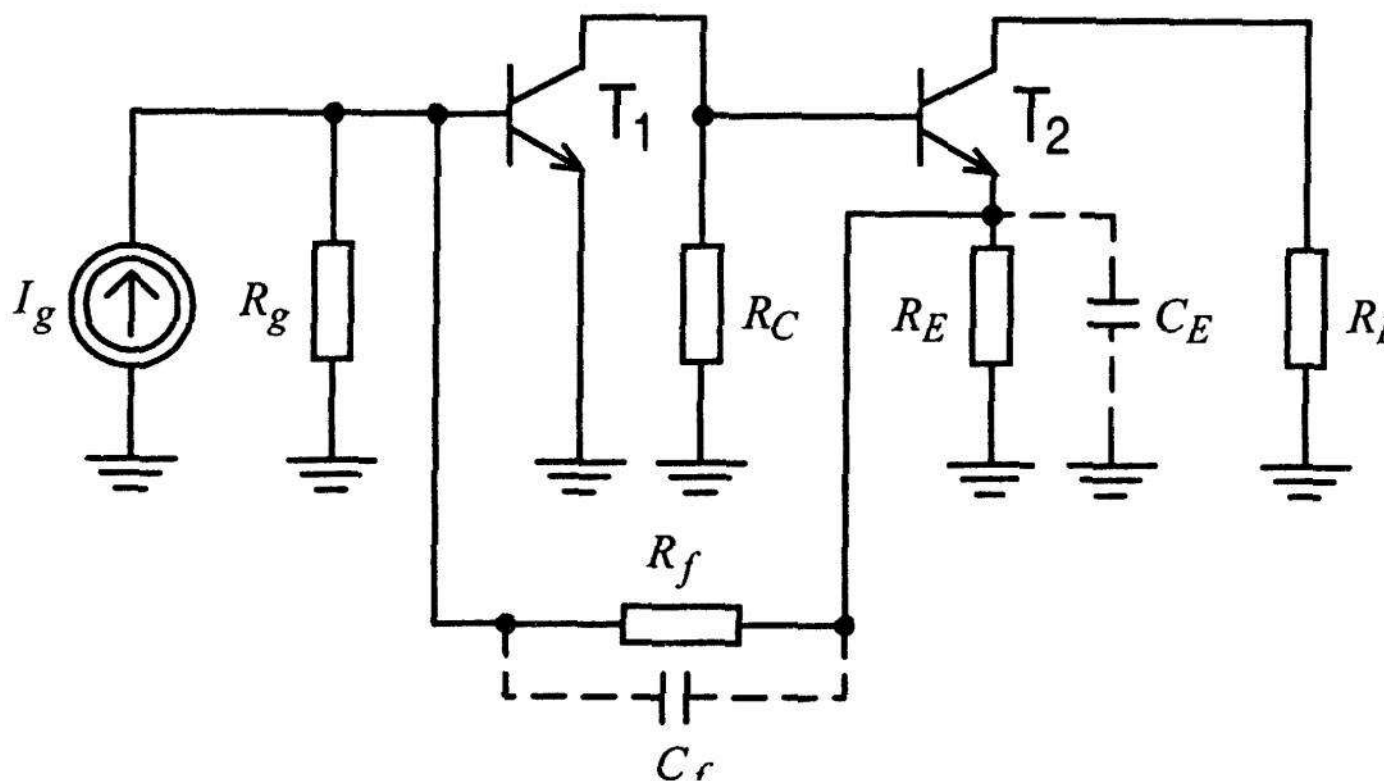
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 16. Układy dwustopniowe ze sprzężeniem: a) kolektorowym, b) emiterowym

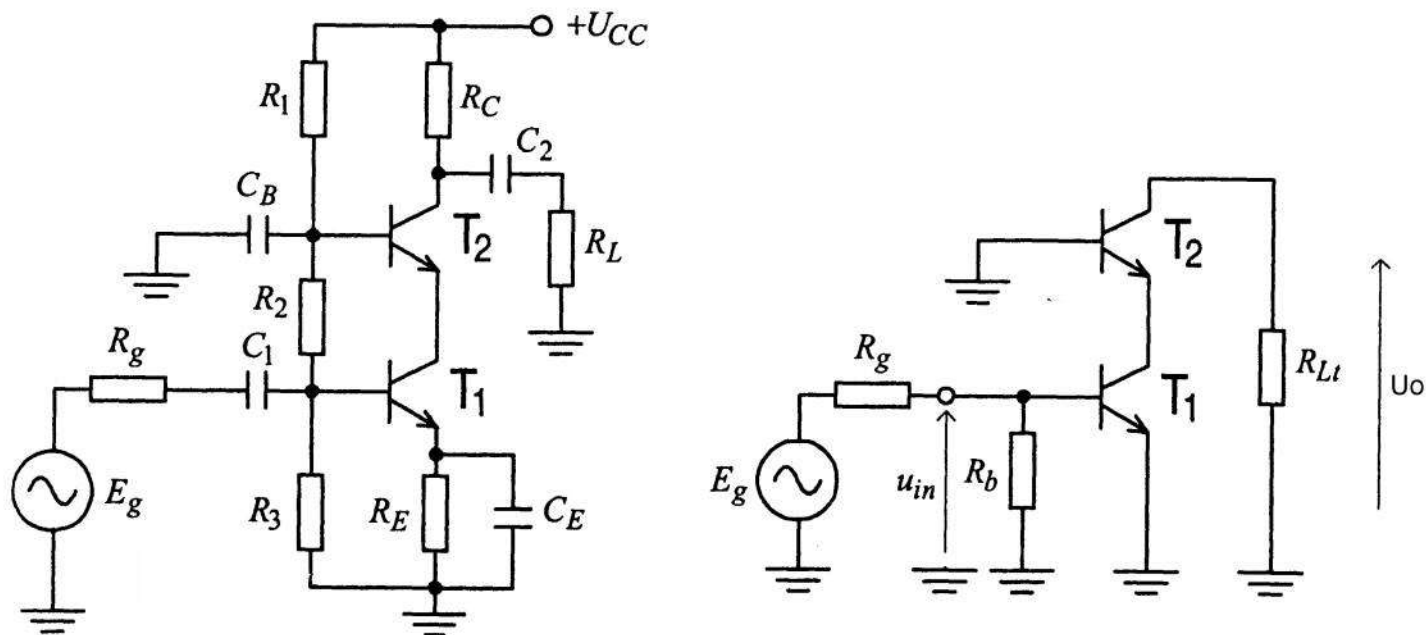
Układ z rys.16a pracuje poprawnie dla dużej rezystancji źródła i obciążenia. Układ z rys. 16b poprawnie pracuje dla małych wartości rezystancji źródła i obciążenia.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy



Rys. 17. Dwustopniowy wzmacniacz objęty pętlą sprzężenia zwrotnego

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kaskoda OE - OB



Rys. 18. Wzmacniacz kaskodowy OE – OB: a) schemat ideowy, b) schemat zmiennoprądowy



Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kaskoda OE - OB

Zaleta – minimalizacja efektu Millera dla układu OE ze względu na jego małe wzmocnienie napięciowe:

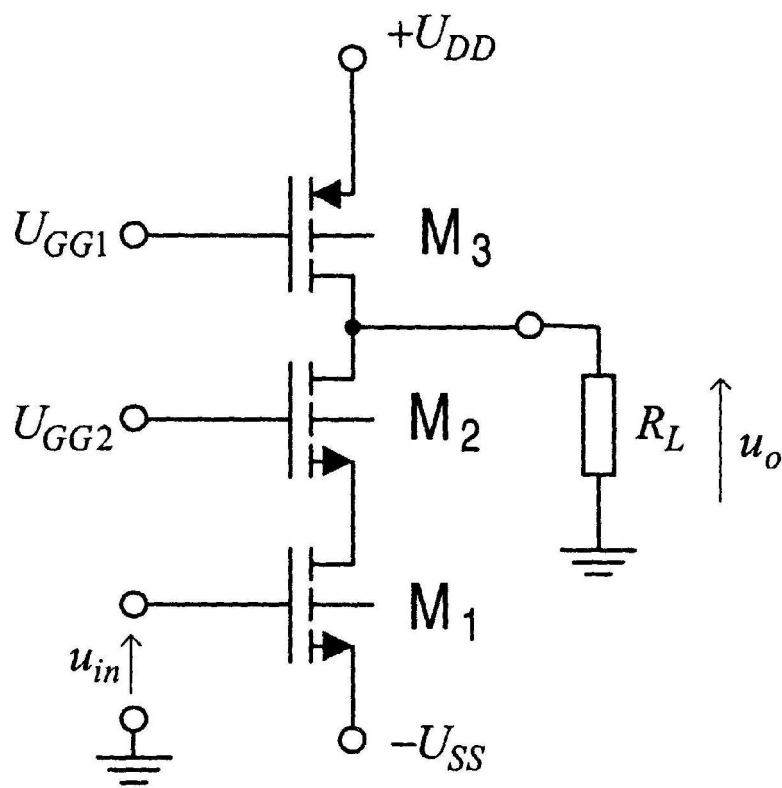
$$C_{we} \approx 2C_{b'e}$$

Wzmocnienie napięciowe pozostaje takie same jak dla pojedynczego stopnia OE:

$$K_U = -g_m R_{lt}$$

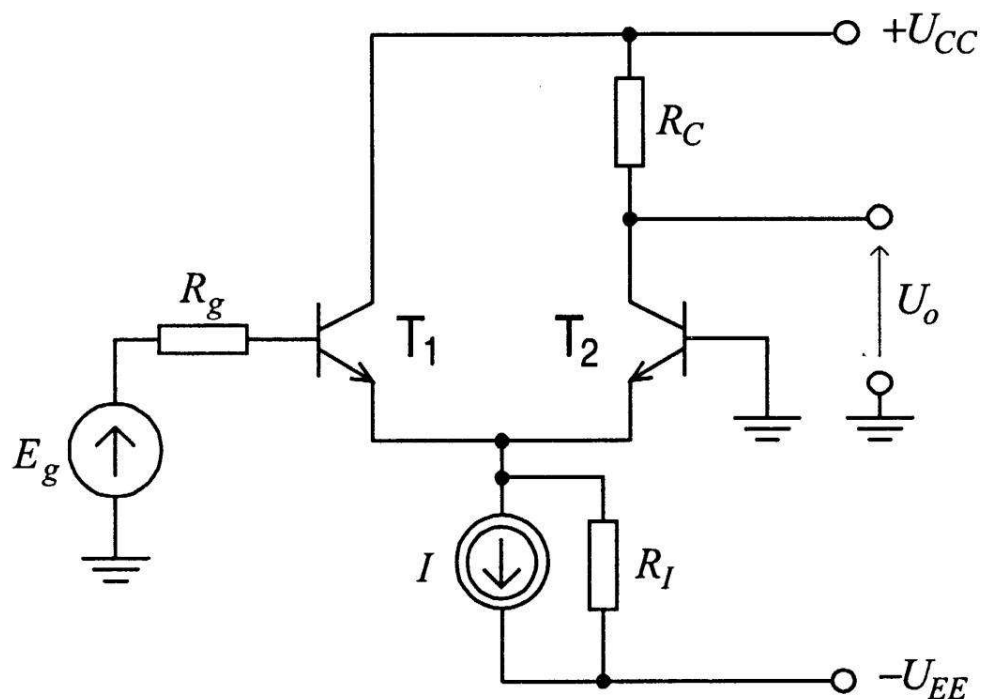
Układ bardzo często stosowany w technice w. cz.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - kaskoda zbudowana z tranzystorów MOS



Rys. 19. Układ kaskody zbudowanej w oparciu o tranzystory MOS

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - niesymetryczny wzmacniacz różnicowy - układ OC - OB



Rys. 20. Schemat niesymetrycznego wzmacniacza różnicowego



Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - niesymetryczny wzmacniacz różnicowy - układ OC - OB

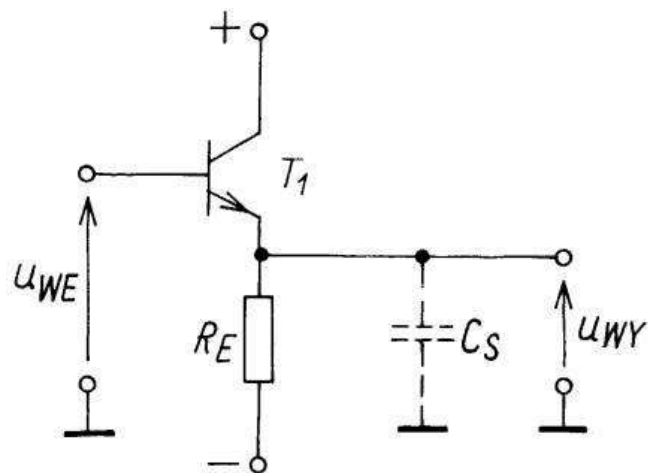
Wzmacniacz w konfiguracji OC ma dużo większą częstotliwość graniczną w porównaniu do układu OE.

Wzmocnienie napięciowe zapewnia stopień OB. Lecz jest ono mniejsze niż dla kaskody.

Zaletą układu jest kompensacja zmian temperaturowych napięcia U_{be} tranzystorów co nie występuje w kaskodzie. Takie rozwiązanie układowe jest stosowane w technice scalonej.

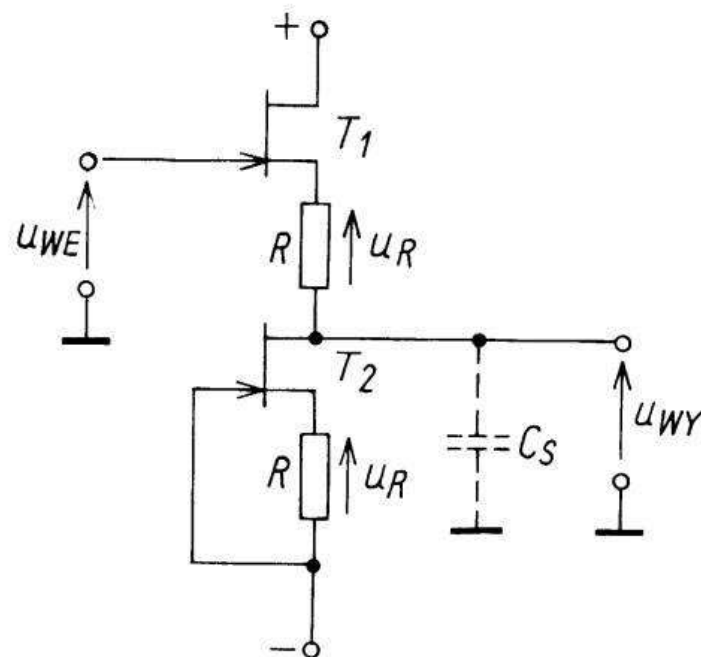
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - szerokopasmowy wtórnik napięcia

a)



$$u_{WY} \approx u_{WE} - 0,6 \text{ V}$$

b)



$$u_{WY} \approx u_{WE}$$

Rys. 21. Wtórnik napięcia: a) emiterowy, b) źródłowy

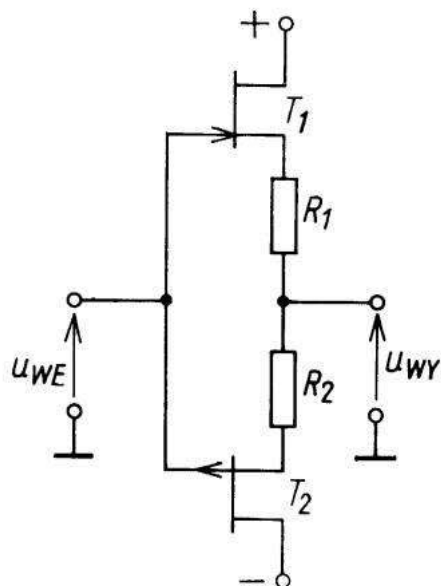
Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - szerokopasmowy wtórnik napięcia

Szerokość pasma obu układów zależy wprost proporcjonalnie od prądu spoczynkowego.

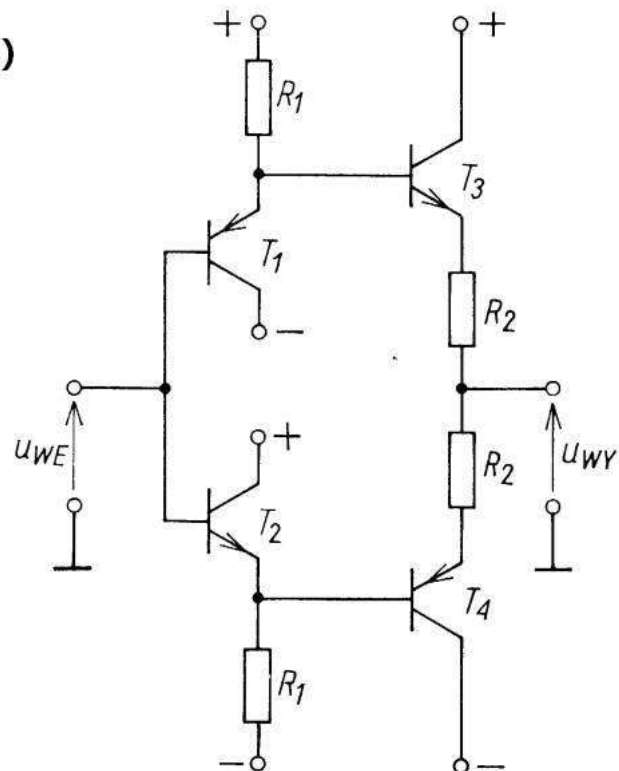
Przy dużych sygnałach charakterystyka przenoszenia jest silnie niesymetryczna – pasożytnicza pojemność C_s jest ładowana prądem zależnym od amplitudy sygnału wejściowego, a rozładowywana stałym prądem spoczynkowym. Dlatego stosuje się układy wtórników przeciwsobnych.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - szerokopasmowy wtórnik napięcia

a)

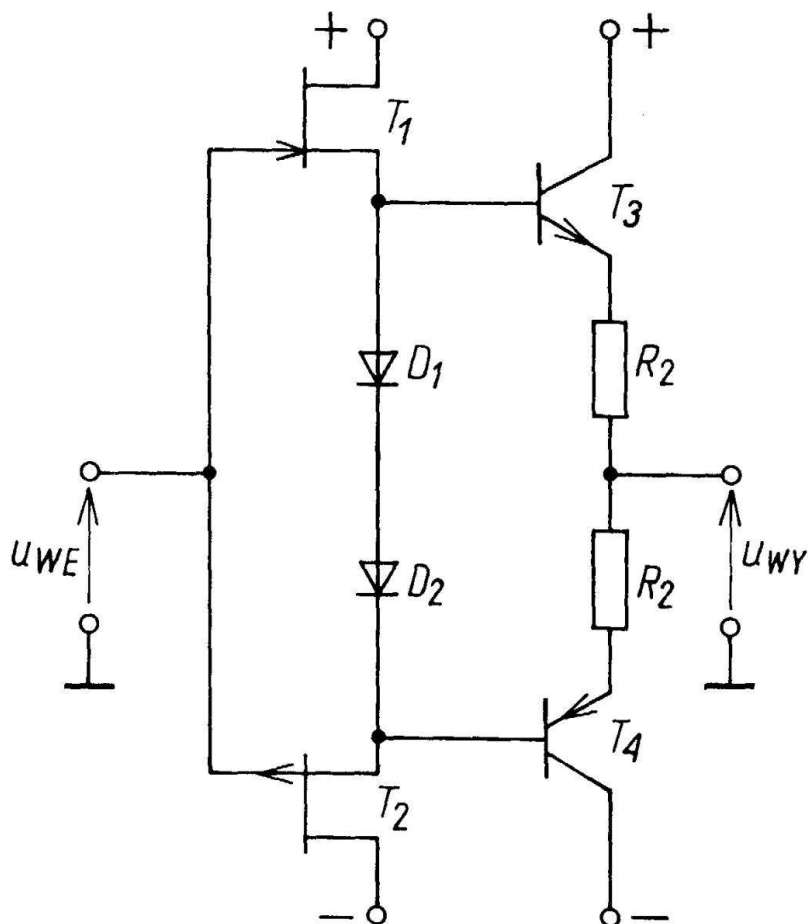


b)



Rys. 22. Przeciwsobne wtórniki napięcia: a) źródłowy, b) emiterowy – ze zwiększonym prądem wyjściowym

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - szerokopasmowy wtórnik napięcia



Rys. 23. Przeciwsobny
wtórnik emiterowy
sterowany wtórnikami
źródłowymi

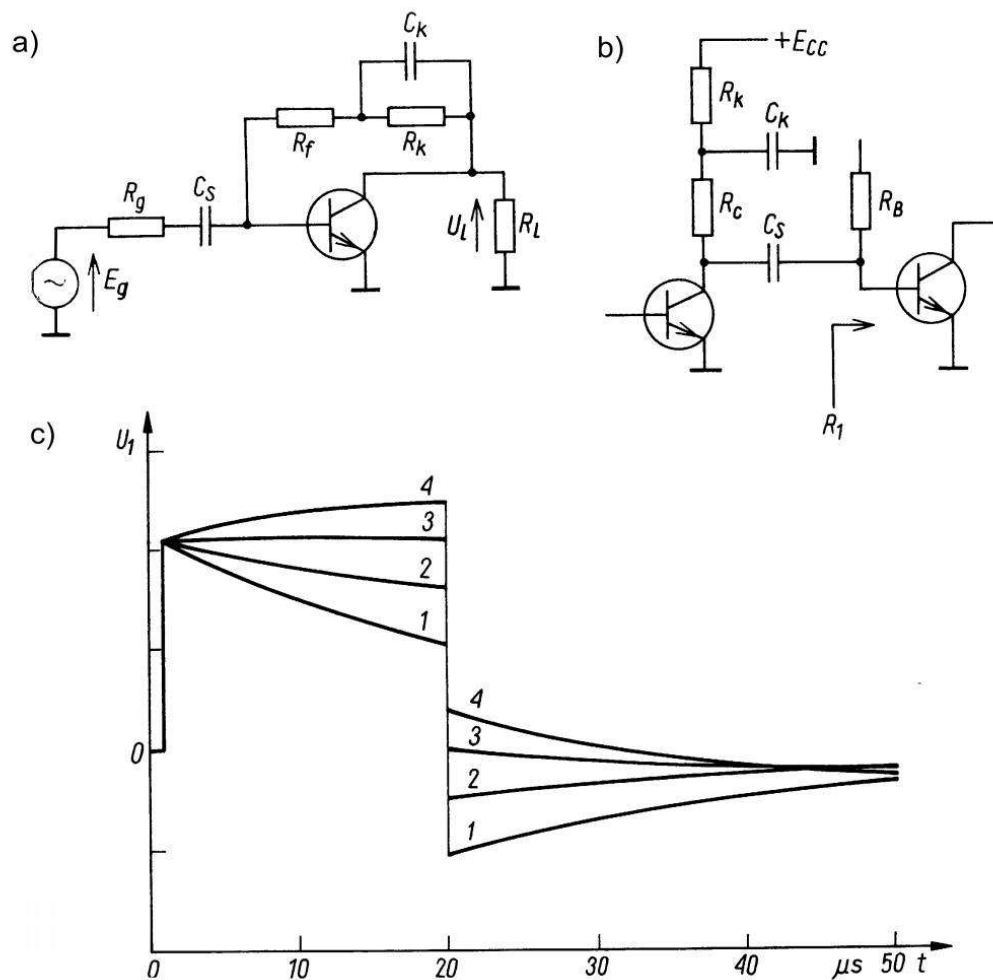


Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - szerokopasmowy wtórnik napięcia

Tabela 1. Wybrane szybkie szerokopasmowe wtórniki napięcia

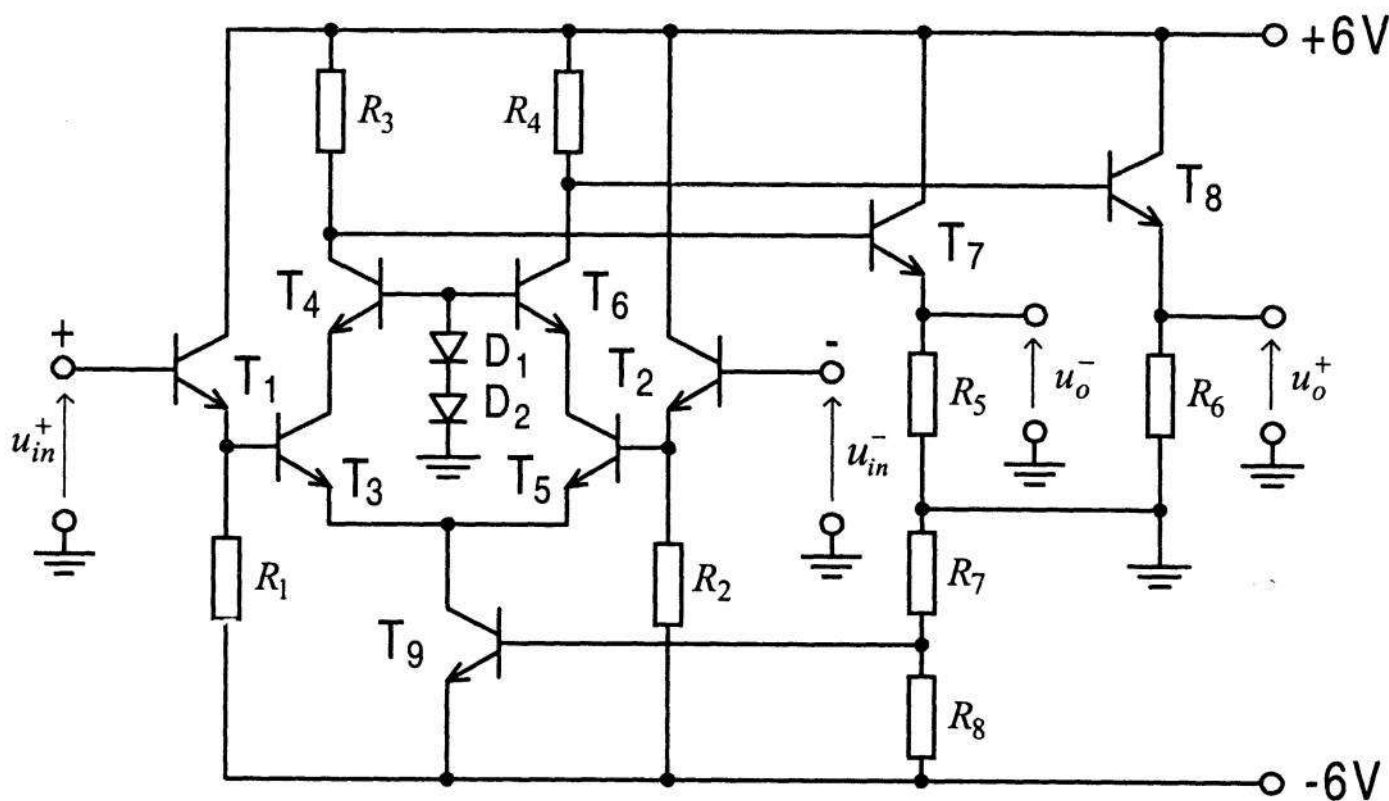
Typ	Producent	Technologia	Szybkość zmian sygnału na wyjściu [V/ μ s]	Pasma przenosze- nia mocy	Prąd wejściowy	Prąd wyjściowy
MAX405	Maxim	monol.	650 V/ μ s	20 MHz	2 μ A	60 mA
HA5002	Harris	monol.	1300 V/ μ s	11 MHz	2 μ A	200 mA
EL2002	Elantec	monol.	2000 V/μs	30 MHz	3 μA	100 mA
HFA1112	Harris	monol.	2000 V/ μ s	140 MHz	25 μ A	60 mA
BUF634	Burr Br.	monol.	2000 V/μs	180 MHz	5 μA	250 mA
AD9620	Analog Dev.	monol.	2300 V/ μ s	150 MHz	15 μ A	50 mA
EL 2009	Elantec	monol.	3000 V/μs	45 MHz	5 μA	1000 mA
LH4011	National	hybrid	5000 V/ μ s	80 MHz	10 pA	200 mA
EL2031	Elantec	hybrid	7000 V/ μ s	130 MHz	10 nA	70 mA
LH4009	National	hybrid	10000 V/ μ s	150 MHz	5 nA	200 mA
LH4012	National	hybrid	11500 V/ μ s	200 MHz	200 μ A	200 mA
WB05	Apex	hybrid	15000 V/ μ s	70 MHz	150 μ A	1000 mA

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - korekcja grzbietu impulsu



Rys. 24. Układy (a i b) korekcji odpowiedzi impulsowej wzmacniacza w zakresie grzbietu impulsu, c) różne odpowiedzi układu z rysunku a) dla malejącej wartości pojemności korygującej C_K .

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - układy scalone



Rys. 25. Uproszczony schemat wzmacniacza scalonego
CA 3040



Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - układy scalone

Wejście układu – wtórnik emiterowy T_1 i T_2 .

Stopień pośredni – kaskody T_3 , T_4 i T_5 , T_6 .

Wyjście układu – wtórnik emiterowy T_7 , T_8 .

Wzmocnienie 30dB, pasmo 55MHz.

Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - układy scalone

Tabela 2. Przykładowe szerokopasmowe wzmacniacze scalone

Typ wzmacniacza	Producent	S_u [V/ μ s]	f_p [MHz]
AD 9617	Analog Dev.	1 400	100
OPA 623	Burr Brown	2 000	130
HFA 1100	Harris	2 500	130
CLC 404	Comlinear	2 500	150



Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - zagadnienia

- Wzmacniacze szerokopasmowe i impulsowe - właściwości i parametry
- Zniekształcenia odpowiedzi impulsowej wzmacniacza
- Wpływ pojemności wzmacniacza na pasmo wzmacniacza OE
- Charakterystyki częstotliwościowe wzmacniaczy: amplitudowa, fazowa i opóźnienia grupowego
- Związek pomiędzy parametrami częstotliwościowymi i czasowymi wzmacniaczy
- Sposoby rozszerzania pasma wzmacniaczy
- Wzmacniacz kaskodowy OE - OB.
- Niesymetryczny wzmacniacz różnicowy OC - OB.
- Szerokopasmowy wtórnik napięcia
- Wzmacniacze impulsowe z korekcją grzbietu impulsu
- Scalone wzmacniacze szerokopasmowe