

# Wykład 3 - tranzystor bipolarny złączowy

Tranzystor n-p-n

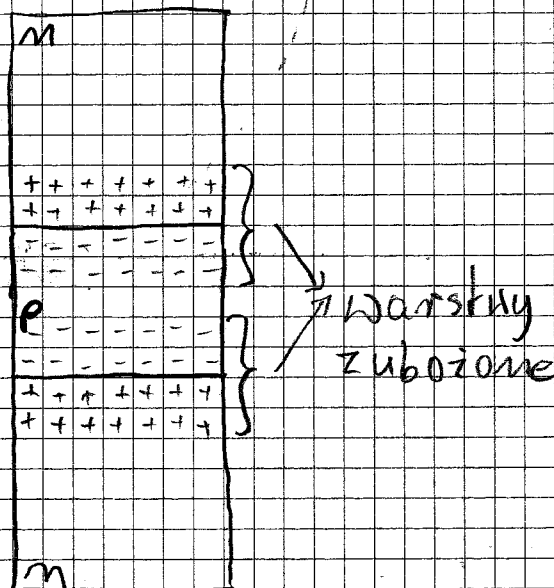
Niespolaryzowany:

- Bariery potencjału na złączach B-C, B-E
- dwa obszary zubożone na złączach p-n

kolektor (C)

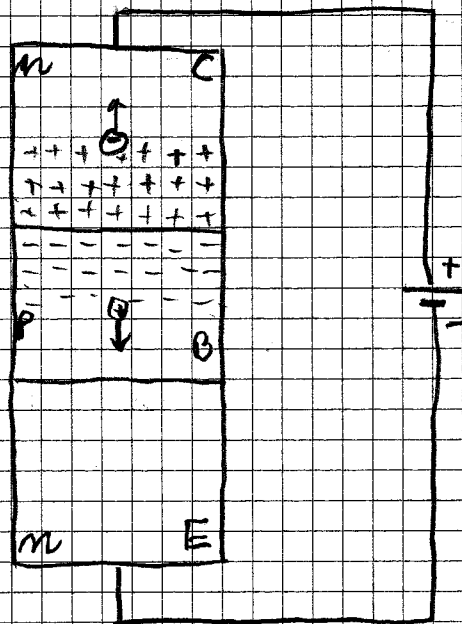
baza (B)

emiter (E)



Przykładowy napięcie między kolektor i emiter

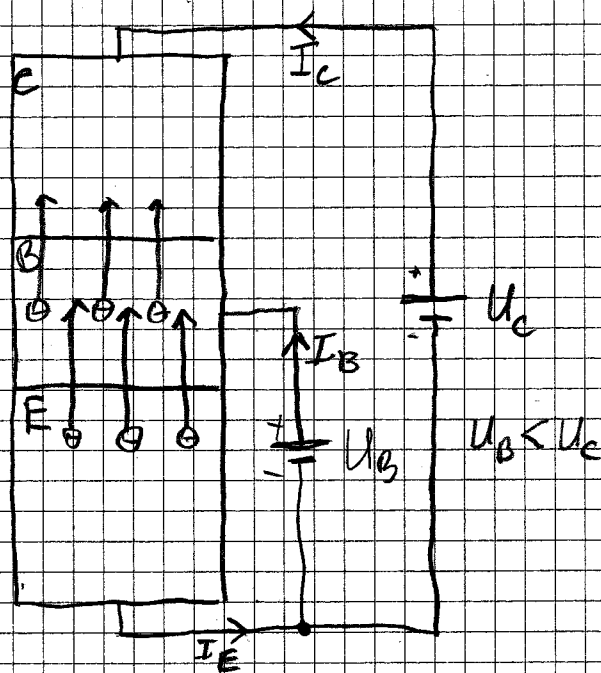
Złącze B-C spolaryzowane w kierunku zaporowym. Obszar zubożony w bariery powiększa się, bariery praktycznie pozabawione nośników. Prąd nie przepływa.



Przykładowy napięcie do bazy:

$U_B < U_C \Rightarrow$  złącze B-C wciąż spolaryzowane w kierunku zaporowym, prąd nie płynie między kolektorem a bazą.

Jeśli  $U_B$  jest większe niż napięcie przewodzenia złącze p-n zacznie płynąć prąd między bazą a emiterem.



Bara wykonana jest tak, aby była:

- słabo dopieszkowana (dużo słabiej niż emiter)  $\Rightarrow$  tylko niewielka część elektronów wptywających do bazy rekombinuje. W bazy pojawiają się swobodne elektrony
- cienka  $\Rightarrow$  elektrony z bazy mogą dotrzeć do kolektora, "zasypując" obszar zabroniony i zmniejszając barierę potencjału na złączu B-C.

Tenże prąd cały tranzystor,  $C \rightarrow B \rightarrow E$  może płynąć przed, którego nośnikiem są elektrony. Dziury z bazy rekombinują w emiterze.

Bilans prądów:  $I_E = I_B + I_C$

$I_B$  = prąd rekombinacji dziur w E +  
+ prąd rekombinacji elektronów w bazy

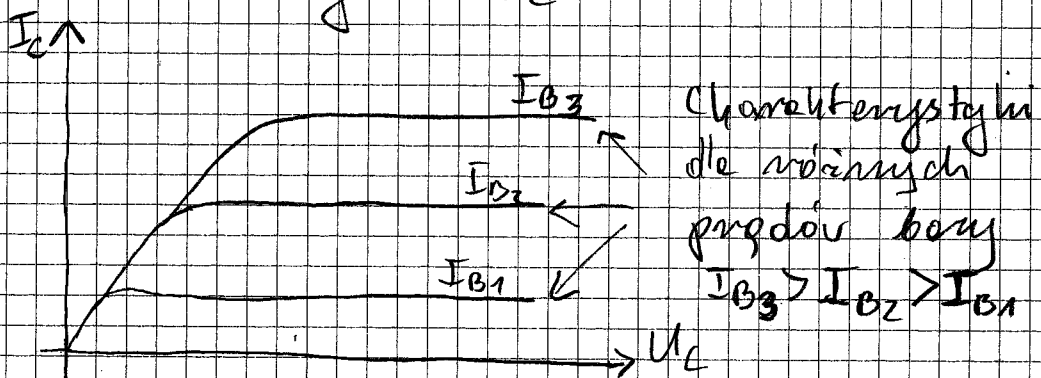
$I_B$  decyduje o koncentracji nośników w bazy, a co z tym idzie o wysokości bariery na złączu B-C.

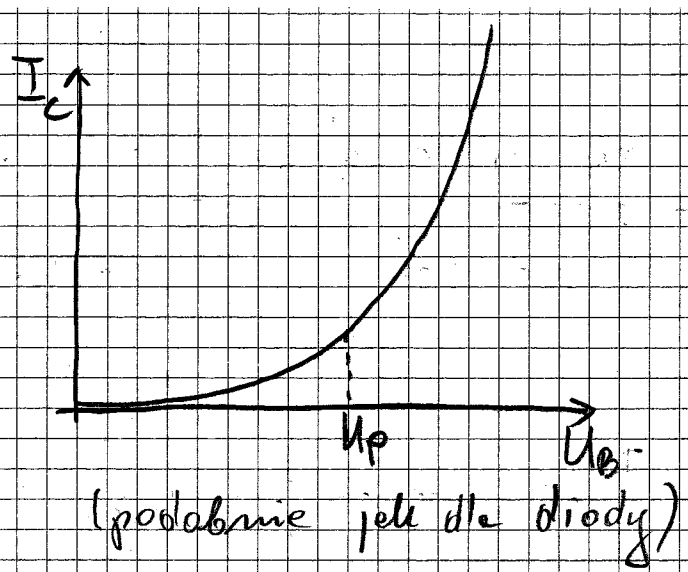
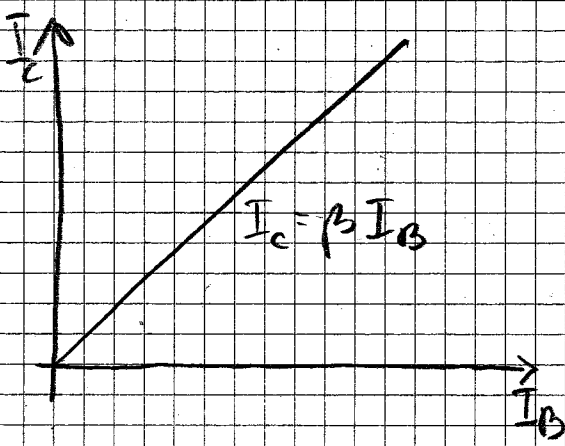
Jeśli  $U_B >$  napięcie przewodzenia złącza B-E, to

$$I_C \approx \beta \cdot I_B$$

$\swarrow$   
współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora

$I_C$  bardzo słabo zależy od  $U_C$ !





Analogicznie działają tranzystory pnp, w przypadku którego nośnikami są dziury. Podany jest, się go odwrócić do npn:

+  $U_c$  do E, -  $U_c$  do C  
 +  $U_b$  do E, -  $U_b$  do B

### Tranzystory polowe

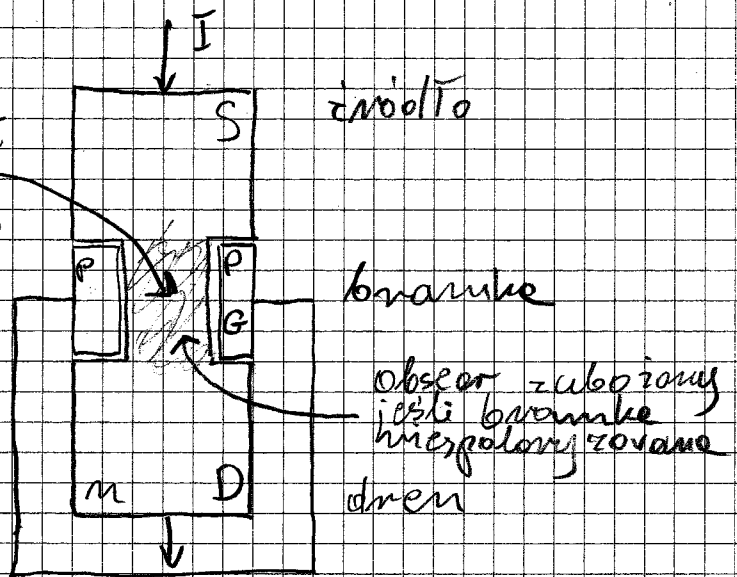
- Tr. złączowy (JFET) kanał

Zródło i drena stanowią jeden kawałek półprzewodnika.

Gdy bramka jest niespolaryzowana

obszar zubożony przy złączach p-n obejmuje

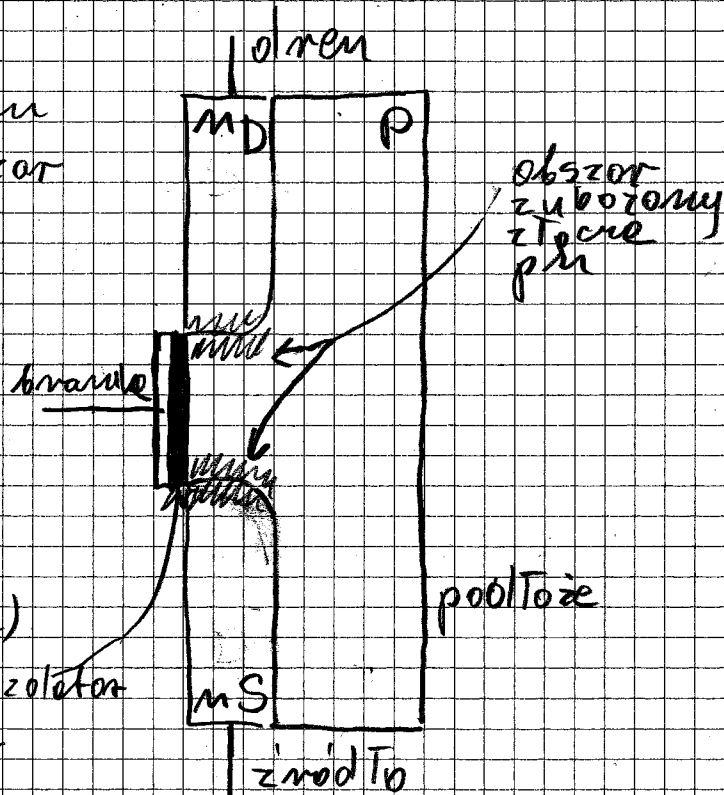
cały kanał, wobec czego prąd między źródłem a drenem nie może płynąć. Polaryzacja złącza GS w kierunku przeciwnym powoduje zwiększenie obszaru zubożonego - prąd może płynąć przez kanał



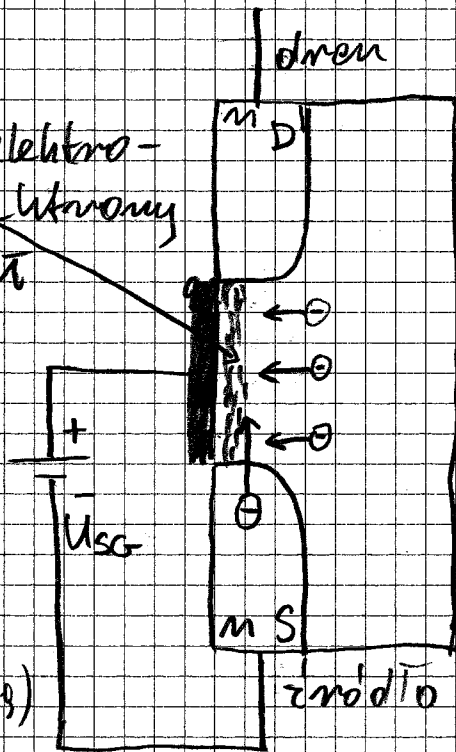
# Tranzystor polowy z izolowaną bramką (IGFET)

W obszarze między źródłem a drenem tworzy się obszar zubożony. Bramka jest odizolowana od reszty tranzystora, ale może oddziaływać na nośniki elektrycznie.

Przyłożenie napięcia do bramki (względem źródła) przyciąga nośniki w kanale i tworzy obszar przewodzący



Przyłożone elektrostatycznie elektrony tworzą kanał typu n



Tranzystory FET:

- mają bardzo dużą oporność bramki (IGFET/MOSFET nieskanionowy)
- są sterowane napięciem, a nie prądem bramki
- są bardzo uciążliwe na elektryczności statycznej

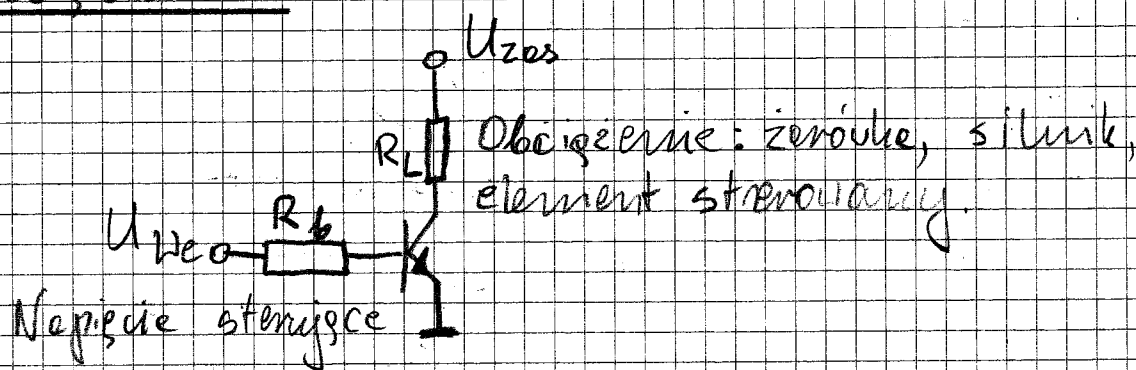
# UKłady z tranzystorami bipolarnymi

Podstawowy opis:

$$I_B = \beta \cdot I_C$$

$$U_B = U_E + 0,65V \quad (\text{w stanie, gdy tranzystor przewodzi; } 0,65V - \text{ napięcie przewodzenia złącze p-n.})$$

## Przebiegnik



Niech  $U_{zcs} = 5V$ ,  $R_L = 50\Omega$ . Obciążenie wymaga prądu  $I_L = 100mA$

sterujemy z wyższymi mikroprocesorami o obciążalności  $5mA$ , napięciem  $0V$  lub  $5V$ .

$$U_{we} = 0 \Rightarrow I_L = 0$$

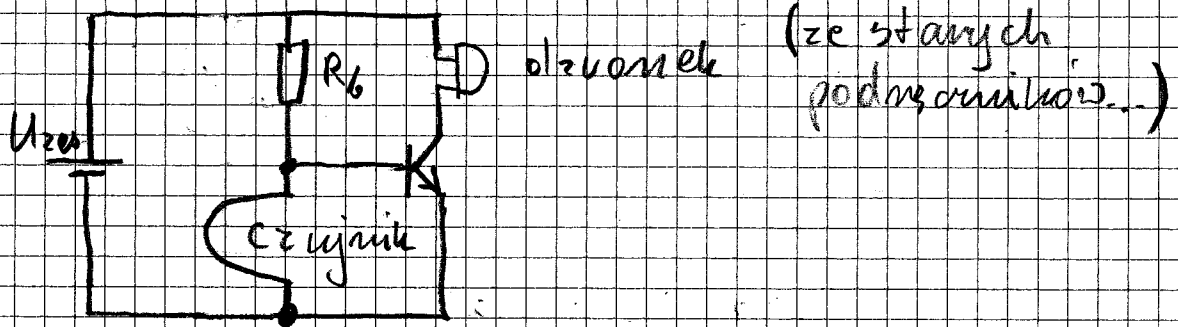
$$\text{Niech } R_b = 1k\Omega, U_{we} = 5V: I_b = \frac{5V - 0,65V}{1k\Omega}$$

Dla  $I_b = 4,35mA$  i  $\beta = 100$  prąd kolektora może wynieść  $\beta \cdot I_b = 435mA$ .

$$\text{Ale } U_{zcs}/R_L = \frac{5V}{50\Omega} = 100mA < \beta I_b$$

Prąd kolektora zostanie ustalony przez obciążenie,  $I_C \approx 100mA$ . Ze względu na tego prądu ze źródła o większej wydajności sterujemy urządzeniem o niej mniej. Obecnie podstawowe rozwiązanie w sterujących układach mikroprocesorowych.

# Podmieszanowe zastosowanie - układ alarmowy



czujnik = np. pętla z drutu.

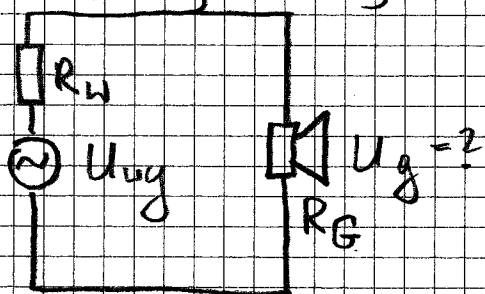
Pętla zwarta  $\Rightarrow U_b = 0$ , prąd nie płynie

Pętla przerwana:  $I_b = (U_{zes} - 0,65V) / R_b$ ,  
 tranzystor otwarty, dzwonek dzwoni

O tranzystorze w układzie przetrzymuje  
 mówimy, że jest nieprzewodny, bo mógłby  
 przewozić większy prąd niż zolany przez  
 obciążenie. Gdy tranzystor nie przewodzi  
 mówimy, że jest zatkany.

Wzmacniacz o wspólnym kolektorze =  
 = wzmacniacz emiterowy

Ze względu o dużej impedancji wewnętrznej  
 chcemy sterować urządzeniem o małej  
 impedancji wejściowej, np. głośnik o  $R_G = 4\Omega$   
 zasilany z generatora o  $R_W = 50\Omega$



$$U_g = U_{wy} \cdot \frac{R_G}{R_G + R_w}$$

$$U_g \approx 0,07 U_{wy}$$

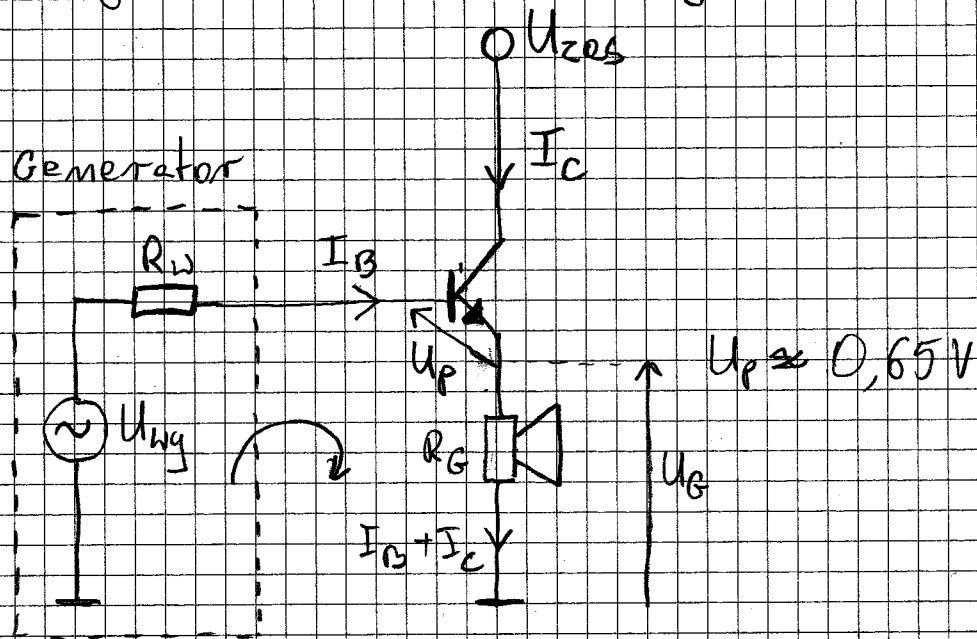
$$I = \frac{U_{wy}}{R_w + R_G}$$

Moc odbierana przez głośnik:

$$P_G = U_g \cdot I = 0,07 U_{wy} \cdot I = 0,07 P_{wy}$$

Tylko 7% mocy generatora odebrane przez głośnik

# Podłączamy głośnik przez tranzystor



II prawo Kirchhoffa dla obwodu bazy:

$$U_{wy} = I_B R_w + U_e + U_g$$

$$U_g = (I_B + I_C) R_g = (I_B + \beta I_B) R_g = (1 + \beta) I_B R_g$$

$$I_B = \frac{U_g}{(1 + \beta) R_g}$$

$$U_{wy} = U_g \frac{1}{1 + \beta} \frac{R_w}{R_g} + U_e + U_g = U_e + U_g \left( 1 + \frac{1}{1 + \beta} \frac{R_w}{R_g} \right)$$

$$U_g = \frac{U_{wy} - U_e}{1 + \frac{1}{1 + \beta} \frac{R_w}{R_g}} = (U_{wy} - U_e) \frac{R_g}{R_g + \frac{R_w}{1 + \beta}}$$

Dla przebiegu zmiennego  $U_e$  możemy skompensować polaryzując bazę, wtedy:

$$U_g(t) = U_{wy}(t) \frac{R_g}{R_g + \frac{R_w}{1 + \beta}}$$

Bez tranzystora tu było  $R_w$ . Efektywne wewnętrzne zmniejszają impedancję wewnętrzną  $\beta + 1$  razy

Wzmacniacz o wspólnym kolektorze nie wzmacnia napięcia ( $U_G < U_{wy}$ ), ale pozwala pobierać ze źródła  $\beta+1$  razy większą prąd.

$$I_G = \frac{U_G}{R_G} = \frac{U_{wy}}{R_G + \frac{R_w}{1+\beta}}$$

Prąd zwarcia ( $R_G \rightarrow 0$ ):  $I_{Gmax} = (1+\beta) \frac{U_{wy}}{R_w}$

Zwykle  $\beta \approx 100$ ,  $\beta+1 \approx \beta$

Dla  $R_G = 4\Omega$ ,  $R_w = 50\Omega$

Moc odbierana przez etosnik:

$$P_G = U_G \cdot I_G = U_{wy} \frac{R_G}{R_G + \frac{R_w}{1+\beta}} \cdot \left( \frac{U_G}{R_G} \right) = \dots$$

$$= \frac{R_G (1+\beta)}{R_G + \frac{R_w}{1+\beta}} \cdot U_{wy} \cdot I_B \approx \frac{\beta \cdot R_G}{R_G + \frac{R_w}{\beta}} P_{wy}$$

$$P_G = \frac{100 \cdot 4\Omega}{4\Omega + 0,5\Omega} \cdot P_{wy} \approx 89 P_{wy}$$

(z tym że ze wzmacniaczem  $P_{wy}$  jest mniejsze niż bez)

To jest wzmacniacz mocy.

Skąd się bierze dodatkowa moc? z zasilacza!  
(po ang. zasilacz = power supply)

Porównanie mocy ze wzmacniaczem i bez:

ze wzrn.:  $P_{Gz} = U_{wy}^2 \frac{R_G}{(R_G + \frac{R_w}{\beta})^2}$

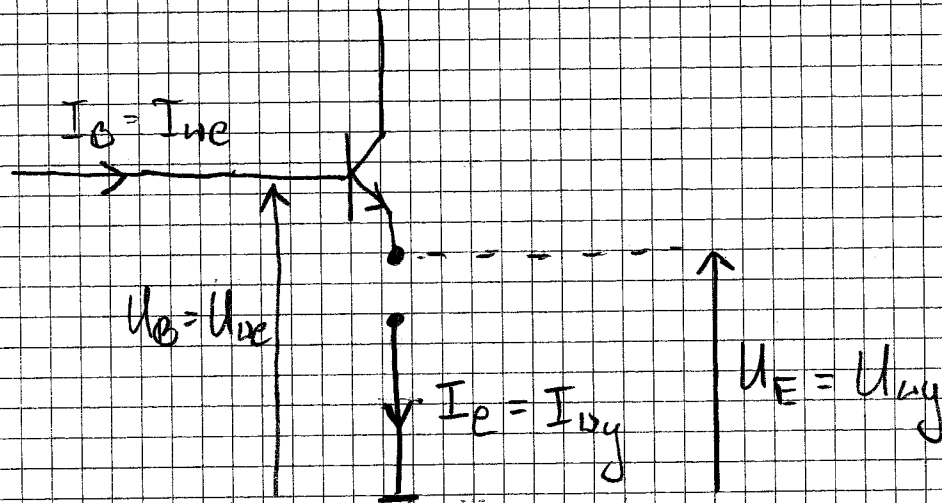
bez wzrn.:  $P_{Gbez} = U_{wy}^2 \frac{R_G}{(R_G + R_w)^2}$

$$\frac{P_{Gz}}{P_{Gbez}} = \left( \frac{R_G + R_w}{R_G + \frac{R_w}{\beta}} \right)^2 = \left( \frac{54}{4,5} \right)^2 = 12^2 = 144$$

Dzięki zastosowaniu tranzystora etosnik odbiera moc 144 razy większą.



Popatrzmy na sam tranzystor



$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = (\beta + 1) I_B$$

czyli

$$I_{wy} = (\beta + 1) I_{we} \leftarrow \text{duże wzmacnienie prądowe}$$

$$U_B = U_E + U_p$$

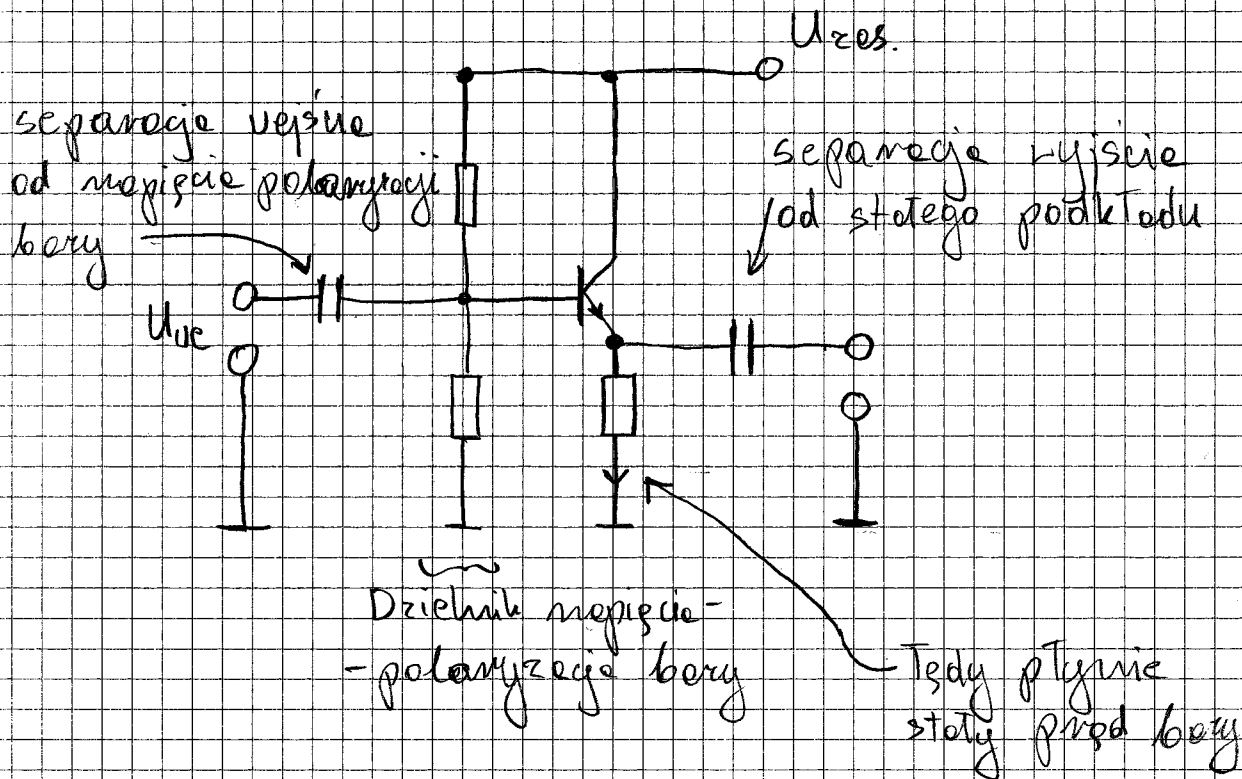
$$U_{wy} = U_{we} - U_p \leftarrow \text{wzm. napięciowe} < 1$$

$\approx 0,65V$

Przed bazy płynie pod warunkiem, że  $U_B > U_p$ . konieczne polaryzacje bazy, jeśli wzmacniacz ma wzmacniać sygnały przemiennie.

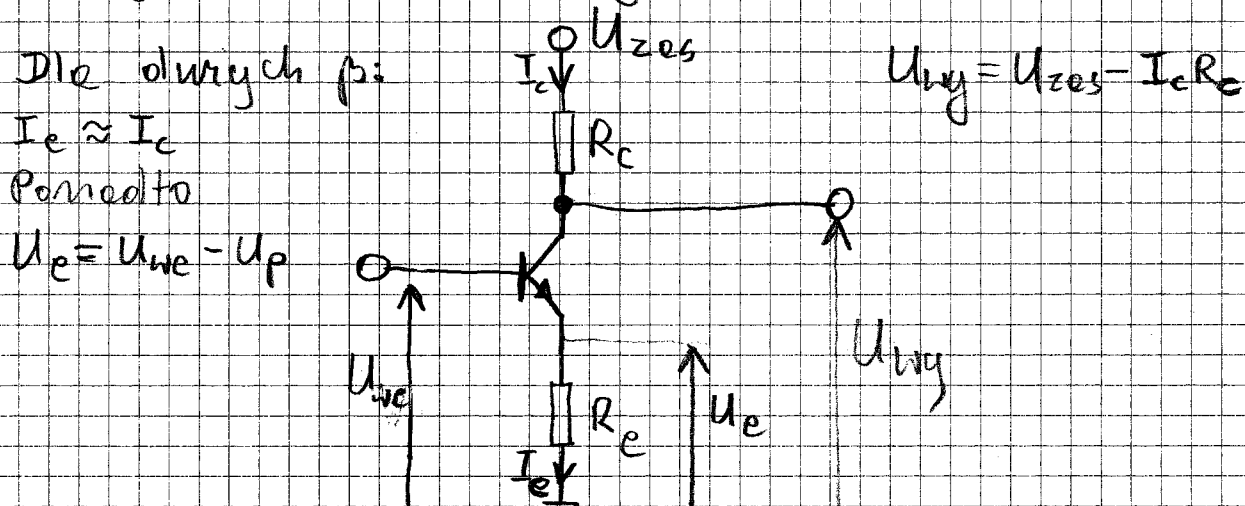
Przemiennie sygnały wejściowe i wyjściowe separujemy od prądu polaryzacji bazy kondensatorami.

Przeanalizujemy realizację wzmacniacza o wspólnym kolektorze:



### Wzmacniacz o wspólnym emiterze

Do wzrn. o wsp. kolektorze dodajemy rezystor kolektorowy:



$$\begin{aligned}
 U_{wy} &= U_{zes} - I_c R_c = U_{zes} - I_e R_c = U_{zes} - \frac{U_e}{R_e} R_c = \\
 &= U_{zes} - (U_{ue} - U_p) \cdot \frac{R_c}{R_e} = \\
 &= U_{zes} + U_p \frac{R_c}{R_e} - U_{ue} \cdot \frac{R_c}{R_e}
 \end{aligned}$$

Po odseparowaniu składowej stałej, dla sygnałów zmiennych:

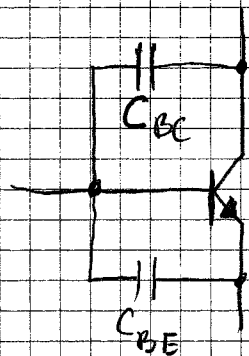
$$U_{wy}(t) = -\frac{R_c}{R_e} \cdot U_{we}(t)$$

Wzmocnienie napięciowe jest równe  $-\frac{R_c}{R_e}$ .

Prąd do obciążenia płynie przez  $R_c$ , impedancje wyjściowe wzmacniacza jest równe  $R_c$ .

### Pojemności pasozytne i pasmo przeniesienia

Porównując bary, a emiterem i kolektorami występują pojemności pasozytne  $C_{bc}, C_{be}$



Pojemności  $C_{be}$  bocznikuje ztoru B-E. Im większe częstotliwość, tym większe części prądu bary płynie przez  $C_{be}$  zamiast przez ztoru, zmniejszając wzmocnienie.

We wzmacniaczu o wspólnym emiterze napięcie na kolektorze ma przeciwny fazę niż na bary. Pojemności  $C_{bc}$  sprząga napięcie na kolektorze (wyjściowe) z napięciem na bary, zmniejszając je. Wzmocnienie maleje z częstotliwością (efekt Millera). Wzmocnienie wzmacniacza o wspólnym emiterze jest mniejsze niż wzmi o wspólnym kolektorze

Od strony niskich częstotliwości pasmo jest ograniczone przez pojemności sprzężące, impedancje wejściową i zmniejszenie oraz wyjściową obciążenie (filtry RC ogólnoprzepustowe)

