

TRANZYSTORY BIPOLARNE ZŁĄCZOWE Bipolar Junction Transistor - BJT

Tranzystor bipolarny to **odpowiednie** połączenie dwóch złącz *pn*

kolektor
baza
emiter

kolektor
baza
emiter

FET **BJT**

Budowa tranzystora w technologii planarnej:

Tranzystor - 1947

The Nobel Prize in Physics 1956

"for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect"

William Bradford Shockley

🏆 1/3 of the prize

USA

Semiconductor Laboratory of Beckman Instruments, Inc.

John Bardeen

🏆 1/3 of the prize

USA

University of Illinois Urbana, IL, USA

Walter Houser Brattain

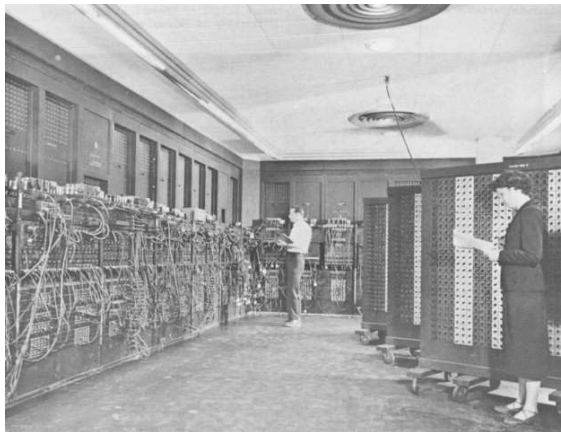
🏆 1/3 of the prize

USA

Bell Telephone Laboratories Murray Hill, NJ, USA

ENIAC (1947)

18 000 lamp elektronowych
masa: ponad 27 ton,
powierzchnia ok. 140 m²



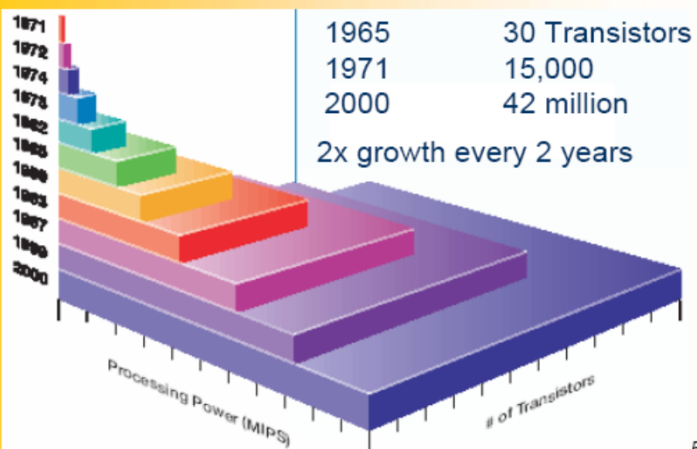
"Nature abhors the vacuum tube."

J.R. Pierce, Bell Labs engineer who coined the term 'transistor'



History of the Transistor

Processor development followed Moore's Law



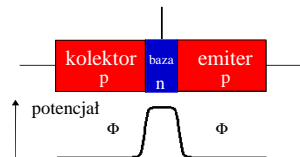
5

Działanie tranzystora bipolarnego złączowego pnp

a) Układ niespolaryzowany

(brak wymuszonej polaryzacji zewnętrznej)

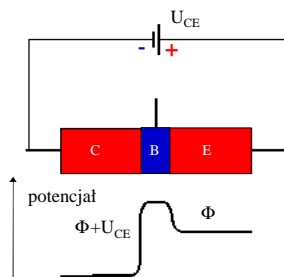
- Bariera potencjału na złączu emiter-baza i na złączu kolektor-baza
- dziury z emitera nie przenikają do kolektora, równowaga dynamiczna prądów rekombinacji i generacji



b) Zewnętrzne źródło polaryzacji układu emiter-kolektor

(baza na potencjale nieustalonym zewnętrznie)

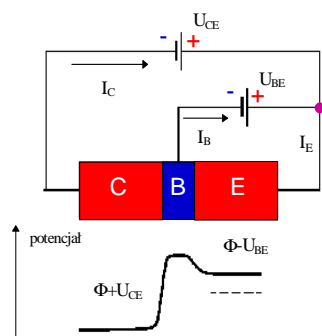
- Napięcie U_{CE} odkłada się na zaporowo spolaryzowanym złączu baza-kolektor
- Wysokość bariery potencjału na złączu emiter-baza bez zmian.
- Brak przepływu prądu w obwodzie



Działanie tranzystora bipolarnego złączowego pnp c.d.

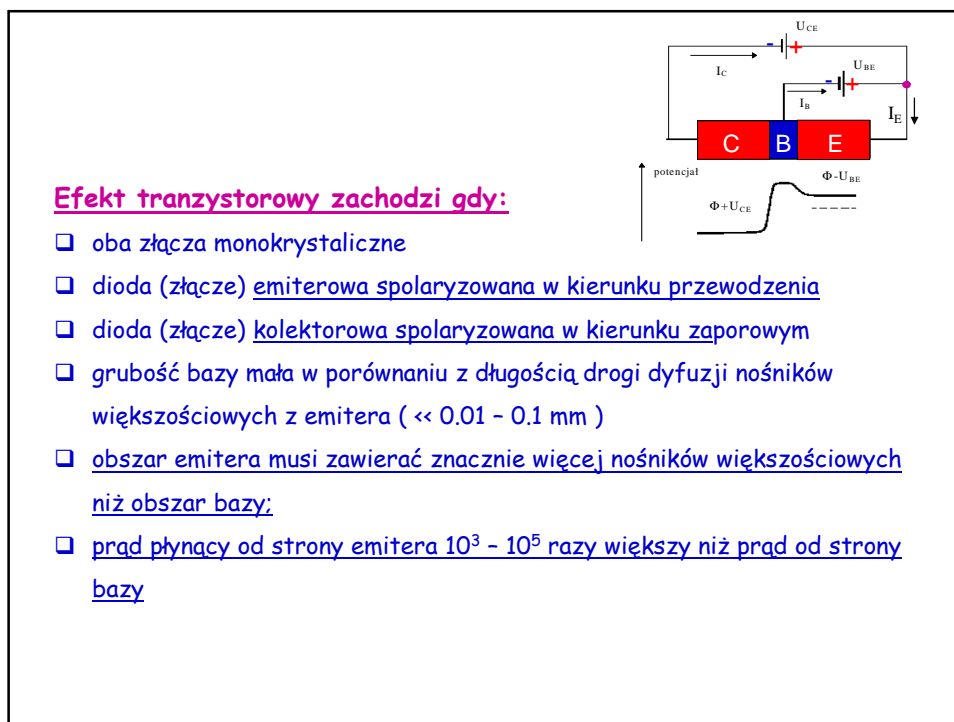
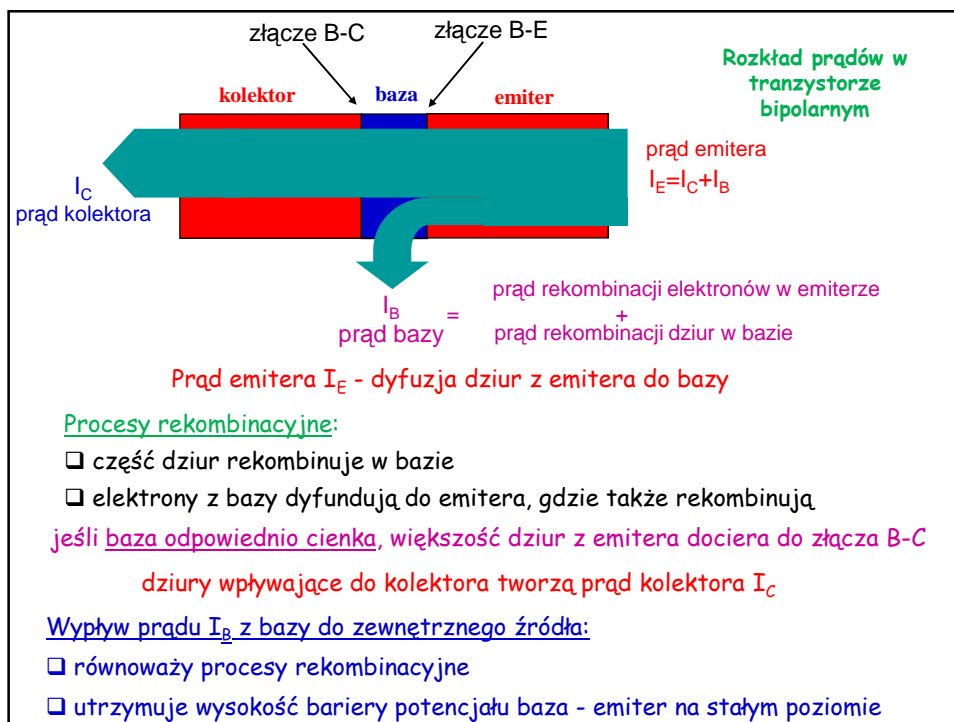
c) Złącze emiter-baza spolaryzowane w kierunku przewodzenia napięciem U_{BE}

- Bariera potencjału na złączu E-B maleje,
- Dziury z emitera dyfundują do bazy,
- Następnie dziury dyfundują do kolektora,
- Płyne prąd I_C w gałęzi kolektora (warunek: niewielka rekombinacja dziur w bazie)
- Napięcie U_{BE} określa wysokość bariery potencjału na złączu E-B, czyli „opór” między emiterem i kolektorem



TRANSISTOR = TRANSfereable resISTOR.

Tranzystor **nnp** działa analogicznie przy odwrotnej polaryzacji;
kierunek przepływu prądu jest przeciwny;
nośnikami prądu kolektora są elektrony

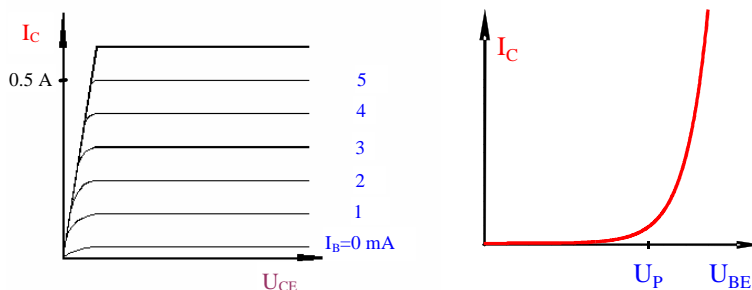


Zachodzi relacja: $I_E = I_C + I_B$ oraz prąd I_C jest proporcjonalny do prądu I_B

Współczynnik wzmacnienia prądowego tranzystora:

$$\beta = h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$$

zwykle $\beta \approx 100$, o ile zewnętrzne źródła zezwalają



Charakterystyka prądowo-napięciowa tranzystora

- Prąd kolektora I_C narasta β -razy szybciej niż prąd bazy I_B
- Prąd kolektora słabo zależy od napięcia kolektor-emiter (U_{CE}).

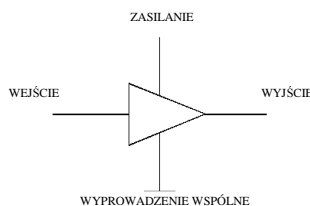
Wprowadzenie prądu do bazy (wywołanie przepływu prądu kolektora) jest możliwe, gdy napięcie U_{BE} przekroczy napięcie przewodzenia złącza danego typu (0.65 V dla krzemu, 0.35 V dla germanu)

WZMACNIACZE TRANZYSTOROWE

Wzmacniacz to układ elektroniczny, w którym

energia z układu zasilania jest zamieniana na energię sygnału wyjściowego

Sygnal wyjściowy jest funkcją sygnału wejściowego

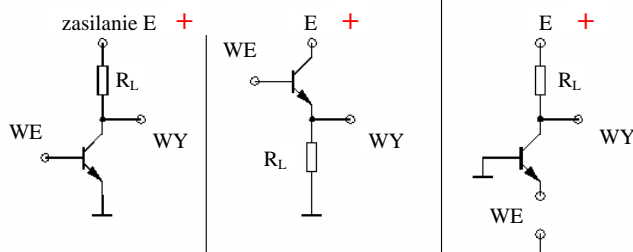


Wzmacniacz tranzystorowy :

➡ specjalny, sterowany **dzielnik napięcia** zasilającego

Jednym z rezystorów w tym dzielniku jest tranzystor

Trzy podstawowe układy wzmacniające z tranzystorem bipolarnym:

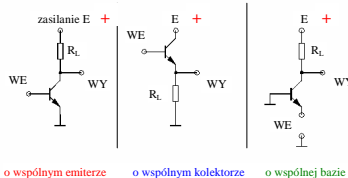


o wspólnym emiterze o wspólnym kolektorze o wspólnej bazie

Inne wyspecjalizowane wzmacniacze:

są modyfikacjami lub kombinacjami układów podstawowych.

WŁASNOŚCI WZMACNIACZY



o wspólnym emiterze o wspólnym kolektorze o wspólnej bazie

Zakładamy kształt sygnału wejściowego (sterującego):

$$u_{WE}(t) = U_{WE} \cos(\omega t) + U_{WE0}$$

- podkład stały U_{WE0}
 - składowa zmienna harmoniczna o amplitudzie U_{WE}
- Sygnał użyteczny (niosący informację): składowa zmienna

Zakładamy :

- tę samą postać napięcia wyjściowego i wejściowego
 - tę samą postać prądu wyjściowego i wejściowego
- czyli wzmacniacz pracuje w zakresie liniowym

Przypomnienie: $I_C = \beta \cdot I_B$ $I_E = I_C + I_B$ $I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$

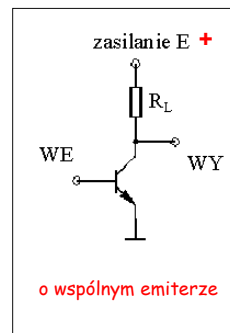
Wzmacniacz o wspólnym emiterze:

- prąd wejściowy = prąd bazy
- prąd wyjściowy = prąd kolektora

$$\Rightarrow I_{WY} = I_{WE} \cdot \beta$$

➔ duże wzmocnienie prądowe

$$U_{WY} = E - I_{WY} \cdot R_L$$



Dla dużego oporu rezystora R_L następuje na nim duży spadek napięcia, a więc:

➔ duże wzmocnienie napięciowe

➔ duże wzmocnienie mocy

➔ zachodzi **odwrócenie fazy** napięcia wyjściowego względem wejściowego

Wzmacniacz o wspólnym kolektorze (wtórnik emiterowy)

$$U_{WY} = U_{WE} - U_{BE}$$

$$\frac{U_{WY}}{U_{WE}} = \frac{U_{WE} - U_{BE}}{U_{WE}} < 1$$

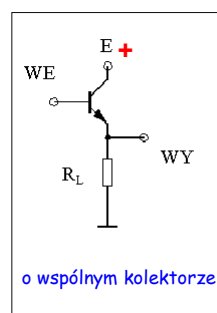
czyli: **brak wzmocnienia napięciowego**

prąd wejściowy = prąd bazy
prąd wyjściowy = prąd emitera

$$\text{czyli } I_{WY} = I_{WE} \cdot (\beta + 1)$$

➔ **wzmocnienie prądowe jest duże**

- zgodne fazy sygnału wyjściowego i wejściowego



Wzmacniacz o wspólnej bazie:

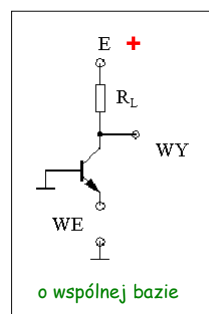
prąd wejściowy = prąd emitera:

$$I_{WE} = I_B (\beta + 1)$$

prąd wyjściowy = prąd kolektora:

$$I_{WY} = I_B \beta$$

wzmocnienie prądowe: $\frac{I_{WY}}{I_{WE}} = \frac{\beta}{\beta + 1} < 1$



brak wzmocnienia prądowego !

- przy odpowiednio dużym oporze rezystora R_L można uzyskać duże zmiany napięcia na wyjściu czyli **możliwe duże wzmocnienie napięciowe**
- napięcie wyjściowe zgodne w fazie z napięciem wejściowym

PODSUMOWANIE

	Wzmacniacz o:	WSPÓLNYM EMITERZE	WSPÓLNYM KOLEKTORZE	WSPÓLNEJ BAZIE
1	Wzmocnienie napięciowe	duże	< 1	duże
2	Wzmocnienie prądowe	duże	duże	< 1
3	Przesunięcie fazowe WE-WY	180°	0°	0°
4	Pasma przenoszenia	wąskie	średnie	szerokie

WYZNACZANIE PUNKTU PRACY TRANZYSTORA

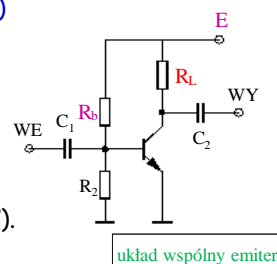
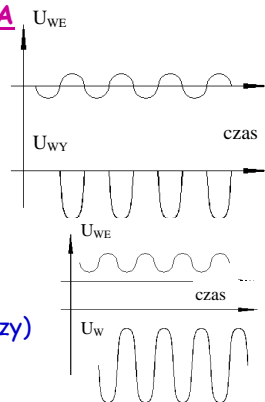
1. (ustalenie wejściowego prądu składowej stałej)

- efekt „prostowania jednopółkowego” - tranzystor pracuje liniowo tylko wtedy, gdy napięcie U_{BE} przekroczy napięcie przewodzenia złącza (np. 0.65 V)
- uzyskanie wzmacniania pełno-okresowego wymaga dodania stałego podkładu (stały prąd bazy) do wejściowego sygnału zmiennego (zmiennego prądu bazy)

Układ automatycznego dodawania podkładu stałego jest układem polaryzacji (określenie punktu pracy tranzystora)

Przykład:

prąd polaryzacji bazy tranzystora ze źródła zasilania przez opornik R_b ustalający składową stałą na wejściu. Kondensatory C_1 i C_2 służą do odseparowania podkładu stałego od wejścia i wyjścia wzmacniacza (sprzężenie AC).

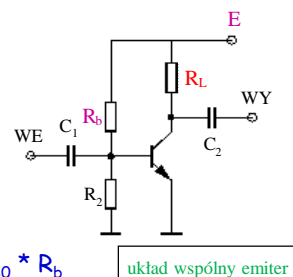
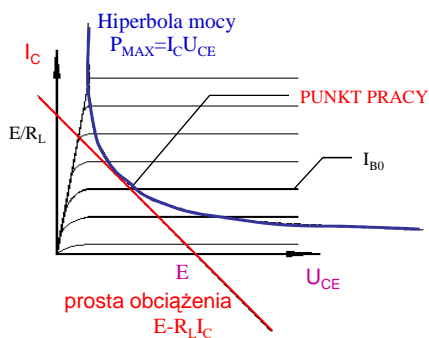


układ wspólny emiter

USTALANIE OPTIMALNEGO PUNKTU PRACY TRANZYSTORA graficzna analiza charakterystyk

Schemat postępowania:

1. Przestrzeń punktów pracy (U_{CE} , I_C) tranzystora jest ograniczona przez hiperbolę maksymalnej dopuszczalnej cieplnej mocy strat tranzystora, określonej w katalogu przez producenta: $P_{MAX}=I_C * U_{CE}$
2. Tranzystor pracuje w układzie dzielnika napięcia z rezystorem R_L
 - przestrzeń punktów pracy ogranicza się do prostej opisanej równaniem: $U_{CE}=E - R_L * I_C$ (tzw. prosta obciążenia)
 - Napięcie zasilania E oraz opór R_L dobieramy tak, by prosta obciążenia była styczna do hiperboli mocy (lub przebiegała poniżej)
3. Odczytujemy optymalny prąd stałego podkładu I_{B0} ,
→ wyznaczamy wartość opornika R_b z r-nia: $E-0.65V=I_{B0} * R_b$



układ wspólny emiter

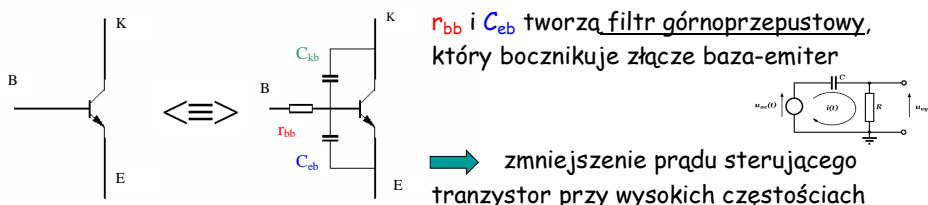
PASMO WZMOCNIENIA I PASMO PRZENOSZENIA

Pasmo wzmocnienia (przenoszenia) wzmacniacza określone jest przez:

- własności tranzystora (**wielkości pasożytnicze**)
- sposób współdziałania tranzystora z obwodem wzmacniacza
- podłączenia wejścia i wyjścia wzmacniacza

Pasożytnicze elementy tranzystora rzeczywistego:

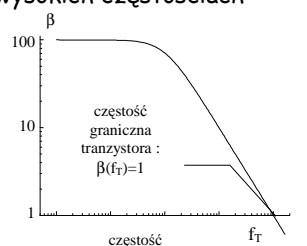
rozproszona rezystancja bazy r_{bb} , pojemności emiter-baza C_{eb} i kolektor-baza C_{kb}



Skutek: współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora maleje wraz ze wzrostem częstotliwości

Pasmo wzmocnienia tranzystora jest ograniczone przez **częstość graniczną f_T**

- powyżej częstotliwości f_T współczynnik wzmocnienia prądowego $\beta < 1$

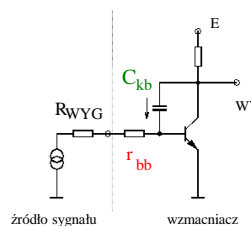


Efekt Millera

Sprzężenie między kolektorem a bazą w postaci filtra górnoprzepustowego tworzonego przez: C_{kb} , r_{bb} oraz rezystancję źródła sygnału R_{WYG}

- ➔ ograniczenie pasma przenoszenia wzmacniacza w układzie o wspólnym emiterze
- ➔ sygnały wyjściowe i wejściowe są przeciwne w fazie

➔ ujemne sprzężenie zwrotne wyjścia (kolektor) z wejściem (baza)



W układzie o wspólnym kolektorze słaby wpływ efektu Millera, gdyż kolektor tranzystora jest połączony z niskorezystywnym źródłem zasilania

W układzie o wspólnej bazie nie ma oddziaływania wyjścia wzmacniacza na wejście przez pojemność C_{kb} , gdyż baza ma ustalony potencjał.

Pasmo przenoszenia wzmacniacza określa się podobnie jak pasmo przenoszenia filtra:

dla częstości granicznej wzmacniacza wzmocnienie jest mniejsze o $\frac{1}{\sqrt{2}}$ w stosunku do wzmocnienia maksymalnego

