

Wzory, równania, zależności
Analogowe układy elektroniczne

Łukasz Przystupa

7 lipca 2023

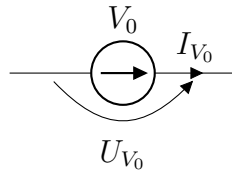
Spis treści

1	Tranzystory bipolarne	4
1.1	Struktura tranzystory	4
1.2	Schemat mało-sygnałowy	4
1.3	Układ ze wspólnym emiterem (OE)	5
1.4	Układ ze wspólną bazą (OB)	6
1.5	Układ ze wspólnym kolektorem (OC) - wtórnik emiterowy	7
2	Układ różnicowy	8
2.1	Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (CMRR)	8
3	Wzmacniacze operacyjne	9
3.1	Parametry	9

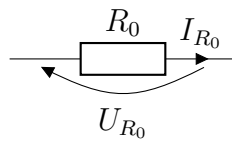
Indeksy i ich znaczenie!

W świecie inżynierów niezwykłą wagę przykładają do jasności i jednoznaczności oznaczeń. Także i w tym skrypcie postaram się abyś Ty drogi czytelniku, nigdy nie miał wątpliwości, o co mi chodziło! Dlatego na wstępie muszę zapoznać Cię z kilkoma podstawowymi zasadami:

1. Oznaczenia napięć i prądów na elementach aktywnych:



2. Oznaczenia prądów i napięć na elementach odbiorczych:



3. Prądu i napięcia stałe:

Napięcie:	U_S
Prąd:	I_S

4. Prądy i napięcia zmienne:

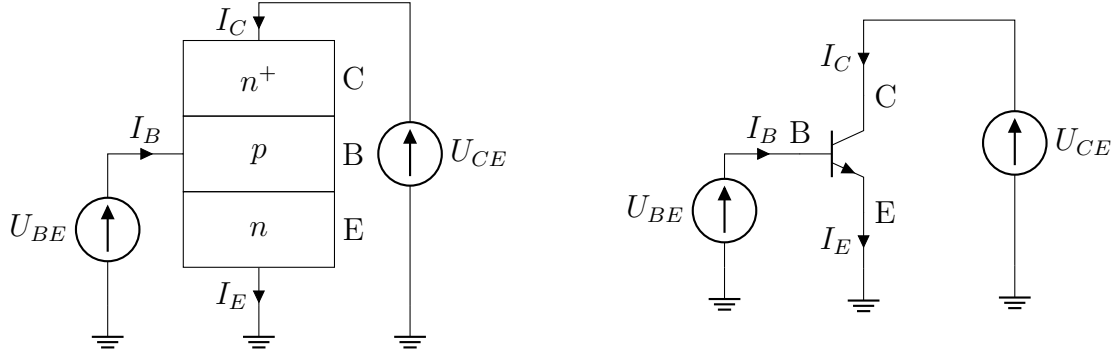
Napięcie:	u_z
Prąd:	i_z

5. Prądy i napięcia o składowej stałej i zmiennej:

Napięcie:	u_S
Prąd:	i_S

1. Tranzystory bipolarne

1.1. Struktura tranzystory



Rysunek 1: Struktura wewnętrzna tranzystora NPN, schemat tranzystory

Stało-prądowa zależności między prądami:

$$I_C \approx I_E \quad (1.1)$$

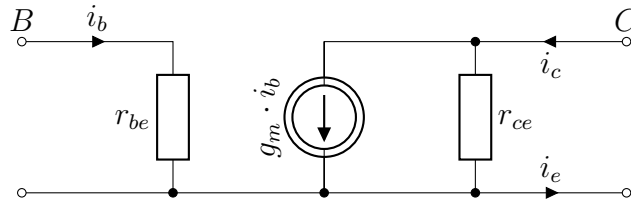
$$I_C = I_{ES} \cdot (e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1) \approx I_{ES} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \quad (1.2)$$

Dla prostych obliczeń można wykorzystać stało-prądowy współczynnik wzmacnienia β :

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (1.3)$$

1.2. Schemat mało-sygnałowy

Układ mało-sygnałowy rozpatrujemy przy zwartych źródłach napięcia stałego oraz rozwartych źródłach prądu stałego! Parametry układu:



Rysunek 2: Schemat mało-sygnałowy, tranzystora NPN

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} \quad r_{be} = \frac{\beta}{g_m} \quad (1.4)$$

$$r_{ce} = \frac{U_A}{I_C}$$

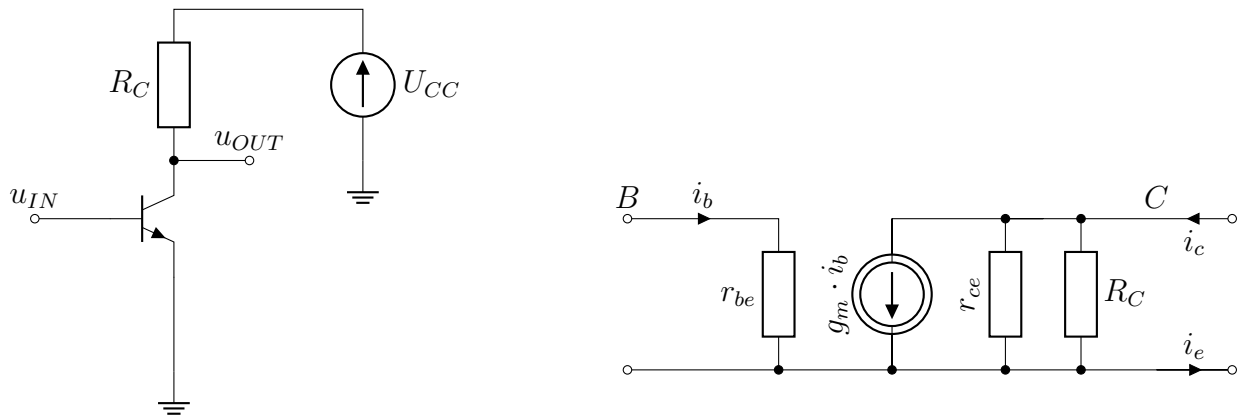
Wzmocnienie napięciowe tranzystory:

$$k_u = \frac{dU_o}{dU_i} = -g_m \cdot r_{ce} \quad (1.5)$$

Wzmocnienie prądowe:

$$k_i = \beta \quad (1.6)$$

1.3. Układ ze wspólnym emiterem (OE)



Rysunek 3: Schemat wzmacniacza OE i model mało-sygnałowy

$$k_u = -g_m \cdot (R_C || r_{ce}) \approx -g_m \cdot R_C = \frac{I_C \cdot R_C}{U_T} \quad (1.7)$$

$$k_{u_{max}} = -g_m \cdot r_{ce} \quad (1.8)$$

$$k_i = \beta \quad (1.9)$$

Niezwykle ważnymi parametrami są rezystancję:

wejściowa: – dopytać bo nie jestem pewien :C

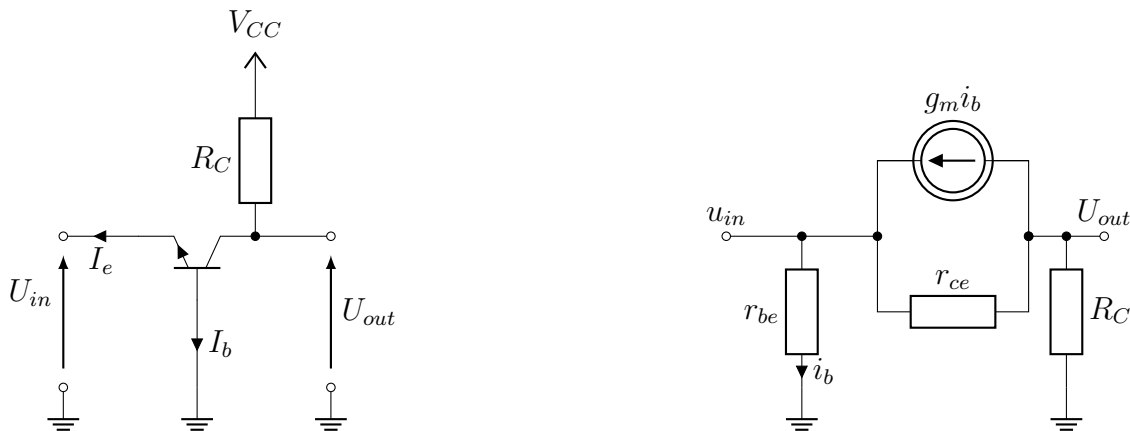
$$r_{in} = \frac{u_{in}}{i_{in}} = r_{be} \quad (1.10)$$

wyjściowa:

$$r_{out} = \frac{i_{out}}{u_{out}} = R_C || r_{ce} \quad (1.11)$$

1.4. Układ ze wspólną bazą (OB)

Dużo rzadziej spotykaną konfiguracją tranzystora, jest połączenie ze wspólną bazą.



Rysunek 4: Schemat ideowy oraz model mało-sygnałowy tranzystora ze wspólną bazą

$$k_u = \frac{u_{out}}{u_{in}} \approx g_m \cdot R_C \quad (1.12)$$

W zasadzie dokładnie takie samo jak w układzie OE...

$$k_i \approx 1 \quad (1.13)$$

Rezystancja wejściowa:

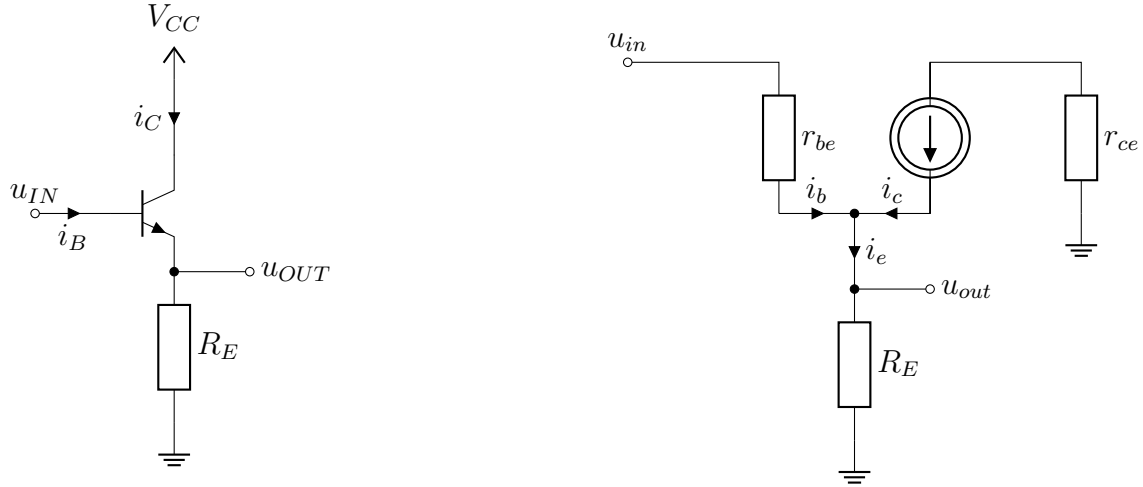
$$r_{in} = \frac{1}{g_m} \approx \frac{r_{be}}{\beta} \quad (1.14)$$

Rezystancja wyjściowa:

$$r_{out} = R_C || r_{ce} \left(1 + \beta \frac{r_G}{r_{be} + r_G} \right) = R_C || r_{ce} \quad (1.15)$$

Mała wartość impedancji wejściowej sprawia, że układ jest rzadko stosowany w układach mało-sygnałowych. – generalnie układ gówniany

1.5. Układ ze wspólnym kolektorem (OC) - wtórnik emiterowy



$$k_u = \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{u_{in} - i_b \cdot r_{be}}{u_{in}} \approx 1 \quad (1.16)$$

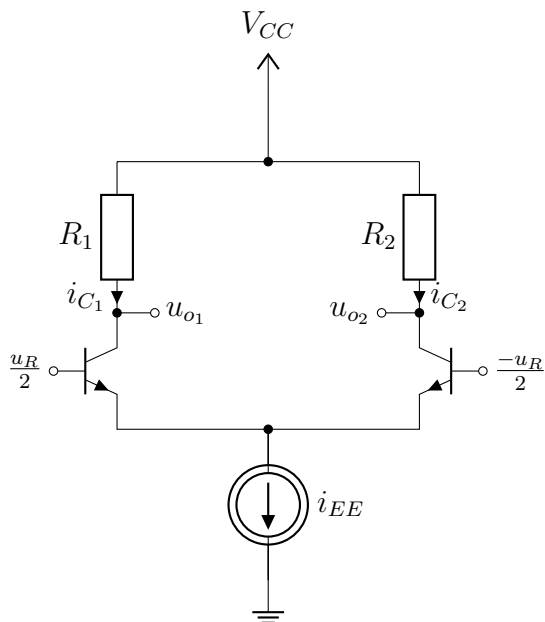
$$k_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{i_e}{i_b} = \beta + 1 \approx \beta \quad (1.17)$$

$$r_{in} = \frac{u_{in}}{i_{in}} = \frac{i_b r_{be} + i_e R_E}{i_b} = r_{be} + (\beta + 1) R_E \approx \beta R_E \quad (1.18)$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{i_{out}} = R_E \parallel \frac{r_{be}}{\beta + 1} \quad (1.19)$$

2. Układ różnicowy2

Układ różnicowy, jest jednym z najczęściej spotykanych układów w elektronice, głównie przez to że jest to pierwszy stopień wzmacniaczy operacyjnych.

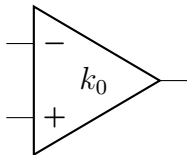


Rysunek 5: Układ wzmacniacza różnicowego na tranzystorach NPN.

2.1. Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (CMRR)

$$CMRR = \frac{k_r}{k_s} \quad (2.1)$$

3. Wzmacniacze operacyjne



3.1. Parametry

- k_0 – wzmacnienie wzmacniacza w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego
- PSRR – współczynnik odrzucenia wpływu zasilania

$$PSRR = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta U_{supply}} \quad (3.1)$$

- Slew rate – szybkość narastania zboczy

$$SR = || \quad (3.2)$$

- Wide bandwidth – pole wzmacnienia

$$bandwidth = Gain \cdot Band \quad (3.3)$$

Jeśli w nocie katalogowej znajdują się informacje o nominalnym polu wzmacnienia to należy rozumieć je jako iloczyn:

$$bandwidth = 1 \frac{V}{V} \cdot Band \quad (3.4)$$