

RYSZARD KOSTECKI

Badanie
charakterystyki
 tranzystora
bipolarnego

Streszczenie

Celem tej pracy jest zapoznanie się z tematyką i zbadanie tranzystora bipolarnego, oraz wyznaczenia jego charakterystyk $I_c(U_{ce})$ dla różnych prądów bazy.

Oznaczenia

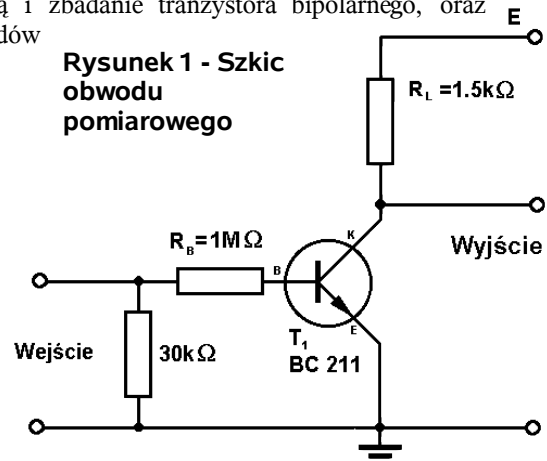
E - napięcie zasilania
U_{we} - napięcie wejściowe
U_{wy} - napięcie wyjściowe
I_c - prąd kolektora
I_b - prąd bazy

Realizacja techniczna

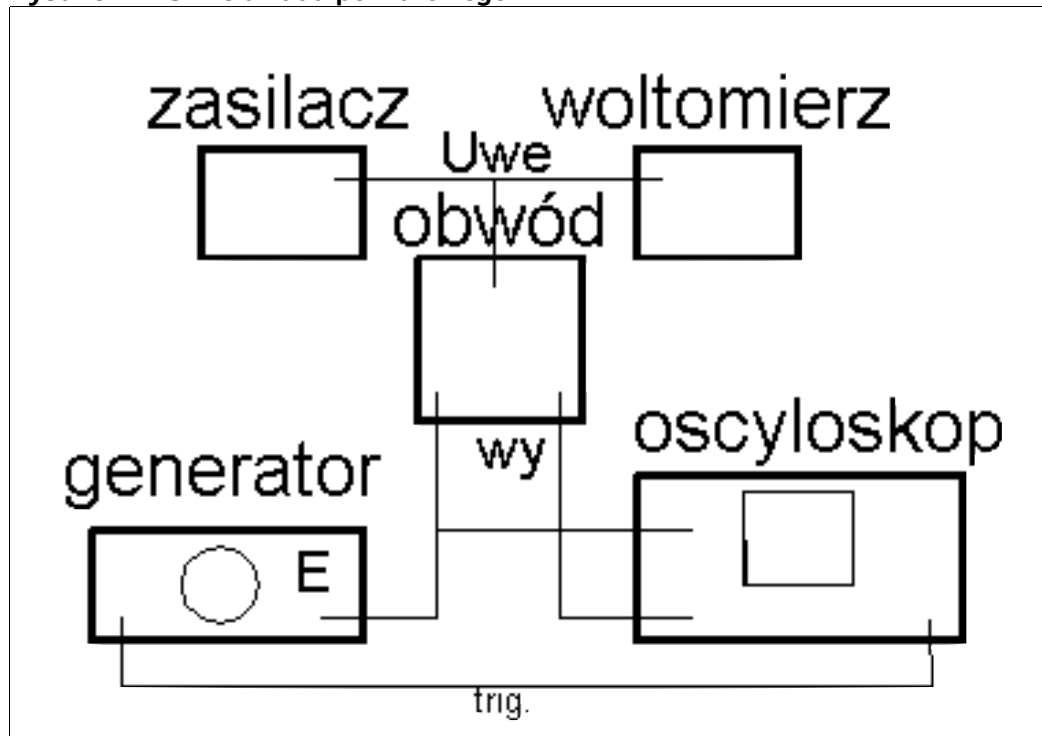
Do przeprowadzenia doświadczenia użyłem tranzystora bipolarnego BC211, trzech rezystorów o oporze $R_b = (0,995 \pm 0,005) \text{ M}\Omega$, $R_c = R_l = (1,5 \pm 0,05) \text{ k}\Omega$, $R = (30 \pm 0,1) \text{ k}\Omega$ (wartości te zmierzyłem multimetrem cyfrowym). Ponadto użyłem też płytkę montażową, kilka przewodów, zasilacz, woltomierz, oraz generator sygnałów (o nominalnym oporze $R = 50 \Omega$, dokładność nieznaną) i oscyloskop.

Doświadczenie rozpocząłem od zmontowania obwodu pomiarowego, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1, po czym zmontowałem zawierający go układ pomiarowy, przedstawiony na rysunku 2.

Jako napięcie zasilania E wykorzystałem (liniowo narastający w zakresie od 0 do 5V i o częst. równej około 1000Hz) sygnał z generatora podawany przez gniazdo BNC. Drugie gniazdo koncentryczne było połączone z wyjściem wzmacniacza. Jako napięcie wejściowe U_{we} zastosowałem stałe napięcie z zasilacza podawane na gniazda radiowe. Po tych czynnościach przystąpiłem do pomiarów, w których zmierzyłem woltomierzem zależności U_{wy}(E) dla kilku napięć U_{we} z zakresu od 0 do 10V.



Rysunek 2 - Szkic układu pomiarowego



Wyniki pomiarów

Poniżej przedstawiam wyniki dokonanych przeze mnie pomiarów. I_b oraz I_c wyliczyłem ze wzorów: $I_b = (U_{we} - 0.65V) / R_b$, $I_c = (E - U_{wy}) / R_c$. U_{ce} i U_{wy} oznaczają to samo.

$$I_b [\mu A] = 3,37 \pm 0,14$$

$$U_{we} [V] = 4 \pm 0,01$$

$$I_b [\mu A] = 5,38 \pm 0,21$$

$$U_{we} [V] = 6 \pm 0,01$$

$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$	$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$
0	0	0	0	0	0
0,04	0,08	0,026666667	0,04	0,1	0,04
0,08	0,16	0,053333333	0,08	0,22	0,093333333
0,12	0,2	0,053333333	0,12	0,3	0,12
0,16	0,24	0,053333333	0,16	0,37	0,14
0,42	0,5	0,053333333	0,2	0,44	0,16
0,92	1	0,053333333	0,76	1	0,16
1,92	2	0,053333333	1,76	2	0,16
2,92	3	0,053333333	2,76	3	0,16
3,92	4	0,053333333	3,76	4	0,16
4,92	5	0,053333333	4,76	5	0,16

$$I_b [\mu A] = 6,38 \pm 0,27$$

$$U_{we} [V] = 7 \pm 0,01$$

$$I_b [\mu A] = 7,39 \pm 0,39$$

$$U_{we} [V] = 8 \pm 0,01$$

$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$	$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$
0	0	0	0	0	0
0,04	0,12	0,053333333	0,04	0,12	0,053333333
0,08	0,26	0,12	0,08	0,32	0,16
0,12	0,4	0,186666667	0,12	0,48	0,24
0,16	0,48	0,213333333	0,16	0,54	0,253333333
0,2	0,52	0,213333333	0,2	0,6	0,266666667
0,68	1	0,213333333	0,6	1	0,266666667
1,68	2	0,213333333	1,6	2	0,266666667
2,68	3	0,213333333	2,6	3	0,266666667
3,68	4	0,213333333	3,6	4	0,266666667
4,68	5	0,213333333	4,6	5	0,266666667

$$I_b [\mu A] = 8,39 \pm 0,47$$

$$U_{we} [V] = 9 \pm 0,01$$

$$I_b [\mu A] = 9,40 \pm 0,55$$

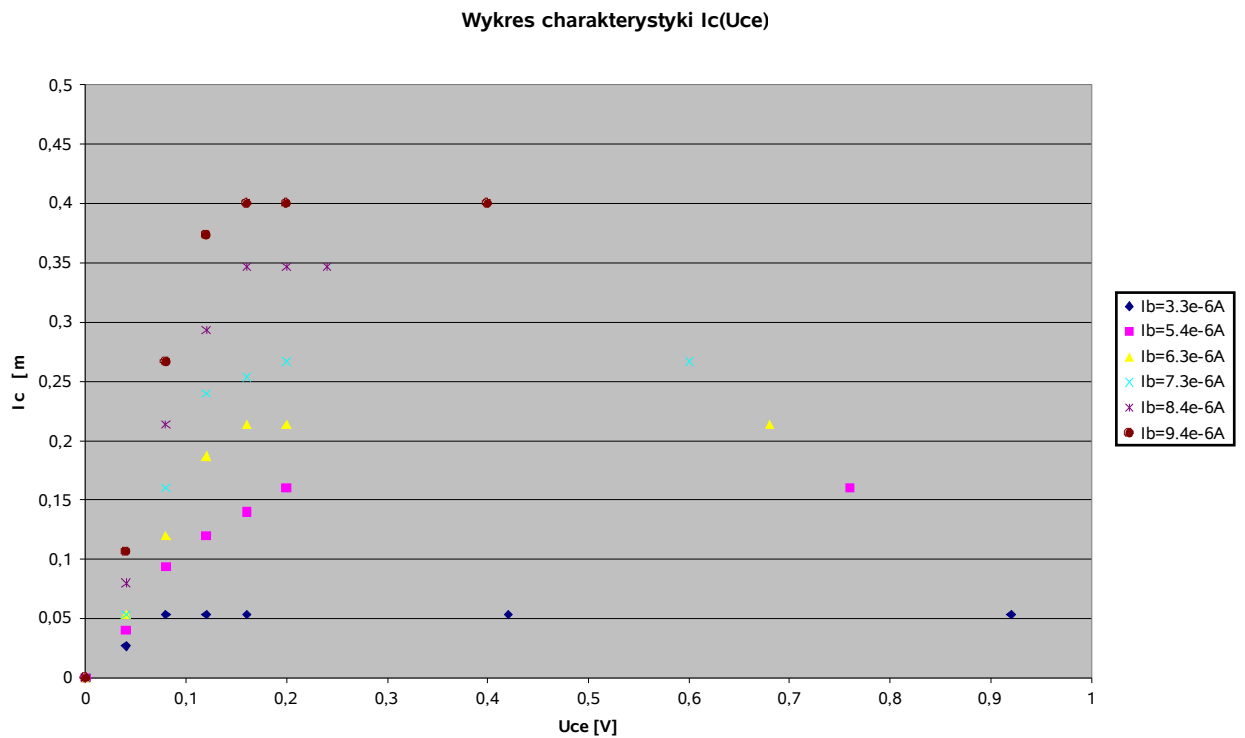
$$U_{we} [V] = 10 \pm 0,01$$

$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$	$U_{wy} [V]$	$E [V]$	$I_c [mA]$
0	0	0	0	0	0
0,04	0,16	0,08	0,04	0,2	0,106666667
0,08	0,4	0,213333333	0,08	0,48	0,266666667
0,12	0,56	0,293333333	0,12	0,68	0,373333333
0,16	0,68	0,346666667	0,16	0,76	0,4
0,2	0,72	0,346666667	0,2	0,8	0,4
0,24	0,76	0,346666667	0,4	1	0,4
1,48	2	0,346666667	1,4	2	0,4
2,48	3	0,346666667	2,4	3	0,4
3,48	4	0,346666667	3,4	4	0,4
4,48	5	0,346666667	4,4	5	0,4

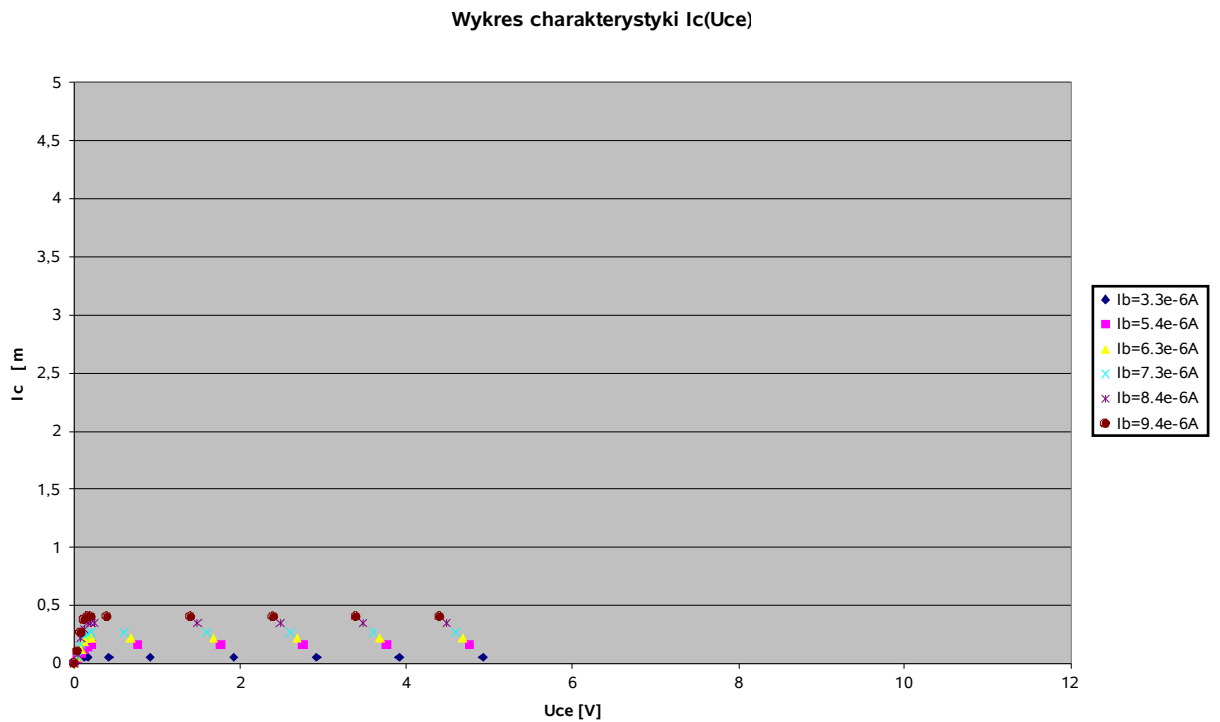
przy czym $\Delta U_{wy} = \Delta E$ we wszystkich przypadkach wyniosła 0,01V. Nie liczę dokładności I_c , bowiem ona zostanie automatycznie uwzględniona później, przy regresji liniowej.

A tak wygląda charakterystyka tranzystora (zamieszczam także "powiększenie" części wykresu w celu ukazania bliżej charakterystyki "kolana" dla niskich napięć):

Rysunek 3 - Charakterystyka $I_c(U_{ce})$: powiększenie "kolana"



Rysunek 4 - Charakterystyka $I_c(U_{ce})$: pełny wykres + prosta obciążenia



przy czym $\Delta U_{wy} = \Delta E$ we wszystkich przypadkach wyniosła 0,01V. Nie liczę dokładności I_c , bowiem ona zostanie automatycznie uwzględniona później, przy regresji liniowej.

Analiza i dyskusja wyników

Aby znaleźć optymalny punkt pracy dla wzmacniacza o wspólnym emiterze na rodzinie charakterystyk (patrz: rysunek 4) wykreśliłem prostą obciążenia dla $E=12V$ i $R_I=1.5\text{ k}\Omega$, oraz oznaczyłem punkt o współrzędnej $U_{ce}=6V$. Niestety, żadna ze zmierzonych charakterystyk nie przecina, ani nawet nie znajduje się w pobliżu tego punktu. Wobec tego muszę ekstrapolować zależność $b(I_c)=a \cdot I_c + b$ z niej - dla punktu $U_{ce}=6V$ (a więc $I_c=4\text{mA}$) - odczytać wartość I_{b0} .

Dla zależności $I_b = a \cdot I_c + b$ otrzymałem:

$$a = 17.1617$$
$$\Delta a = 0.590883$$

$$b = 2.59811\text{ mA}$$
$$\Delta b = 0.157306\text{ mA}$$

Po zaokrągleniu:

$$a = (17.16 \pm 0.6)$$
$$b = (2.6 \pm 0.16)\text{ mA}$$

Współczynnik korelacji liniowej $R = 0.9976$

Wobec tego $I_{b0} = (71,24 \pm 2,56)\text{ mA}$, a wstawiwszy to do wzoru $R_b = (E - 0.65V)/I_{b0}$, otrzymujemy ostatecznie $R_b = 159,32\text{ k}\Omega$. Po zastosowaniu propagacji małych błędów, otrzymujemy $\Delta R_b = 18,54\text{ k}\Omega$. Ostatecznie więc, po zaokrągleniu: **$R_b = (159 \pm 19)\text{ k}\Omega$** .

Appendix: Rysunek 5 - wykres zależności $I_b(I_c)$

