

1 wstęp teoretyczny

1.1 półprzewodniki

Półprzewodniki są to krystaliczne ciała stałe charakteryzujące się tym, że ich przewodność szybko zmienia się wraz z temperaturą. Wykazują dużą wrażliwość na domieszkowanie. Ich budowa atomowa jest podobna do budowy dielektryków, różnica polega na tym, że wiązania kowalentne w półprzewodnikach są dużo słabsze niż w dielektrykach. Dzięki zerwaniu słabych wiązań kowalentnych w półprzewodnikach znajduje się wiele elektronów swobodnych i dziur. Z reguły dziurę można traktować jak naładowaną dodatnio cząstkę poruszającą się swobodnie w kryształ. Stąd wynika, że przepływ prądu elektrycznego w półprzewodniku może być wynikiem ruchu elektronów swobodnych oraz dziur. Przewodnictwo elektryczne (a więc liczba elektronów swobodnych i dziur) półprzewodników rośnie gwałtownie z temperaturą. Półprzewodniki możemy domieszkować pierwiastkami posiadającymi większą ilość elektronów walencyjnych niż pierwiastek tworzący półprzewodnik, wtedy liczba elektronów swobodnych (donorów) przekracza liczbę dziur (akceptorów) i mamy do czynienia z półprzewodnikiem typu n . Półprzewodniki typu p powstają przez domieszkowanie pierwiastkiem o mniejszej liczbie elektronów walencyjnych i w takim półprzewodniku nośnikami stają się dziury.

1.2 Złącze $p-n$

Powstaje na granicy istniejącej w półprzewodniku między obszarami typu p i typu n . Nagła zmiana koncentracji elektronów swobodnych na złączu powoduje przepływ dyfuzyjny elektronów z obszaru typu n do obszaru typu p i dziur „w drugą stronę”. Jony ujemne nieruchome półprzewodnika typu p znajdujące się w pobliżu złącza będą przyciągały dziury, które przeszły do przewodnika typu n . Podobnie jony dodatnie domieszki półprzewodnika typu n będą przyciągały elektrony swobodne, które przeszły do obszaru typu p . Powstałe pole elektryczne pomiędzy jonami dodatnimi półprzewodnika typu n a jonami ujemnymi półprzewodnika typu p przeciwdziała dalszemu przechodzeniu nośników pomiędzy obszarami, tworzy się tzw. bariera potencjału. Powstanie bariery potencjału związane jest z istnieniem warstwy ładunku przestrzennego, z którego zostały uzunięte elektrony swobodne i dziury. Naładowane jony donorowe i akceptorowe tworzą jak gdyby kondensator płaski. Jeżeli do złącza $p-n$ doprowadzimy napięcie ujemne do obszaru typu p a dodatnie do n , wówczas uzyskamy rozszerzenie obszaru ładunku przestrzennego i zmniejszenie pojemności, niemożliwy jest wtedy przepływ prądu, a kierunek włączenia napięcia stałego nazywa się kierunkiem zaporowym. Stan powstający w warstwie przejściowej złącza $p-n$ odpowiada istnieniu dużej rezystancji materiału uniemożliwiającej przepływ prądu, warstwę tę nazywa się warstwą zaporową. Jeżeli doprowadzimy napięcie odwrotnie, wówczas nastąpi zwięźenie obszaru ładunku przestrzennego i zwiększenie pojemności zastępczej, maleje także rezystancja i jest możliwy przepływ prądu, w tym przypadku złącze pracuje w kierunku przepustowym. Prąd całkowity powstaje w wyniku rekombinacji¹ nośników większościowych dostarczonych ze źródła zewnętrznego, z nośnikami mniejszościowymi, pochodzącymi z dyfuzji.

¹łączenie się dziur i elektronów i ich zanikanie

1.3 tranzystor jako element elektroniczny o regulowanym przeplywie ladunkow elektrycznych

Kazdy tranzystor bipolarny sklada sie z dwuch zlacz p-n polozonych blisko siebie w jednym monokrysztalie. Kazdy z obszarow p, n, p tranzystora stanowi jedna z jego elektrod. Poniewaz zlacze baza-emiter jest spolaryzowane zgodnie z kierunkiem przewodzenia istnieje przeplyw dziur z obszaru p do obszaru n oraz elektronow w kierunku przeciwnym. Czesc elektronow, ktora przenika do bazy, laczy sie z dziurami. Wszystkie elektrony, ktore dojad do zlacza kolektorowego sa natychmiast „wysane” do obszaru kolektora. Zasade dzialania tranzystora mozna przedstawic jako dwie przeciwnie polaczone diody polprzewodnikowe. Dioda baza-emiter jest zawsze spolaryzowana w kierunku przewodzenia, natomiast dioda baza-kolektor jest zawsze spolaryzowana w kierunku zaporowym. Jezeli miedzy kolektor i emiter zostanie doprowadzone napiecie U_{CE} i napiecie U_{BE} , wowczas przez tranzystor przeplywa prad I_C , ktorego wartosc zalezy od pradu bazy. Prad kolektora I_C jest prawie rowny pradowi emitera I_E^2 . Wzmacniajace dzialanie tranzystora polega na tym, ze przeplywajacy prad bazy I_B powoduje bardzo znaczny przyrost pradu kolektora $\Delta I_C = \Delta I_B \beta$. Wspolczynnik β , zwany wspolczynnikiem wzmacnienia dla pradu stalego, wskazuje jak zmienia sie prad kolektora ΔI_C przy malych zmianach pradu bazy ΔI_B . typowe wartosci β mieszczą sie w granicach od 20 do 500.

1.4 Trzy zasadnicze tryby pracy tranzystora

- WE - ukklad ze wspolnym emiterem dajacy duze wzmacnienie zarowno pradowe, jak i napieciowe. Napięcie wyjsciowe jest odwrócone w fazie o π w stosunku do napięcia wejsciowego. Rezystancja wejsciowa jest rzędu kilkuset Ω a wyjsciowa kilkudziesieciu $k\Omega$. Ukklad ten pobiera moc w obwodzie wejsciowym i odznacza sie wiekszym wzmacnieniem niz inne układy
- WB - ukklad ze wspólną bazą odznacza sie małą rezystancją wejsciową oraz bardzo dużą wyjsciową. Wyróżnia sie pracą przy bardzo duzych częstotliwościach granicznych³
- WC - ukklad ze wspólnym kolektorem. Jako jedyny hcarakteryzuje sie dużą rezystancją wejsciową. Ma to istotne znaczenie przy wzmacnianiu przebiegow elektrycznych o malej częstotliwości. Ukklad ten daje najmniejsze wzmacnienie mocy. Nie nadaje sie do wzmacnienia napieciowego.

1.5 Charakterystyki tranzystora w ukkladzie WE

- Wyjsciowa. $I_C = f(U_{CE})$ podaje zaleznosc pradu kolektora I_C od napięca kolektor-emiter U_{CE} dla róznych pradow bazy I_B przy róznych wartosciach napięca bazy U_{BE} . Dla pewnego I_B , I_C osiaga szybko swojå prawie stalå wartosc. Dochodzi do tzw. nasyce-nia. Powyzej pewnego napięca U_{CE} wszyscy nošniki ladunku elektrycznego, pobudzone napięciem U_{BE} , biorå udzial w tworzeniu pradu kolektora. Z charakterystyki tej mozna w latwy sposob wyznaczyć wzmacnienie pradowe $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$
- Przejsciowa $I_C = f(I_B)$ przedstawia zaleznosc pomiedzy pradem kolektora a pradem bazy dla stalego U_{CE} . Wspolczynnik wzmacniwnia pradowego $\beta = \arctg \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$.

²mniejszy od I_E o I_B , poniewaz $I_C = I_E - I_B$

³liczonych w GHz

- Wejściowa. $I_B = f(U_{BE})$ pokazuje zmiany prądu kolektora oraz prądu bazy przy zmianie napięcia baza-emiter. Z charakterystyki tej można wyznaczyć rezystancję wejściową tranzystora $r_{WE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$.

2 plan pracy

1. Montaż układu zgodnie ze schematem.
2. Jednoczesny pomiar dla charakterystyki wejściowej i przejściowej
3. Pomiar dla charakterystyki wyjściowej
4. Rozmontowanie zestawu

3 opracowanie wyników

3.1 charakterystyka wejściowa: $I_B = f(U_{BE})$

Seria pomiarowa przy stałym napięciu kolektor-emiter $U_{CE} \equiv 2,6V$. Na *wykresie 1* umieściłem wszystkie punkty pomiarowe. Natomiast na *wykresie 2* umieściłem końcowy wycinek wraz z wykreśloną dopasowaną prostą $y = ax + b$. Współczynniki jakie otrzymałem z regresji umieściłem w tabeli:

a	$58,7 \pm 3,6$	(6.17%)
b	$-36,6 \pm 2,4$	(6.464%)

współczynnik a odpowiada rezystancji wejściowej $r_{we} = 58,7 \pm 3,6[k\Omega]$.

3.2 charakterystyka przejściowa: $I_C = f(I_B)$

Dokonałem pomiaru natężenia prądu bazy I_B oraz natężenia prądu kolektora I_C , przy napięciu kolektor-emiter $U_{CE} = (2,60 \pm 0,01[V])$.

Zależność $I_C(I_B)$ wraz z dopasowaną prostą umieściłem na *wykresie 3*.

Współczynniki otrzymane z regresji:

a	$= 46,71 \pm 0,59$	(1.269%)
b	$= -4,09 \pm 0,51$	(12.46%)

Współczynnik a jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego $\beta = 46,71 \pm 0,59$

3.3 charakterystyka wyjściowa: $I_C = f(U_{CE})$

Seria pomiarowa zależności prądu kolektora I_C od napięcia kolektor-emiter U_{CE} dla dwóch wartości ustalonego prądu bazy $I_B = 0,5mA$ oraz $I_B = 1,5mA$.

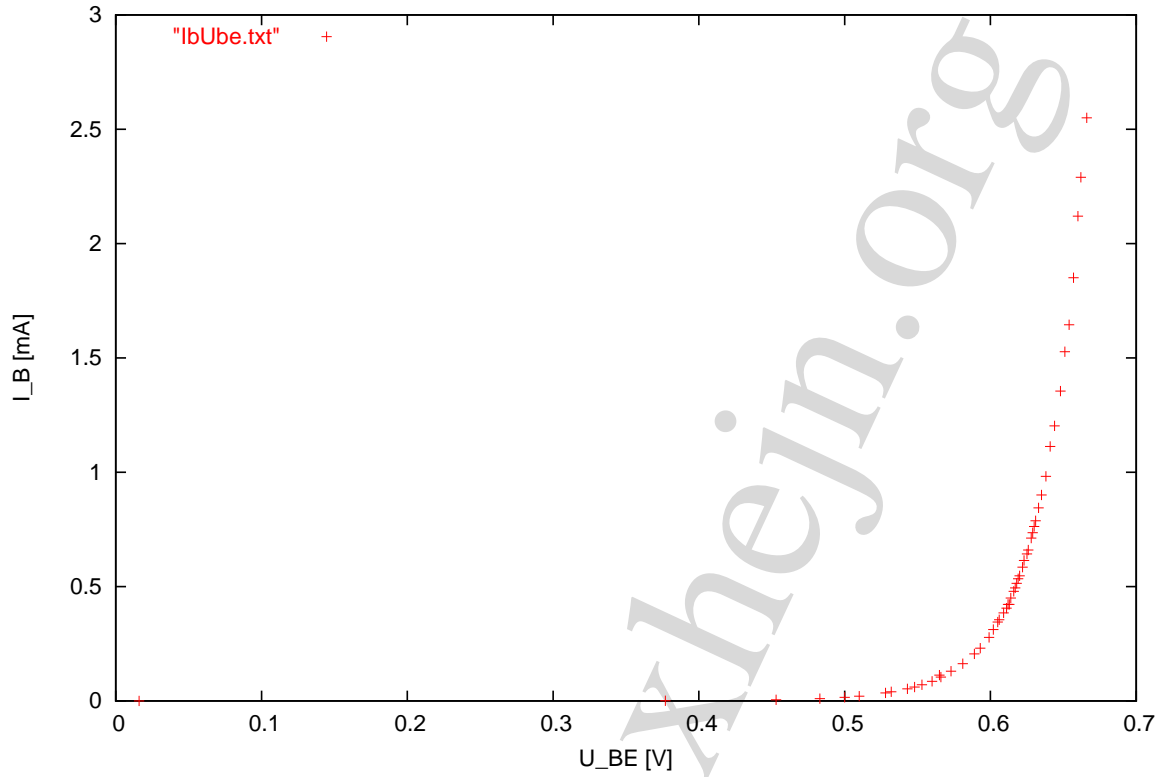
Dokonałem regresji liniowej w przedziale słabego wzrostu. Otrzymane współczynniki zebrałem w tabeli

$I_B = 0,5mA$			$I_B = 1,5mA$		
a	$= 0.0248 \pm 0.085$	(340.2%)	a	$= 0.6548 \pm 0.0075$	(1.147%)
b	$= 17.12 \pm 0.15$	(0.8709%)	b	$= 63.146 \pm 0.016$	(0.02587%)

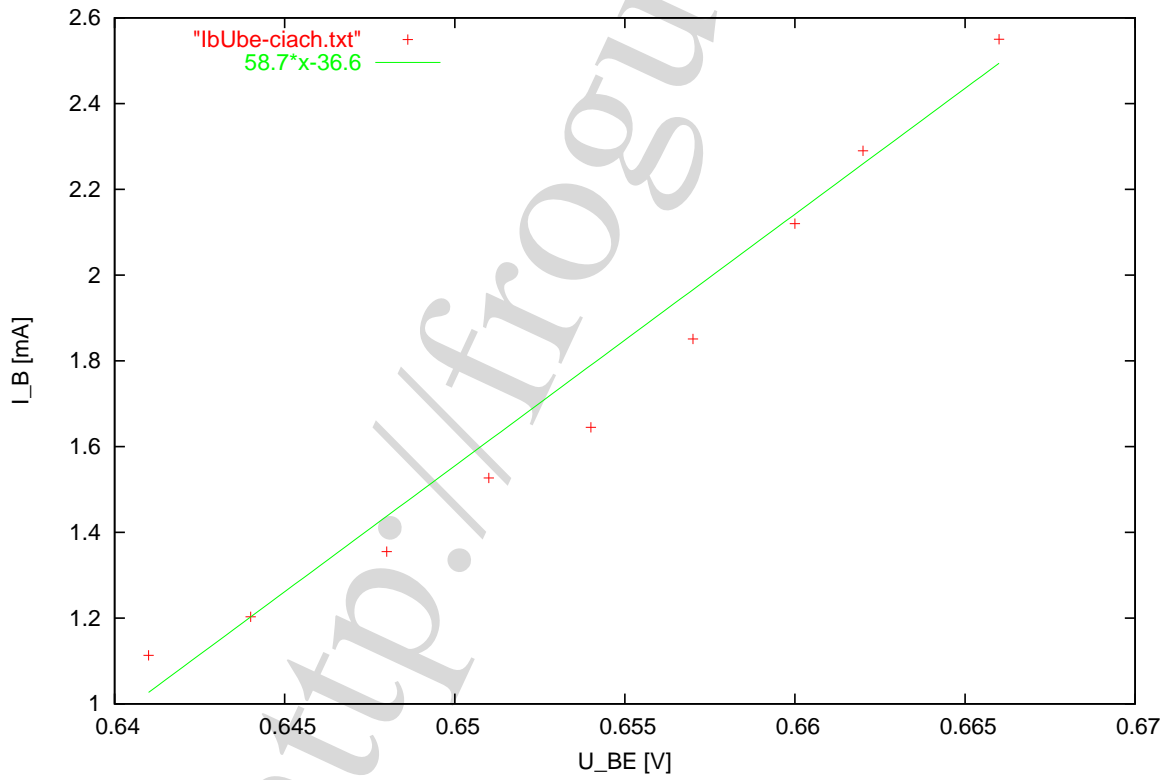
Współczynnik a odpowiada rezystancji wyjściowej dla odpowiedniego prądu bazy.

Dla $I_B = 0,5mA$ wynosi $r_{wy} 0.0248 \pm 0.085$, natomiast dla $I_B = 1,5mA$ wynosi $r_{wy} = 0.6548 \pm 0.0075$.

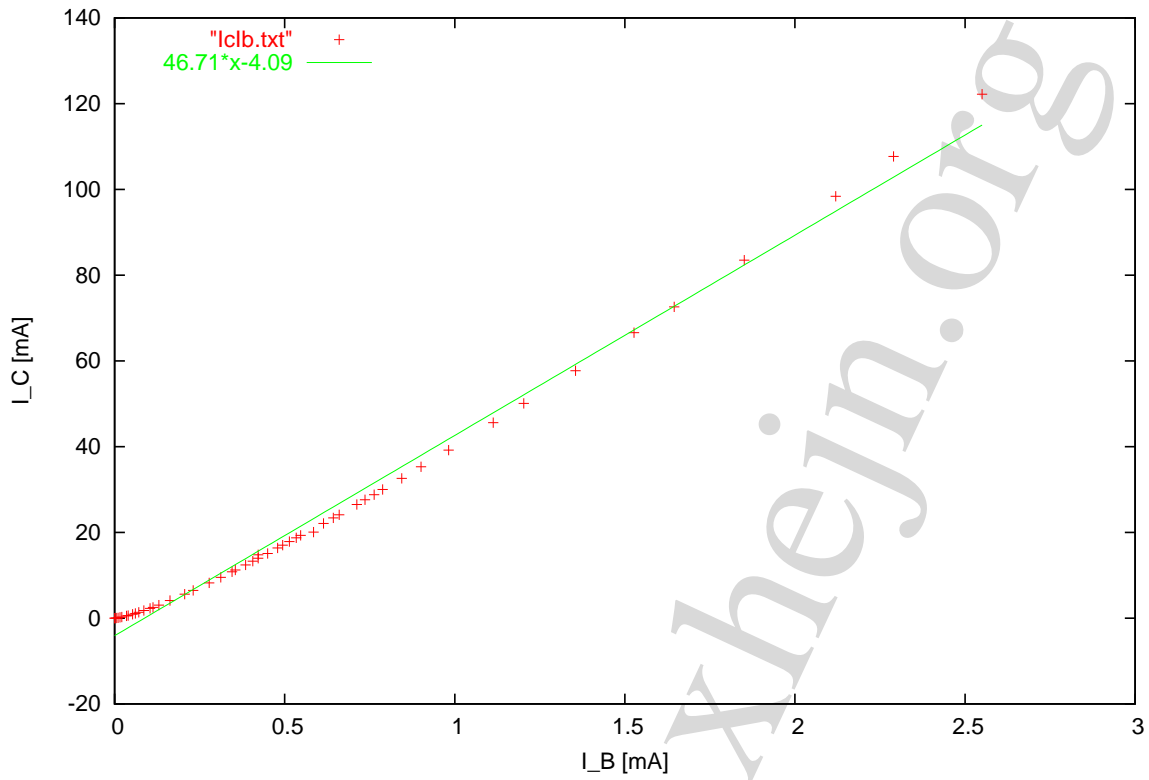
WYKRES 1 :: Charakterystyka wejsciowa



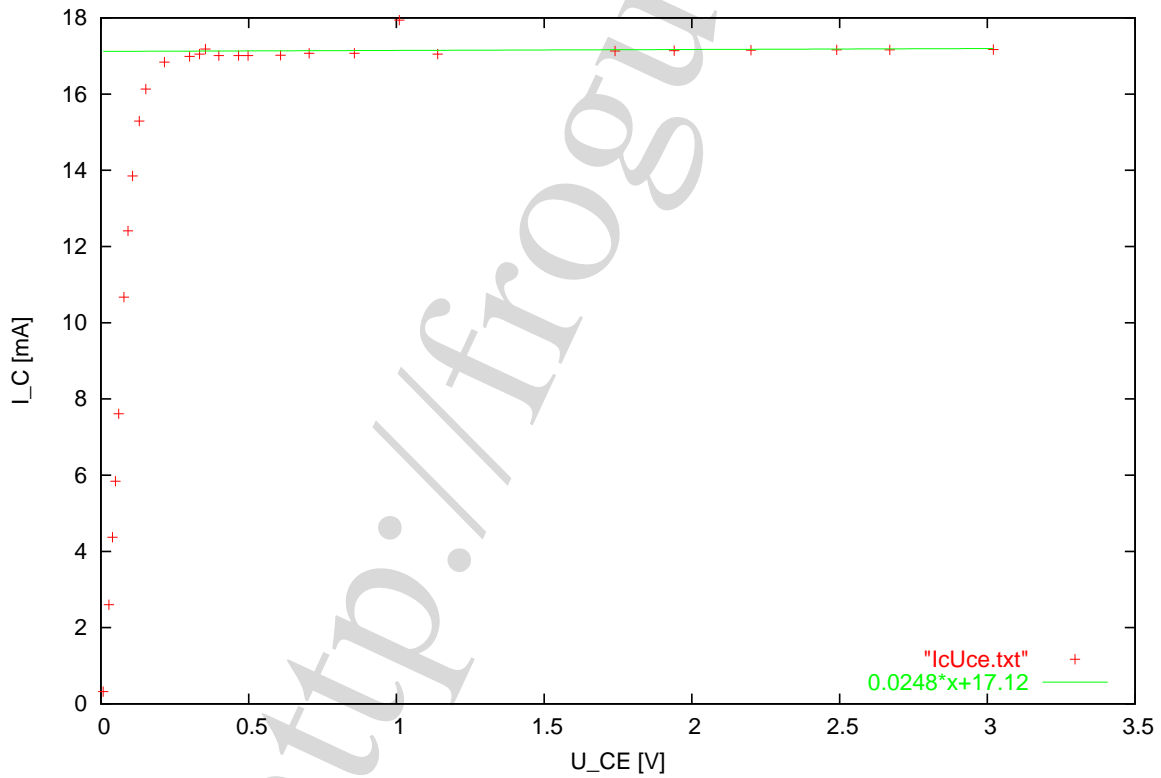
WYKRES 2 :: Charakterystyka wejsciowa - FIT



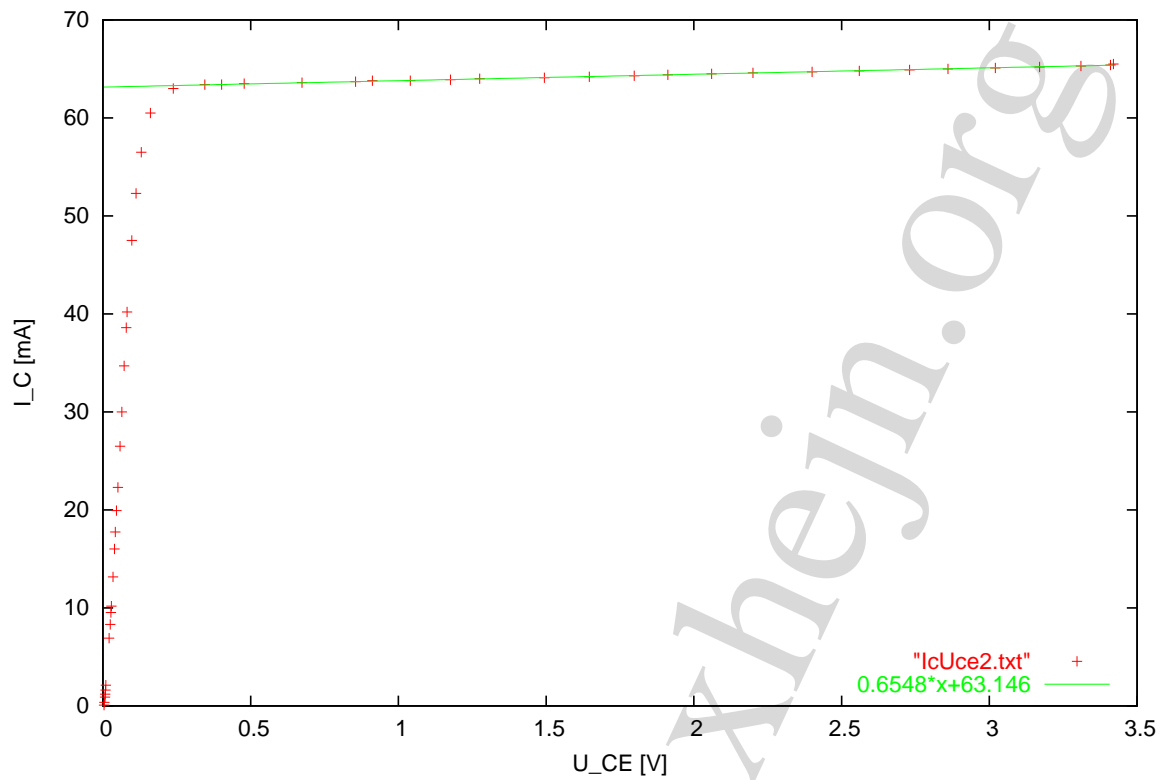
WYKRES 3 :: Charakterystyka przejściowa



WYKRES 4 :: Charakterystyka wyjściowa ($I_b=0,5$)



WYKRES 5 :: Charakterystyka wyjściowa ($I_b=1,5$)



<http://frogu.xhejn.org>

4 poprawa sprawozdania

4.1 charakterystyka wejściowa

$$r_{we} = \left. \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} \right|_{U_{CE}=\text{const}} \quad (1)$$

$$I_B = U_{BE} \cdot a + b \quad (2)$$

$$r_{we} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{U_{BE_2} - U_{BE_1}}{I_{B_2} - I_{B_1}} = \frac{U_{BE_2} - U_{BE_1}}{U_{BE_2} \cdot a + b - U_{BE_1} \cdot a - b} = \frac{U_{BE_2} - U_{BE_1}}{a \cdot (U_{BE_2} - U_{BE_1})} = \frac{1}{a} \quad (3)$$

Niepewność wyznaczenia r_{we} obliczyłem, korzystając z metody różniczki zupełnej.

$$\Delta r_{we} = \left| -\frac{1}{a^2} \right| \cdot \Delta a = 0,00027 \left[\frac{V}{mA} \right] = 0,27 \left[\frac{V}{A} = \Omega \right] \quad (4)$$

$$a = 46,71 \left[\frac{mA}{V} \right] \Rightarrow r_{we} = \frac{1}{a} = 0,02141 \left[\frac{V}{mA} \right] = 21,41 \left[\frac{V}{A} = \Omega \right] \quad (5)$$

4.2 charakterystyka wyjściowa

Obliczeń dokonałem korzystając ze wzorów wyprowadzonych w poprzedniej części.

Wyniki dla $I_B = 0,5mA$ musiałem niestety odrzucić. Niepewność rzędu 340% jest wartością nie do przyjęcia.

Dla $I_B = 1,5mA$, $r_{wy} = (1,527 \pm 0,017)k\Omega$