

Uniwersytet Pedagogiczny

im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

Instytut Nauk Technicznych

Laboratorium elektroniki

Ćwiczenie nr 3

Temat: **PRZYRZĄDY PÓŁPRZEWODNIKOWE**
TRANZYSTOR BIPOLARNY

Rok studiów	Grupa	Imię i nazwisko	Data	Podpis	Ocena

1. Cel ćwiczenia:

Badanie własności tranzystora bipolarnego o polaryzacji npn w konfiguracji wspólnego emitera oraz wyznaczenie:

- charakterystyki wejściowej,
- charakterystyki wyjściowej,
- statycznego współczynnika wzmocnienia prądowego.

2. Wprowadzenie:

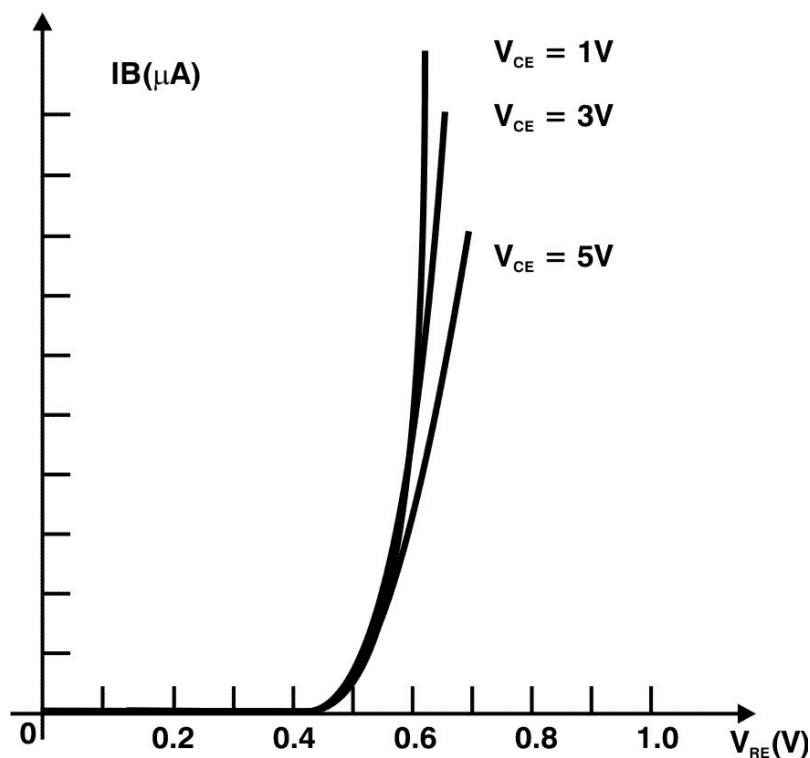
Właściwością tranzystora są krzywe, które reprezentują związek między napięciem a natężeniem prądu stałego. Wyznaczenie charakterystyka wejściowej i wyjściowej ułatwia poznanie zasady działania tranzystora bipolarnego. W pliku [tranzystor.pdf](#) znajdują się podstawowe informacje na temat zasady działania tranzystora bipolarnego.

Trzema ważnymi charakterystykami tranzystora są:

1. Charakterystyka wejściowa.
2. Charakterystyka wyjściowa.
3. Charakterystyka współczynnika wzmocnienia prądowego.

Charakterystyka wejścia:

W konfiguracji wspólnego emitera, jest to krzywa wykreślona pomiędzy natężeniem prądu bazy I_B , a napięciem baza-emiter U_{BE} dla różnych stałych wartości napięcia kolektor-emiter U_{CE} . Przybliżony kształt charakterystyki wejściowej pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Charakterystyka wejściowa tranzystora bipolarnego.

Charakterystyka wyjścia:

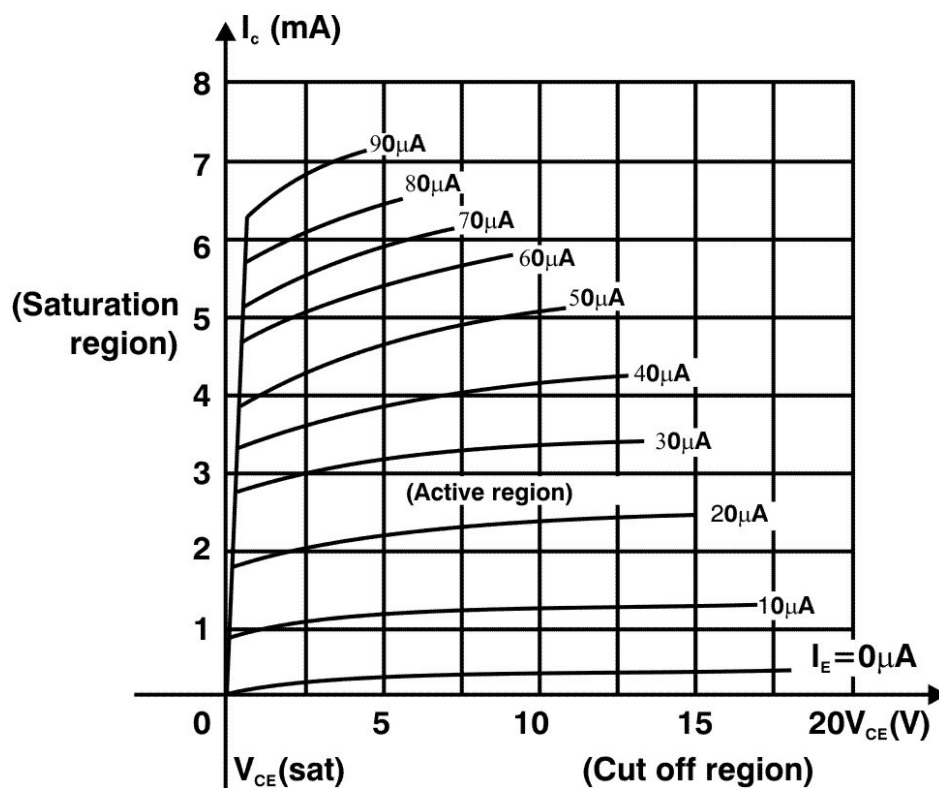
Jest to krzywa określająca zależność natężenia prądu wyjściowego I_c do napięcia wyjściowego U_{CE} dla różnych stałych wartości natężenia prądu wejściowego I_B . Na charakterystyce wyjściowej można zaobserwować trzy podstawowe obszary pracy tranzystora. Przykładową charakterystykę wyjściową pokazano na rysunku 2.

Należy zakreślić różnymi kolorami obszar aktywny (active region), obszar odcięcia (cutoff region) oraz obszar nasycenia (saturation region).

W obszarze aktywnym złącze baza-kolektor jest spolaryzowane zaporowo, a złącze baza-emiter w kierunku przewodzenia. Ten obszar jest obszarem pracy tranzystora jako wzmacniacza prądu.

W obszarze odcięcia złącze baza-kolektor i baza-emiter tranzystora, są spolaryzowane zaporowo. W tym obszarze tranzystor działa jako wyłącznik.

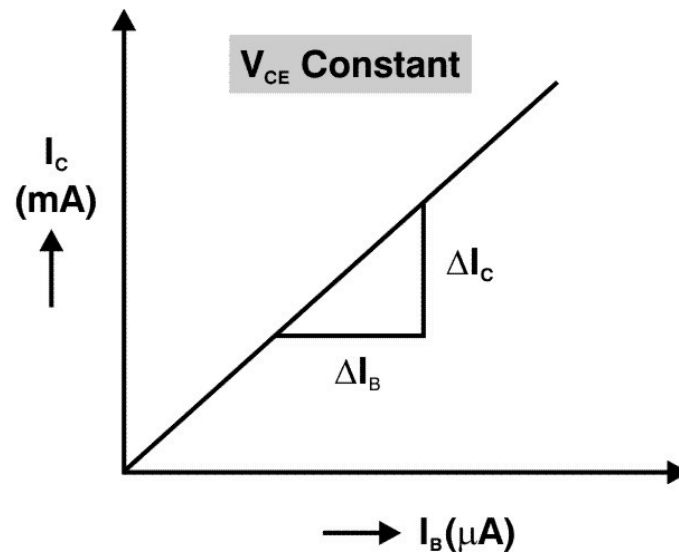
W obszarze nasycenia złącze baza-kolektor i baza-emiter tranzystora są spolaryzowane w kierunku przewodzenia. W tym obszarze tranzystor działa jak włącznik.



Rys. 2. Charakterystyka wyjściowa tranzystora bipolarnego.

Statyczny współczynnik wzmocnienia prądowego:

Jest to półprosta wyznaczająca zależność między natężeniem prądu kolektora I_C , a natężeniem prądu bazy I_B przy stałej wartości napięcia kolektor-emiter U_{CE} . Przybliżony wykres dla tej cechy tranzystora bipolarnego przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyka współczynnika wzmocnienia prądowego.

4. Przebieg ćwiczenia:

4.1. Wyznaczenie charakterystyki wejściowej:

1. Proszę obrócić potencjometry P1 i P2 do oporu oraz przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (minimalna wartość rezystancji).
2. Następnie należy połączyć amperomierz multimetru mierzący natężenia prądu bazy I_B [μA] między punktami testowymi 2 i 3.
3. Podłączyć punkty testowe 4 i 5 przewodem (2mm).
4. Podłączyć woltomierz między punktem testowym 1 i masą układu, aby zmierzyć napięcie wejściowe U_{BE} . Drugi woltomierz należy połączyć między punktem testowym 6 i masą układu, aby zmierzyć napięcie wyjściowe U_{CE} .
5. Następnie należy w zasilaczu laboratoryjnym ustawić napięcia $U_{Z1}=5\text{ V}$ oraz $U_{Z2}=12\text{ V}$. Przy **wyłączonym** zasilaczu należy połączyć odpowiednie punkty układu do zasilacza i **poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie układu połączeń**.
6. Regulując potencjometrem P2 należy ustawić kolejno napięcie U_{CE} o stałej wartości $U_{CE}=1\text{ V}$, $U_{CE}=3\text{ V}$, $U_{CE}=5\text{ V}$.
7. Zwiększając potencjometrem P1 wartość napięcia wejściowego $U_B=(0-0,8)\text{V}$ co $U=(0,05-0,1)\text{ V}$, należy odczytać wartości natężenia prądu wejściowego I_B dla wcześniej ustawionej stałej wartości napięcia wyjściowego U_{CE} . Wyniki proszę zapisać w tabeli pomiarowej 1.
8. Po zakończeniu pomiaru dla napięcia $U_{CE}=1\text{ V}$, należy obrócić potencjometr P1 całkowicie w lewą stronę do pozycji $U_{BE}=0\text{ V}$.
9. Następnie powtórzyć procedurę od kroku 6 dla pozostałych wartości napięcia U_{CE} .
10. Proszę wykreślić krzywe zależności U_{BE} napięcia wejściowego i wejściowego natężenia prądu I_B , $I_B=f(U_{BE})$ przy $U_{CE}=\text{const}$, jak pokazano na rysunku 1.

Tabela pomiarowa 1.

Lp.	Napięcie wejściowe U_{BE}	I_B [μA]	I_B [μA]
		przy $U_{CE} = 3\text{ V}$	przy $U_{CE} = 5\text{ V}$
1.	0,00 V		
2.	0,50 V		
3.	0,55 V		
4.	0,60 V		
5.	0,65 V		
6.	0,70 V		
7.	0,75 V		
8.	0,80 V		
9.	0,85 V		

4.2. Wyznaczenie charakterystyki wyjściowej:

1. Należy wyłączyć zasilanie.
2. Proszę obrócić potencjometr P1 i P2 do oporu w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.
3. Proszę podłączyć woltomierz między punktem testowym 6 i masą układu w celu wykonania pomiaru napięcia wyjściowego U_{CE} .
4. Podłącz jeden amperomierz między punktami testowymi 2 i 3 do pomiaru natężenia prądu wejściowego I_B [μA] i drugi amperomierz między punktami testowymi 4 i 5 do pomiaru natężenia prądu wyjściowego I_C [mA].
5. **Przy wyłączonym zasilaczu należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie układu połączeń.**
6. Potencjometrem P1 ustaw wartość natężenia prądu wejściowego I_B (10 μA lub 50 μA ...).
7. Zmieniając wartość rezystancji potencjometru P2, należy zwiększyć wartość napięcia wyjściowego U_{CE} od zera do wartości maksymalnej. Zmierz odpowiednie wartości natężenia prądu wyjściowego I_C dla różnych stałych wartości natężenia prądu wejściowego I_B . Wyniki pomiarów należy zapisać w tabeli pomiarowej 2.
8. Po zakończeniu pomiaru dla wybranego natężenia prądu bazy, należy obrócić potencjometr P2 całkowicie w lewą stronę do pozycji $U_{CE}=0 V$
9. Powtórz procedurę od kroku 6 dla różnych wartości natężenia prądu wejściowego I_B .
10. Należy wykreślić krzywą zależności U_{CE} napięcia wyjściowego i natężenia prądu wyjściowego I_C , $I_C=f(U_{CE})$ przy $I_B=const$, jak pokazano na rysunku 2.

Tabela pomiarowa 2.

Lp.	Napięcie wyjściowe U_{CE}	I_C [mA]		
		przy $I_B = 10$ [μA]	przy $I_B = 50$ [μA]	przy $I_B = 150$ [μA]
1.	0,0 V			
2.	0,5 V			
3.	1,0 V			
4.	2,0 V			
5.	3,0 V			
6.	4,0 V			
7.	5,0 V			
8.	6,0 V			
9.	7,0 V			
10.	8,0 V			

4.3. Wyznaczenie statycznego współczynnika wzmocnienia prądowego:

1. Potencjometr P1 i P2 proszę ustawić w pozycji zerowej (całkowicie skręcone w lewo).
2. Należy połączyć woltomierz między punktem testowym 6 i uziemieniem by dokonać pomiaru napięcia wyjściowego U_{CE} .
3. Podłącz jeden amperomierz między punktami testowymi 2 i 3 by dokonać pomiaru natężenia prądu wejściowego I_B [μA] i drugi amperomierz między punktami testowymi 4 i 5 aby wykonać pomiar natężenia prądu wyjściowego I_C [mA].
4. **Należy poprosić prowadzącego zajęcia o sprawdzenie układu połączeń.**
5. Potencjometrem P1 zwiększając wartość prądu wejściowego I_B od zera do 200 μA odczytujemy zmierzone wartości prądu wyjściowego I_C . Wyniki pomiarów proszę zapisać w tabeli pomiarowej 3
6. Proszę wykreślić krzywą (lub półprostą) statycznego współczynnika wzmocnienie prądowego tranzystora bipolarnego.

Tabela pomiarowa 3.

Lp.	I_B [μA]	I_C [mA] przy $U_{CE} = 5 V$
1.	0	
2.	30	
3.	60	
4.	90	
5.	120	
6.	150	
7.	180	
8.	200	

Obliczenia:

1. Rezystancja wejściowa:

Jest to iloraz zmiany napięcia wejściowego U_{BE} i zmiany natężenia prądu wejściowego I_B przy stałej wartości napięcia wyjściowego U_{CE} .

$$R_I = \frac{1}{\frac{\Delta I_B}{\Delta U_{BE}}} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

2. Rezystancja wyjściowa:

Jest to iloraz zmiany napięcia wyjściowego U_{CE} i zmiany natężenia prądu wyjściowego I_C przy stałej wartości natężenia prądu wejściowego I_B .

$$R_O = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

3. Współczynnik wzmocnienia prądowego:

Jest to iloraz przyrostu natężenia prądu wyjściowym I_C i przyrostu natężenia prądu wejściowego I_B przy stałej wartości napięcia wyjściowego U_{CE} .

$$h_{FE} = h_{21e} = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Wyniki:

Rezystancja wejściowa $R_I =$

Rezystancja wyjściowa $R_O =$

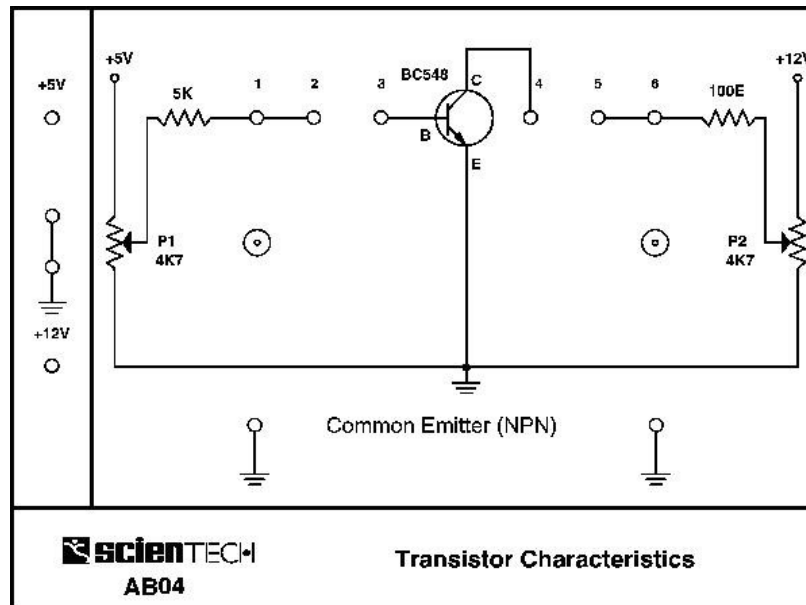
Współczynnik wzmocnienia prądowego $\beta =$

5. Wnioski:

6. Wykaz przyrządów pomiarowych:

1. Płyta analogowa AB04.
2. Zasilacz laboratoryjny NDN DF1731SB3A
3. Multimetr METEX M-3650, METEX M-3270D, METEX 3660D.
4. Przewody pomiarowe.
5. Redukcja 2 mm/3,5 mm.

Układ stosowany do wyznaczania charakterystyk tranzystora pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Moduł pomiarowy AB04.

7. Zagadnienia do samodzielnego opracowania:

1. Budowa i zasada działania tranzystora bipolarnego.
2. Charakterystyki wejściowa i wyjściowa tranzystora bipolarnego w układzie WE.
3. Tranzystor bipolarny w układach wzmacniaczy prądu stałego – układ WE, WB, WC.
4. Podstawowe parametry katalogowe tranzystorów bipolarnych i obowiązujące oznaczenia zgodne z PN.

8. Wykaz literatury:

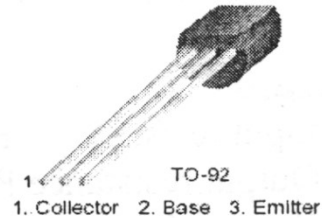
1. P.HOROWITZ, W.HILL: „Sztuka elektroniki”
2. S.SOCLOF: „Zastosowania analogowych układów scalonych”
3. A.CHWALEBA: „Pracownia elektroniczna- elementy układów elektronicznych”
4. U.TIETZE, CH.SCHENK: "Układy półprzewodnikowe"
5. K.MICHAŁOWSKI: „Elektrotechnika z elektroniką”
6. Instrukcje obsługi przyrządów pomiarowych:
 - multimetr: METEX M-3270D,
 - multimetr: METEX M-3650,
 - multimetr: METEX M-3660D,
 - zasilacz laboratoryjny: NDN DF1731SB3A.

Nota aplikacyjna:

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548		2	10	dB
		: BC549/550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$ $f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$	1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

Typical Characteristics

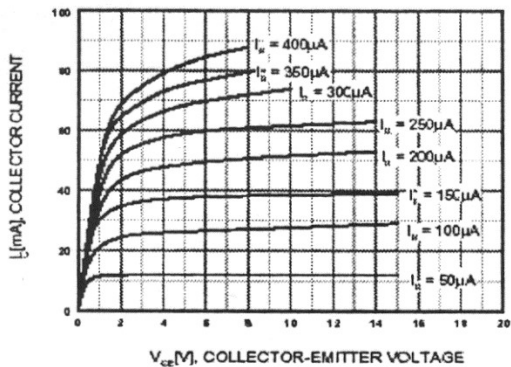


Figure 1. Static Characteristic

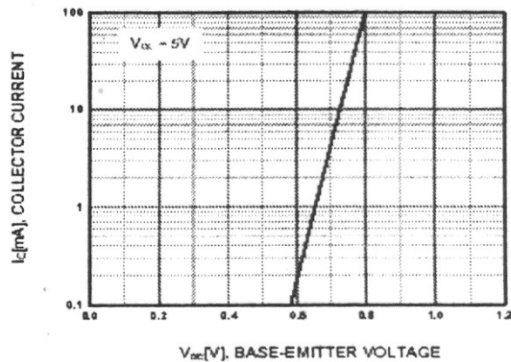


Figure 2. Transfer Characteristic

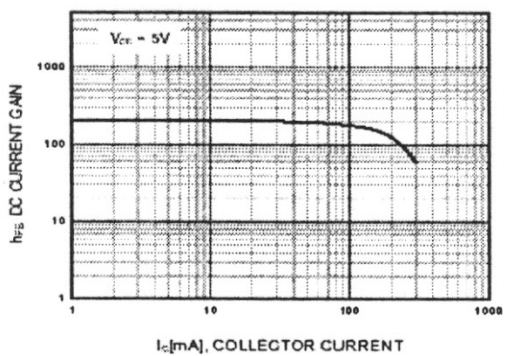


Figure 3. DC current Gain

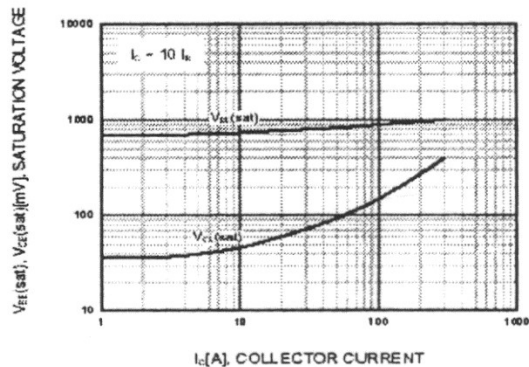


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

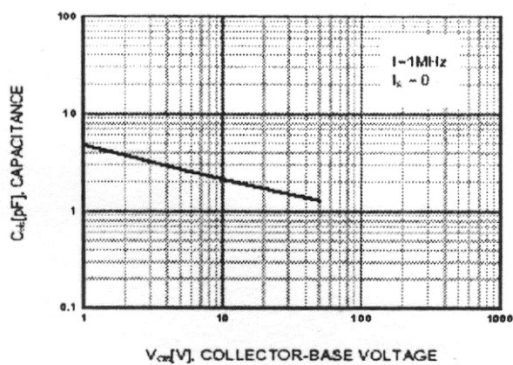


Figure 5. Output Capacitance

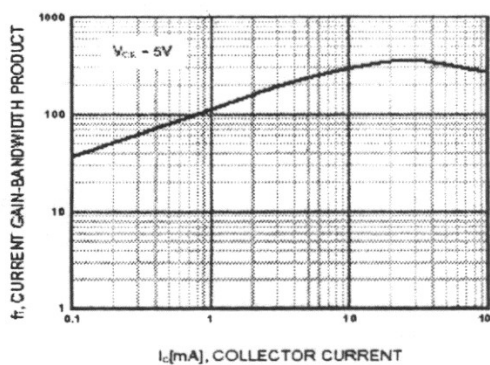


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product