

Tranzistorul bipolar

Tranzistoarele de tip PNP și NPN sunt prezentate în figura 1.1 și arată cum sunt dispuse joncțiunile PN și forma grafică de prezentare în schemele electrice. Tranzistorul bipolar are două tipuri de purtători de sarcină: electroni și "goluri". "Golurile" sunt assimilate electronilor doar că au sarcina pozitivă. Sunt purtători de sarcină fictivi necesari în explicarea teoretică a funcționării tranzistorului bipolar. Tranzistorul bipolar este format din două joncțiuni PN: CB și BE. (fig.1.1) și este definit ca un amplificator de curent, unde curentul principal colector-emitor este controlat de un curent mult mai mic – curentul baza-emitor prin intermediul factorului de amplificare β .

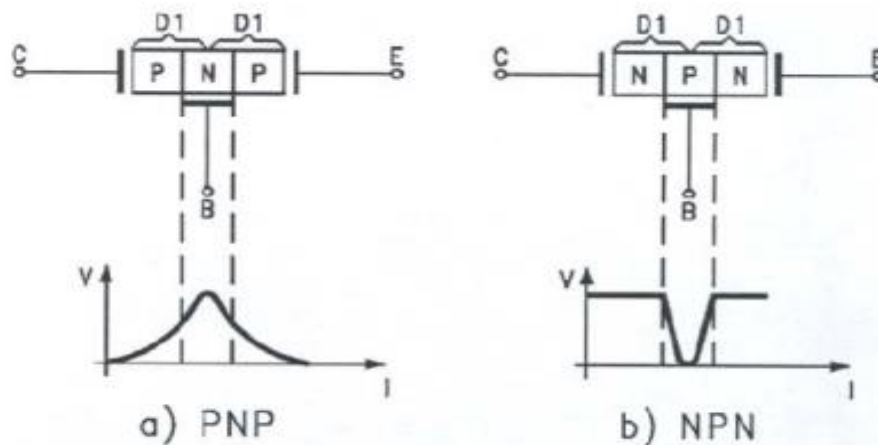


Fig.1.1

Regimul normal de funcționare RAN:

Modul de polarizare sau de alimentare în curent continuu a joncțiunilor determină următoarele regimuri de funcționare:

Regimul normal de funcționare RAN Joncțiunea BE este polarizată în direct (+p;-n)

Joncțiunea BC este polarizată în invers până la tensiunea de străpungere (-p;+n)

Polarizarea se poate face cu două surse de alimentare sau cu o singură sursă de alimentare pentru curentul principal (I_C) și un divizor rezistiv pentru alimentarea joncțiunii BE (curentul de comandă I_B) în acest regim de funcționare:

-Joncțiunea BE se comportă ca o diodă polarizată în direct (tensiunea de polarizare pentru Si: 0,6V-0,7V iar pentru Ge: 0,2V-0,3V) iar

-Joncțiunea BC se comportă ca o diodă polarizată în invers (tensiunea aplicată \leq tensiunea de străpungere) Tranzistorul se comportă ca un amplificator de curent. ($I_C = \beta I_B$)

Regimul de funcționare inversat RAI:

În acest regim de funcționare:

-Joncțiunea BE este polarizată în direct iar -Joncțiunea CB este polarizată în direct dar la tensiuni mici până la tensiunea de deschidere a diodei CB (0,6V-0,7V)

Regimul de lucru blocat

- Joncțiunea BE polarizată în invers sau la 0V (potențialul bazei=potențialul emitorului)
- Joncțiunea CB polarizată în invers Prin tranzistor circulează numai curentul rezidual ICEO

Regimul de lucru saturat

- Joncțiunea BE polarizată în direct la o tensiune mai mare de 0.6-0.7V pentru Si și 0.2-0.3V pentru Ge
- Joncțiunea CB polarizată în invers dar valoarea tensiunii aplicate este foarte mica (0,6V pentru Si) În această regiune curentul IC nu depinde de IB ci numai de tensiunea de polarizare BC.

Modelul de regim dinamic liniar

Caracteristicile tranzistorului bipolar sunt neliniare în regiunea activă normală (RAN) ; funcționarea sa dinamică este liniară numai la semnal mic. Se consideră că tranzistorul lucrează la semnal mic atunci când tensiunea dintre baza internă și emitor verifică inegalitatea:

În aceste condiții tranzistorul poate fi înlocuit în curent alternativ, la frecvențe joase prin circuitul echivalent natural la semnal mic prezentat în fig.4.1

Elementele circuitului natural depind de punctul static de funcționare al tranzistorului. La tranzistoarele cu siliciu pentru un curent de colector de ordinul miliamperilor panta tranzistorului g_m are valori de zeci și chiar sute de mA/V, fiind un parametru de transfer. Ordinul de mărime al rezistențelor $r_{bb'}$, -zeci de ohmi, r_b , e-kiloohmi, r_{bc} , c-megaohmi, r_{ce} -zeci de kiloohmi. Efectul rezistenței r_b , este neglijabil pentru aplicații de joasă frecvență.

Obs: Notațiile înscrise între paranteze în schema 4.1 sunt echivalente. $I_c, I_b, I_e, V_o, V_{in}, V_b$, e, sunt valori ale regimului dinamic (de curent alternativ) Se pot scrie următoarele relații de definiție pentru parametrii tranzistorului bipolar:

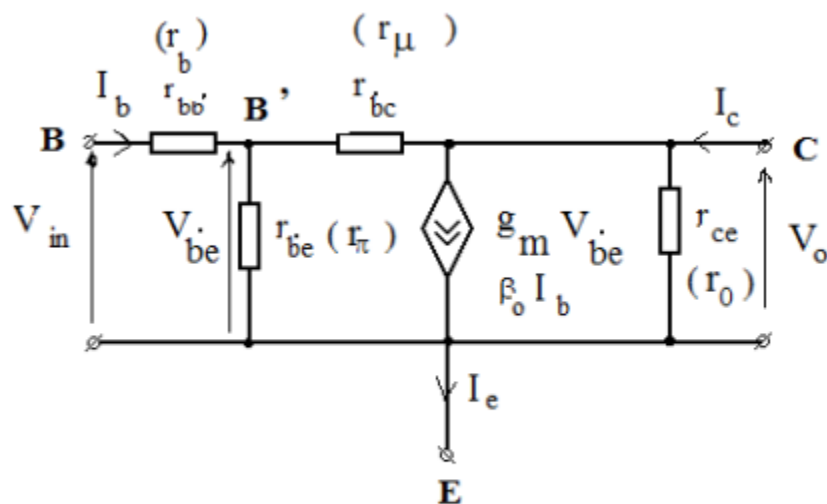
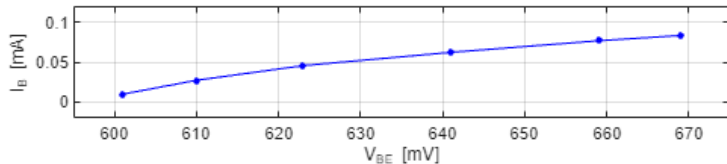


Fig.4.1

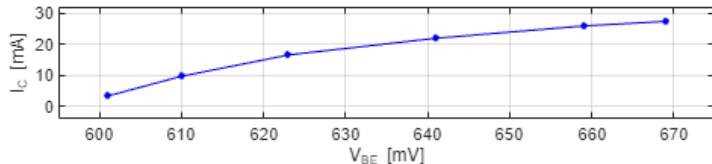
Tabel 2: Determinarea caracteristicii de ieire $I_C=f(V_{CE})$ cu parametru I_B

$V_{BB}(mV)$	647	741	835	929	1023	1070
V_{BB} valori masurate (mV)	647	748	837	933	1019	1060
$V_{BE}(mV)$	601	610	623	641	659	669
$V_{CE}(V)$	12.44	9.44	6.23	3.71	1.85	1.16
$I_B(mA)$	0.009787	0.029362	0.045532	0.062128	0.076596	0.083191
$I_C(mA)$	3.319149	9.702128	16.53191	21.89362	25.85106	27.31915
β_F	339.1304	330.4348	363.0841	352.3973	337.5	328.3887

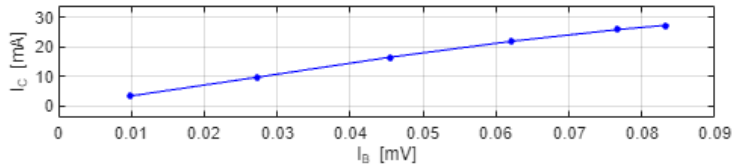
Caracteristica de intrare a tranzistorului T1



Caracteristica de transfer a tranzistorului T1



Caracteristica de transfer in curent a tranzistorului T1



```

Vbe = [601 610 623 641 659 669];
Ib = [0.009787 0.027234 0.045532 0.062128 0.076596 0.083191];
Ic = [3.319149 9.702128 16.53191 21.89362 25.85106 27.31915];

subplot(3,1,1);
plot(Vbe, Ib, 'b.-', 'MarkerSize', 10);
title("Caracteristica de intrare a tranzistorului T1");
xlabel("V_{BE} [mV]");
ylabel("I_{B} [mA]");
axis([595 675 -0.02 0.12]);
grid on;
subplot(3,1,2);
plot(Vbe, Ic, 'b.-', 'MarkerSize', 10);
title("Caracteristica de transfer a tranzistorului T1");
xlabel("V_{BE} [mV]");
ylabel("I_{C} [mA]");
axis([595 675 -4 32]);
grid on;
subplot(3,1,3);
plot(Ib, Ic, 'b.-', 'MarkerSize', 10);
title("Caracteristica de transfer in curent a tranzistorului T1");
xlabel("I_{B} [mA]");
ylabel("I_{C} [mA]");
axis([0 0.09 -4 34]);
grid on;

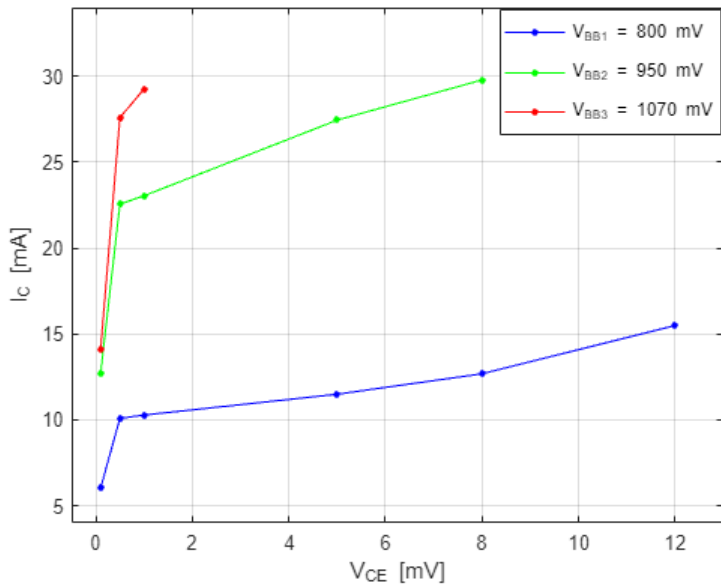
```

Tabelul 3: Determinarea caracteristicii de ieire $I_C=f(V_{CE})$ cu parametru I_B

$V_{CE}(V)$	0.1	0.5	1	5	8	12
$V_{CC1}(V)$	2.93	5.24	5.83	10.4	13.96	19.28
$V_{BB1}(mV)$	800	800	800	800	800	800
$V_{BE1}(mV)$	647	657	655	636	618	589
$I_{B1}(\mu A)$	32.55319	30.42553	30.85106	34.89362	38.7234	44.89362
$I_{C1}(mA)$	6.021277	10.08511	10.2766	11.48936	12.68085	15.48936
$V_{CC2}(V)$	6.07	11.1	11.83	17.9	22	-
$V_{BB2}(mV)$	950	950	950	950	950	-
$V_{BE2}(mV)$	662	671	672	618	583	-
$I_{B2}(\mu a)$	61.2766	59.3617	59.14894	70.6383	78.08511	-
$I_{C2}(mA)$	12.70213	22.55319	23.04255	27.44681	29.78723	-
$V_{CC3}(V)$	6.73	13.47	14.75	-	-	-
$V_{BB3}(mV)$	1070	1070	1070	-	-	-
$V_{BE3}(mV)$	664	674	659	-	-	-
$I_{B3}(\mu A)$	86.38298	84.25532	87.44681	-	-	-
$I_{C3}(mA)$	14.10638	27.59574	29.25532	-	-	-

Rubricile din tabel, marcate cu "-" reprezinta cazuri in care valorile lui V_{CE} de 5,8,12 nu puteau fi atinse, deoarece V_{CC} avea o limita impusa de aparatura.

$$I_C = f(V_{CE}) \text{ a } I_{B1}, I_{B2} \text{ si } I_{B3}$$



```

Vce1 = [0.1 0.5 1 5 8 12];
Vce2 = [0.1 0.5 1 5 8];
Vce3 = [0.1 0.5 1];
Ic1 = [6.021277 10.08511 10.2766 11.48936 12.68085 15.48936];
Ic2 = [12.70213 22.55319 23.04255 27.44681 29.78723];
Ic3 = [14.10638 27.59574 29.25532];

plot(Vce1, Ic1, 'b.-', 'MarkerSize', 10);
title("I_{C} = f(V_{CE}) la I_{B1}, I_{B2} si I_{B3}");
xlabel("V_{CE} [mV]");
ylabel("I_{C} [mA]");
axis([-0.5 13 4 34]);
grid on;
hold on;
plot(Vce2, Ic2, 'g.-', 'MarkerSize', 10);
plot(Vce3, Ic3, 'r.-', 'MarkerSize', 10);
legend('V_{BB1} = 800 mV', 'V_{BB2} = 950 mV', 'V_{BB3} = 1070 mV')
legend("Position", [0.63981,0.72461,0.26429,0.2]);

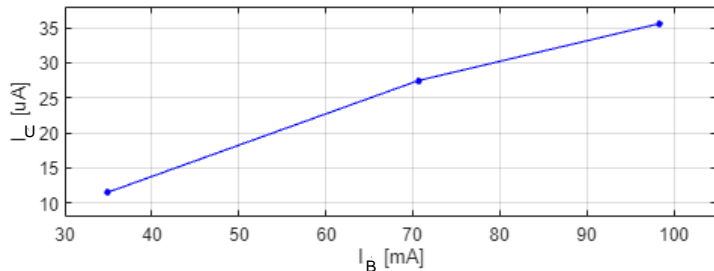
```


Tabel 4: Caracteristica de ieire $I_C=f(V_{CE})$ la I_{B1} , I_{B2} i I_{B3}

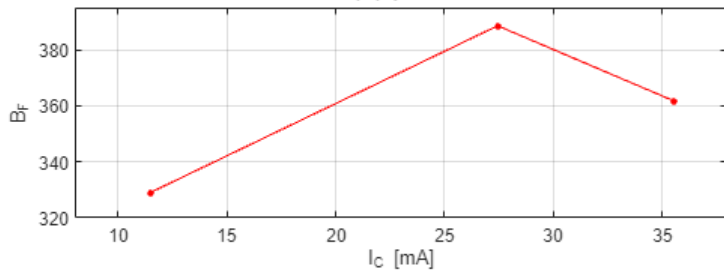
$I_B(\mu A)$ valoarea măsurată	34.89	70.63	98.29
$I_C(mA)$	11.48	27.44	35.55
β_F	329.0341	388.5035	361.6883

Rubricile din tabel, marcate cu "-" reprezinta cazuri in care valorile lui V_{CE} de 5,8,12 nu puteau fi atinse, deoarece V_{CC} avea o limita impusa de aparatura.

$$I_C = f(I_B) \text{ pt } V_{CE} = 5V$$



$$B_F = f(I_C) \text{ pt } V_{CE} = 5V$$



```

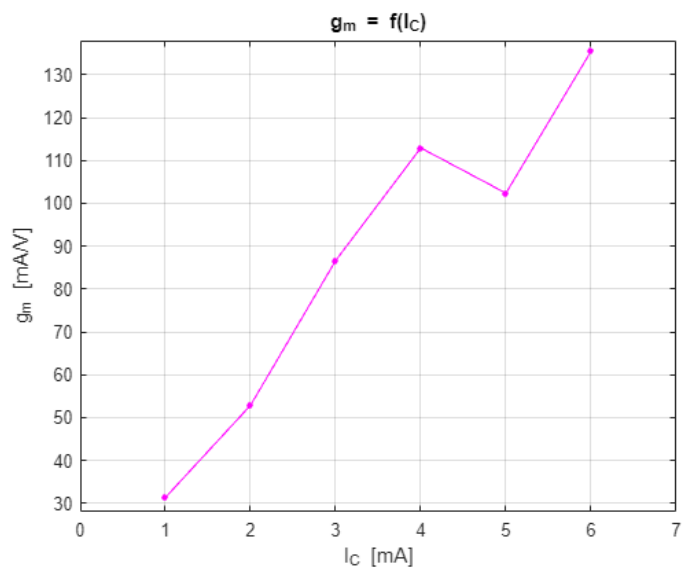
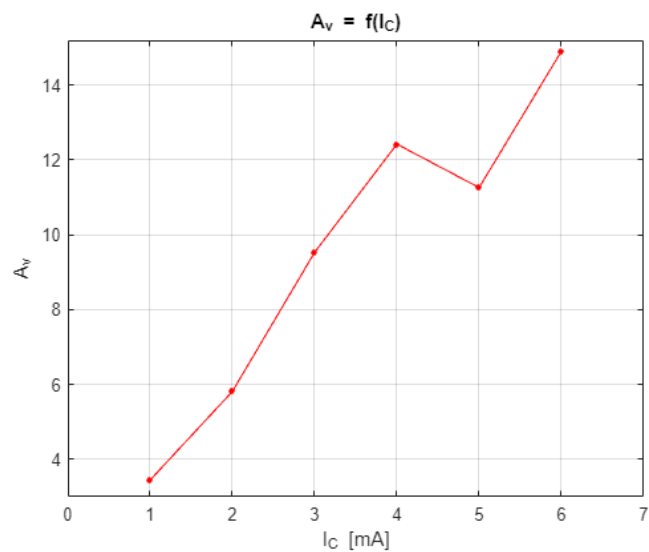
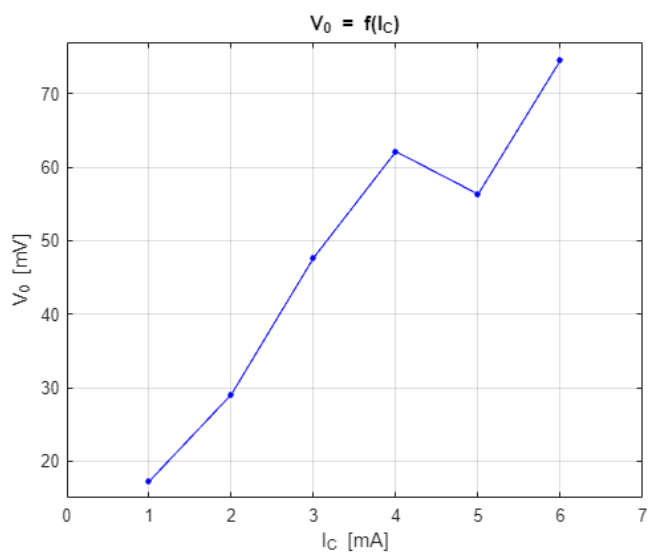
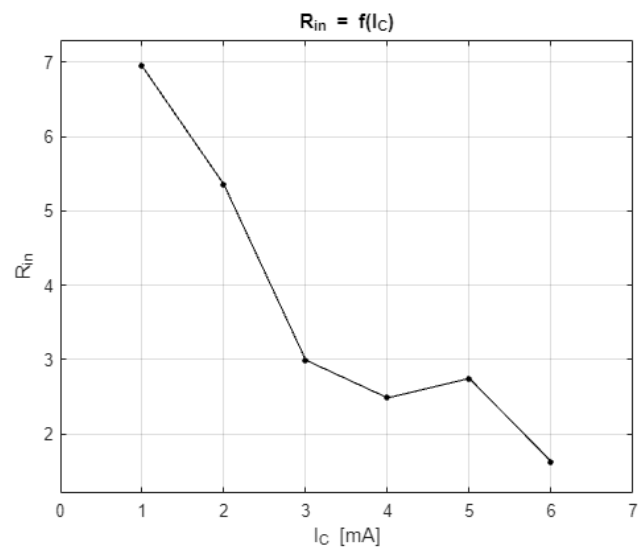
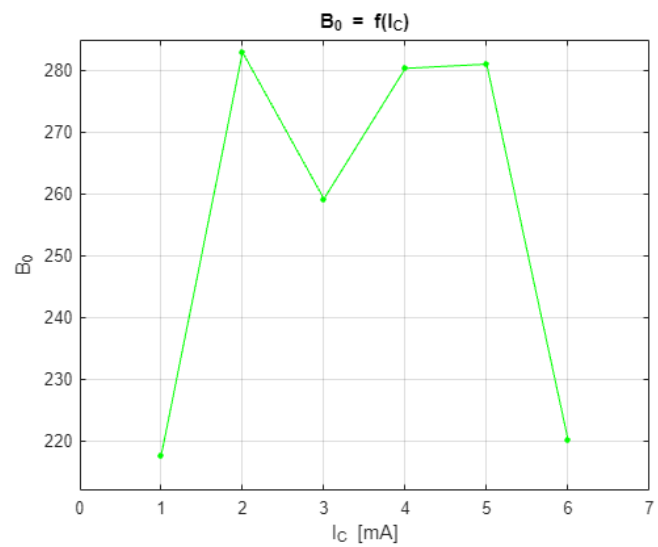
Ib = [34.89 70.63 98.29];
Ic = [11.48 27.44 35.55];
Bf = [329.0341 388.5035 361.6883];

subplot(2,1,1);
plot(Ib, Ic, 'b.-', 'MarkerSize', 10);
title("I_{C} = f(I_{B}) pt V_{CE} = 5V");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("I_{B} [uA]");
axis([30 105 8 38]);
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(Ic, Bf, 'r.-', 'MarkerSize', 10);
title("B_{F} = f(I_{C}) pt V_{CE} = 5V");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("B_{F}");
axis([8 38 320 395]);
grid on;

```

Tabelul 5: Masuratori in regim dinamic

VR10(V)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
IC(mA)	1	2	3	4	5	6
Vg(mV)	9.03	10.23	14.36	16.28	15.2	22.23
Vin(mV)	5	5	5	5	5	5
VO(mV)	17.23	29.07	47.66	62.12	56.31	74.53
AV	3.446	5.814	9.532	12.424	11.262	14.906
gm(mA/V)	31.32727	52.85455	86.65455	112.9455	102.3818	135.5091
β_0	217.6585	282.9689	259.223	280.3611	281.0481	220.2121
Rin(k Ω)	6.947891	5.353728	2.991453	2.48227	2.745098	1.625073



```

Ic = [1 2 3 4 5 6];
V0 = [17.23 29.07 47.66 62.12 56.31 74.53];
Av = [3.446 5.814 9.532 12.424 11.262 14.906];
gm = [31.32727 52.85455 86.65455 112.9455 102.3818 135.5091];
B0 = [217.6585 282.9689 259.223 280.3611 281.0481 220.2121];
Rin = [6.947891 5.353728 2.991453 2.48227 2.745098 1.625073];

plot(Ic, V0, 'b.-','MarkerSize', 10);
title("V_{0} = f(I_{C})");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("V_{0} [mV]");
axis([0 7 15 77]);
grid on;

plot(Ic, Av, 'r.-', 'MarkerSize', 10);
title("A_{v} = f(I_{C})");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("A_{v}");
axis([0 7 3 15.2]);
grid on;

plot(Ic, gm, 'm.-','MarkerSize', 10);
title("g_{m} = f(I_{C})");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("g_{m} [mA/V]");
axis([0 7 28 138]);
grid on;

plot(Ic, B0, 'g.-','MarkerSize', 10);
title("B_{0} = f(I_{C})");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("B_{0}");
axis([0 7 212 285]);
grid on;

plot(Ic, Rin, 'k.-','MarkerSize', 10);
title("R_{in} = f(I_{C})");
xlabel("I_{C} [mA]");
ylabel("R_{in}");
axis([0 7 1.2 7.3]);
grid on;

```