

Etaj de amplificare elementar cu tranzistor bipolar în conexiune colector comun (repetorul pe emitor)

Circuitul echivalent natural π - hibrid (Giacoletto).....	1
Etaj de polarizare cu TB in conexiune colector comun (repetorul pe emitor)	2
Analiza de punct static de functionare	2
Raspunsul circuitului la frecvente medii	2
Raspunsul circuitului la joasa frecventa	4
Raspunsul circuitului la înalta frecventa	5
Simulare SPICE.....	6
Punctul static de functionare (PSF) si parametrii de model pentru tranzistor:.....	6
Diagrame Bode de modul si faza	7
Calcul simbolic.....	7
PSF	7
Analiza la semnal mic	8
Aproximarea in banda	9
Aproximarea la joasa frecventa	9
Aproximarea la frecventa inalta	10

Circuitul echivalent natural π - hibrid (Giacoletto)

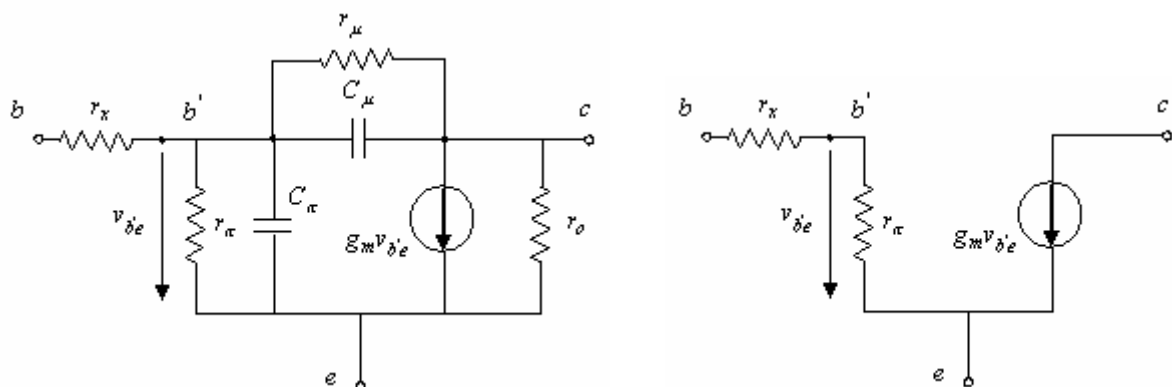


Fig. 1. Modelul de semnal mic natural π - hibrid al tranzistorului bipolar

Este cel mai utilizat circuit echivalent de semnal mic, valabil in toate conexiunile in care poate functiona tranzistorul bipolar. Elementele sale au semnificatii fizice clare, nu depind de frecventa si pot fi determinate usor experimental.

Parametrii principali ai circuitului π - hibrid sunt:

1. Transconductanta (panta): $g_m = \frac{I_C}{U_T} \approx 40I_C \text{ (mA/V)}, \text{ cu } I_C[\text{mA}].$
2. Rezistenta de intrare: $r_p = \frac{\mathbf{b}}{g_m}$
3. Rezistenta de iesire: $r_o \approx \frac{U_A}{I_C}$ în care U_A este tensiunea Early.
4. Rezistenta de reactie (colector-baza): $r_m = \mathbf{b}r_o$

Etaj de polarizare cu TB în conexiune colector comun (repetorul pe emitor)

În schema din Fig.2 este etajul în conexiune colector comun (denumit uzual și repetor pe emitor). Colectorul tranzistorului este cuplat direct la sursa de alimentare E_C , deci pe semnal este la potențialul masei. Semnalul de la ieșire se preia din emitor prin condensatorul de cuplaj C_C . Rezistența R_S reprezintă de regula rezistența de intrare în următorul etaj de amplificare, iar sursa de semnal reală de la intrare de rezistență R_g reprezintă ieșirea etajului de amplificare anterior.

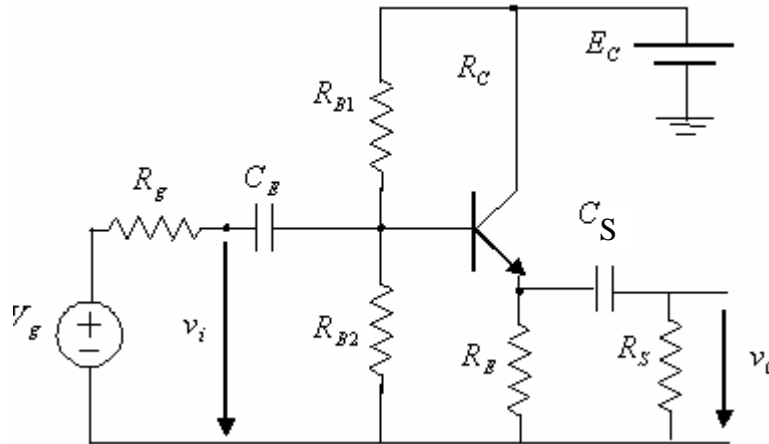


Fig. 2. Etaj în conexiune colector comun (repetor pe emitor)

Analiza de punct static de funcționare

Schema de polarizare este similară cu cea folosită în montajul emitor comun. Pentru determinarea curentului de colector și a tensiunii colector – emitor se folosește modul de calcul descris. Curentul de colector este:

$$I_C \approx \frac{b(E_B - V_{BE})}{R_B + (b+1)R_E} \quad \text{III. 1}$$

unde $E_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} E_C$ și $R_B = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$. Tensiunea colector-emitor este:

$$V_{CE} = E_C - R_E I_E \approx E_C - R_E I_C \quad \text{III. 2}$$

Relatiile se pot utiliza pentru determinarea rapidă a punctului static de funcționare (PSF).

Răspunsul circuitului la frecvențe medii

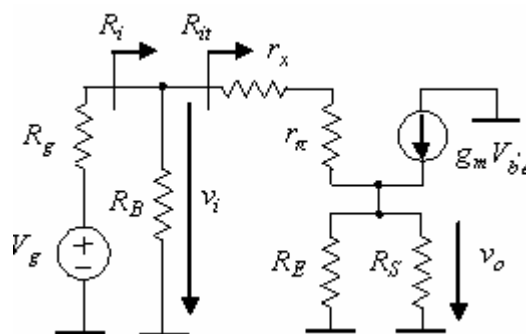


Fig. 3. Schema de semnal mic a repetorului pe emitor

Pe schema de semnal mic a circuitului din Fig.3 se pot scrie relațiile:

$$V_o = (b+1)(R_E \parallel R_S) I_b \quad \text{III. 3}$$

$$V_i = (r_p + r_x) I_b + (\mathbf{b} + 1)(R_E \parallel R_S) I_b \quad \text{III. 4}$$

Se obtine urmatoarea expresie a amplificarii fata de intrare:

$$A_{ui} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(\mathbf{b} + 1)(R_E \parallel R_S)}{r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1)(R_E \parallel R_S)} \quad \text{III. 5}$$

Pentru valori uzuale ale elementelor schemei, avem $(\mathbf{b} + 1)(R_E \parallel R_S) \gg r_p + r_x$ si deci amplificarea rezulta subunitara, dar foarte aproape de 1: $A_{ui} \approx 1$. Repetorul pe emitor se utilizeaza ca etaj tampon între doua etaje de amplificarea în tensiune, datorita valorilor rezistentei de intrare si de iesire. El joaca rolul de adaptor de impedanta, evitând pierderea de tensiune de semnal pe rezistenta de iesire la cuplajul între doua etaje cuplate în cascada. Astfel, la cuplarea prin repetor a mai multor etaje, amplificarea întregului lant de amplificarea este practic egala cu produsul amplificariilor etajelor componente.

Rezistenta de intrare în tranzistor rezulta imediat:

$$R_{it} = \frac{V_i}{I_b} = r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1)(R_E \parallel R_S) \quad \text{III. 6}$$

Se observa ca pentru valori uzuale, R_{it} rezulta de ordinul sutelor de kO.

Rezistenta de intrare în etaj cuprinde si rezistentele de polarizare din baza:

$$R_i = R_{it} \parallel R_{B1} \parallel R_{B2} \cong R_{B1} \parallel R_{B2} \quad \text{III. 7}$$

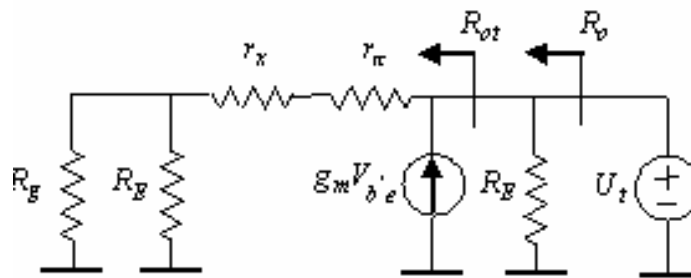


Fig. 4. Schema echivalenta pentru calculul rezistentelor de iesire

Rezistentele de iesire din tranzistor respectiv din etaj se pot calcula de pe schema echivalenta din Fig.4, în care etajul s-a pasivizat la intrare iar sarcina (rezistenta R_S) este înlocuita cu o sursa de semnal de test U_t , care da curentul de test I_t .

Se poate exprima curentul de test I_t astfel:

$$I_t = \frac{U_t}{R_o} = \frac{U_t}{R_E} + (\mathbf{b} + 1) \frac{U_t}{r_p + r_x + R_g \parallel R_B} \quad \text{III. 8}$$

de unde rezulta rezistenta de iesire din etaj:

$$R_o = \frac{U_t}{I_t} = R_E \parallel \frac{(r_p + r_x + R_g \parallel R_B)}{(\mathbf{b} + 1)} = R_E \parallel R_{ot} \cong R_{ot} \quad \text{III. 9}$$

în care R_{ot} este rezistenta de iesire din emitorul tranzistorului.

Deoarece în general $R_{ot} \ll R_E$, avem $R_o \cong R_{ot}$ (de ordinul zecilor de O).

Exemplu de calcul:

Se considera urmatoarele valori ale elementelor schemei:

$$R_{B1} = 10\text{kO} ; R_{B2} = 15\text{kO} ; R_E = 3.3\text{kO} ;$$

$$C_B = C_S = 100\text{nF} ; E_C = 12\text{V} ;$$

Pentru tranzistor se considera in calcule $\beta = 100$; ; $V_{BE} = 0.6\text{V}$

Se obtin urmatoarele valori de punct static de functionare:

$$I_C = 2\text{mA} ; V_{CE} = 5.4\text{V} ; g_m = 80\text{mA/V} ; r_p = 1.25\text{kO} ;$$

Rezistenta de intrare în tranzistor (în gol, $R_S = 8$): $R_i = r_p + (\beta + 1) R_E = 334\text{kO}$

Raspunsul circuitului la joasa frecventa

În schema de semnal mic a etajului în conexiune colector comun (repetor pe emitor) apar condensatoarele de cuplaj C_B și C_S (în baza și cu sarcina R_S).

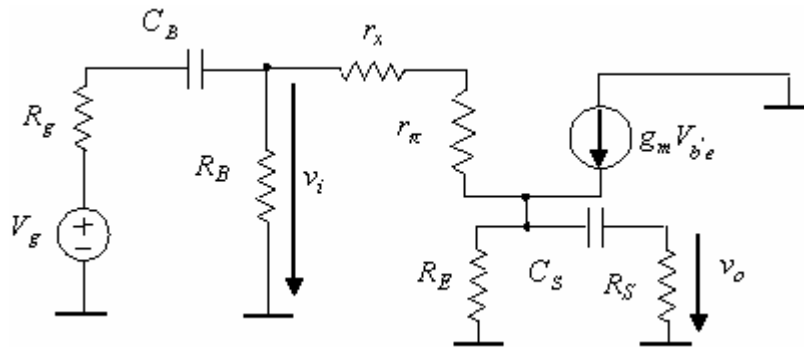


Fig. 5. Schema echivalentă a repetorului pe emitor la frecvențe joase

Vom analiza comportarea etajului la frecvențe joase, la care reactanțele celor două condensatoare de cuplaj nu mai sunt neglijabile. Am notat cu Z_B și Z_E impedanțele văzute în baza și respectiv în emitorul tranzistorului.

Impedanta Z_E are expresia:

$$Z_E(s) = \frac{R_E \left(R_S + \frac{1}{sC_S} \right)}{R_E + R_S + \frac{1}{sC_S}} = \frac{R_E (1 + sR_S C_S)}{1 + s(R_E + R_S) C_S} \quad \text{III. 10}$$

Tensiunea la ieșire se poate exprima:

$$V_o = \frac{R_S}{R_S + \frac{1}{sC_S}} V_E = \frac{sR_S C_S}{1 + sR_S C_S} V_E \quad \text{III. 11}$$

Tensiunile V_i și V_E se pot scrie în funcție de curenți:

$$\begin{aligned} V_i &= (r_p + r_x) I_b + (\mathbf{b} + 1) I_b Z_E(s) \\ V_E &= (\mathbf{b} + 1) I_b Z_E(s) \end{aligned} \quad \text{III. 12}$$

Se obține raportul:

$$\frac{V_E}{V_i} = \frac{(\mathbf{b} + 1) Z_E(s)}{r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1) Z_E(s)} \quad \text{III. 13}$$

care se scrie detaliat sub forma următoare:

$$\frac{V_E}{V_i} = \frac{(\mathbf{b} + 1) R_E (1 + sR_S C_S)}{r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1) R_E + sC_S [(R_E + R_S)(r_p + r_x) + (\mathbf{b} + 1) R_E R_S]} \quad \text{III. 14}$$

Amplificarea față de intrare va avea expresia:

$$A_{vi}(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_E} \cdot \frac{V_E}{V_i} = \frac{(\mathbf{b} + 1) R_E R_S C_S \cdot s}{r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1) R_E + sC_S [(R_E + R_S)(r_p + r_x) + (\mathbf{b} + 1) R_E R_S]} \quad \text{III. 15}$$

Dacă se definește pulsția:

$$w_1 = \frac{r_p + r_x + (\mathbf{b} + 1) R_E}{[(R_E + R_S)(r_p + r_x) + (\mathbf{b} + 1) R_E R_S] C_S} \quad \text{III. 16}$$

amplificarea se poate scrie:

$$A_{vi}(s) = \frac{(\mathbf{b} + 1) R_E R_S}{(R_E + R_S)(r_p + r_x) + (\mathbf{b} + 1) R_E R_S} \cdot \frac{s}{s + w_1} \quad \text{III. 17}$$

Impedanta de intrare este:

$$Z_i(s) = \frac{V_i}{I_b} = r_p + r_x + (b+1)Z_E(s) = r_p + r_x + \frac{(b+1)R_E(1+sR_S C_S)}{1+s(R_E+R_S)C_S} \quad \text{III. 18}$$

Se poate exprima și raportul față de tensiunea sursei:

$$\frac{V_i}{V_g} = \frac{sC_B(R_B \parallel Z_i)}{1+sC_B(R_g+R_B \parallel Z_i)} \quad \text{III. 19}$$

dar explicitarea sa duce la o expresie destul de complicată.

Răspunsul circuitului la înalta frecvență

În Fig.6 se da schema echivalentă de semnal la frecvențe înalte a repetorului pe emitor, în care apar capacitățile interne ale tranzistorului.

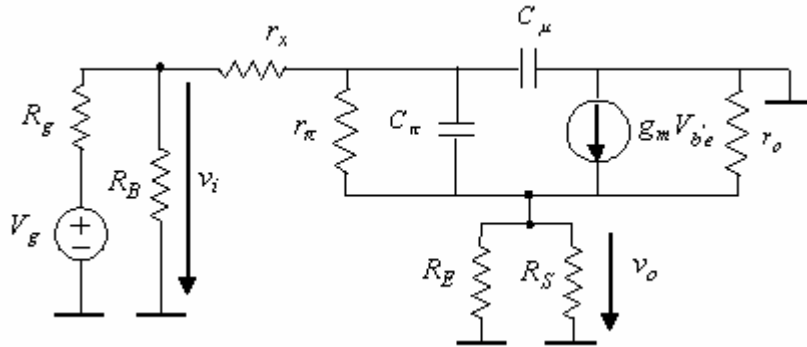


Fig. 6. Schema echivalentă a repetorului pe emitor la frecvențe înalte

Se observă că atât capacitatea C_{μ} cât și rezistența proprie de ieșire a tranzistorului r_o au un capăt la masa pe semnal; schema se poate reprezenta mai simplu ca mai jos:

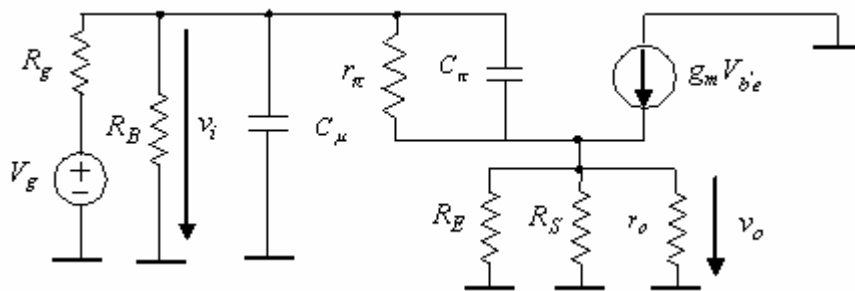


Fig. 7. Schema echivalentă simplificată

În această schemă se observă că etajul este unilateralizat, deci nu mai există reacție internă. Rezistența parazită r_x nu mai apare în schemă, având o valoare neglijabilă și complicând inutil expresia amplificării etajului.

Rezistențele R_E , R_S și r_o formează o rezistență echivalentă de sarcină R'_s :

$$R'_s = R_E \parallel R_S \parallel r_o \cong R_E \parallel R_S \quad \text{III. 20}$$

Din baza până la masa se poate scrie relația:

$$V_i = V_{be} + R'_s (Y_p V_{be} + g_m V_{be}) \quad \text{III. 21}$$

unde $Y_p = \frac{1}{Z_p}$ este admitanța grupului $r_p - C_p$ din baza. Expresia de mai sus devine:

$$V_i = [1 + R'_s (g_m + g_p + sC_p)] V_{be} \quad \text{III. 22}$$

Tensiunea la ieșire este:

$$V_o = R'_s (g_m + Y_p) V_{be} = R'_s (g_m + g_p + sC_p) V_{be} \quad \text{III. 23}$$

Se obține amplificarea etajului față de intrare:

$$A_{vi}(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R'_s (g_m + g_p + sC_p)}{1 + R'_s (g_m + g_p + sC_p)} \quad \text{III. 24}$$

Schema echivalenta la intrare daca se înlocuieste etajul cu impedanta sa echivalenta Z_i este:

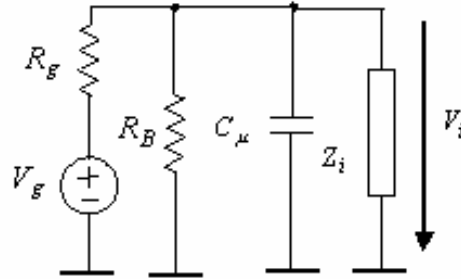


Fig. 8. Schema echivalenta raportata la intrare

Impedanta de intrare în baza se poate scrie:

$$Z_i(s) = \frac{V_i}{I_p} = \frac{V_i}{Y_p V_{be}} = \frac{1 + R'_s (g_m + g_p + sC_p)}{g_p + sC_p} \quad \text{III. 25}$$

Admitanta echivalenta totala vazuta de sursa de semnal este:

$$Y_{ech}(s) = g_B + sC_m + Y_i(s) = g_B + sC_m + \frac{g_p + sC_p}{1 + R'_s (g_m + g_p + sC_p)} \quad \text{III. 26}$$

Se poate atunci scrie si amplificarea fata de tensiunea sursei de semnal, dar expresia finala explicitata rezulta complicata:

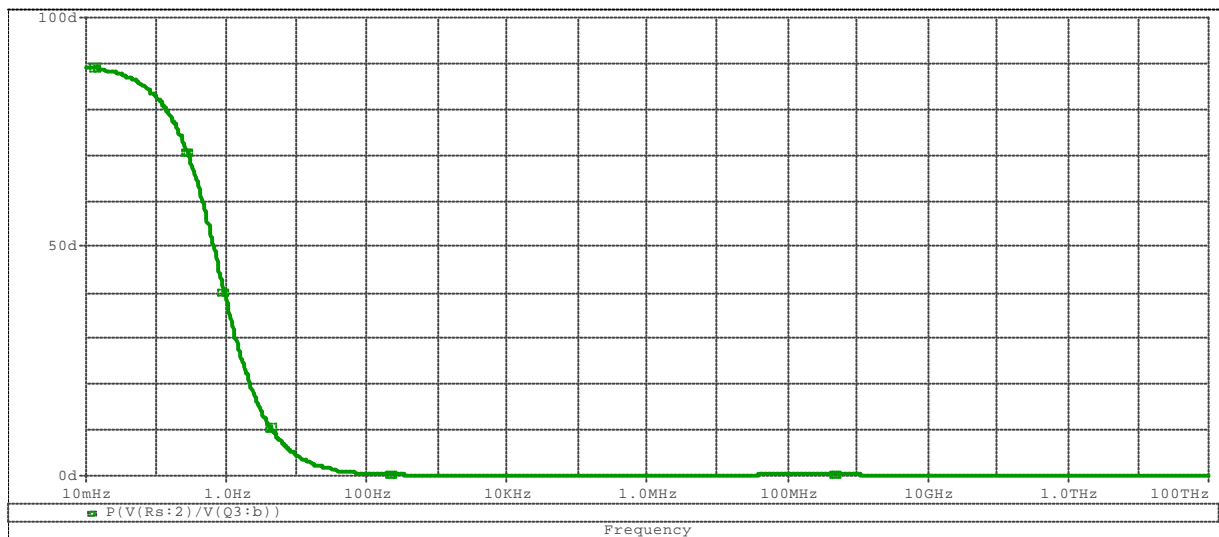
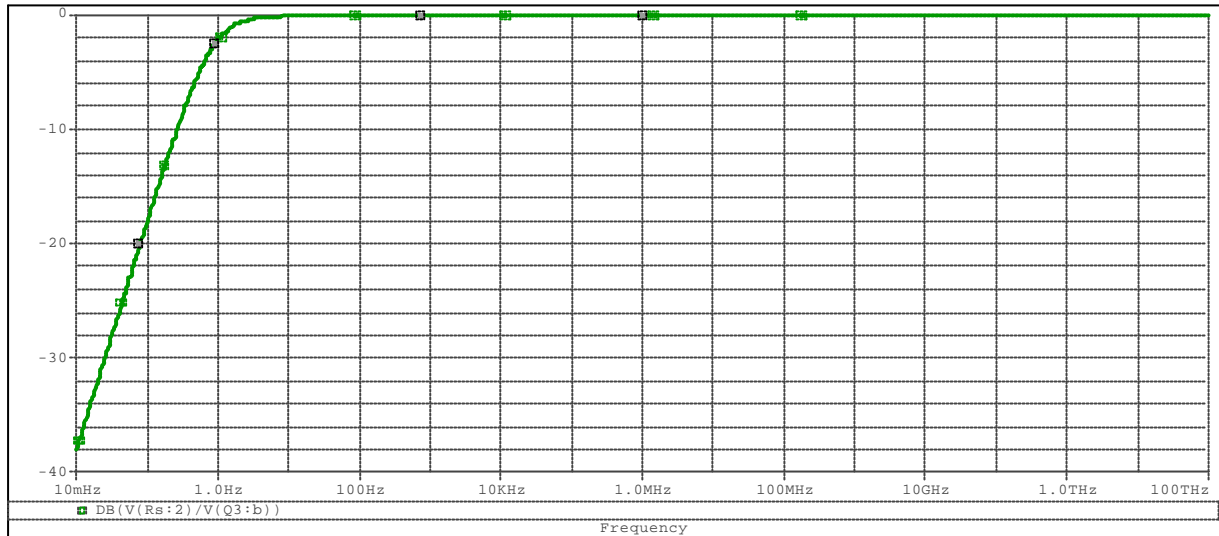
$$A_{vg}(s) = \frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_g} = \frac{G_g}{G_g + Y_{ech}} A_{vi}(s) \quad \text{III. 27}$$

Simulare SPICE

Punctul static de functionare (PSF) si parametrii de model pentru tranzistor:

MODEL	BC107A	RX	0.00E+00
IB	9.09E-06	RO	7.58E+04
IC	1.59E-03	CBE	4.80E-11
VBE	6.75E-01	CBC	2.77E-12
VBC	-4.05E+00	CJS	0.00E+00
VCE	4.73E+00	BETAAC	1.99E+02
BETADC	1.75E+02	CBX/CBX2	0.00E+00
GM	6.14E-02	FT/FT2	1.92E+08
RPI	3.24E+03		

Diagrame Bode de modul si faza



Calcul simbolic

PSF

```
> restart:with(Syrup):libname:="c:\maple/SCSlib",libname:
```

Schema de semnal mic valabila in toata gama de frecvente:

```
> TB_CC:=
```

```
"schema pentru TB in conexiune CC
```

```
Vcc vcc 0 Vcc
```

```
Vg ing 0 Vg
```

```
Rg ing inc Rc
```

```
Cb inc In Cb
```

```
Rb1 vcc In Rb1
```

```
Rb2 In 0 Rb2
```

```
Qnpn vcc In e BJT[pnp_dc_generic_model]
```

```
Rem e 0 Rem
```

```
Cs e Out Cs
```

```
Rs Out 0 Rs
```

```
.end":
```

Calculul simbolic:

```
> syrup(TB_CC, dc, 'curr', 'tens');
Syrup/parsedeck: Analyzing SPICE deck "schema pentru TB in conexiune CC"
(ignore this line)
syrup: There may be an unconnected component.
The following component(s) have zero current: {Vg, Rg, Rs}.
Curentul de colector:
```

```
> collect(simplify(eval(i[Rem], curr)), {Vcc, Vd});
```

$$\frac{(Rb2 \beta_{dc} + Rb2) Vcc}{Rb2 Rb1 + Rem \beta_{dc} Rb1 + Rb1 Rem + Rb2 \beta_{dc} Rem + Rem Rb2} + \frac{(Rb2 \beta_{dc} + Rb2 + \beta_{dc} Rb1 + Rb1) Vd}{Rb2 Rb1 + Rem \beta_{dc} Rb1 + Rb1 Rem + Rb2 \beta_{dc} Rem + Rem Rb2}$$

Tensiunea colector - emitor:

```
> collect(simplify(eval(Vcc-v[e], tens)), {Vcc, Vd});
```

$$\frac{(Rb2 Rb1 + Rem \beta_{dc} Rb1 + Rb1 Rem) Vcc}{Rb2 Rb1 + Rem \beta_{dc} Rb1 + Rb1 Rem + Rb2 \beta_{dc} Rem + Rem Rb2} + \frac{(-Rb2 \beta_{dc} Rem - Rem Rb2 - Rem \beta_{dc} Rb1 - Rb1 Rem) Vd}{Rb2 Rb1 + Rem \beta_{dc} Rb1 + Rb1 Rem + Rb2 \beta_{dc} Rem + Rem Rb2}$$

Neglijind curentul din baza (β_{dc} mare) putem calcula curentul de colector si tensiunea colector-emitor:

```
> limit(eval(i[Rc], curr), beta[dc]=infinity);
```

$$i_{Rc}$$

```
> collect(simplify(limit(eval(Vcc-v[e], tens), beta[dc]=infinity)), {Vcc, Vd});
```

$$\frac{Rb1 Vcc}{Rb1 + Rb2} + \frac{(-Rb1 - Rb2) Vd}{Rb1 + Rb2}$$

Analiza la semnal mic

```
> restart:with(Syrup):libname:="c:\maple\SCSlib", libname:
Schema de semnal mic valabila in toata gama de frecvente:
```

```
> TB_CC:=
"schema de semnal mic pentru TB in conexiune CC
Vcc vcc 0 0
Vg ing 0 Vg
Rg ing inc Rc
Cb inc In Cb
Rb1 vcc In Rb1
Rb2 In 0 Rb2
Qnpn vcc In e BJT[ac_generic_model]
Rem e 0 Rem
Cs e Out Cs
Rs Out 0 Rs
.end":
```

Calculul simbolic:

```
> syrup(TB_CC, ac, 'curr', 'tens');
Syrup/parsedeck: Analyzing SPICE deck "schema de semnal mic pentru TB in
conexiune CC" (ignore this line)
Calculul functiei de transfer:
> H:=eval(v[Out]/v[In], tens):
```


Expresia funcției de transfer este complicată. Există 3 poli și 2 zerouri care determină comportarea circuitului în toată gama de frecvență. Se analizează circuitul simplificat în banda, la joasă frecvență și la înaltă frecvență.

Aproximarea în banda

- se consideră scurt circuit la frecvența de lucru capacitățile: C_b , C_e , C_s ;
- se neglijează din modelul π -hibrid capacitățile C_{pi} (sc), C_{miu} (gol) și rezistențele $r_{miu}(\text{gol})$ și $r_o(\text{gol})$;

> `eval(v[Out]/v[In], tens):`

`limit(%, {Cs=infinity, Cb=infinity, Cem=infinity}):`

`limit(%, {cpi=0, cmiu=0, co=0, rmiu=infinity, ro=infinity}):`

`Hs:=simplify(%)`;

$$H_s := \frac{R_s R_{em} (1 + r_{pi} g_m)}{R_{em} r_x + g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + R_s r_x + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s}$$

Dacă neglijăm rezistența r_x , amplificarea este:

> `limit(%, {rx=0}); limit(%, {rpi=0});`

$$\frac{R_s R_{em} (1 + r_{pi} g_m)}{g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s}$$

1

Aproximarea la joasă frecvență

- se iau în considerație la frecvența de lucru capacitățile C_b , C_e , C_s ;
- se neglijează din modelul π -hibrid capacitățile C_{pi} (sc), C_{miu} (gol) și rezistențele $r_{miu}(\text{gol})$ și $r_o(\text{gol})$;

> `eval(v[Out]/v[In], tens):`

`limit(%, {cpi=0, cmiu=0, co=0, rmiu=infinity, ro=infinity}):`

`Hs:=simplify(%)`;

Expresia lui H_s este un raport de două polinoame în s .

- Calculăm poliile funcției de transfer H_s :

> `solve(collect(denom(Hs), s)=0, s);`

$$-\frac{g_m r_{pi} R_{em} + R_{em} + r_x + r_{pi}}{C_s (R_{em} r_x + g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + R_s r_x + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s)}$$

- Calculăm zerourile funcției de transfer H_s :

> `solve(collect(numer(Hs), s)=0, s);`

0

- Calculăm amplificarea în curent continuu A_{ui0} :

> `limit(subs(s=I*omega, Hs), omega=0); limit(%, rx=0);`

0

0

Modelul este valabil numai pentru joasă frecvență. Dacă creștem frecvența ar trebui să regăsim formula amplificării în banda:

>

`limit(subs(s=I*omega, Hs), omega=infinity); limit(%, rx=0); limit(%, rpi=0);`

$$\frac{(1 + r_{pi} g_m) R_{em} R_s}{R_{em} r_x + g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + R_s r_x + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s}$$

$$\frac{(1 + r_{pi} g_m) R_{em} R_s}{g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s}$$

1

Aproximarea la frecventa inalta

- se iau in considera la frecventa de lucru capacitatile Cb, Ce, Cs;
- se neglijeaza din modelul π -hibrid capacitatile Cpi (sc), Cmiu (gol) si rezistentele rmiu(gol) si ro(gol);

```
> eval(v[Out]/v[In], tens):
limit(%, {Cs=infinity, Cb=infinity, Cem=infinity}):
limit(%, {rmiu=infinity, ro=infinity}):
Hs:=simplify(%):
```

Expresia lui Hs este un raport de doua polinoame in s.

- Calculam zerourile functiei de transfer Hs:

```
> solve(collect( numer(Hs), s)=0, s);
```

$$-\frac{1 + r_{pi} g_m}{c_{pi} r_{pi}}$$

- Calculam polii functiei de transfer Hs:

```
> simplify( {solve( collect( denom(Hs), s)=0, s) }):
> collect( denom(Hs), s):
```

S-au gasit doi poli a caror valoare nu este intuitiva.

Daca neglijam rezistenta rx atunci circuitul are un singur pol:

```
> solve( collect( denom( limit(Hs, rx=0) ), s)=0, s);
```

$$-\frac{r_{pi} R_s + R_{em} R_s + g_m r_{pi} R_{em} R_s + r_{pi} R_{em}}{c_{pi} r_{pi} R_{em} R_s}$$

- Modelul este valabil pentru inalta frecventa. Daca scadem frecventa ar trebui sa regasim formula amplificarii in banda:

```
> limit( subs( s=I*omega, Hs ), omega=0); limit(%, rx=0); limit(%, rpi=0);
```

$$\frac{(1 + r_{pi} g_m) R_{em} R_s}{R_{em} r_x + g_m r_{pi} R_{em} R_s + R_{em} R_s + R_s r_x + r_{pi} R_{em} + r_{pi} R_s}$$

$$\frac{(1 + r_{pi} g_m) R_{em} R_s}{r_{pi} R_s + R_{em} R_s + g_m r_{pi} R_{em} R_s + r_{pi} R_{em}}$$

1

- Neglijind rezistenta rx calculam amplificarea la frecventa mare:

```
> limit( subs( s=I*omega, limit(Hs, rx=0) ), omega=infinity);
```

1

Pentru valorile de model ale tranzistorului determinate in analiza Spice se traseaza diagrama Bode de modul si faza.

```
> H1:=limit(H, {rmiu=infinity}):
> schema := {Rem=3300, Rs=2000, Cs=10^(-4)};
```

$$schema := \{ Rem = 3300, Rs = 2000, Cs = \frac{1}{10000} \}$$

```
> tranzistor:={gm=0.0614, rx=0, rpi=3240, cpi=4.80*10^(-11),
cmiu=2.77*10^(-12), ro=7.58*10^4};
```

```
tranzistor := { cmiu = .2770000000 10-11, rx = 0, cpi = .4800000000 10-10, rpi = 3240,
gm = .0614, ro = 75800.00 }
```

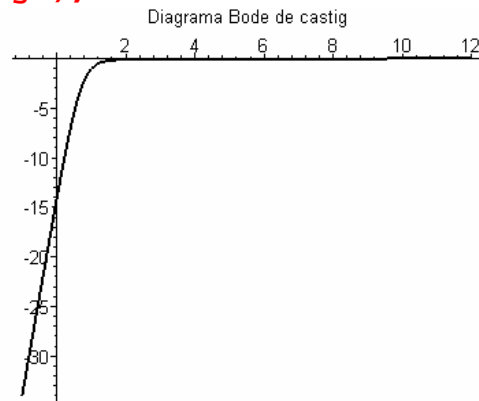
```
> Hs:=simplify(eval(H1,schema union tranzistor ));
```

$$Hs := 4169. \frac{s(243. s + .3124000000 10^{12})}{.1319622449 10^{16} s + .1013067 10^7 s^2 + .6545348312 10^{16}}$$

```
> PZ[numeric](Hs,s);
```

$$\begin{bmatrix} z1 & 0. \\ z2 & -.1285 10^{10} \\ p1 & -4.958 \\ p2 & -.1303 10^{10} \end{bmatrix}$$

```
> plot( { [log10(omega), 20*log10(abs(subs(s=I*omega,Hs)))] , omega=10^(-1)..10^3}, [log10(omega), 20*log10(abs(subs(s=I*omega,Hs)))] , omega=10^3..10^8}, [log10(omega), 20*log10(abs(subs(s=I*omega,Hs)))] , omega=10^8..10^12}], numpoints=300, color=black, thickness=2, title="Diagrama Bode de castig");
```



```
> plot( { [log10(omega), argument(subs(s=I*omega,Hs))] , omega=10^(-1)..10^3}, [log10(omega), argument(subs(s=I*omega,Hs))] , omega=10^3..10^8}, [log10(omega), argument(subs(s=I*omega,Hs))] , omega=10^8..10^12}], numpoints=300, color=black, thickness=2, title="Diagrama Bode de faza");
```

