Lucrarea nr. 2

**TRANZISTOARE BIPOLARE**

**2.1. Scopul lucrării**

Se studiază comportarea tranzistorului bipolar în diferite regiuni de lucru, în regim static, prin verificarea modelelor de semnal mare (de curent continuu).

### **2.2. Noțiuni teoretice**

### **Structuri, simboluri şi notaţii pentru tranzistorul bipolar**

Tranzistorul bipolar (TB) este un dispozitiv semiconductor cu trei borne, ce conţine două joncţiuni pn. TB se realizează într-un monocristal semiconductor şi este alcătuit din trei zone alternate ca tip de conductibilitate, numite emitor (E), bază (B) şi colector (C). Există două tipuri de tranzistoare bipolare: npn şi pnp. În fig. 2.1 sunt ilustrate structurile, simbolurile şi notaţiile pentru cele două tipuri de TB. ***Săgeata din simbolul TB se pune întotdeauna pe borna emitorului cu sensul de la zona p la zona n. Ea marchează sensul normal al curentului prin tranzistor****.*

Fig. 2.1. TB – structuri, simboluri şi notaţii a) TB npn; b) TB pnp

a)

b)



Un tranzistor bipolar este complet descris de cei trei curenţi prin borne şi de cele trei tensiuni dintre fiecare pereche de borne. Să considerăm un tranzistor bipolar npn, pentru care notaţiile sunt cele din fig. 2.1a. Între cei trei curenţi şi între cele trei tensiuni există următoarele **relaţii** (ecuaţii) **de legătură**, general valabile:

 (2.1)

 (2.2)

Din caracteristicile de catalog sau din modelul TB se obţin două ecuaţii de dispozitiv, iar din circuitul de polarizare al TB se obţin două ecuaţii de circuit. Cele şase ecuaţii permit determinarea curenţilor IC, IE şi IB, precum şi a tensiunilor VBE, VBC şi VCE, tranzistorul fiind astfel complet determinat.

### **Regiunile de lucru ale tranzistorului bipolar**

Fiecare din cele două joncţiuni ale TB poate fi polarizată direct sau invers. Ca urmare există patru situaţii posibile, corespunzătoare la patru regiuni de lucru ale TB, prezentate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nr. crt. | Joncţiunea  bază-emitor (BE) | Joncţiunea  bază-colector (BC) | Funcţionarea TB |
| 1 | Polarizată direct | Polarizată direct | Regiunea de saturaţie (RS) |
| 2 | Polarizată direct | Polarizată invers | Regiunea activă normală (RAN) |
| 3 | Polarizată invers | Polarizată direct | Regiunea activă inversă (RAI) |
| 4 | Polarizată invers | Polarizată invers | Regiunea de blocare (RB) |

Regiunea de blocare se mai numeşte şi regiune de tăiere. Pentru a stabili dacă o joncţiune a TB este polarizată direct sau invers se va determina căderea de tensiune între zona p şi zona n. Dacă aceasta este pozitivă, atunci joncţiunea este polarizată direct, iar dacă este negativă, atunci joncţiunea este polarizată invers.

Fig. 2.2. Schema circuitului cu TB în EC pentru determinarea caracteristicilor



În RAN se poate folosii relaţia:

 (2.3)

**Conexiunea emitor comun (EC)**

Considerând tranzistorul ca fiind un diport – cu o poartă (două borne) de intrare şi o poartă (două borne de ieşire) – se pot realiza trei situaţii distincte. În fiecare situaţie va exista o bornă a tranzistorului care este comună şi la intrare şi la ieşire. Această bornă va da numele conexiunii în care lucrează TB. De exemplu, în fig. 2.2 TB are emitorul la masă, şi deci comun şi la intrare şi la ieşire. Ca urmare, această configuraţie a TB se numeşte conexiunea emitor comun (EC).

**2.3. Determinarea caracteristicilor de intrare şi de transfer pentru TB în conexiunea emitor comun**

În fig. 2.2 este ilustrată schema circuitului pentru determinarea caracteristicii statice de intrare, IB = IB(VBE) şi a caracteristicii statice de transfer, IC = IC(VBE) pentru tranzistorul bipolar BC108C. Aceste caracteristici sunt prezentate în fig. 2.3.

Fig. 2.3. Caracteristica de intrare şi caracteristica de transfer pentru BC108C



**Desfăşurarea lucrării**

Se desenează în SPICE schema din fig. 2.2 şi se setează parametrii pentru analiza de curent continuu, folosind descrierea de mai jos:

***PSpice→Edit Simulation Profile***

*Analzsis type***: DC Sweep,**

*Sweep variable***: Voltage source,** *Name:* **VBE**

*Sweep type***: Linear,** *Start Value***: 600m**

*End value:* **800m**

*Increment***: 0.5m**

**A.** Se vizualizează curentul **IB(Q1)** şi se completează tabelul 2.1.

### Tabelul 2.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IB(Q1) [μA]** | **264.3nA** |  |  | **50.25uA** |  |

**B.** Se vizualizează curentul **IC(Q1)** şi se completează tabelul 2.2.

### Tabelul23.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IC(Q) [μA]** |  |  |  | **31.77mA** |  |

**C.** Vizualizarea factorului de amplificare în curent continuu, **βF = IC(Q1)/IB(Q1)** şi completarea tabelului 2.3.

### Tabelul 2.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IC(Q)/ IB(Q)** |  |  | **560.2** |  |  |

**D.** Pentru analiza comportării cu temperatura, în regim static, a tranzistorului BC108C se modifică parametrii analizei astfel:

*PSpice→****Edit Simulation Profile***

*Analzsis type****: DC Sweep,***

*Sweep variable****: Temperature,***

*Sweep type****: Linear,*** *Start Value***: 0**

*End value:* **100**

*Increment***: 0.1**

Se vizualizează și se salvează: **IB(Q1), IC(Q1)** şi factorul de amplificare în curent continuu, **IC(Q1)/IB(Q1)** şi se completează tabelul 2.4.

### Tabelul 2.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **T [oC]** | **0** | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** | **90** | **100** |
| **IB(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **IC(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **IC(Q)/ IB(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**2.4. Determinarea caracteristicii de ieşire IC(VCE)**

Se utilizează circuitul din fig. 2.2. Se setează parametrii pentru analiza de curent continuu folosind descrierea de mai jos:

***PSpice →Edit Simulation Profile***

*Analysis type****: DC Sweep,***

*Primary Sweep:*

*Sweep variable****: Voltage source*,** *Name:* **VCE**

*Sweep type***: *Linear,*** *Start Value***: 0**

*End value:* **10**

*Increment***: 2m**

*Secondary Sweep:*

*Sweep variable***: *Voltage source*,** *Name:* **VBE**

*Sweep type***: *Value list:* 0.65 0.7 0.75**

**Desfăşurarea lucrării**

**A.** Se va vizualiza curentul de colector **IC(Q1).** Deoarece VBE este parametru al analizei, având 3 valori (0,65V, 0,7V şi 0,75V), se vor obține 3 caracteristici de ieșire (o familie de caracteristici). Se va observa modificarea lui **IC(Q1)** la creșterea tensiunii colector – emitor, **VCE.**

**B.** Se va completa tabelul2.5.

### Tabelul 2.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **VCE [V]** | **0,01** | **0,02** | **0,05** | **0,1** | **0,2** | **0,5** | **1** | **2** | **5** | **10** |
| **IC(Q1)**  **[mA]** | **VBE = 0,65V** | **-52uA** | **133u** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VBE = 0,7V** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VBE = 0,75V** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**C.** Se vizualizează factorul de amplificare în curent **IC(Q1)/IB(Q1**) pentru **VBE = 0,7V.**

**D.** Se citesc valorile acestui factor, corespunzătoare valorilor lui **VCE,** şi se completează tabelul 2.6.

### VBE = 0,7V Tabelul 2.6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VCE1[V]** | **0,1** | **0,5** | **1** | **2** | **10** |
| **IC(Q1)/IB(Q1)** |  |  |  |  |  |

**2.5. Simularea în SPICE a amplificatorului cu TB în conexiunea EC**

Fig. 2.4



**A.** Se realizează configurația din figura 2.4 în mediul SPICE. Sursa V1 este de tip VSIN (aşa o căutați în librării).

**B**. Se determină PSF-ul pentru tranzistorul Q1 setând parametrii de analiză astfel:

*Analysis type***:**

*Bias Point*.

Pentru vizualizarea potenţialelor din circuit, din meniul principal, cel în care apare schema simulată se apasă butonul **V.** Pentru curenţi se apasă butonul **I.** Se notează curentul de colector, IC = ……... şi tensiunile VCE = …….… şi VBE = …..…. .

**C**. Se realizează o analiză tranzitorie (în domeniul timp) astfel:

***PSpice →Edit Simulation Profile***

*Analysis type***:**

***Time Domain (Transient),***

*General Setting: Run to time:* **12ms**

*Start saving data after:* **10ms**

*Transient options*

*Maximum step size:* **1us**

Se vizualizează tensiunea de intrare, V1 şi cea de ieşire, pe rezistorul R5 şi se salvează într-un fişier Word. Se măsoară amplitudinea tensiunii de intrare şi amplitudinea tensiunii de ieşire şi se determină **modulul amplificării în tensiune** (raportul dintre amplitudinea tensiunii de ieşire şi amplitudinea tensiunii de intrare).

**D**. Se schimba sursa de semnal sinusoidal V1 cu o sursa tip Vac, cu amplitudinea de 1mVac şi se realizează o analiză de curent alternativ (în domeniul frecvență) astfel:

***PSpice →Edit Simulation Profile***

*Analysis type***:**

*AC Sweep/Noise*

*General Settings AC Sweep Type*

*Logarithmic*

*Decade Start Frequency:* **1**

*End Frequency:* **1G**

*Points/Decade:* **100**

Se vizualizează şi se salvează amplificarea în tensiune (vezi fig. 2.5).



Fig. 2.5. Amplificarea în tensiune funcţie de frecvenţă.

Se determină din graficul obținut valoarea modulului amplificării în tensiune la frecvența de 1kHz și se compară cu rezultatul obținut la punctul C.

**2.3. Determinarea caracteristicilor de intrare şi de transfer pentru TB în conexiunea emitor comun**

### Tabelul 2.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IB(Q1) [μA]** |  |  |  |  |  |

**B.** Se vizualizează curentul **IC(Q1)** şi se completează tabelul 2.2.

### Tabelul23.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IC(Q) [μA]** |  |  |  |  |  |

**C.** Vizualizarea factorului de amplificare în curent continuu, **βF = IC(Q1)/IB(Q1)**

### Tabelul 2.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VBE [V]** | **0,6** | **0,65** | **0,7** | **0,75** | **0,8** |
| **IC(Q)/ IB(Q)** |  |  | **560.2** |  |  |

**D.** Comportarea cu temperatura

Se vizualizează și se salvează: **IB(Q1), IC(Q1)** şi factorul de amplificare în curent continuu, **IC(Q1)/IB(Q1)**

### Tabelul 2.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **T [oC]** | **0** | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** | **90** | **100** |
| **IB(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **IC(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **IC(Q)/ IB(Q)** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**2.4. Determinarea caracteristicii de ieșire IC(VCE)**

### Tabelul 2.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **VCE [V]** | **0,01** | **0,02** | **0,05** | **0,1** | **0,2** | **0,5** | **1** | **2** | **5** | **10** |
| **IC(Q1)**  **[mA]** | **VBE = 0,65V** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VBE = 0,7V** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VBE = 0,75V** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**C.** Se vizualizează factorul de amplificare în curent **IC(Q1)/IB(Q1**) pentru **VBE = 0,7V.**

**D.** Se citesc valorile acestui factor, corespunzătoare valorilor lui **VCE,** şi se completează tabelul 2.6.

### VBE = 0,7V Tabelul 2.6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VCE1[V]** | **0,1** | **0,5** | **1** | **2** | **10** |
| **IC(Q1)/IB(Q1)** |  |  |  |  |  |

**2.5. Simularea în SPICE a amplificatorului cu TB în conexiunea EC**

Se notează curentul de colector,

IC = ……... şi tensiunile VCE = …….… şi VBE = …..…. .

**C**. Se realizează o analiză tranzitorie (în domeniul timp)

V1 = …………. V(R5) = ………..

Se determină **modulul amplificării în tensiune** (raportul dintre amplitudinea tensiunii de ieșire și amplitudinea tensiunii de intrare).

**D**. Aanaliza de curent alternativ (în domeniul frecvență)

av(1kHz) = ...........