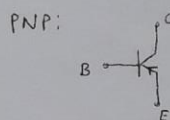
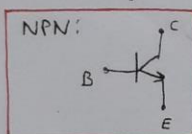


## БИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

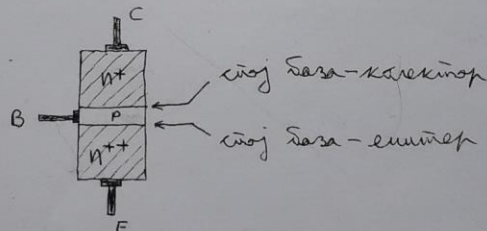
- Биполарни транзистор је компонента која има 3 извода која се излазна струја, напон или снага контролишу улазном струјом.
- Најчешће се користе у комуникацијима као појачавач малих сигнала.
- У дигиталним системима користе се као прекидач.

### Структура транзистора

- Састоји се из 3 допирани полупроводника одвојена са 2 PN- споја које називамо: емитер (E), база (B) и колектор (C).
- Постоје 2 типа транзистора: PNP и NPN.



- Област базе је слабо допирани полупроводник мале ширине у поређењу са потпуно допираним емитером и изјерено допираним колектором.



### Основне операције транзистора

- Да би транзистор исправно радио, оба PN- споја морају бити правилно поларисана сопственим напонским изворима.
- Исправна поларизација остварује се када је спој база-емитер поларисован директно (директно), док је спој база-колектор поларисован инверзно.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 3,55 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 2,85 \text{ V}$$

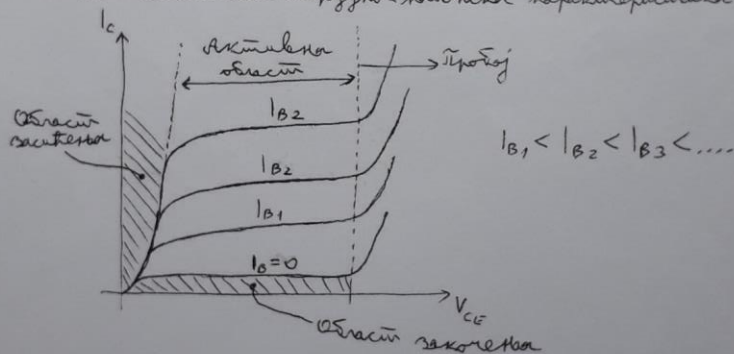
- Ако се узима у обзир и струја универзално поаризованог споја база-колектор, струја колектора је одређена са:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

$I_{CBO}$  - струја универзално поаризованог PN-споја. Обично се ова струја занемарује.

### Карактеристике биполарног транзистора

- Излазна статичка струјно-напонска карактеристика:



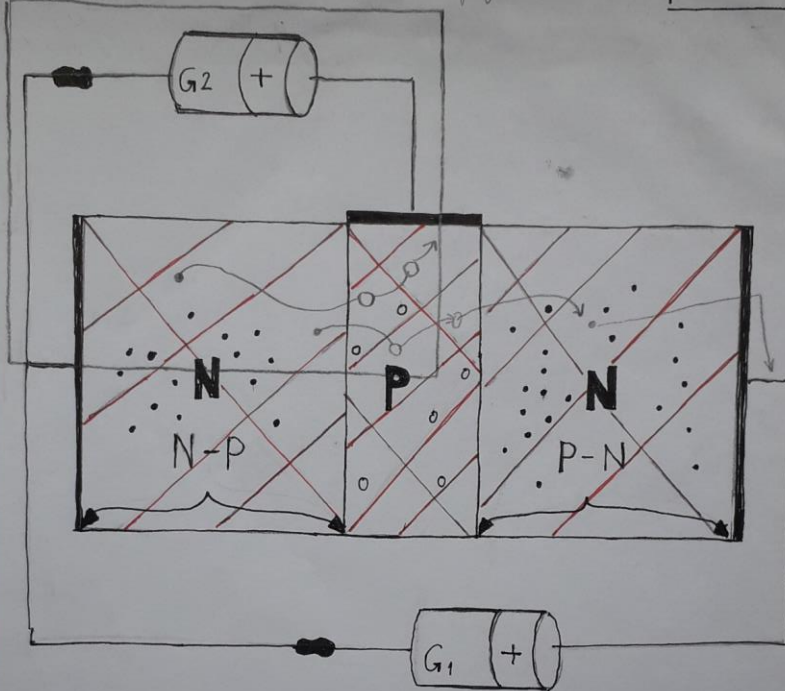
- Транзистор у зависности од начина поаризације има 4 карактеристична режима:

1° Режим закочења: Сва PN-споја универзално поаризована. Транзистор је искључен и  $I_C = 0$ .

2° Режим засићења: Сва PN-споја директно поаризована. Транзистор без обзира на даље повећавање струје  $I_B$  не може да повећава струју  $I_C$ , а напон  $V_{CE} = V_{CES} \approx 0,1 \text{ V}$ .

Тријетини "директно поларизована диода"!

NPN Биполарни  
транзистор



—  $G_2$  тече електрони из  $N$  подручја према  $P$  подручју:

1. Пој<sup>ми</sup> електрона како се уједине на уједину и поверите на  $+G_2$  који је прикључен. Када пој<sup>ми</sup> електрона уђе у  $G_2$  он одјуре пој<sup>ми</sup> нових електрона који одјуре нови пој<sup>ми</sup> електрона који онда пролазе кроз пролазак на онда он турну пој<sup>ми</sup> електрона.... онда ми електрон турну пој<sup>ми</sup> електрона из  $N$  у  $P$  и поно уједину електрона пролазе ав. струја.



2. Број електрона уврњено ка  $G_2$  креће ка  $N$  подручју. <sup>ока</sup>

Пој број електрона тура број електрона ка  $+G_1$  па када  $\checkmark$  долази

у  $G_1$  турну број електрона од  $-G_1$  ка транзистору...

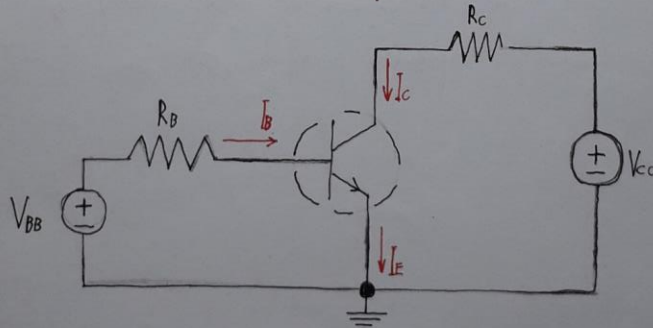
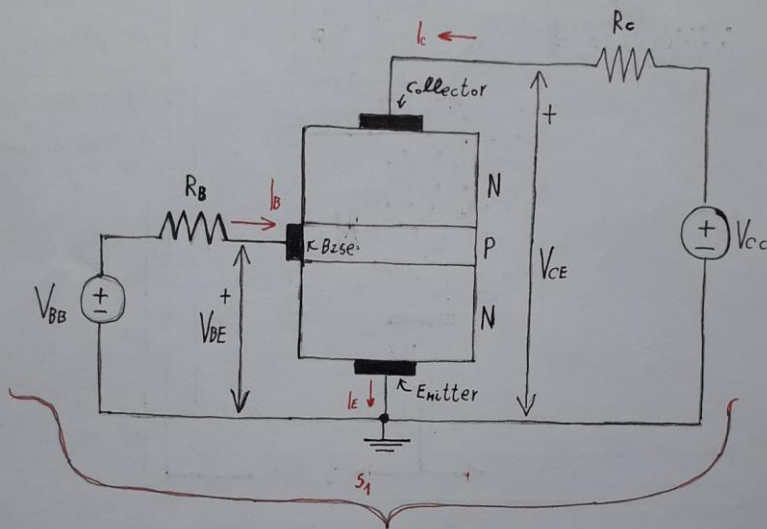
Кроз Милера ал. ково протиче ал. струја!

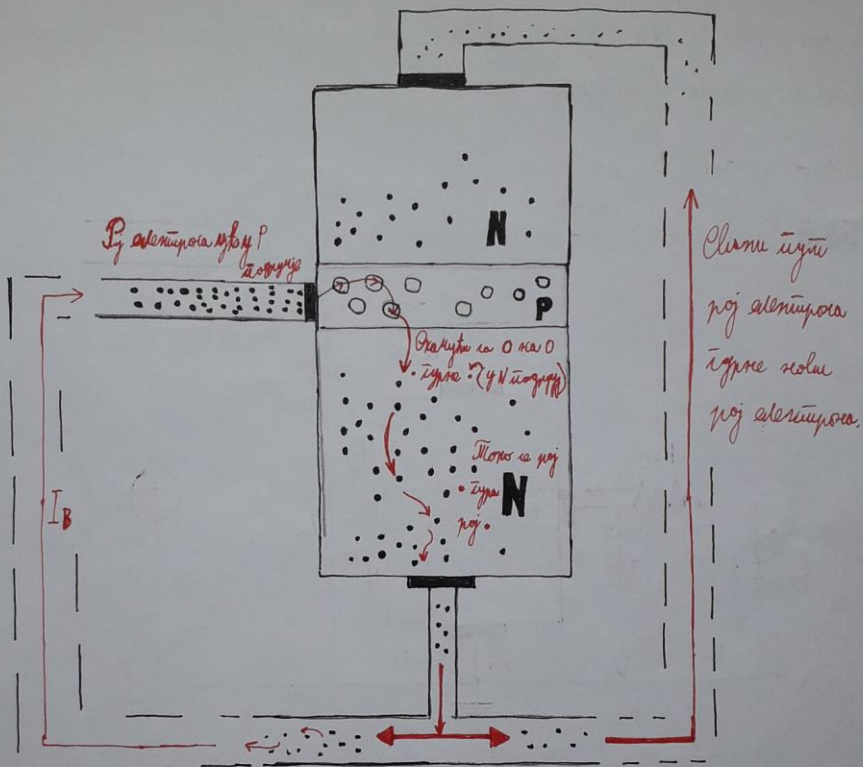
• Биполярни NPN транзистор, който е свързан с емитером.

За да бъде NPN BJT (Bi-polar Junction Transistor) работен, той трябва да бъде свързан с емитером, който е свързан с емитером.

Base-Emitter - Forward Bias

Collector - Base - Inverse Bias





Через I Кирпичевым ток излучения осциллографа и  
излучения не поддается разбаву на обе стороны



Трета II Кирхгофови закони на ал. ниво ~~у транзистору~~ са алик  $S_1$  :

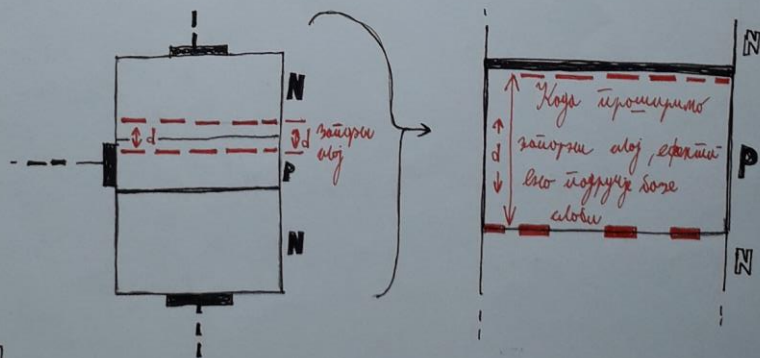
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

Узмимо претпоставку да је  $V_{BE}$  фиксирани напон. Кога око погледамо  $|V_{CE}|$  видићемо да из  $V_{CB} = V_{CE}$  (које постоји) -  $V_{BE}$  (који постоји) настаје и  $V_{CB}$ .

~~$V_{CB}$  је инверзно поларизовано (поларизација  $V_{CB}$ ) - (инверзно поларизовано на  $V_{CB}$  постоји, а  $V_{BE}$  постоји)~~

Са  $B$  су инверзно поларизовани:

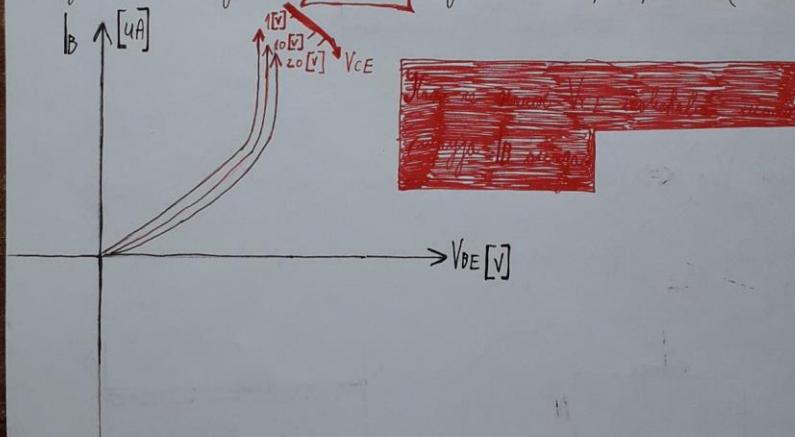
(Поларизација  $V_{CB}$ )  $\Leftrightarrow$  (инверзно поларизоване PN споје) по нивоу јаче  $V_{CB}$  по је шири зајорни алој. Дакле:



Рож електрона уђе у прикључак Base, а одмах затим досеђује у P подручје.  
 Скачућ са миллионима на миллионима рој електрона из P подручја

Љупке електроне (N подручја) који су близу PN споја па њој рој електрона  
 Љупке рој електрона на прикључку Emitter, затим рој електрона  
 излазе из прикључка и постојећа за љупа електроне из проволукова  
 ...  $V_{BE}$  и  $I_B$  су "Љупке карактеристике (оног транзистора)".

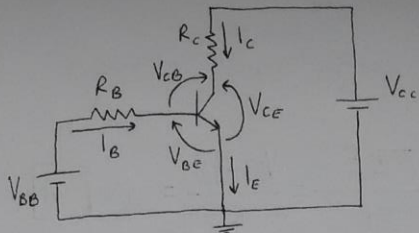
Због рачунања долази до побуђе, љупке струја  $I_C$  на колектору (ипото струја)  
 - резултата њој струја  $V_{CE}, I_C$  су "Љупке карактеристике (оног транзистора)".



Љупко се каже  $V_{CE}$  повећала њојој струја  $I_B$  оштра!

Љупко и кажи:





$$I_E = I_C + I_B$$

$$\text{Згг (E)} \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\text{Згг (B)} \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1$$

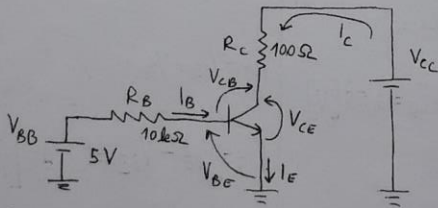
$$\text{Згг (C)} \quad \gamma = \frac{I_E}{I_B}$$

- $\beta = \frac{I_C}{I_B}$  ← Појачање транзистора у односу на заједнички емитерски базис.
- $\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1$  ← Појачање транзистора у односу на заједнички базис. Креће се у границама  $0,95 \div 0,99$ .
- $\gamma = \frac{I_E}{I_B}$  ← Појачање транзистора у односу на заједнички колекторски базис.

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} ; \quad \gamma = \beta + 1 ; \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Када је свој база-емитер протучено попаризован, тада је он сличан протучено попаризованој диоди, па је  $V_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$ .

Пример: Одreditи  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$  и  $V_{CB}$  по као приказано на слици. Познато је:  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ ;  $\beta = 150$ .



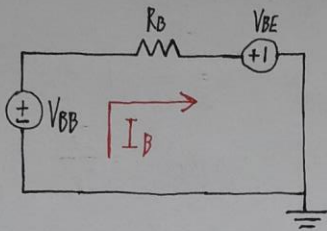
Решение:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 430 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 64,5 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 64,9 \text{ mA}$$

1. За  $I_B$ ? NPN BJT на одређеном  $I_B$  и тојиме формуле  
 $I_C = \beta I_B$  и примјене Кирхофових закона садашњи је рјешавање.

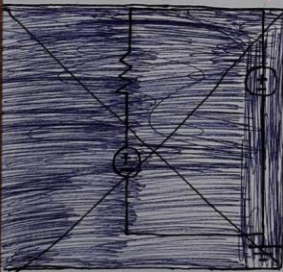


$$I_B = \frac{\sum \pm E}{\sum R} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R} = 430 [\mu A] \checkmark$$

$$I_C = \beta I_B = 64,5 [mA] \checkmark$$

$$I_E = I_B + I_C = 64,9 [mA] \checkmark$$

За  $V_{CE}$ ? Покушајмо са II Кирхофовим  
 законом. Одговор постоји је израчунавање.

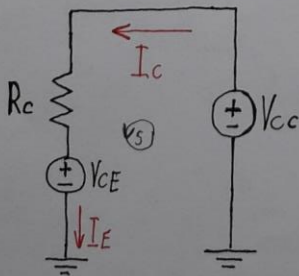


$$\sum (E_i - RI) \checkmark$$

$$\sum U_{\text{изворова}} - \sum R I = 0$$

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 3,55 [V] \checkmark$$



За  $V_{CB}$ ?

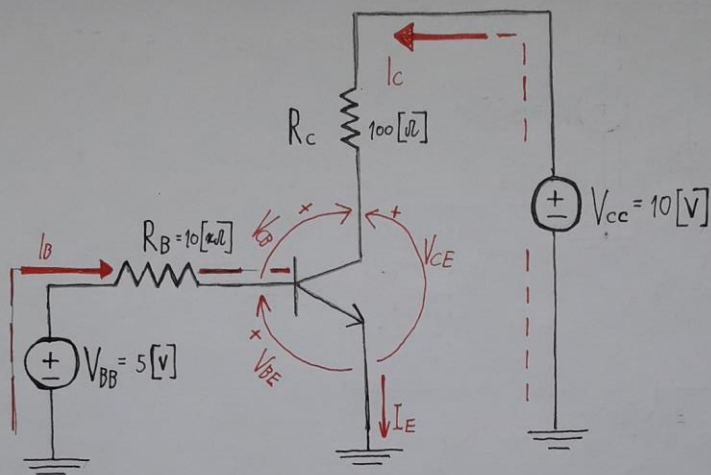
Једноставно примјенимо

II Кирхофов закон на  
 постављеном изражавању.

$$V_{CB} - V_{CE} + V_{BE} = 0 \checkmark$$

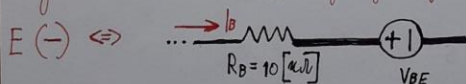
$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 2,85 [V] \checkmark$$

Страна са примера



$$I_B = \frac{\sum \pm E}{\sum R} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{10000} = 430 [\mu A]$$

Пошто, како  $I_B$  улази у базу по томе базе струја иде доле у емитер... погледати иде, од  $B(+)$  на  $E(-)$   $\Leftrightarrow$



$$I_C = \beta I_B = 64,5 [\mu A]$$

$$I_E = I_C + I_B = 64,9 [\mu A] \approx 65 [\mu A]$$

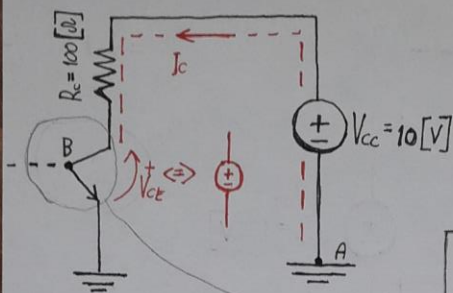


$$U_{AB} = \sum (-E, RI)$$

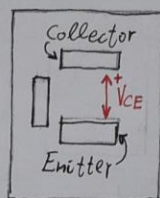
II Кирхгоф закон

$$-V_{CC} + R_c I_c - (-V_{CE}) = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_c I_c = 3,55 [V]$$



ZOOM IN



Transistor



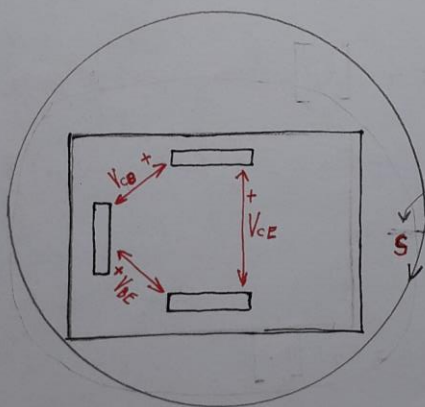
II Кирхгоф закон

$$-V_{CB} - V_{CE} + V_{BE} = 0$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 2,85 [V]$$

$$\sum (E, RI)$$

по замкнутому контуру

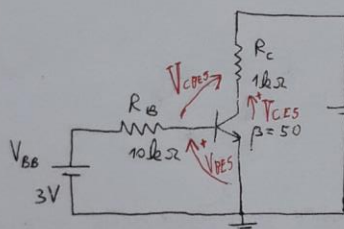


S

3° Активни режим: Стој база-емитер поларизован директно, а стој база-колектор инверзно. У овом режиму транзистор се понаша као појачавач и врши једн:  $I_C = \beta I_B$ .

4° Инверзни активни режим: Стој база-колектор директно поларизован, а стој база-емитер инверзно. С обзиром да је транзистор несиметричан елемент, у овој области је појачање изражено мање него у активној:  $I_E = \beta_R I_B$ ,  $\beta_R \ll \beta$

- Пројекат: За коју се слике одредити да ли је тран- зистор у области засићења. Претпоставити да је  $V_{CES} = 0,2V$ ;  $V_{BES} = 0,8V$ .



Како се то ради? Претпоставимо да транзистор јесте у засићењу (преко поназило засићења). Затим неким методом одоларујемо изразе и проверимо да ли је то наша претпоставка била тачна.

Решавање:

$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C} = 9,8 \text{ mA}$$

Сада треба проверити да ли је  $I_B$  довољно велико да би транзистор био у засићењу, тј. да ли је испуњено  $I_C > I_{CS}$  (или  $I_B > I_{BS}$ ).

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BES}}{R_B} = 0,22 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 11 \text{ mA} > I_{CS} \leftarrow \text{Закључујемо да је транзистор у засићењу.}$$

$I_{CS}$  је струја колектора. Полази се температура  $V_{CC}$ , нећемо обезбеђивати ниједну колекторну...

$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C} = 9,8 \text{ [mA]}$$

Сада треба проверити да ли је  $I_B$  довољно велико да ли транзистор није у режиму, тј. да ли је укључено

$I_C > I_{CS}$  (или  $I_B > I_{BS}$ ) Одређујемо  $I_B$  па онда  $I_C = \beta I_B$  и тако  $I_C$ .

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BES}}{R_B} = 0,22 \text{ [mA]} \checkmark$$

$$I_C = \beta I_B = 11 \text{ [mA]} > I_{CS} \quad \text{па закључујемо да је транзистор у режиму.}$$



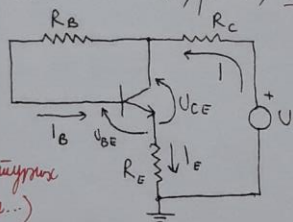
15) За коло приказано на слици:

- a) Под претпоставkom да су познате вредности napona napona  $U$ , otpornosti  $R_B, R_C$  и  $R_E$ , kao и карактеристичних параметри транзистора (поја-  
нава струје од базе до колектора  $\beta$ , напон између  
базе и емитера транзистора при раду у акти-  
вној области  $U_{BE}$ , и инверзна струја заситен-  
а колекторској струји  $I_{CBO}$ ), одредити општи израз  
за вредност струје  $I_B$ . Ова се изразује  $I_B = \frac{\partial E}{\partial R}$  у функцији  
b) Израчунајте бројне вредности napona  $U_{CE}$  и одеж  
струје  $I_B$  при задатим вредностима парамет-  
ара кола:  $U = 10V, \beta = 99, I_{CBO} = 1\mu A, R_E = 100k\Omega, R_C = R_B = 2k\Omega$ .

Решење:

Кинетичко израже

(I је Карнофел  
закон, метода поштом  
струја...)



Кинетичка на то да се  
користити

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

Решење:

a)  $I = I_E = I_B + I_C$  до којих можемо доћи  
 $U_{CE} = U - I_E (R_C + R_E)$  поставити  
 $U_{CE} = U_{BE} + R_E I_B$  задато и пов.

На основу napona у посматраном кругу ( $U_{BE} > 0, U_{CE} > 0$ ),  
види да транзистор није у заситену. Ако је  
 $U \gg U_{BE}$ , тада тачка се налази у активној области  
за коју важи:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO} \quad ; \quad I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = (\beta + 1) (I_B + I_{CBO})$$

$$U_{CE} = U_{BE}$$

$$U_{CE} = U - I_E(R_C + R_E) = U_{BE} + R_B I_B \Leftrightarrow U_{CE} = U_{BE}$$

$$U - (\beta + 1)(R_C + R_E)(I_B + I_{CBO}) = R_B I_B + U_{BE}$$

$$I_B = \frac{U - U_{BE} - (\beta + 1)(R_C + R_E)I_{CBO}}{R_B + (\beta + 1)(R_C + R_E)} \quad \checkmark$$

б) На основу задате вредности инверсне струје засаћења колекторској споја  $I_{CBO}$ , закључујемо да је транзистор термистички, за који се може уочити да је у активnoj области напон  $U_{BE} \approx 0,2V$ .

$$I_B = \frac{10 - 0,2 - 100 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^3 + 100 \cdot 4 \cdot 10^3} = 18,8 \mu A$$

$$U_{CE} = R_B I_B + U_{BE} = 100 \cdot 10^3 \cdot 18,8 \cdot 10^{-6} + 0,2 = 2,08 V$$

16) За калс приказано на слици, познате су вредности карактеристичних параметара транзистора ( $\beta, U_{BE}, I_{CBO}$ ).

а) Под претпоставком да се ради о једној транзистор наоди у активnoj области и да су познате вредности напона напајања,  $U_{CC}$  и  $U_{BB}$ , као и отпорности  $R_B, R_C$  и  $R_E$ , одредити оштити израз за  $I_C$ .

б) Одредити вредности напона  $U_{CE}$ .

Познато је:

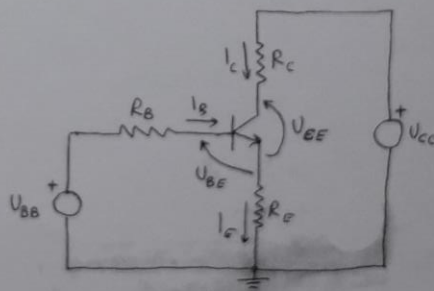
$$U_{CC} = 10V; U_{BB} = 5V$$

$$I_{CBO} = 1nA; \beta = 100$$

$$R_C = 1,5 k\Omega$$

$$R_B = 65 k\Omega$$

$$R_E = 1,5 k\Omega$$



Рјешавање:

$$-U_{BB} + R_B I_B + U_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_E = (\beta + 1)(I_B + I_{CBO})$$

$$-U_{BB} + R_B I_B + U_{BE} + (\beta + 1) R_E (I_B + I_{CBO}) = 0$$

$$I_B [R_B + (\beta + 1) R_E] = U_{BB} - U_{BE} - I_{CBO} (\beta + 1) R_E$$

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E} - \frac{(\beta + 1) R_E}{R_B + (\beta + 1) R_E} I_{CBO}$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$

$$I_C = \beta \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} + (1 + \beta) \frac{R_B + R_E}{R_B + (1 + \beta) R_E} I_{CBO}$$

б) На основу задате вредности  $I_{CBO}$ , закључујемо да је транзистор симулирански, па је  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ .

$$I_B = \frac{5 - 0,6}{65 \cdot 10^3 + 101 \cdot 1,5 \cdot 10^3} - \frac{101 \cdot 1,5 \cdot 10^3}{65 \cdot 10^3 + 101 \cdot 1,5 \cdot 10^3} \cdot 10^{-9}$$

Член који можемо занемарити

$$I_B \approx \frac{4,4}{216,5 \cdot 10^3} = 20,3 \mu\text{A}$$

$$I_C = 100 \cdot 20,3 \mu\text{A} + 101 \cdot 1 \text{ nA} \approx 2,03 \text{ mA}$$

$$I_E = I_B + I_C \approx 2,05 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 3,88 \text{ V}$$



17) За како приказано на слици, под претпоставката да је инверзна струја заштитна колекторској споји  $I_{CBO}$  занемарливо мала, а да је  $\beta$  довољно велико да се струје база транзистора могу занемарити у односу на остале струје у колу:

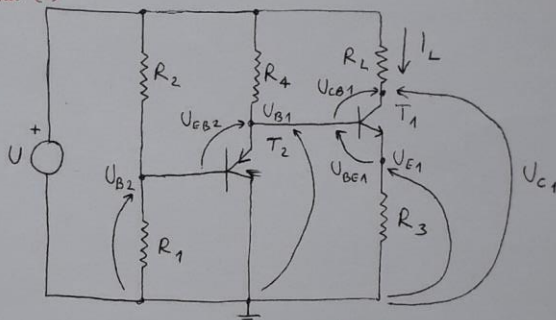
- Одредити одговарајући израз за вредност струје  $I_L$
- Одредити потребан улов  $\eta$  појаву односа вредности напон  $U$  и вредности параметра елемената у постојећем колу, да струја  $I_L$  не зависи од вредности отпорности  $R_L$ .

За да транзистора важи (\*)

та отпорности  $R_1$  и  $R_2$

образују једну узјачујућу

напон.



Решење:

- С обзиром да је  $\beta$  довољно велико да струје база могу занемарити, за све транзисторе сматрамо да је струја колектора једнака струји емитера.

струје база. Можемо наметнути (\*)

$$I_L = \frac{U_{E1}}{R_3}$$

$$U_{E1} = U_{B1} - U_{BE1}$$

$$U_{B1} = U_{B2} + U_{EB2} \Rightarrow U_{E1} = U_{B2} + U_{EB2} - U_{BE1} \approx U_{B2}$$

$$U_{B2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \approx U_{E1} \Rightarrow I_L \approx U \frac{R_1}{(R_1 + R_2) R_3}$$

$$I_L = \frac{U_{E1}}{R_3}$$

Напомена, струја  $I_L$  протиче кроз грану са отпорном отпорношћу  $R_L$

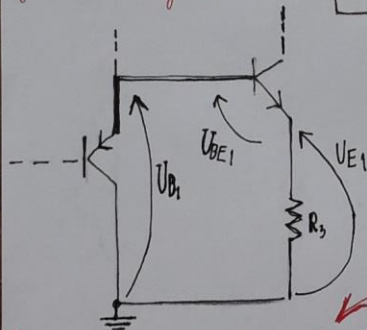
... или пошто смо замислили струју  $I_{B1}$  струја  $I_L$

поступамо дајте путу ме исто тако протиче кроз отпорник  $R_3$

тако из Омова закона добијемо  $U_{E1} = I_L R_3$  ме из истога  $I_L = \frac{U_{E1}}{R_3}$

Сада нам је познато је  $U_{E1}$ ...

У овом случају битно је да напомена да се струја која протиче

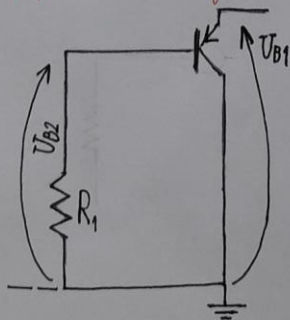


$$U_{E1} + U_{BE1} - U_{B1} = 0 \quad \text{II. закон}$$

$$U_{E1} = U_{B1} - U_{BE1}$$

Дакле изражавамо  $U_{B1}$ . Зашто? Зашто је да се даје струја одговарајуће према изјелу тј. да конвертирамо на напон  $U$  (напон температур).

$$U_{B1} = U_{B2} + U_{EB2}$$



Закључак се добија ме изако даје и изражава  $U_{B2}$ .

У односу на отпорности  $R_L$ , када се трансис-  
тор налази у активној области рада, како  
гleda се као извор струје  $I_L$ , чија је вредност  
одређена вредношћу струје кроз отпорник  $R_3$ ,  
односно вредношћу напона  $U$  и отпорности  
 $R_1, R_2$  и  $R_3$ , а не зависи од вредности отпо-  
ра  $R_L$ .

b) Независно од јачине отпорности  $R_L$  струја  $I_L$  у којој  
се постојећи отпорности отпорности  $R_L$  постојећи  
колектора  $T_1$  се налази. Најбоља вредност,  
међутим, не може бити мања од постојећег  
емитора трансистора  $T_2$ .

Да ли  $T_1$  био у активној области рада, најбоље ко-  
лекторски снаг мора бити универзално израчунат, тј.  
преда да буде исцрпљено  $U_{CB1} \geq 0$ .

$$U_{CB1} = U_{C1} - U_{B1} = U - R_L I_L - U_{B1} ; U_{B1} = U_{B2} + U_{EB2}$$

$$U_{CB1} = U - R_L I_L - U_{B2} - U_{EB2} ; I_L = U \frac{R_1}{(R_1 + R_2) R_3}$$

$$U_{B2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

$$U_{CB1} = U - \frac{R_L}{R_3} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} U - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U - U_{EB2} \geq 0$$

*Да ли трансистор  
био у активној  
области.*

$$\frac{U}{R_1 + R_2} \left( R_2 - R_L \frac{R_1}{R_3} \right) - U_{EB2} \geq 0$$

$$R_2 \geq R_L \frac{R_1}{R_3} + \frac{U_{EB2}}{U} (R_1 + R_2)$$

Ако је  $U_{EB2} \ll U$ , тада други члан претходног изра-  
за може занемарити. Следи да је потребан  
израз да струја  $I_L$  не зависи од  $R_L$ :

$$R_L \leq \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Како је  $R_L$  у активној области, исти се моделу са структурним температуром.



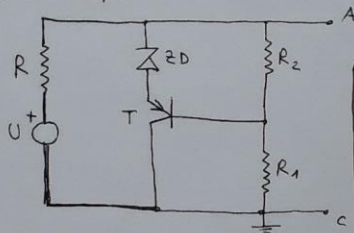
18) За келo приказано на слици, мога транзисторског да је Т симулизиран транзистор, чије је  $\beta$  довољно велико да се струја базе може занемарити у односу на све остале струје у келу:

a) Израдити оштити израз који оштитије зависиост напона  $U_{AC}$  од величност напона  $U$  ( $U \gg 0$ ) и напона пробоја Зенер-диода  $U_Z$ .

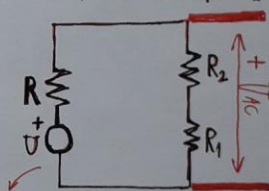
Ако је напон пробоја Зенер-диода  $U_Z = 5,6V$ , а отпорности  $R_1$  и  $R_2$  једнаке  $10k\Omega$ :

б) Израдити величност напона  $U_{AC}$  када је  $U = 20V$ .

в) Израдити величност струје кроз Зенер-диоду  $I_Z$  ако је отпорност  $R = 1k\Omega$ .



$$U_{AC} = U_{R1} + U_{R2} = \frac{U R_1}{R + R_1 + R_2} + \frac{U R_2}{R + R_1 + R_2} = \frac{U (R_1 + R_2)}{R + R_1 + R_2}$$



Решение:

Пошто је 2 штак у келу:

Резултат  
когда је  
напон

1<sup>о</sup> Транзистор је закочен, келo се понаша пасивни дјелом напона који одражују отпорности  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R$ .

$$U_{AC(1)} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R} U$$

У складу са томе што да транзистор Т не може да буде отворен.

2<sup>о</sup> При довољно великим позитивним величностима  $U$ , када је транзистор Т у проводном стању, а диода ZD се налази у стању инверзног пробоја, добијано:

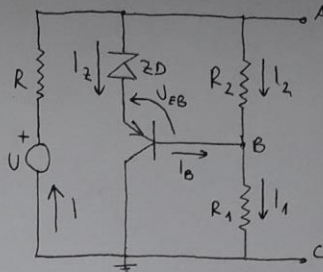
*Op*  $U_{AB} = I_2 R_2 = U_Z + U_{EB}$  *ovaj odnos.*

$$U_{AC(2)} = R_1 I_1 + R_2 I_2$$

$$I_1 = I_2 + I_B; \text{ Zanimljivo je } I_B$$

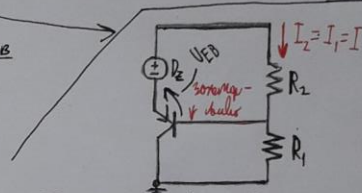
$$I_1 = I_2$$

$$I_2 = \frac{U_Z + U_{EB}}{R_2} = I_1$$



$$U_{AC(2)} = (R_1 + R_2) I_2 = (R_1 + R_2) \frac{U_Z + U_{EB}}{R_2}$$

$$U_{AC(2)} = (U_Z + U_{EB}) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$



Напон  $U_K$  који одговара vrijednosti naznačenoj na sklopu kada jedna marka tranzistora pređe iz aktivnog u aktivnu oblast, određen je izrazom:

$$U_{AC1}(U_K) = U_{AC(2)} \text{ *jer je to iz koje dolazi naпон U_K* } \text{ *Naпон iz koje* } \text{ *tranzistor prelazi u aktivnu oblast* }$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R} U_K = (U_Z + U_{EB}) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$U_K = (U_Z + U_{EB}) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \frac{R_1 + R_2 + R}{R_1 + R_2} = (U_Z + U_{EB}) \left( 1 + \frac{R_1 + R}{R_2} \right)$$

Uzimanjem u obzir za  $U_{AC}$  je:

$$U_{AC} = \begin{cases} \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R} U, & U \leq U_K \\ (U_Z + U_{EB}) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right), & U > U_K \end{cases}$$

8) Za silicijski tranzistor je  $U_{EB} = 0,6 \text{ V}$ ,  
pa je  $U_K = 13,02 \text{ V}$ .

$$U_{Ac}(20V) = 12,4V$$

$$b) I = \frac{U - U_{Ac}}{R} = 7,6 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{U_{Ac}}{R_1 + R_2} = 0,62 \text{ mA}$$

$$I_2 = I - I_1$$

$$I_2(20V) = 6,98 \text{ mA}$$