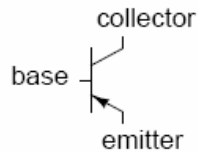
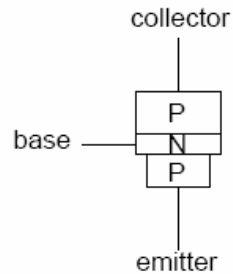


# ترانزیستور BJT

PNP transistor

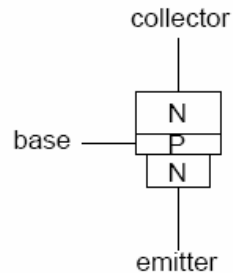
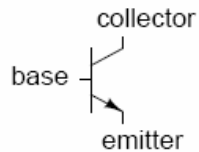


schematic symbol



physical diagram

NPN transistor



- ترانزیستور معمولی، یک المان سه قطبی است که از سه نیمه هادی نوع N و P کنار هم تشکیل شده است. با توجه به ترتیب آنها دو نوع ترانزیستور NPN و PNP قابل ساخت است.

- دارای سه پایه

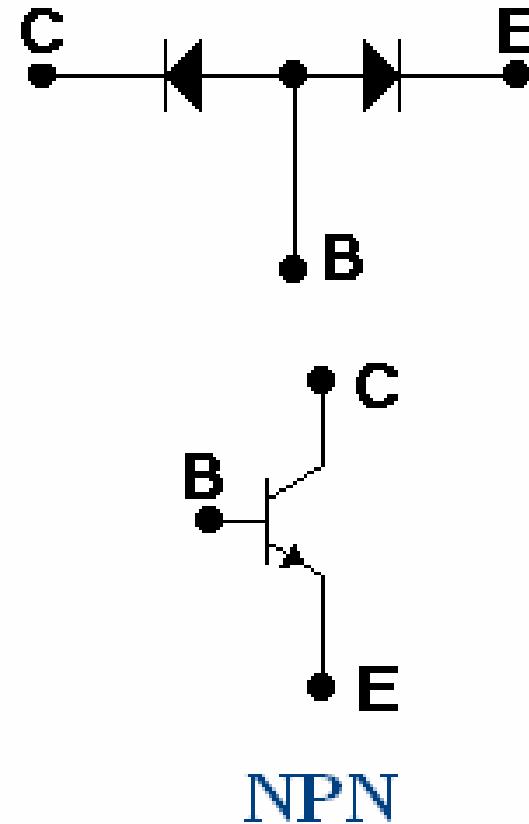
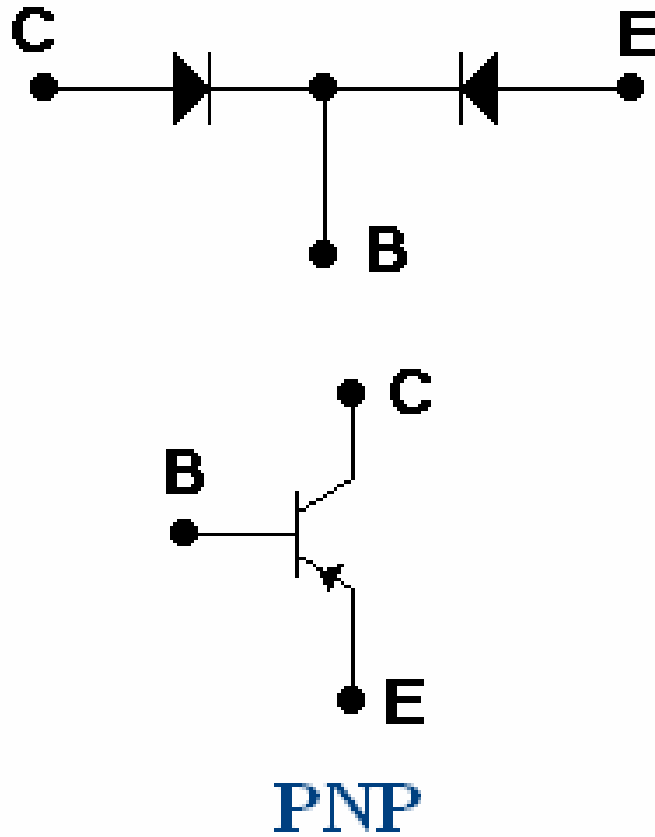
الف-امیتر (منتشر کننده) Emitter

ب-بیس (پایه فرمان) Base

ج-کلکتور (جمع کننده) Collector

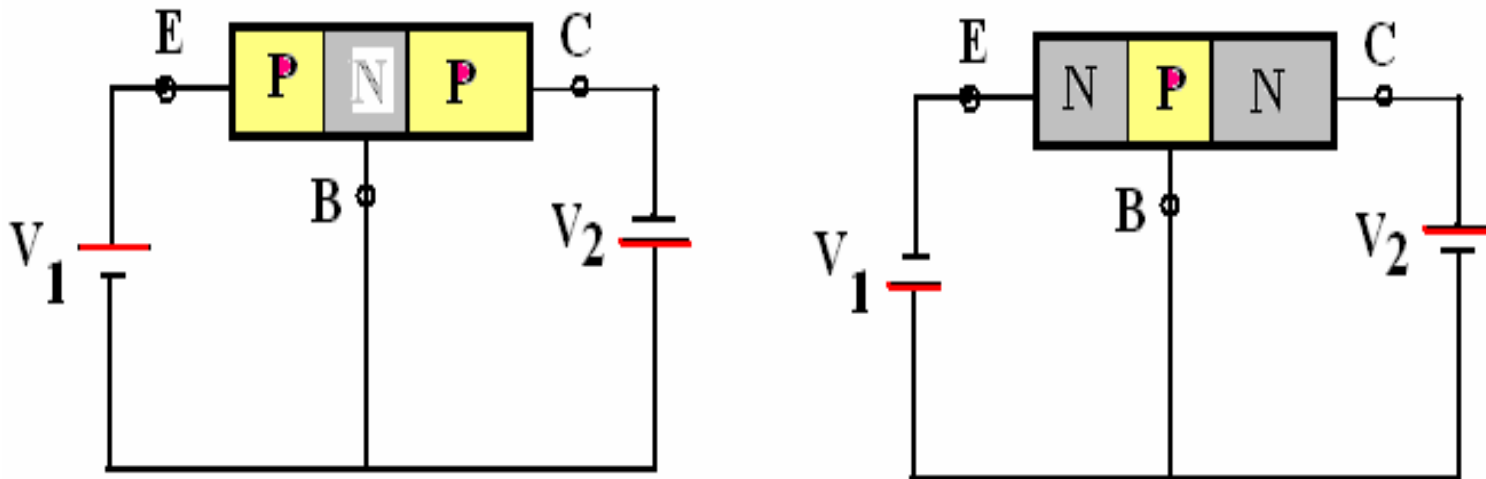


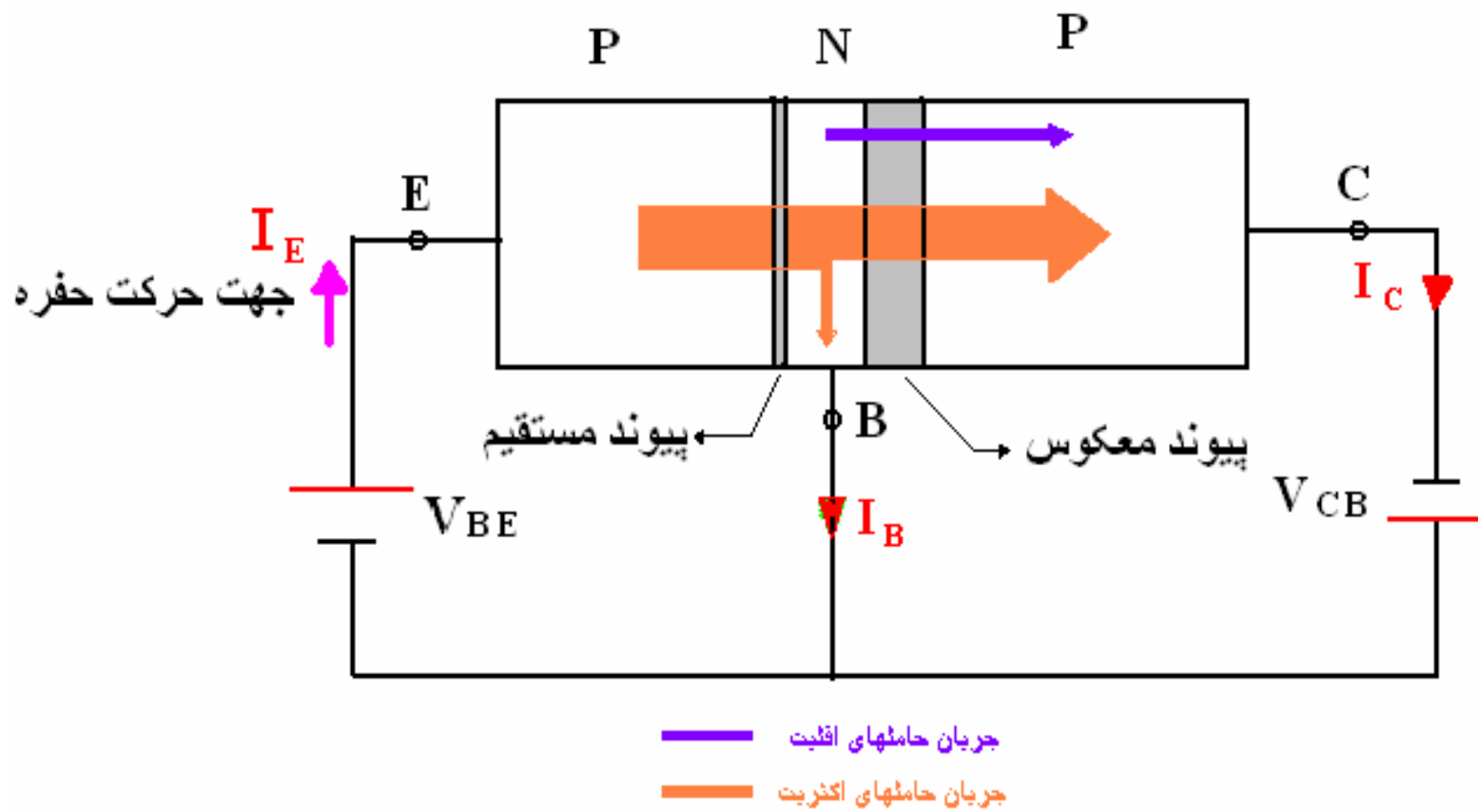
## مدار معادل دیودی ترانزیستور



## عملکرد ترانزیستور

- **بایاسینگ:** عمل تغذیه ولتاژ DC به پایه های ترانزیستور را **بایاسینگ** گویند.
- اگر ترانزیستور بعنوان تقویت کننده (**Amplifier**)، کلید (**switching**) و... استفاده می شود حتماً باید تغذیه گردد.
- چون ترانزیستور دارای سه پایه است می توان به چند حالت تغذیه نمود.
- تغذیه ترانزیستور جهت تقویت کنندگی یا سوئیچینگ باید بگونه ای باشد که **دیود بیس-امیتر در بایاس مستقیم و دیود کلکتور-بیس در بایاس معکوس** قرار گیرد.





## اصول کار ترانزیستور

- ترانزیستور دارای دو پیوند بوده که یکی در بایاس مستقیم و دیگری در بایاس معکوس است.
- مقدار زیادی از حاملهای اکثریت از پیوند بایاس مستقیم عبور کرده و به نیمه هادی نوع N می رسند.
- لایه بیس بخاطر داشتن عرض کم و مقاومت بالا تعداد محدودی از حامل اکثریت را به خارج هدایت می کند.
- بخش اعظم حاملهای اکثریت از پیوند معکوس عبور کرده و به ماده نیمه هادی P کلکتور نفوذ می کنند.
- طبق قانون جریان کیرشهف داریم:

$$I_C = I_{C_{\text{اکثریت}}} + I_{C_{\text{اقلیت}}}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

## نتیجه:

- در ترانزیستورهای عمومی جریان ناشی از حاملهای اقلیت بسیار کم بوده (میکرو آمپر) و صرف نظر می شود. فقط به تغییرات دمایی حساس است.

## تعریف:

ضریب تقویت اتصال کوتاه بیس مشترک ( $\alpha$ ): نسبت تغییرات کوچک در جریان کلکتور به تغییرات در جریان امیتر

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \bigg|_{V_{CB} = \text{const.}}, \quad 0.90 \leq \alpha \leq 0.998$$

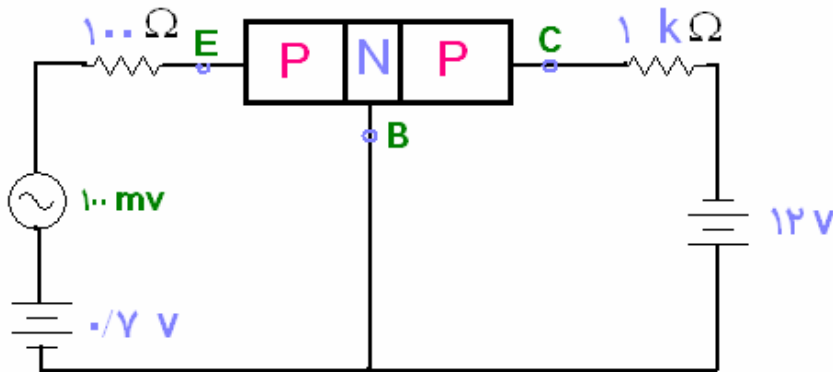
$$\alpha \cong \frac{I_C}{I_E}$$

## چگونگی تقویت کنندگی ترانزیستور:

با ذکر مثالی چگونگی تقویت کنندگی یک ترانزیستور را بررسی می کنیم .

مثال: در شکل زیر اگر مقاومت بیس - امیتر 30 اهم باشد. دامنه سیگنال در مقاومت کلکتور و بهره را حساب کنید؟

حل: ترانزیستور در بایاس مناسب قرار دارد. بانوشتن  $kV$  در حلقه بیس-امیتر داریم



چون جریان بیس در مقابل جریان امیتر و کلکتور ناچیز است میتوان جریان امیتر را برابر جریان کلکتور گرفت.

$$i_e = \frac{100 \text{ mV}}{100 + 30} = 0.769 \text{ mA}$$

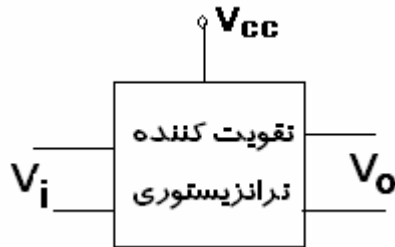
$$i_c = i_e = 0.769 \text{ mA}$$

$$V_R = R i_c = 1 \times 0.769 = 0.769 \text{ V}$$

$$A_v = \frac{V_R}{V_i} = \frac{0.769}{0.1} = 7.69$$

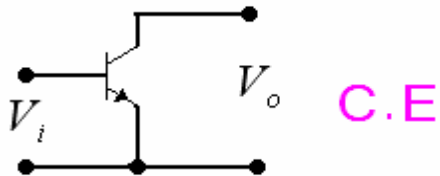
سیگنال ورودی 7/69 برابر تقویت شده است

## آرایش های ترانزیستور

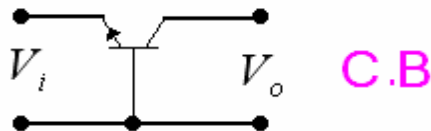


- منظور از آرایش، چگونگی دادن و گرفتن سیگنال از ترانزیستور است - به مکان اعمال سیگنال، ورودی (input) و از جایی سیگنال تقویت شده دریافت می گردد خروجی (output) می نامند.

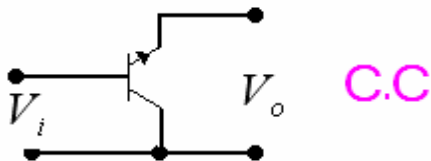
- در سیگنال ac، ترانزیستور هادر سه نوع آرایش استفاده می شوند.



- الف- آرایش امیتر مشترک (C.E) - در این آرایش پایه امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی رابه بیس داده و از کلکتور دریافت می شود.



- ب- آرایش بیس مشترک (C.B) - در این آرایش پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی رابه امیتر داده و از کلکتور دریافت می شود.

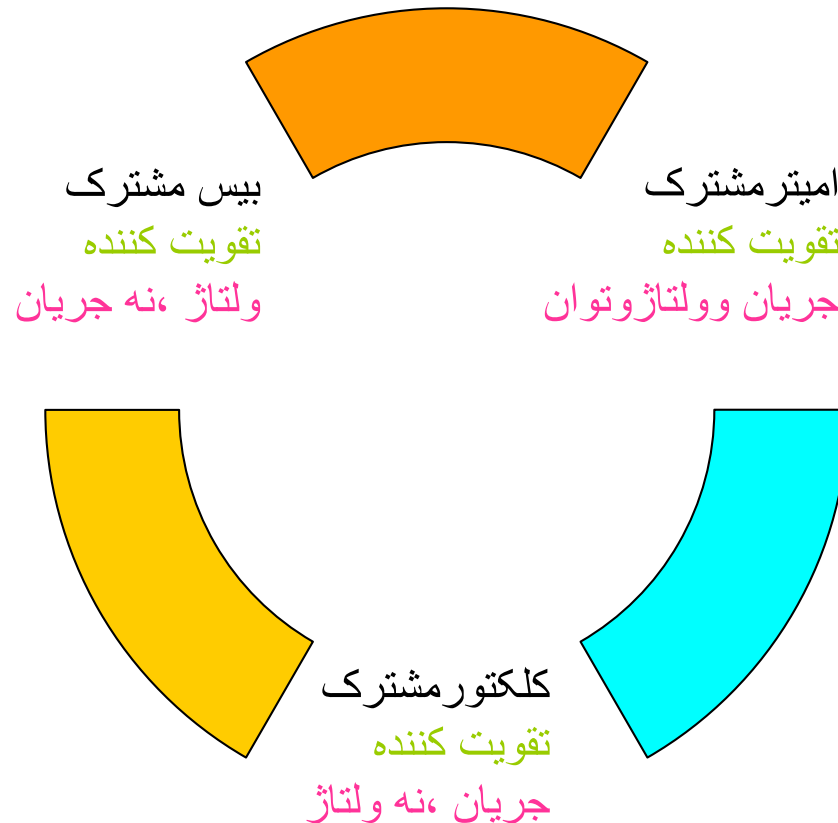


- ج- آرایش کلکتور مشترک (C.C) - در این آرایش پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی رابه بیس داده و از امیتر دریافت می شود. نام دیگرش امیتر فالوور (Emitter Follower) است.

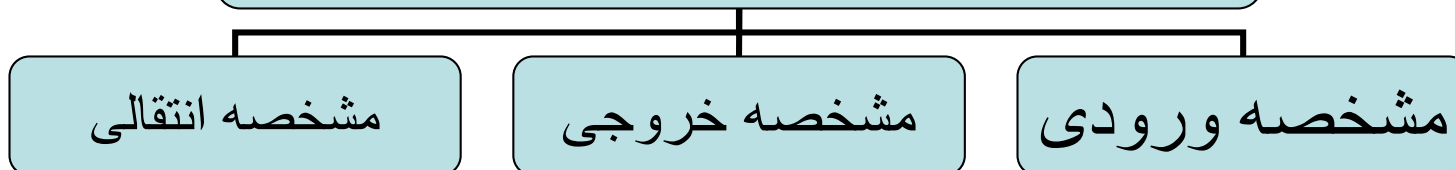


## نکات مهم در آرایش ها:

- آرایش هافقط در حالت AC برای تقویت کننده ها مطرح می شود.
- پایه بیس هرگز بعنوان خروجی و پایه کلکتور نیز بعنوان ورودی استفاده نمی شود.
- تقویت ولتاژ، جریان و توان در تقویت کننده ها به نوع آرایش بستگی دارد.



## منحنی مشخصه های ترانزیستور

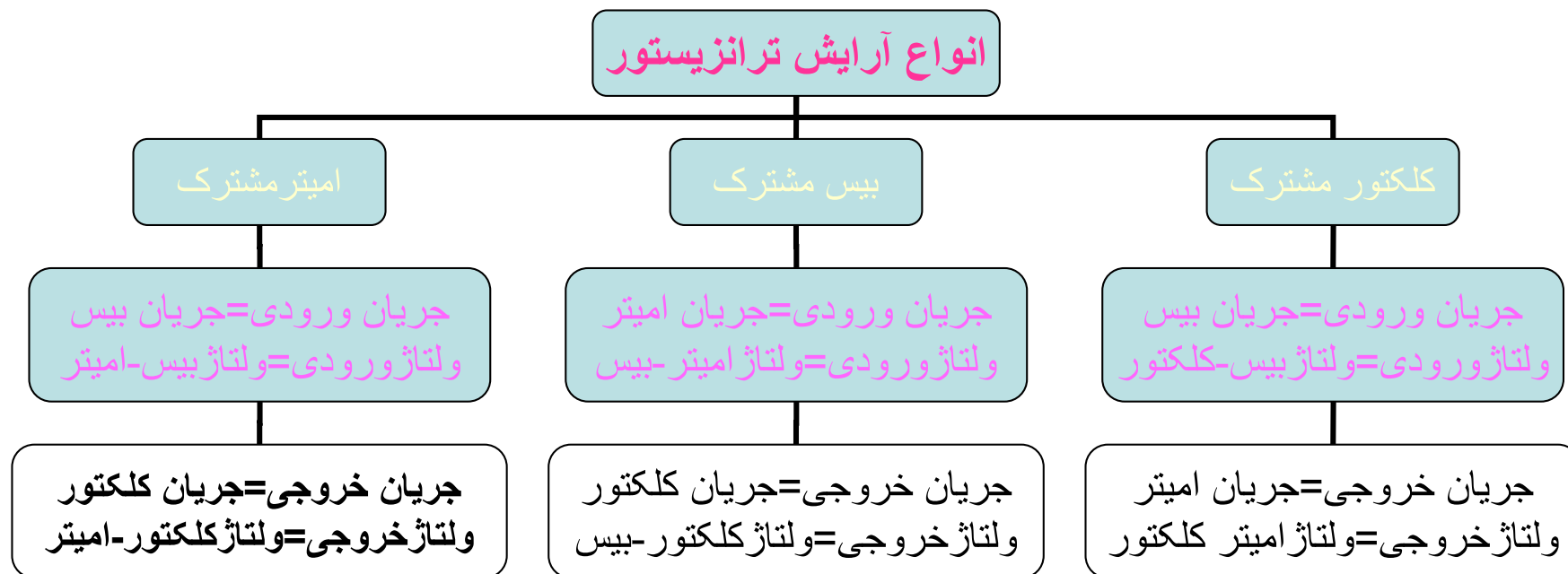


**منحنی مشخصه ورودی:** منحنی که تغییرات جریان ورودی را نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی به ازای ولتاژ خروجی ثابت نشان می دهد.

**منحنی مشخصه خروجی:** منحنی که تغییرات جریان خروجی را نسبت به تغییرات ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی ثابت نشان می دهد.

**منحنی مشخصه انتقالی:** منحنی که تغییرات جریان ورودی را نسبت به تغییرات جریان خروجی به ازای ولتاژ خروجی ثابت نشان می دهد.

**شکل و کمیت های روی منحنی به نوع آرایش بستگی دارد. در سه نوع آرایش بررسی می کنیم**



منحنی مشخصه ها را در یک نوع آرایش مثلاً امیتر-مشترک که کاربرد بیشتری نیز دارد بررسی می کنیم

## منحنی ها در آرایش امیتر مشترک

منحنی ورودی: در این آرایش بیس-امیتریک دیوذبوده که در بایاس مستقیم قرار گرفته است و منحنی ورودی شبیه منحنی مشخصه دیوذبوده در حالت مستقیم می باشد.

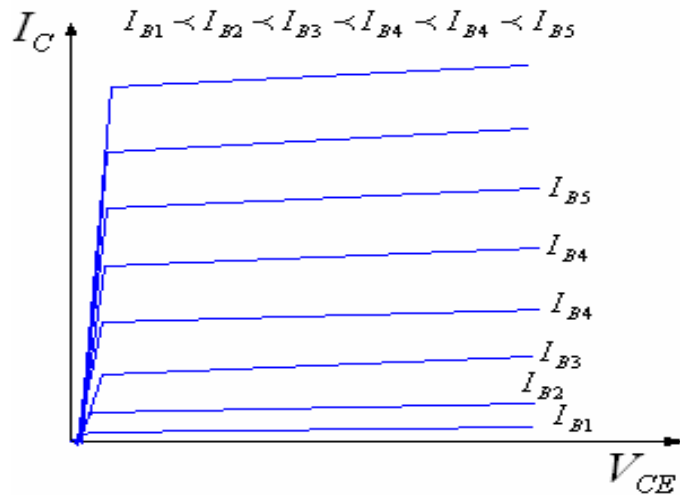
$$I_B = f(V_{BE}) \Big|_{V_{CE} = \text{cnt}}$$

رابطه منحنی خروجی:

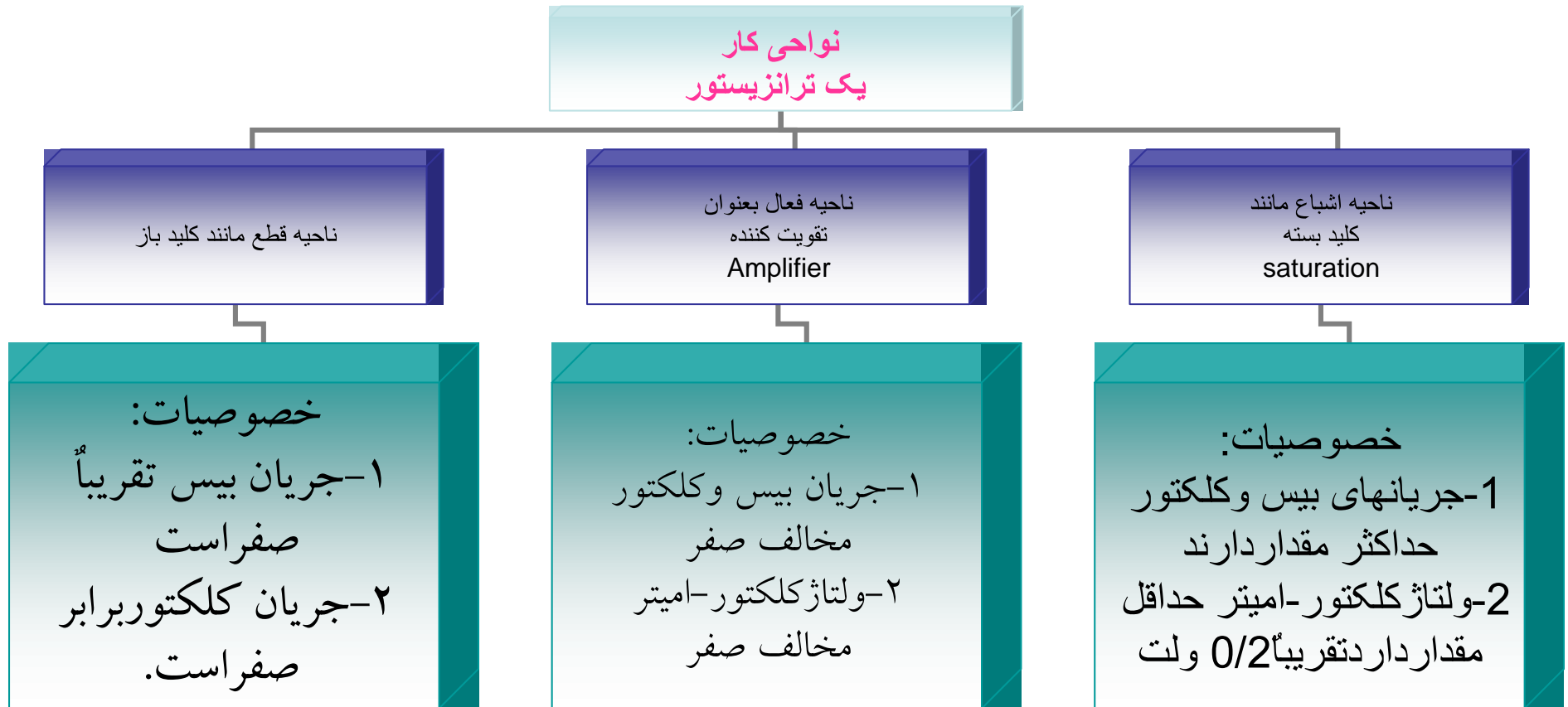
$$I_C = f(V_{CE}) \Big|_{I_B = \text{cnt}}$$

رابطه منحنی انتقالی

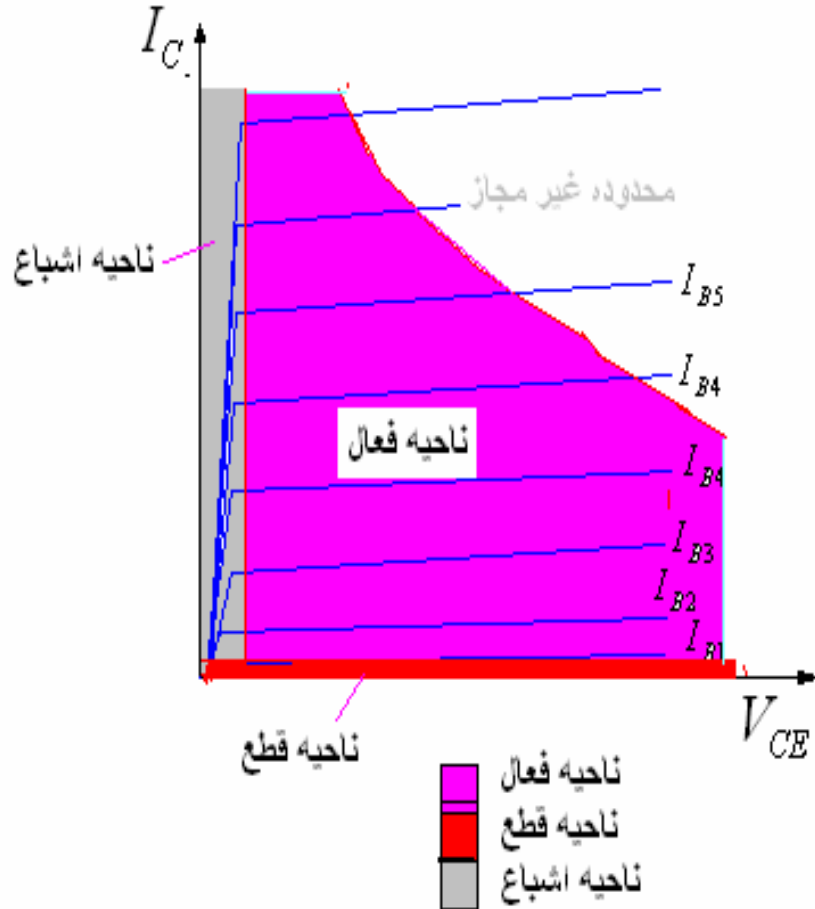
$$I_B = f(I_C) \Big|_{V_{CE} = \text{cnt}}$$



روی منحنی مشخصه خروجی، سه ناحیه کاری ترانزیستور را تعریف می کنند که عبارتند:



## محدوده و خصوصیات هر ناحیه



$$\text{ناحیه اشباع} \begin{cases} V_{CE} = V_{CE(saturation)} \cong 0.2 v \\ I_C = I_{C(max)} \end{cases}$$

$$\text{ناحیه فعال} \begin{cases} I_C \neq 0 \\ V_{CE} \neq 0 \end{cases}, I_C = \beta I_B$$

$$\text{ناحیه قطع} \begin{cases} I_C = 0 \\ V_{CE} \neq 0 \end{cases}, I_B \cong 0$$

ضریب تقویت جریان امیتر مشترک:  $(\beta)$  در وضعیت امیتر مشترک نسبت تغییرات جریان کلکتور به تغییرات جریان بیس رابه شرطی که ولتاژ کلکتور-امیتر ثابت باشد

$$\beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} = \text{const}} \Rightarrow \beta \cong \frac{I_C}{I_B}$$

مثال: رابطه  $\alpha, \beta$  را پیدا کنید

$$I_C = \alpha I_E$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B \rightarrow I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$P_T = V_{BE}I_B + V_{CE}I_C \cong V_{CE}I_C$$

توان تلف شده در ترانزیستور:

چون جریان بیس در مقابل جریان کلکتور بسیار کم است

اگر توان تلف شده بیشتر از توان مجاز ترانزیستور باشد باعث آسیب آن می گردد.  
 $P_{Tmax} = V_{CE}I_C$  ← این معادله محدوده ناحیه فعال را مشخص می کند

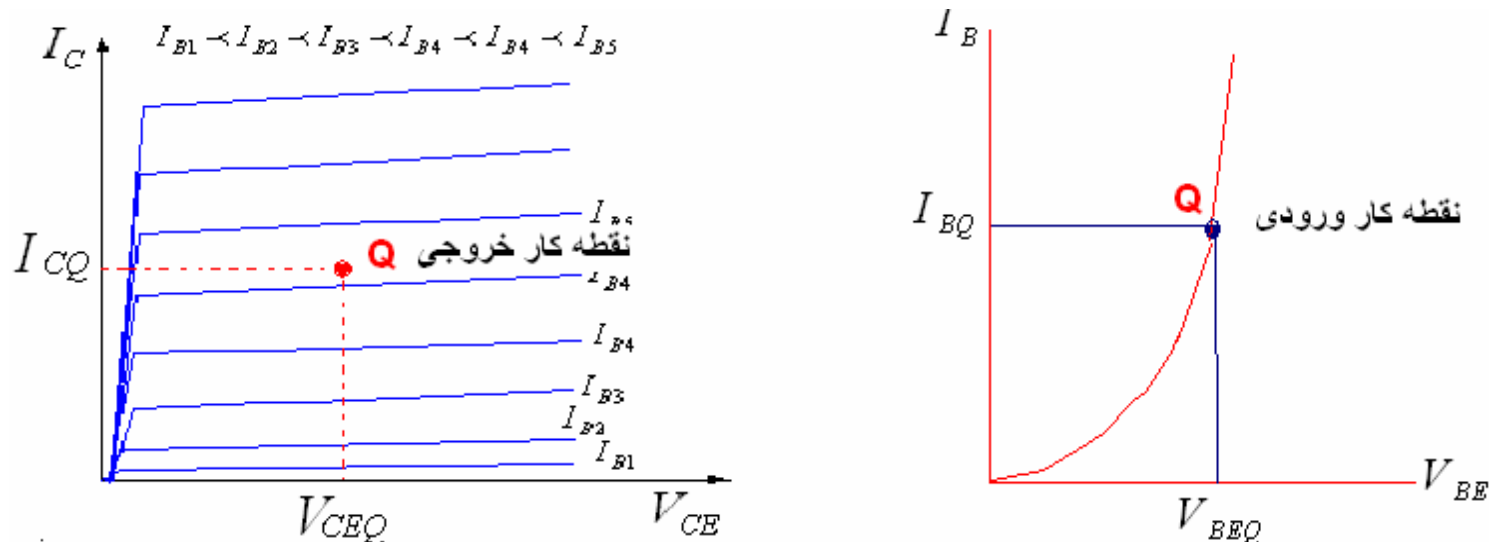
تغذیه یا بایاسینگ ترانزیستور

اتصال پایه های ترانزیستور به منبع جریان مستقیم را بایاسینگ گویند.

هدف از تغذیه، داشتن ولتاژ و جریان در ترانزیستور معین که نقطه کار ترانزیستور گویند.

نقطه کار ورودی روی مشخصه ورودی و نقطه کار خروجی روی منحنی مشخصه خروجی مشخص می شود.

در حالت امیتر-مشترک نقاط کار ورودی و خروجی در شکل زیر مشخص شده اند



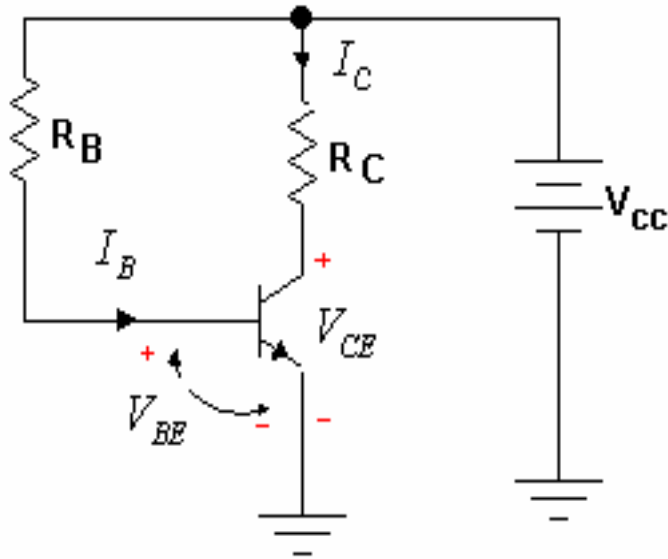


## روشهای تغذیه ترانزیستور

در صورتی که از ترانزیستور بعنوان تقویت کننده می توان استفاده کرد که ولتاژ لازم به پایه های آن برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. سه نوع کلی تغذیه که ترانزیستور را به ناحیه هدایت می برد وجود دارد. به شرح هریک می پردازیم.

- تغذیه ثابت (مستقیم)
- تغیه ثابت با مقاومت امیتر
- تغذیه سر خود (مستقل از بتا)
- تغذیه اتوماتیک

## تغذیه ثابت (مستقیم)



$$kVl : -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \beta \times I_B$$

$$kVl : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} = 0 \rightarrow V_{ce} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_E = 0 \quad , \quad V_B = V_{BE} \quad , \quad V_C = V_{CE}$$

**مثال:** در مدار تغذیه ثابت در شرایط زیر نقطه کار وولتاژپایه های

ترانزیستور را بدست آورید  $R_B = 118 \text{ k}\Omega$  ,  $R_C = 1.2 \text{ k}\Omega$  ,  $\beta = 50$

$V_{cc} = 12 \text{ v}$  ,  $V_{BE(on)} = 0.2 \text{ v}$

**حل:** بانوشتن معادلات داریم:

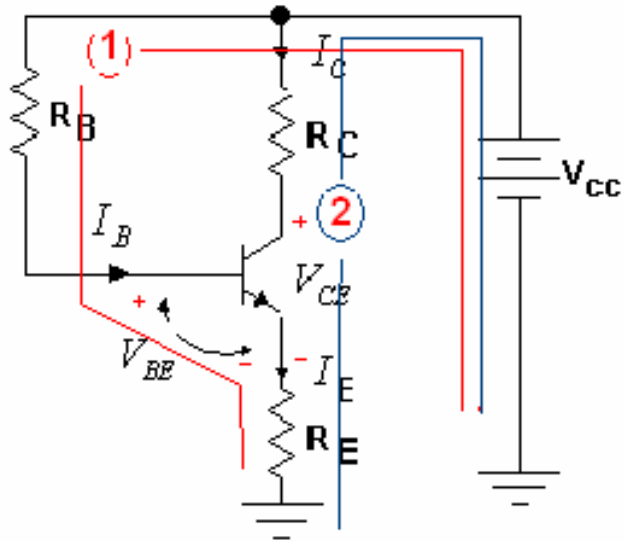
$$kVl : -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.2}{118} = 100 \mu A$$

$$I_C = \beta \times I_B = 50 \times 0.1 = 5 \text{ mA}$$

$$kVl : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} = 0 \rightarrow V_{ce} = V_{CC} - R_C I_C = 12 - 1.2 \times 5 = 6 \text{ v}$$

$$V_E = 0 \quad , \quad V_B = V_{BE} = 0.2 \text{ v} \quad , \quad V_C = V_{CE} = 6 \text{ v}$$

## تغذیه ثابت با مقاومت امیتر



$$kVl : -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E}$$

$$I_C = \beta \times I_B \quad , I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$kVl : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \rightarrow V_{ce} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_E = R_E I_E \quad , V_B = V_E + V_{BE} \quad , V_C = V_E + V_{CE}$$

# بررسی پایداری حرارتی

$$\uparrow \text{حرارت} \rightarrow I_{co} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow$$

بالفزايش حرارت جريان نشتي كلكتور زياد شده وباعث افزايش جريان كلكتور مي شود و افزايش جريان كلكتور افزايش مجدد حرارت را در پي دارد كه ناپايداري حرارتي در ترانزيستور مي گردد.

**مثال:** در مثال قبل اگر مقاومت اميتر 200 اهم باشد نقطه كار وولتاژپايه هاي

ترانزيستور را بدست آوريد  $V_{BE} = 0.7v$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.7}{118 + (1 + 50)0.2} = 88.1 \mu A$$

$$I_C = \beta \times I_B = 50 \times 0.0881 = 4.41 mA$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 51 \times 0.0881 = 4.493 mA$$

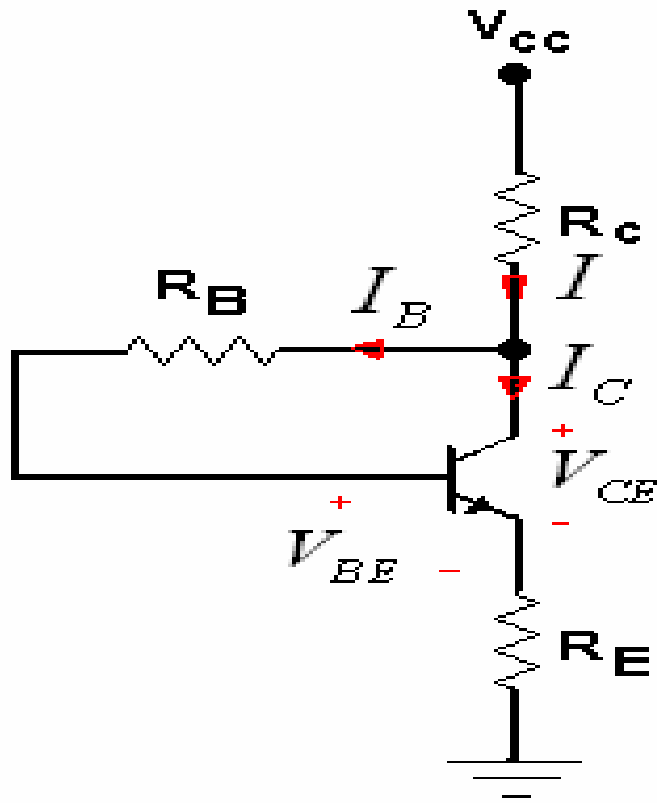
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 12 - 1.2 \times 4.41 - 0.2 \times 4.493 = 5.81 v$$

$$V_E = R_E I_E = 0.2 \times 4.493 = 0.8986$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 0.8986 + 0.7 = 1.5986 v$$

$$V_C = V_E + V_{CE} = 0.8986 + 5.81 = 6.7086 v$$

## تغذیه اتوماتیک:



$$kVl : -V_{cc} + R_C I + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I = I_E \quad , \quad I_C = \beta \times I_B \quad , \quad I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)(R_E + R_C)}$$

$$kVl : -V_{cc} + R_C I + V_{CE} + R_E I_E = 0 \rightarrow V_{cE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_E$$

$$V_E = R_E I_E \quad , \quad V_B = V_E + V_{BE} \quad , \quad V_C = V_E + V_{CE}$$

$$R_B = 100k\Omega, R_C = 2k\Omega, \beta = 100$$

$$V_{cc} = 12v, V_{BE(on)} = 0.6v, R_E = 250\Omega$$

مثال: در مدار تغذیه اتوماتیک اگر

باشند نقطه کار و ولتاژ پایه ها را بدست آورید

$$KVL: -V_{cc} + R_C I + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$-12 + 2I + 100I_B + 0.6 + 0.25I_E = 0 \Rightarrow I_B = \frac{11.4}{2.25 \times 101 + 100} = 34.8 \mu A$$

$$I = I_E, \quad I_C = \beta \times I_B = 100I_B$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 101I_B$$

$$-V_{cc} + R_C I + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

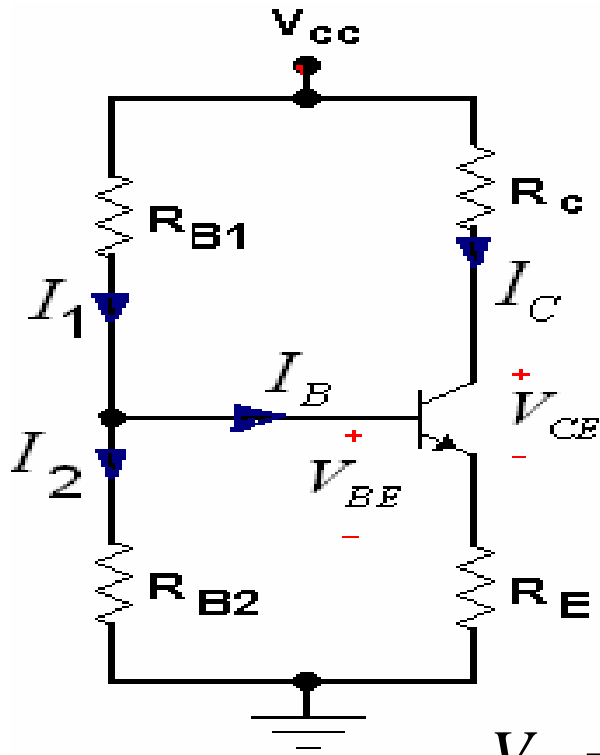
$$\rightarrow V_{cE} = 12 - (2 + 0.25) \times 101 \times 0.0348 = 4.09v$$

$$V_E = R_E I_E = 0.25 \times 101 \times 0.0348 = 0.879v$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 0.879 + 0.6 = 1.479v$$

$$V_C = V_E + V_{CE} = 0.879 + 4.09 = 4.969v$$

# تغذیه سرخود



این مدار در دو حالت تقریبی و دقیق بررسی می شود.

**الف-روش تقریبی:** فرض می کنیم که  $I_1 \cong I_2$  ،  $I_B \cong 0$

بانوشتن تقسیم ولتاژ داریم

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} \Rightarrow -V_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

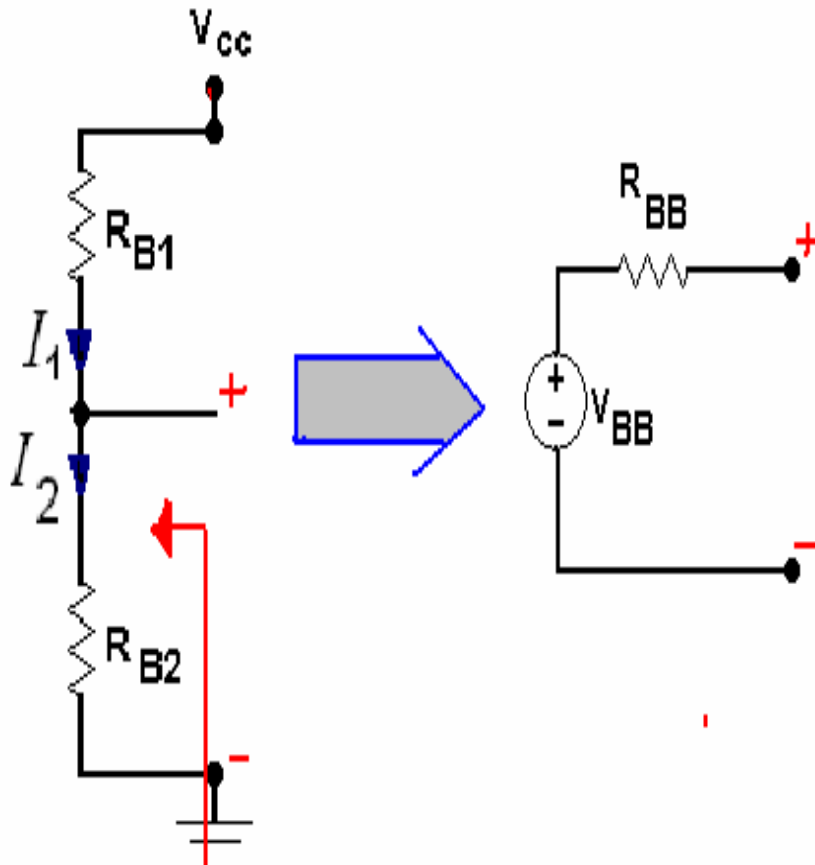
$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \rightarrow I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} , I_C = \alpha \times I_E$$

$$KVL: -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

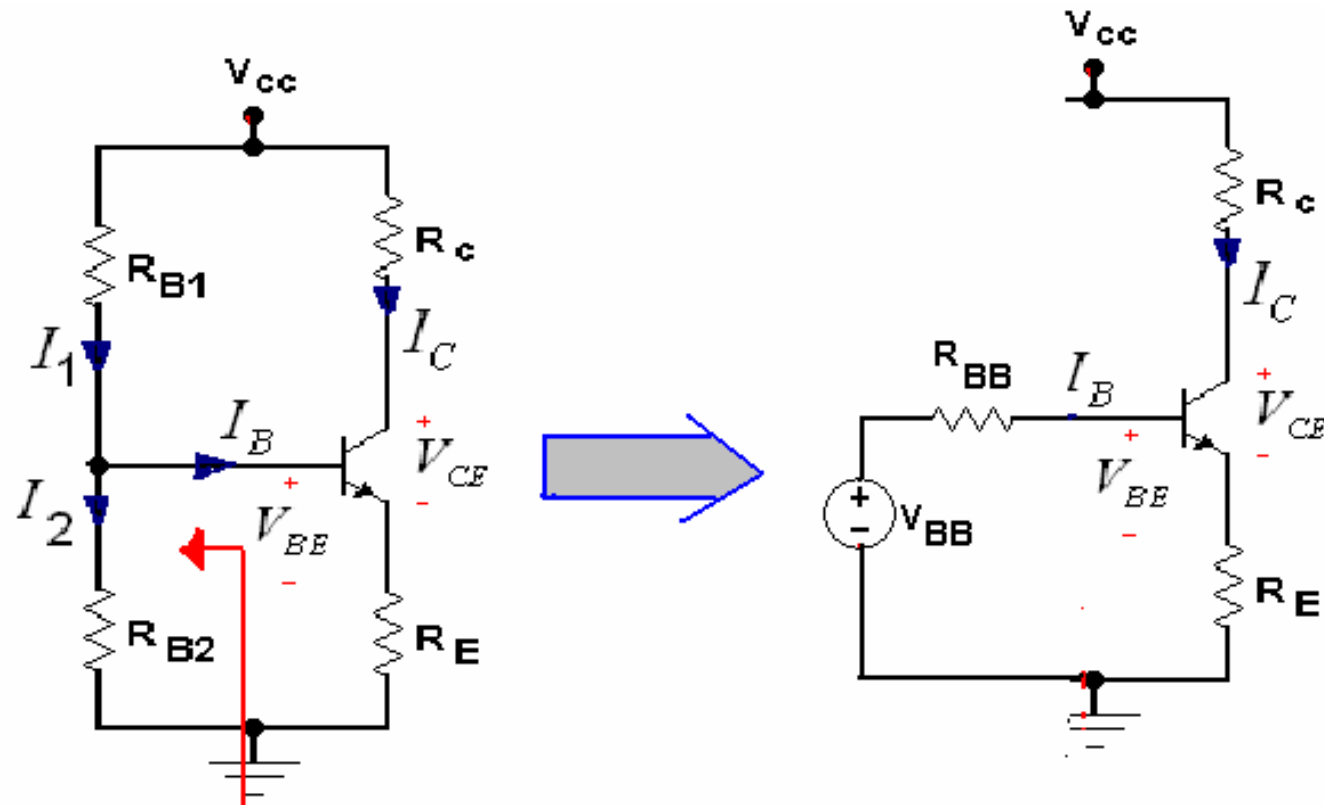


ب-روش دقیق: مدار معادل تونن راز دیدگاه بیس بدست می آوریم



$$R_{BB} = R_{B1} \parallel R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$$



مدار معادل تونن  
راجایگزین کنید

$$kvl : -V_{BB} + R_{BB}I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E}$$

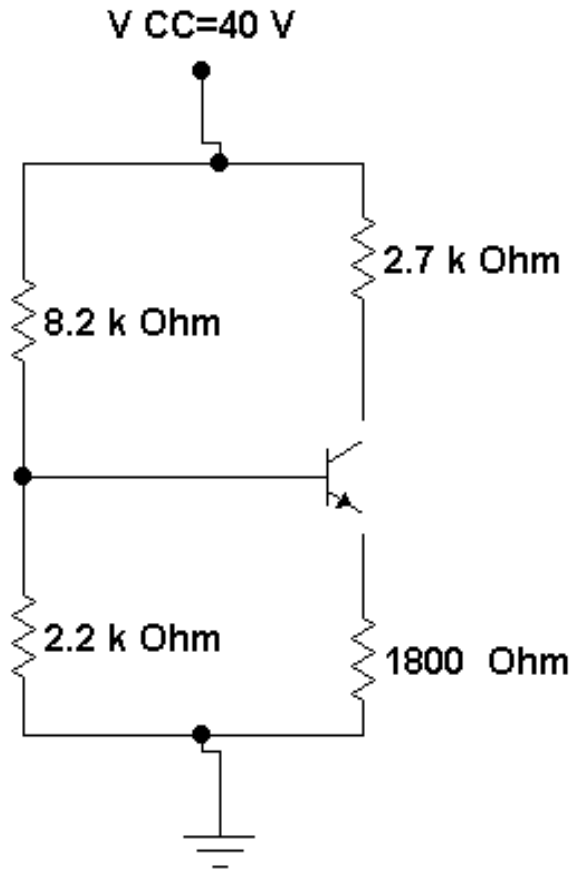
$$I_C = \beta \times I_B \quad , I_E = (1 + \beta)I_B$$

$$kvl : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \rightarrow V_{ce} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_E = R_E I_E \quad , V_B = V_E + V_{BE} \quad , V_C = V_E + V_{CE}$$

## مثال : نقطه کار ترانزیستور را مشخص کنید

روش تقریبی



$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} = \frac{2.2}{2.2 + 8.2} \times 40 = 8.46v$$

$$\Rightarrow -V_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow -8.46 + 0.7 + 1.8 I_E = 0$$

$$I_E = 4.31mA \rightarrow I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{4.31}{121} = 35.6\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 120 \times 0.0356 = 4.272mA$$

$$KVL: V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E \\ = 40 - 2.7 \times 4.272 - 1.8 \times 4.31 = 20.71v$$

## روش دقیق

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{2.2 \times 8.2}{2.2 + 8.2} = 1.73 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} = \frac{2.2 \times 40}{2.2 + 8.2} = 8.46 \text{ v}$$

$$kvl : -V_{BB} + R_{BB} I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{8.46 - 0.7}{1.73 + (1 + 120)1.8} = 35.34 \mu\text{A}$$

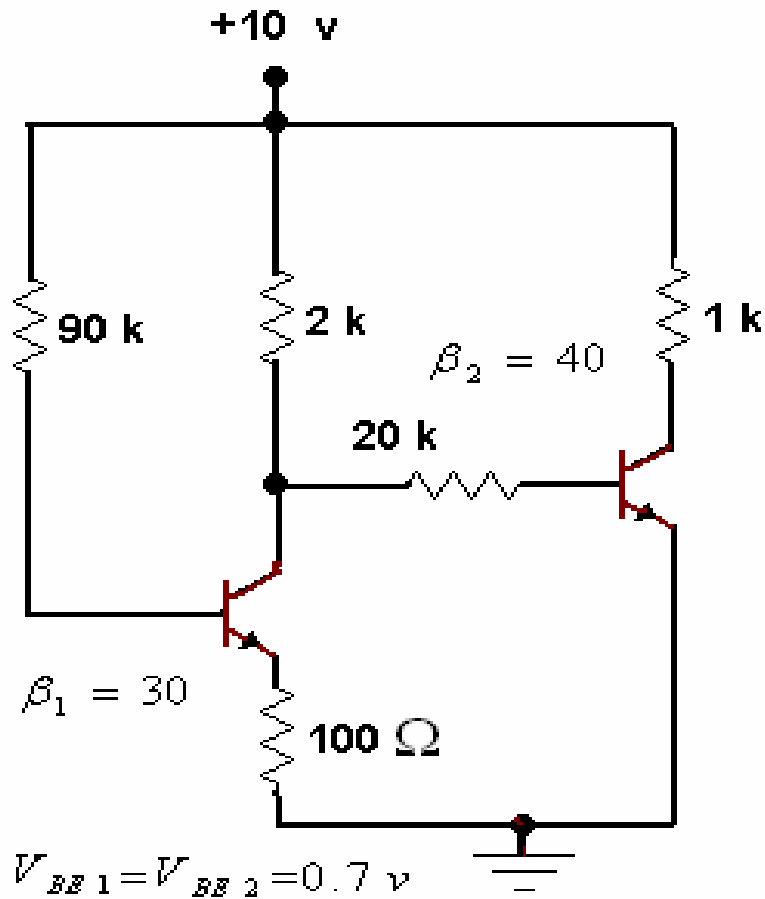
$$I_C = \beta \times I_B = 120 \times 0.03534 = 4.24 \text{ mA}$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = 121 \times 0.03534 = 4.28 \text{ mA}$$

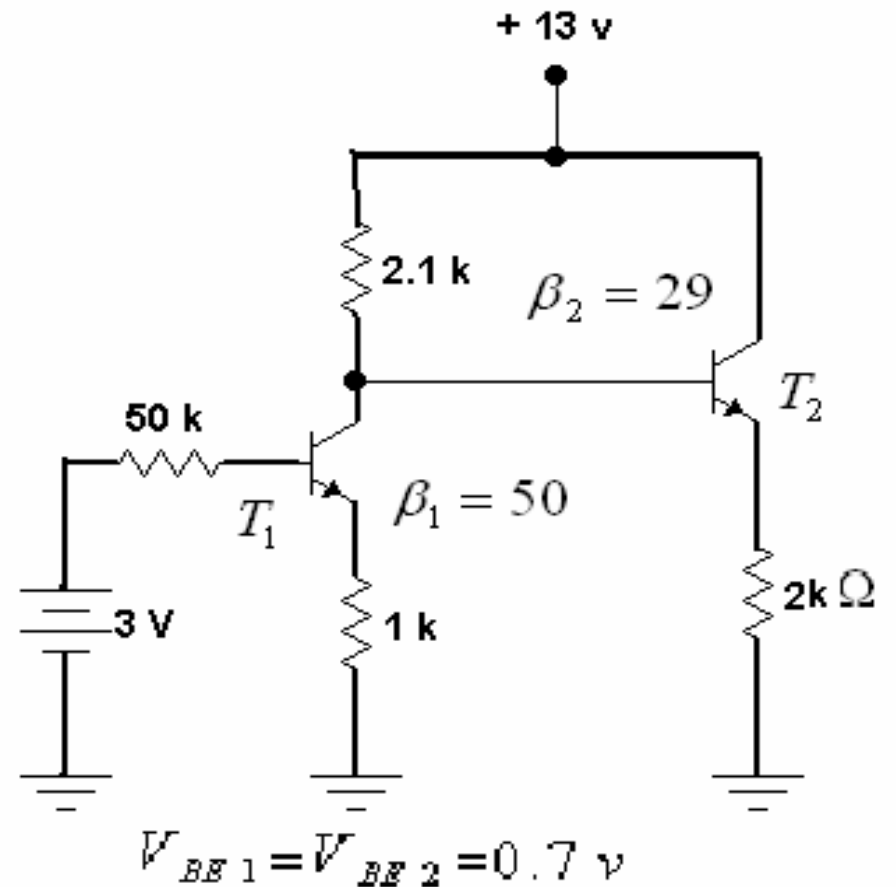
$$kvl : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$\rightarrow V_{ce} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 40 - 2.7 \times 4.24 - 1.8 \times 4.28 = 20.85 \text{ v}$$

**تمرین:** در هر یک از مدارات **نقطه کار** ترانزیستورهارا پیدا کنید؟



(ب)



(الف)