

جزوه ی طراحی مدارات الکترونیکی
(آزمایشگاه الکترونیک)

استاد عبدالحمیدی

www.MELEC.ir

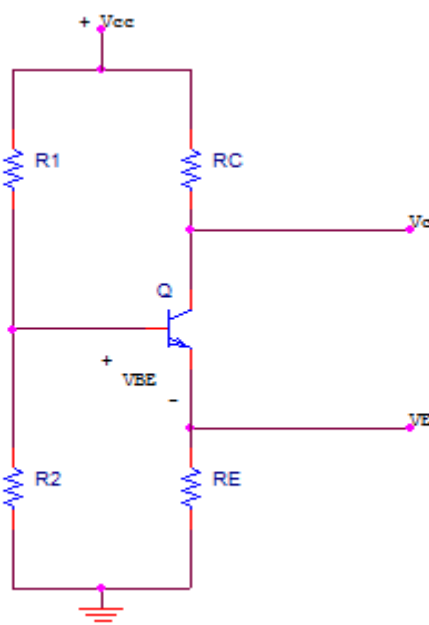
دانشکده ی شهید شمسی پور

خط بار DC :

هر ترانزیستور برای اینکه در حالت تقویت سیگنال قرار بگیرد می بایست روشن شود . برای روشن کردن ترانزیستور ها می بایست پایه های آن را توسط ولتاژ DC تغذیه نمود که به این عمل بایاسینگ ترانزیستور گویند . برای بایاسینگ ترانزیستور ها از مدارات مختلفی استفاده می نمایم که هر کدام از این مدارات دارای ویژگی خاصی می باشند . معروف ترین این مدارات جهت بایاس ترانزیستور های BJT به شرح زیر می باشند .

1. بایاسینگ ثابت
2. بایاسینگ خود کار
3. بایاسینگ سرخود

در میان سه مدار معرفی شده بایاسینگ سرخود بدلیل داشتن پایداری حرارتی خوب بیشترین کاربرد را داشته و در ادامه به بررسی این نوع بایاسینگ می پردازیم .

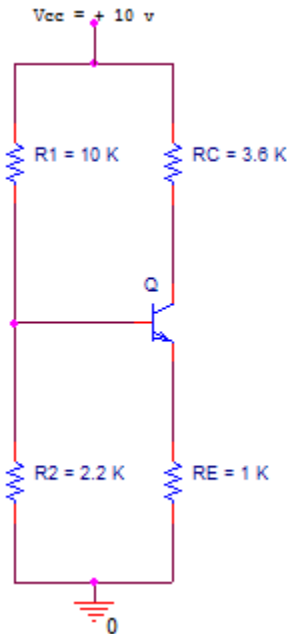


شکل 1 - مدار بایاسینگ سرخود

1. $V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2}$
2. $V_E = V_B - V_{BE}$
3. $I_C \approx I_E \approx \frac{V_E}{R_E}$
4. $V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C$
5. $V_{CE} = V_C - V_E$

مثال 1: با توجه به شکل زیر جدول را کامل نمایید .

کمیت مورد نظر	V_B	V_E	I_C	V_C	V_{BE}	V_{CE}
مقدار محاسبه شده	1.8 v	1.1 v	1.1 mA	6.04 v	0.7 v	4.94 v



1. $V_B = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 2.2 K}{10 K + 2.2 K} = 1.8 v$
2. $V_E = V_B - V_{BE} = 1.8 - 0.7 = 1.1 v$
3. $I_C \approx I_E \approx \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.1}{1 K} = 1.1 mA$
4. $V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - (3.6 K \times 1.1 mA) = 6.04 v$
5. $V_{CE} = V_C - V_E = 6.04 - 1.1 = 4.94 v$

رسم خط بار DC :

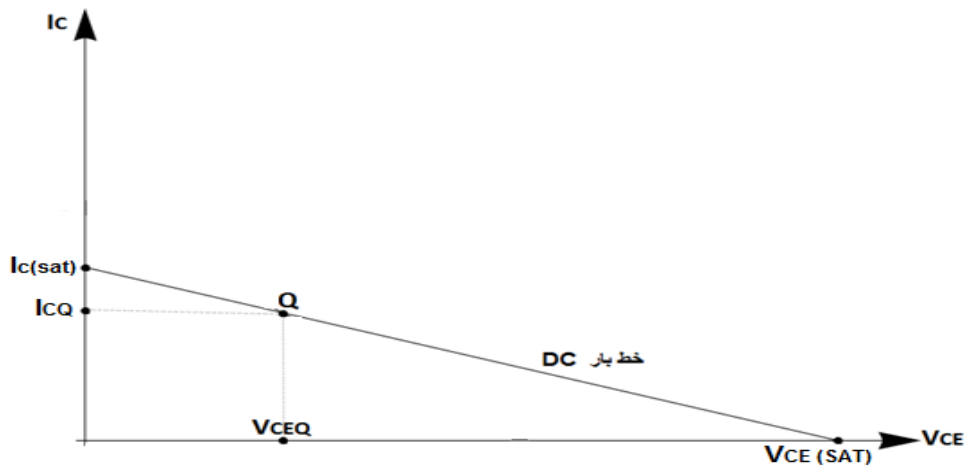
به مکان هندسی مجموعه نقاط کاری گفته می شود که برای یک ترانزیستور ایجاد می شود . برای رسم خط بار DC می بایست سه نقطه مشخص شود .

1. حداکثر ولتاژ کلکتور امیتر

2. حداکثر جریان کلکتور

3. ولتاژ و جریان نقطه ی کار سکون $Q (V_{CEQ}, I_{CQ})$

همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید بهترین مکان نقطه ی Q در وسط خط بار DC می باشد که در صورت اعمال سیگنال کوچک به ورودی ، ترانزیستور نه به اشباع و نه به قطع برود .



شکل 3 - خط بار DC

رابطه ی خط بار DC ترانزیستور در بایاس سرخود به صورت زیر می باشد .

$$I_C = -\frac{1}{R_{DC}} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_{DC}}$$

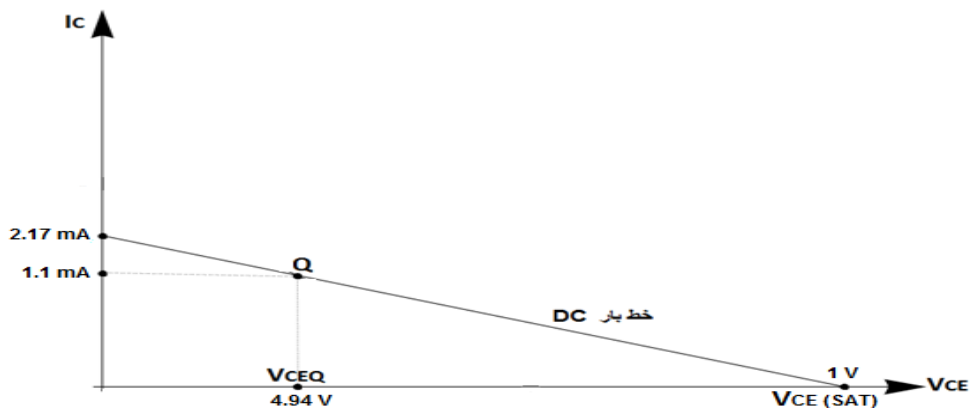
$$R_{DC} = R_C + R_E$$

همچنین مقادیر ولتاژ کلکتور امیتر و جریان کلکتور در نقطه ی کار توسط فرمول زیر محاسبه می گردد .

$$I_{CQ} = \frac{V_E}{R_E}$$

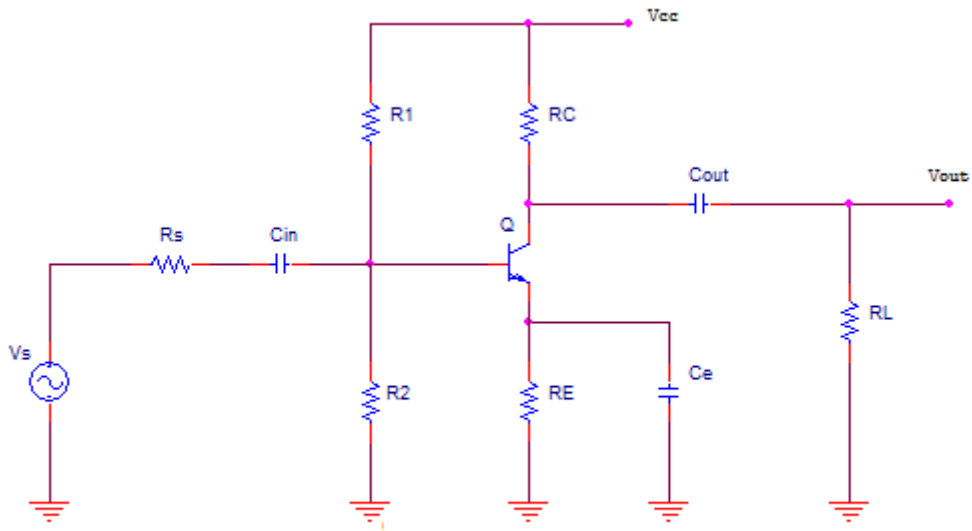
$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C$$

شکل زیر خط بار DC مدار قبل می باشد :

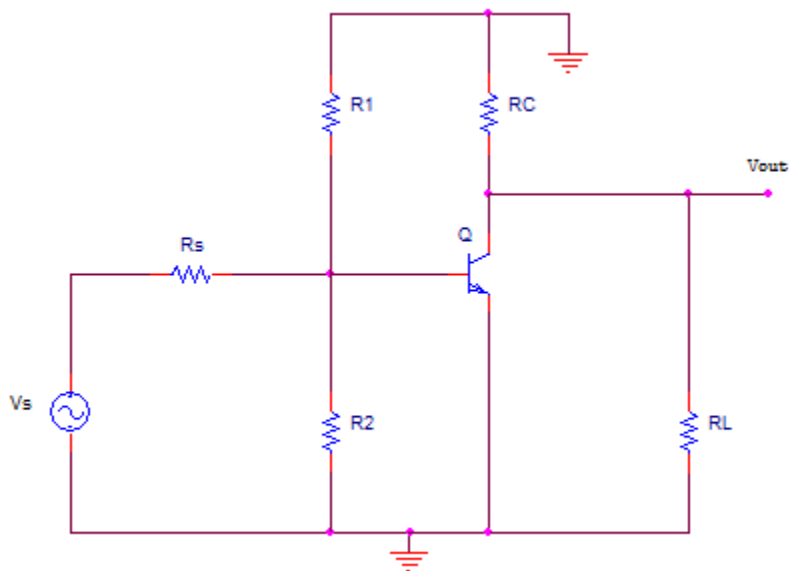


خط بار ac :

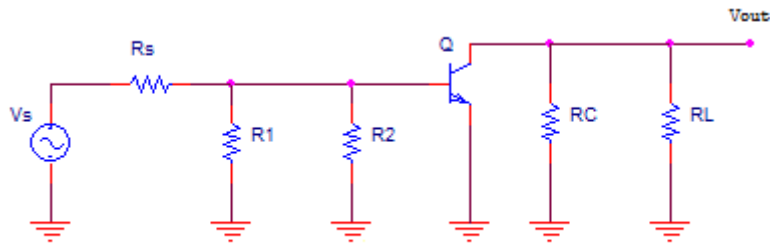
همانطور که می توان برای یک تقویت کننده خط بار DC ترسیم نماییم این عمل را نیز می توان برای سیگنال ac نیز انجام نمود . مدار یک تقویت کننده ی امیتر مشترک به صورت زیر می باشد .



همانطور که در مدار معادل DC یک تقویت کننده خازن های کوپلاژ به صورت اتصال باز قرار می گیرند ، در مدار معادل ac تقویت کننده خازن های موجود در مدار و همچنین تغذیه ی مدار به صورت اتصال کوتاه می باشد ، بنابر این مدار معادل ac تقویت کننده به صورت زیر در می آید .



مدار معادل ac تقویت کننده ی امیتر مشترک



مدار معادل ac تقویت کننده امیتر مشترک

روشن است که برای بدست آوردن خط بار ac ترانزیستور می بایست یک KVL در خروجی مدار معادل ac ترانزیستور زده و معادله ی بدست آمده را به عنوان خط بار ac ترانزیستور در نظر بگیریم ، که معادله ی بدست آمده بصورت زیر می باشد .

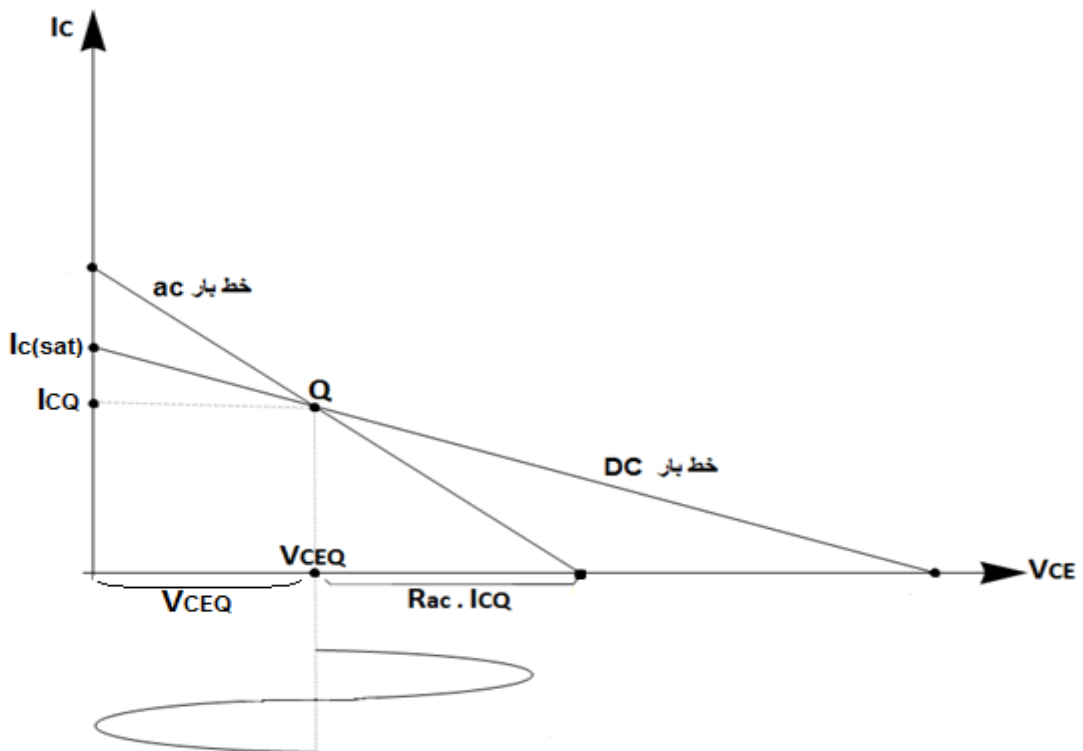
$$i_c = -\frac{1}{R_{ac}} v_{ce}$$

$$R_{ac} = R_C \parallel R_L$$

همانطور که مشاهده می کنید معادله ی بدست آمده از نوع خطی با شیب منفی است و در صورتی بخواهیم از معادله ی فوق به معادله ی خط بار کلی ترانزیستور دست پیدا کنیم مقادیر DC را نیز به آن اضافه نموده و معادله به شکل زیر در می آید .

$$i_c - I_{CQ} = -\frac{1}{R_{ac}} (v_{ce} - V_{CEQ})$$

در شکل زیر معادله ی فوق به همراه معادله ی خط بار DC ترسیم شده است :



همانطور که مشاهده می‌نمایید معادله‌ی فوق را معادله‌ی کلی خط بار ترانزیستور یا معادله‌ی خط بار **ac** ترانزیستور گویند و بهترین نقطه‌ی کار محل تلاقی دو خط بار **ac** و **DC** ترانزیستور می‌باشد که می‌توان به راحتی این محل تلاقی را محاسبه نمود.

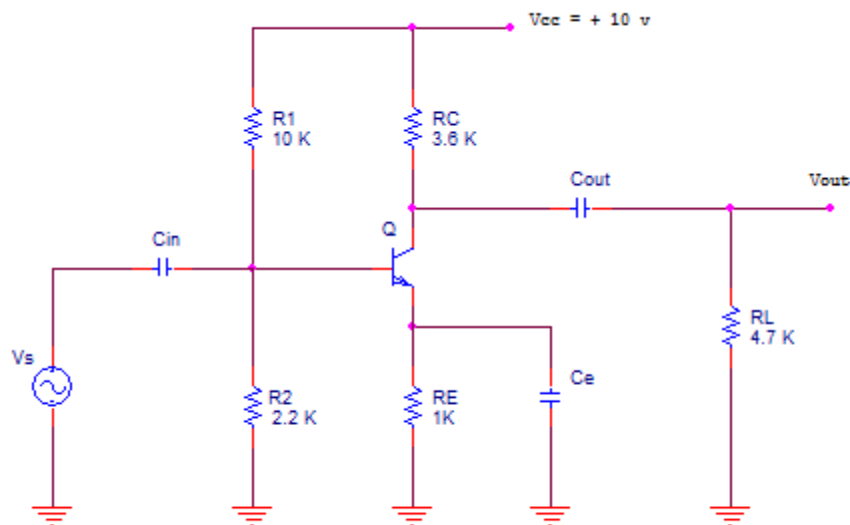
همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید محل تلاقی خط بار **ac** و محور **x** ها را ماکزیموم دامنه‌ی بدون اعوجاج خروجی نام گذاری می‌نمایند و بیانگر حداکثر دامنه‌ی خروجی بدون اعوجاج می‌باشد بطوری که خروجی نه به اشباع و نه به قطع برود. برای محاسبه‌ی این محل تلاقی کفایت در معادله‌ی کلی خط بار ترانزیستور مقدار I_C صفر قرار دهیم و **MPP** (ماکزیموم دامنه‌ی بدون اعوجاج خروجی) از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$MPP = V_{CEQ} + R_{ac} \cdot I_{CQ}$$

برای محاسبه‌ی مقدار **MPP** تقریبی در صورتی که خروجی را کاملاً متقارن در نظر بگیریم می‌توان از دو رابطه‌ی زیر استفاده نمود که از دو مقدار بدست آمده همیشه کمترین مقدار را به عنوان **MPP** انتخاب می‌نماییم.

$$MPP \Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} \\ 2 \cdot V_{CEQ} \end{cases}$$

برای مثال می‌خواهیم مقدار **MPP** را در مدار زیر محاسبه نماییم.



1. $V_B = 1.8 \text{ v}$
2. $V_E = 1.1 \text{ v}$
3. $I_{CQ} = 1.1 \text{ mA}$
4. $V_{CEQ} = 4.94 \text{ v}$
5. $R_{ac} \approx 2 \text{ K}\Omega$

$$MPP \Rightarrow \begin{cases} 2 R_{ac} \cdot I_{CQ} = 2 \times 2 \text{ K} \times 1.1 \text{ m} = 4.4 \text{ v} & \text{ق. ق.} \\ 2 V_{CEQ} = 2 \times 4.94 = 9.88 \text{ v} & \text{غ. ق. ق.} \end{cases}$$

همچنین می توان با تغییر مقدار مقاومت بار و RC مقادیر مختلفی از MPP را به همراه داشت که این تغییرات می بایست در ناحیه ی مجاز صورت بگیرد . برای داشتن بیشترین MPP می بایست نقطه ی کار در محل تقاطع خط بار ac و خط بار DC ترانزیستور قرار بگیرد که می توان مقدار مقاومت RC را از رابطه ی زیر به نحوی محاسبه نمود که این شرط صادق باشد .

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

همچنین برای محاسبه ی RE و ICQ می توان از دو رابطه ی زیر استفاده نمود که یکی جریان کلکتور در نقطه ی کار را مشخص و دیگر شرط عدم وابستگی نقطه ی کار به β می باشد که می توان توسط آن مقدار RE را محاسبه نمود :

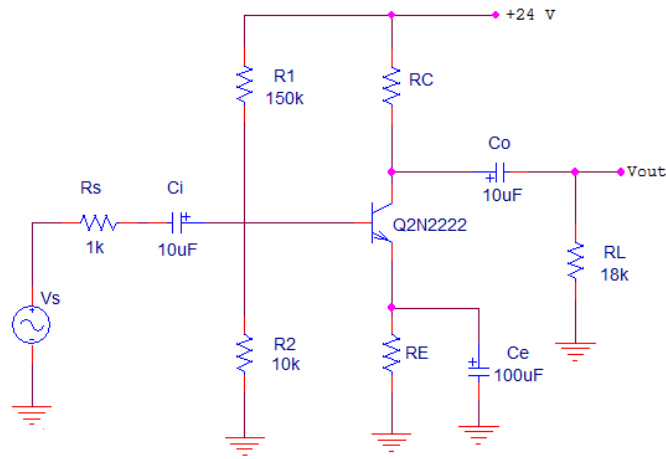
$$I_{CQ} = \frac{V_E}{R_E}$$

$$R_B = \frac{\beta_{min} \cdot R_E}{10}$$

در ادامه و در آزمایش های مختلف مباحث فوق مورد بررسی دقیق تری قرار می گیرند .

آزمایش 1: مقدار R_E و R_C مدار C_E شکل زیر را به گونه ای طراحی کنید که ماکزیمم دامنه نوسانات $Max\ Swing\ Output$ متقارن در خروجی ظاهر شود. (ضمناً شکل خط بار DC و AC رسم شود)
 در حالت وجود خازن بای پس و مقاومت R_L ، نقطه پایداری خوبی داشته باشد .

$$\beta_{min} = 100$$



شکل 1-1

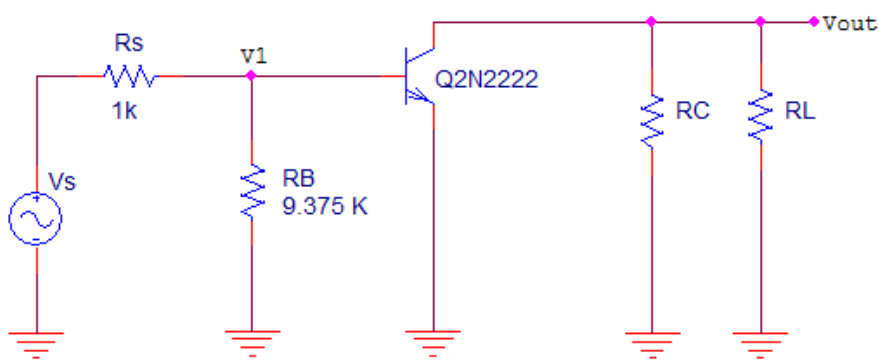
$$1) R_B = R_1 \parallel R_2 = 150^k \parallel 10^k = 9.375\ k\Omega$$

شرط عدم وابستگی نقطه کار به β :

$$2) R_B = \frac{\beta_{min} \times R_{E\ min}}{10} \Rightarrow R_{E\ min} = \frac{10 \times R_B}{\beta_{min}} = \frac{10 \times 9.375}{100} = 0.9375\ K\ \Omega$$

مقاومت R_E را استاندارد می کنیم : $R_E = 1\ k$

شرط $Maximum\ Swing$: نقطه کار در وسط خط بار ac قرار بگیرد .



شکل 1-2 مدار معادل ac امیتر مشترک

3)

$$DC) V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C \quad \text{معادله خط بار DC}$$

4)

$$ac) V_{ce} = -(R_C \parallel R_L) i_c \quad \text{معادله خط بار ac}$$

حال $V_{CE} = v_{ce}$ قرار می دهیم .

$$(R_C \parallel R_L) I_{CQ} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_{CQ}$$

5)

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE \text{ sat}}}{(R_C + R_E) + (R_C \parallel R_L)} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE \text{ sat}}}{R_{DC} + R_{ac}} \Rightarrow R_C \sim 18 \text{ K}\Omega$$

نحوه ی محاسبه ی RC :

$$R_E = 1 \text{ K}\Omega \quad ; \quad I_C = 0.8 \text{ mA}$$

$$I_c \approx \frac{V_{CC}}{(R_C \parallel R_L) + (R_E + R_C)} \Rightarrow 0.8 = \frac{24}{(18 \parallel R_C) + (1 + R_C)} = \frac{24}{\left(\frac{18 R_C}{18 + R_C}\right) + (1 + R_C)}$$

$$0.8 = \frac{24}{\frac{18 R_C + 18 + R_C + 18 R_C + R_C^2}{18 + R_C}} = \frac{432 - 24 R_C}{R_C^2 + 37 R_C + 18}$$

$$0.8 (R_C^2 + 37 R_C + 18) = 432 - 24 R_C$$

$$0.8 R_C^2 + 5.6 R_C - 417.6 = 0 \Rightarrow \begin{cases} a = 0.8 \\ b = 5.6 \\ c = -417.4 \end{cases}$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = 31.36 + 1336.32 = 1367.6 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 37$$

$$R_C = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-5.6 \pm 37}{1.6} \Rightarrow \begin{cases} R_C = -26.6 \text{ K}\Omega & \text{غ.ق.ق.} \\ R_C = 19.6 \text{ K}\Omega & \text{ق.ق.} \end{cases}$$

$$R_C \Rightarrow \text{ST. } R_C = 18 \text{ K}\Omega$$

$$6) V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24 \times 10}{160} = 1.5 V$$

$$7) V_E = V_B - V_{BE} = 1.5 - 0.7 = 0.8$$

$$9) I_C = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.8}{1 k} = 0.8 mA$$

با توجه به بایاس مدار :

$$10) R_{ac} = RC \parallel RL = 18 K \parallel 18 K = 9 K\Omega$$

بعد از استاندارد کردن :

$$11) R_{DC} = R_E + R_C = 1 K + 18 K = 19 K\Omega$$

بعد از استاندارد کردن :

$$11) I_{CQ} = \frac{24 - 0.2}{19 K + 9 K} = 0.85 mA$$

با توجه به رابطه ماکزیمم سوینگ :

دقت کنید مقدار RE علاوه بر شرط رابطه ی 2 باید گونه ای انتخاب شود که IC بدست آمده از رابطه ی 8 برابر ICQ رابطه ی 11 گردد . که در اینجا تقریباً برابر است .

معادله ی کلی خط بار ترانزیستور و رسم خط بار قبل از استاندارد کردن RC

$$I_{CQ} = 0 \quad V_{CE} = V_{CC} = 24$$

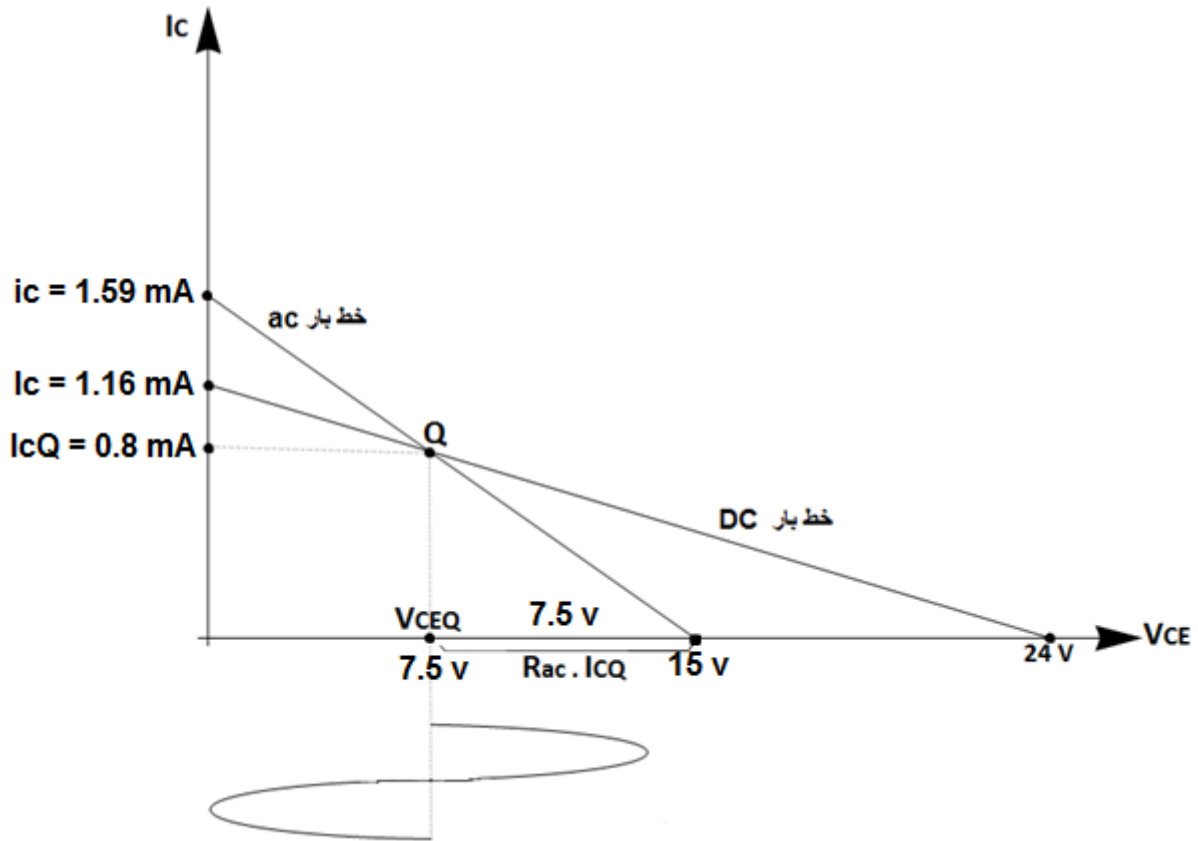
$$V_{CE} = 0 \quad I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \cong \frac{24}{20.6} = 1.16 mA$$

$$i_c - I_{CQ} = -\frac{1}{R_{ac}} (v_{ce} - V_{CEQ})$$

$$v_{ce} = 0 \quad i_{c max} = \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} + I_{CQ} = \frac{7.5}{9.38 K} + 0.8 mA = 1.59 mA$$

$$i_c = 0 \quad v_{ce max} = (R_{ac} \cdot I_{CQ}) + V_{CEQ} = (9.38 \times 0.8) + 7.5 = 15 v$$

رسم خط بار ac قبل از استاندارد کردن :



شکل 1-3

$$V_{ce} = R_{ac} \cdot I_{CQ} = 9.38 K \times 0.8 mA = 7.5 v$$

$$V_{CEQ} = \frac{R_{ac} \cdot V_{CC}}{R_{DC} + R_{ac}} = \frac{9.38 \times 24}{20.6 + 9.36} = 7.5 v$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE sat}}{R_{ac} + R_{DC}} = 0.8 mA$$

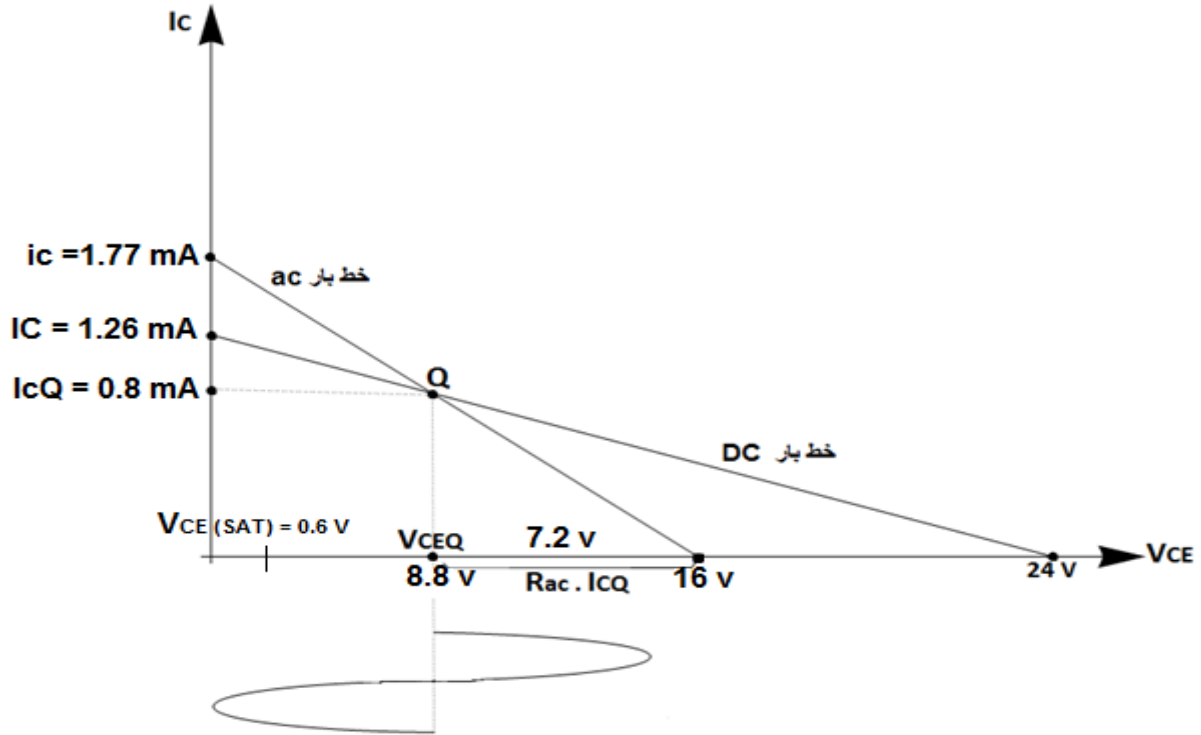
$$M_{pp} \Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} = 15 v \\ 2 \cdot V_{CE} = 15 v \end{cases}$$

معادله ی کلی خط بار ترانزیستور و رسم خط بار بعد از استاندارد کردن RC

$$i_{c max} = \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} + I_{CQ} = \frac{8.8}{9 K} + 0.8 mA = 1.77 mA$$

$$v_{ce max} = (R_{ac} \cdot I_{CQ}) + V_{CEQ} = (9 K \times 0.8 m) + 8.8 = 16 v$$

رسم خط بار بعد از استاندارد کردن RC :



شکل 1-4

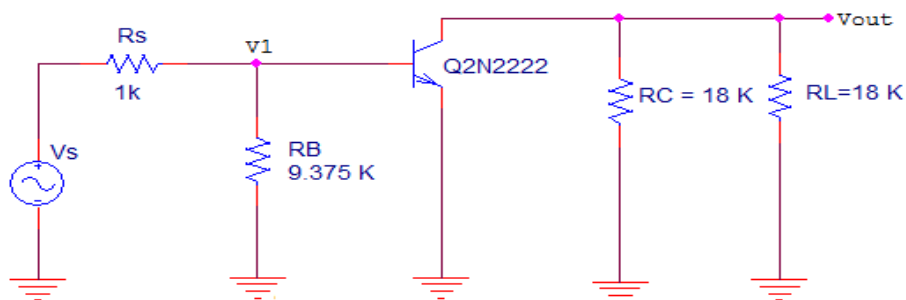
$$v_{ce} = R_{ac} \cdot I_{CQ} = 9 K \times 0.8 m = 7.2 v$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_{CQ} = 24 - (19 K \times 0.8 m) = 8.8 v$$

$$I_C = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.8}{1 K} = 0.8 mA$$

$$MPP = > \begin{cases} 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} = 14.4 v \text{ ق.ق.} \\ 2 \cdot V_{CE} = 17.6 v \text{ ق.ق. غ} \end{cases}$$

پارامترهای مدار ac : (با بار با خازن بای پس)



شکل 1-5

$$R_B = R_1 || R_2 = 150k || 10k = 9.375 k\Omega$$

$$r_e = \frac{25mV}{I_C} = \frac{25}{0.8} = 31\Omega$$

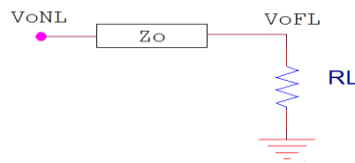
$$r_{\pi} = \beta \cdot r_e = 100 \times 31 = 3.1k\Omega$$

$$1) Z_i = R_B || r_{\pi} = 9.375k || 3.1k = 2.3k\Omega$$

$$2) Z_o = R_C = 18k\Omega$$

جهت محاسبه مقاومت خروجی به طریق عملی از روش زیر می توانیم استفاده کنیم :

$$Z_o = \frac{(V_{ONL} - V_{OFL}) \times R_L}{V_{OFL}}$$



شکل 1-5

$$3) A_V = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{18}{31} \cong -580$$

$$4) A_{VL} = -\frac{R_C || R_L}{r_e} = -\frac{18 || 18}{31} = \frac{9k}{31} \cong -290$$

$$5) A_I = \frac{|A_{VL}| \times Z_i}{R_L} = \frac{290 \times 2.3k}{18k} \cong 37$$

$$6) MPP \Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} = 14.4 \text{ v} & \text{ق.ق.} \\ 2 \cdot V_{CEQ} = 17.6 \text{ v} & \text{غ.ق.ق.} \end{cases}$$

$$7) A_{VS} = A_{VL} \times \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} = -290 \times \frac{2.3k}{3.3k\Omega} \cong -202$$

$$V_{ONL} \Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot V_{CEQ} - 0.2 = 17.4 \text{ v} & \text{ق.ق.} \\ 2 \cdot R_C \cdot I_{CQ} = 28.8 \text{ v} & \text{غ.ق.ق.} \end{cases}$$

$$V_i = \frac{V_o}{A_v} = \frac{14.4}{290} = 49.6 \text{ mV}$$

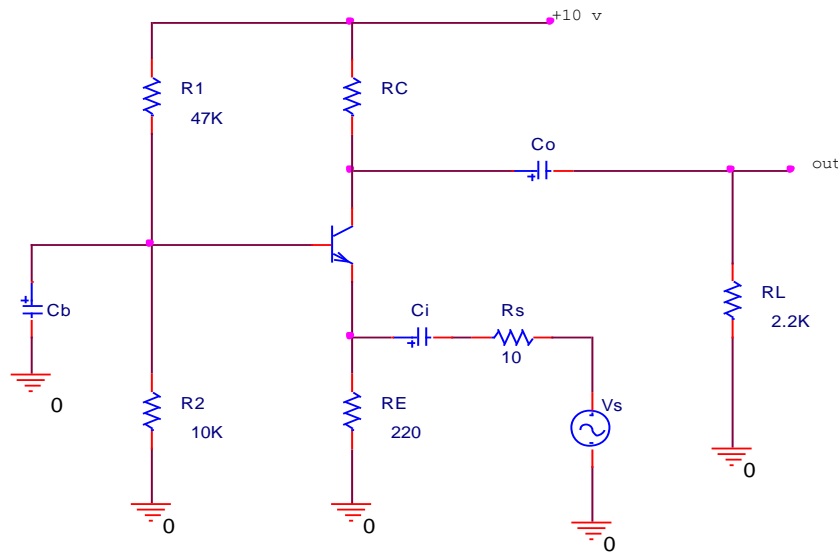
$$V_s = V_{RS} + V_i = V_i \times \frac{Z_{in} + R_s}{Z_{in}} = 49.6 \text{ mV} \times \frac{2.3k + 1k}{2.3k} = 71.1 \text{ mV}$$

خلاصه نتایج بدست آمده تئوری و نرم افزار

	MPP	V_{ONL}	V_{OFL}	V_S	V_i	I_i	I_o	Z_i	Z_o	A_V	A_{VL}	A_{VS}	A_I
نرم افزار	14.2	16.9	11.3 v	82m	63.4	18.6 μA	629	3.4k	17.8K	270	178	138	33.8
تئوری	14.4	17.4	14.4	71.1 mv	49.6 mv	21.6 μA	0.8 mA	2.3k	18k	580	290	202	37

آزمایش 2: در مدار شکل زیر RC را چنان طراحی نمایید که ماکزیمم دامنه نوسانات در خروجی به وجود آید.

$$\beta_{min} = 100$$



شکل 1-1

$$1) V_{th} \cong V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 10k}{47k + 10k} = 1.75 \text{ v}$$

$$2) R_{th} \cong R_B = R_1 || R_2 = \frac{47k \times 10k}{47k + 10k} = 8.25 \text{ k}$$

در بیس مشترک می توان از فرمول ذیل جهت پیدا کردن I_{CQ} بهره برد.

$$3) I_{CQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{\frac{R_{th}}{1 + \beta} + R_E} = \frac{1.75 - 0.7}{\frac{8.25k}{101} + 0.22k} = 3.48 \text{ mA}$$

شرط مستقل بودن جریان کلکتور از مقدار β

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

$$R_{ac} = R_C || R_L$$

$$R_{DC} = R_E + R_C$$

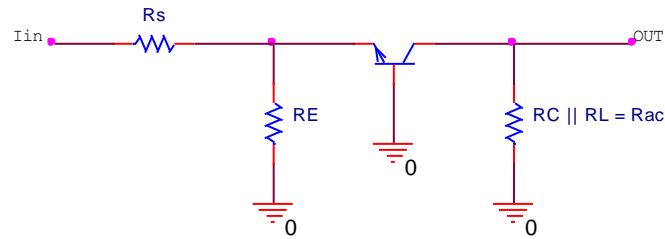
$$V_{CB} = V_C - V_B$$

معادله خط بار DC

$$4) \begin{cases} V_{CB} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C - V_{BE} \\ V_{Cb} = -(R_C || R_L)i_c \end{cases}$$

معادله خط بار ac

مدار معادل ac :



شکل 1-2

نکته: خط بار DC :

$$V_{CB} = V_C - V_B = (V_{CC} - R_C I_C) - (V_{BE} + R_E I_E)$$

$$V_{CB} = (V_{CC} - R_C I_C) - V_{BE} - R_E I_E$$

$$V_{CB} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C - V_{BE}$$

$$V_{CB} = 10 - (R_C + 0.22 k) 3.48 mA - 0.7 \quad ***$$

معادله خط بار ac :

$$V_{Cb} = -(R_C || 2.2 k) 3.48 mA \quad ***$$

شرط انتقال ماکزیمم خروجی Mpp به خروجی این است که نقطه کار در وسط خط بار AC قرار گیرد برای این کار باید $V_{Cb} = V_{CB}$ قرار گیرد.

$$V_{CBQ} = (V_{CC} - V_{BE}) - (R_C + 0.22 k) 3.48 mA$$

$$V_{CBQ} = 9.3 - 3.48 mA R_C - (3.48 mA \times 0.22 k)$$

خط بار DC : معادله (1)

$$V_{CB} = 8.53 - 3.48 mA R_C \quad ***$$

$$5) V_{CBQ} = (V_{CC} - V_{BE} - R_E I_{CQ}) - R_C I_{CQ}$$

در حالت اشباع داریم :

$$V_{CE sat} = 0.2 v \quad , \quad V_{BE sat} = 0.8 v$$

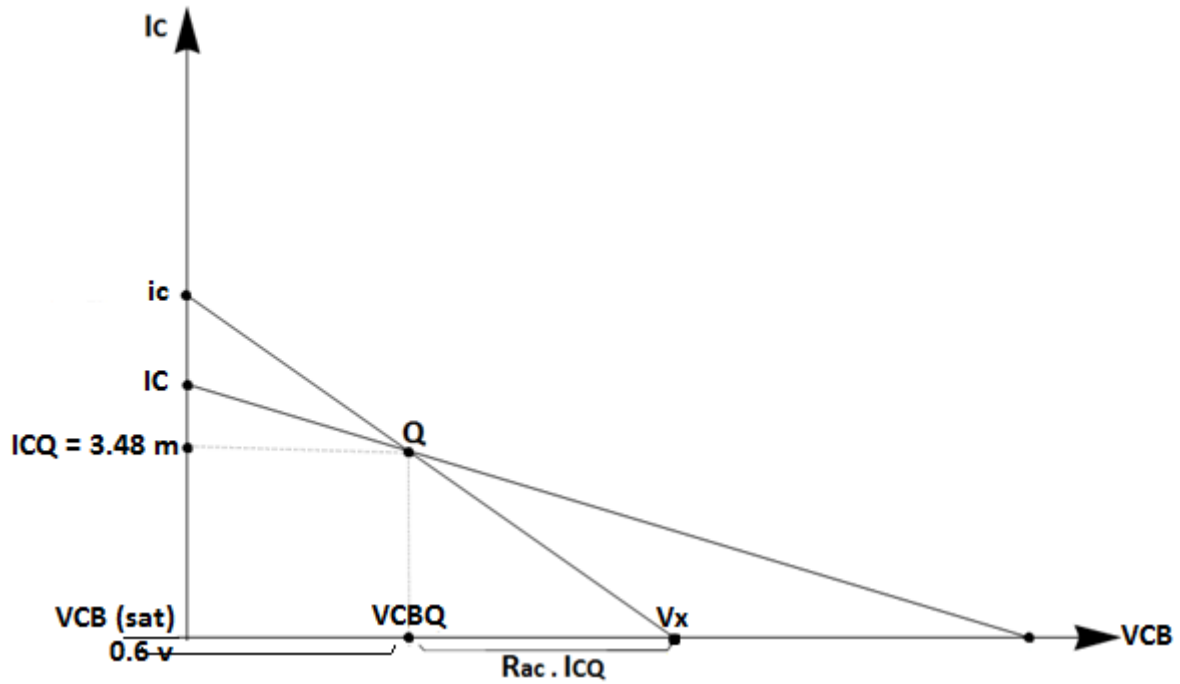
$$V_{CB sat} = V_{CE sat} - V_{BE sat} = 0.2 - 0.8 = -0.6 v$$

$$6) V_{CB sat} = -0.6 v$$

با توجه به منحنی مشخصه خروجی و خط بار : معادله II :

$$V_{CBQ} = \frac{V_x + 0.6}{2}$$

$$V_x = V_{CBQ} + R_{ac} I_{CQ}$$



شکل 1-3

$$I) V_{CBQ} = 8.53 - 3.48 \text{ mA} R_C$$

$$II) V_{CBQ} = \frac{V_x + 0.6}{2}$$

$$2V_{CBQ} = V_x + 0.6$$

$$V_x = 2V_{CBQ} - 0.6 \quad II$$

$$I = II$$

$$8.53 - 3.48 \text{ mA} R_C = \frac{V_x + 0.6}{2}$$

$$V_x = V_{CBQ} + R_{ac} I_C$$

$$V_x = V_{CBQ} + \left(\frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} \right) I_C$$

$$V_x = V_{CBQ} + \left(\frac{2.2 R_C}{2.2 + R_C} \right) I_C \quad III$$

$$II = III$$

$$2V_{CBQ} - 0.6 = V_{CBQ} + \left(\frac{2.2 R_C}{2.2 + R_C} \right) I_C$$

$$V_{CBQ} - 0.6 = \left(\frac{2.2 R_C}{2.2 + R_C} \right) 3.48^{mA}$$

$$\frac{V_{CBQ} - 0.6}{3.48^{mA}} = \frac{2.2 R_C}{2.2 + R_C}$$

$$(V_{CBQ} - 0.6)(2.2 + R_C) = 3.48^{mA}(2.2 R_C)$$

$$2.2V_{CBQ} - 1.32 + V_{CBQ} \cdot R_C - 0.6 R_C = 7.656 R_C$$

$$I) V_{CBQ} = 8.53 - 3.48^{mA} R_C$$

$$2.2(8.53 - 3.48^{mA} R_C) - 1.32 + (8.53 - 3.48^{mA} R_C)R_C - 0.6 R_C - 7.656 R_C = 0$$

$$+18.766 - 7.656 R_C - 1.32 + 8.53 R_C - 3.48^{mA} R_C^2 - 0.6 R_C - 7.656 R_C = 0$$

$$-3.48 R_C^2 - 7.382 R_C + 17.446 = 0$$

$$R_C^2 + 1.98 R_C - 5 = 0$$

$$a = 1, b = 1.98, c = -5$$

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

$$R_C = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} \Rightarrow \begin{cases} R_C = \frac{-1.98 + 4.89}{2} = 1.455 \Rightarrow \text{ق.ق} \\ R_C = \frac{-1.98 - 4.89}{2} = -6.87 \Rightarrow \text{غ.ق.ق} \end{cases}$$

$$6) \begin{cases} I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{DC} + R_{ac}} \\ R_{DC} = R_E + R_C \\ R_{ac} = R_L || R_C \end{cases}$$

$$I_{CQ} = \frac{9.3}{1.675 + 0.875} = 3.69 \text{ mA}$$

$$R_{DC} = 1.675 \text{ k}$$

$$R_{ac} = 0.875 \text{ k}$$

$$R_C = 1.455 \text{ k} \rightarrow \text{Standard} \rightarrow R_C = 1.5 \text{ k}$$

$$R_{DC} = 1.72 \text{ k}$$

$$R_{ac} = 0.89 \text{ k}$$

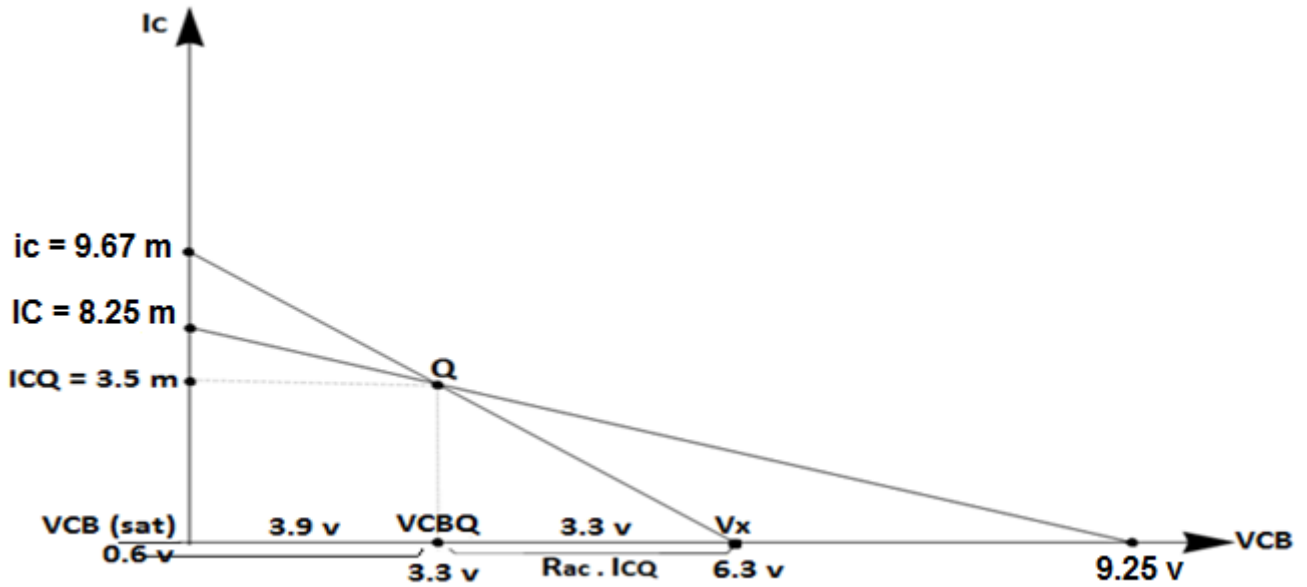
$$I_{CQ} = 3.56 \text{ mA} \cong 3.5 \text{ mA}$$

$$I) V_{CEQ} = 8.53 - 3.5 \text{ mA} \times 1.5 \text{ k} = 3.28$$

$$II) V_x = 2V_{CB} - 0.6 = 5.96 \cong 6 \text{ v}$$

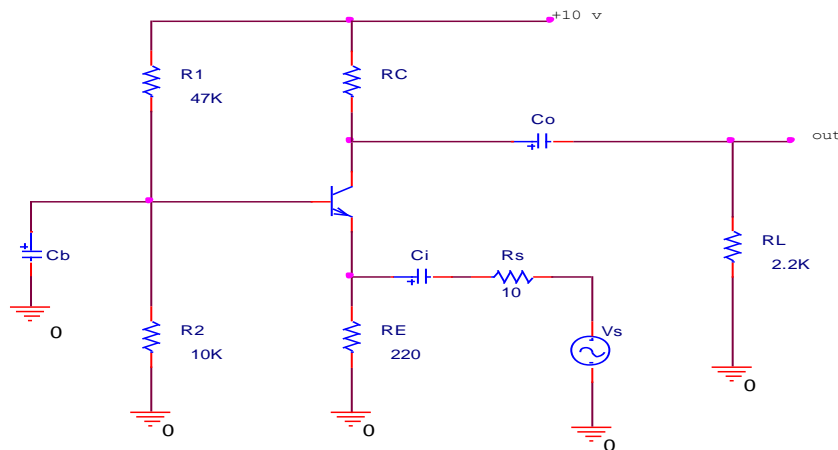
$$V_x = V_{CBQ} + R_{ac}I_{CQ} = (3.28 + 0.89) \times 3.5 = 6.3$$

$$M_{pp} = 2R_{ac} \cdot I_C = 6.6 \text{ v}$$



شکل 1-4

آزمایش 2: مقدار R_C را برای ماکزیم سوینگ طراحی کنید (راهنمایی: $V_{CBQ} = 3.3\text{ v}$) شکل منحنی مشخصه خروجی را همراه با رسم خط بار DC و a_c رسم کرده و مقدار M_{pp} را بدست آورید در صورتی که می توانید بدون مقدار V_{cb} طراحی کنید .



شکل 1-5

$$1) V_T \cong V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = 1.75$$

$$2) R_{th} = R_1 || R_2 = 8.25\text{ k}$$

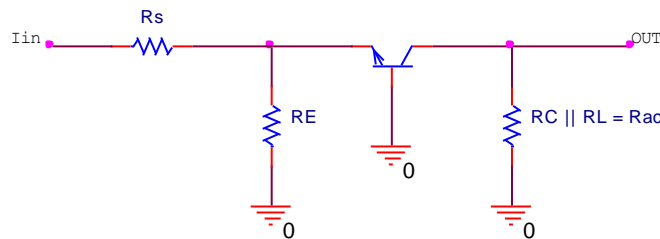
$$3) I_{CQ} = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} = \frac{1.75 - 0.7}{0.22} = 4.77\text{ mA}$$

از این فرمول می توان پس از پیدا کردن مقدار R_C بهره برد . (برای صحت نتایج بدست آمده) . I_C بدست آمده از رابطه ی 3 می بایست برابر I_{CQ} بدست آمده از این رابطه باشد .

$$4) I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{ac} + R_{DC}} = \frac{10 - 0.7}{0.68\text{ k} + 1.22\text{ k}} = 4.89\text{ mA}$$

$$DC) V_{CB} = V_C - V_B = (V_{CC} - R_C I_C) - (R_E I_E + V_{BE}) = V_{CC} - V_{BE} - (R_C + R_E) I_C$$

$$ac) V_{cb} = -(R_C || R_L) i_c = -R_{ac} \cdot i_c$$



شکل 1-6

رابطه ی طلایی محاسبه ی RC در آرایش C.B :

$$R_C = \left[\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_C} \right) - R_E \right] / 2$$

$$R_{ac} = \frac{\left[\left(\frac{10 - 0.7}{4.77 \text{ m}} \right) - 0.22 \text{ K} \right]}{2} = 0.86 \text{ K}\Omega \rightarrow ST. \uparrow R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

توجه شود که جواب نهایی حاصل از این فرمول می بایست به سمت بالا استاندارد گردد .

رابطه ی طلایی محاسبه ی RC در صورتی که VCB را داشته باشیم :

$$R_C = \left[\frac{V_{CC} - (V_{BE} + V_{CB})}{I_C} \right] - R_E$$

$$R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = V_{CC} - (R_{ac} \cdot I_C) - (R_E \cdot I_C + 0.7)$$

$$V_{CB} = 3.4 \text{ v}$$

$$R_{ac} = R_C \parallel R_L = 1 \text{ K} \parallel 2.2 \text{ K} = 0.69 \text{ K}\Omega$$

$$R_{DC} = R_C + R_E = 1.22 \text{ K}\Omega$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{DC} + R_{ac}} = 4.8 \text{ mA}$$

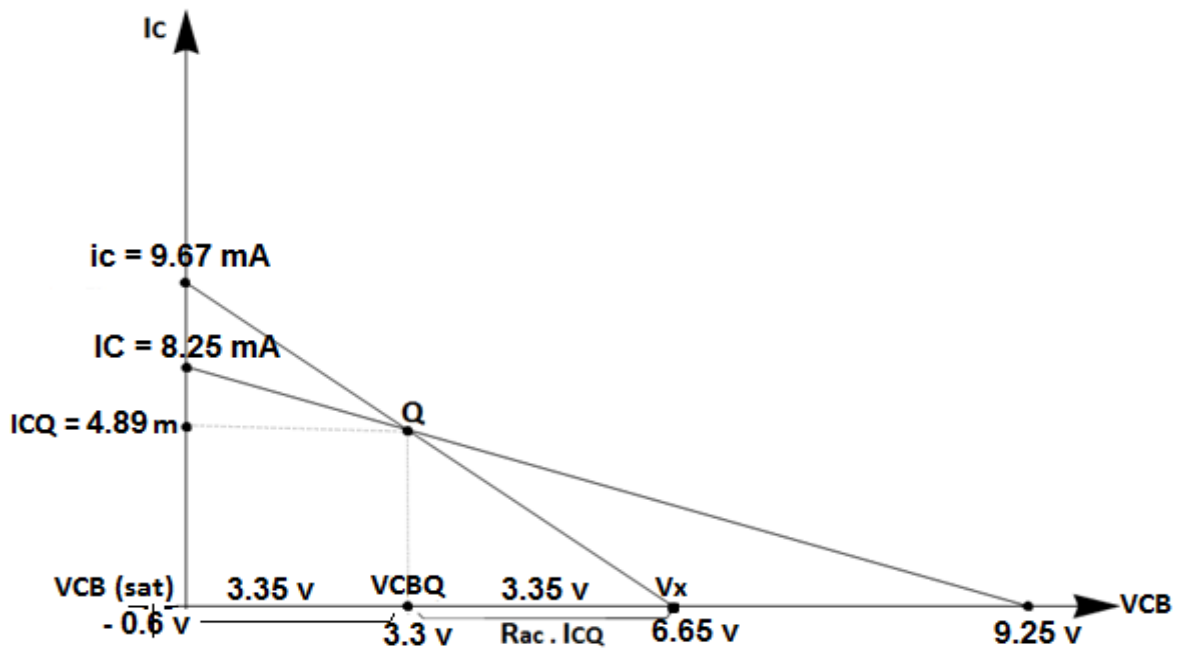
$$I_C = \frac{V_E}{R_E} = 4.77 \text{ mA}$$

پس در وسط خط بار ac است . $I_C \approx I_{CQ}$

$$MPP \Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} = 6.6 \text{ v} & \text{ق. ق} \\ 2 \cdot V_{CB} = 6.8 \text{ v} & \text{غ. ق. ق} \end{cases}$$

$$i_c - I_{CQ} = -\frac{1}{R_{ac}} (V_{cb} - V_{CBQ})$$

خط بار :



نتایج به دست آمده از شبیه سازی مدار C.B در نرم افزار مولتی سیم : ($R_c = 1.5 \text{ k}$)

$$V_E = 840 \text{ mv}, \quad V_C = 3.78 \text{ v}, \quad I_C = 3.78 \text{ mA},$$

$$V_O = 6.5, \quad M_{pp} = 6.5, \quad V_i = 100 \text{ mv}$$

$$A_{VL} = 65, \quad Z_i = 13, \quad A_I = 0.377$$

اگر خروجی روی ماکزیمم مقدار بدون بار تنظیم شود

$$V_{ONL} = 6.81, \quad V_i = 53 \text{ mv}, \quad V_{OFL} = 4.15, \quad I_i = 4.92 \text{ mA}$$

$$I_O = 1.89 \text{ mA}, \quad A_I = 0.38, \quad Z_i = 10.7, \quad A_V = 128, \quad A_{VL} = 78$$

$$Z_O = 1410$$

$$Z_i \cong r_e$$

$$r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_C} = \frac{25 \text{ mV}}{4.89 \text{ mA}} = 5.11 \Omega$$

$$Z_o = R_C = 1 \text{ k}$$

$$A_{VL} = \frac{R_{ac}}{r_e} = \frac{0.69 \text{ k}}{5.11} = 141$$

$$A_V = \frac{R_C}{r_e} = \frac{1000}{5.11} = 195.6$$

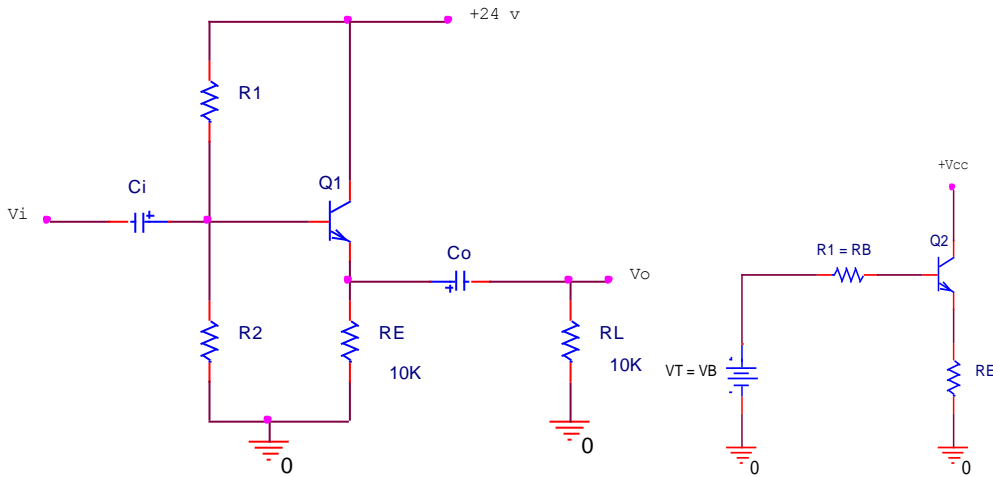
$$A_I = A_{VL} \times \frac{R_i}{R_L} = 141 \times \frac{5.11}{1000} = 0.72$$

$$A_{V_S} = A_{V_L} \frac{Z_i}{Z_i + R_S} = 141 \frac{5.11}{10 + 5.11} = 47.6$$

آزمایش 3 :

R2 و R1 را به گونه ای طراحی نمایید که **Max Swing Output** (حداکثر دامنه متقارن) و ماکزیمم امپدانس ورودی بدست آید ؟

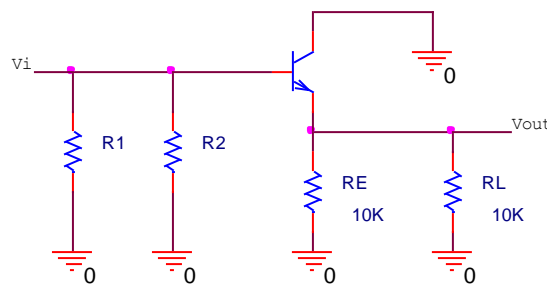
$$\beta_{min} = 100$$



شکل 1-1

$$\begin{cases} (DC) V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E \\ (ac) V_{ce} \cong (R_E || R_L) i_c \end{cases}$$

مدار معادل ac :



شکل 1-2

شرط ماکزیمم دامنه متقارن : نقطه کار در وسط خط بار ac قرار گیرد .

$$V_{CC} - R_E I_C = (R_E || R_L) i_c$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_E + (R_E || R_L)}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{24 - 0.2}{10_k + (10_k || 10_k)} \cong 1.6 \text{ mA}$$

$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E = 24 - (10k \times 1.6 mA) = 8 v \\ V_{ce} = (R_E || R_L) I_{CQ} = (10k || 10k) \cdot 1.6 mA = 5k \times 1.6 mA = 8 v \end{cases}$$

$$V_E = R_E \cdot I_{CQ} = 10k \times 1.6 mA = 16v \Rightarrow V_E = \frac{2 V_{CC}}{3} = \frac{2 \times 24}{3} = 16v$$

شرط پایداری نقطه کار نسبت به تغییرات β را با این فرمول می توان مشخص کرد: $\frac{\beta_{min} \times R_E}{10}$

$$\begin{cases} V_B = V_T = V_E + V_\gamma = 16.7 v \Rightarrow V_B = V_T = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} \\ R_B = R_T = R_1 || R_2 = \frac{\beta_{min} \times R_E}{10} = \frac{100 \times 10k}{10} = 100k \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1) \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = 100k \\ 2) \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = 16.7v \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{R_1 \times R_2}{100k} = R_1 + R_2 \\ \frac{24R_2}{16.7} = R_1 + R_2 \end{cases}$$

$$2) \frac{R_1 \times R_2}{100k} = \frac{24R_2}{16.7} \Rightarrow R_2 = \frac{16.7(R_1 R_2)}{2400k} \Rightarrow 1 = 0.00695 R_1 \Rightarrow R_1 = 143.7 k$$

$$\Rightarrow \text{Standard } R_1 = 150 k$$

$$\frac{24R_2}{150k + R_2} = 16.7 \Rightarrow 24R_2 = 16.7(150k + R_2)$$

$$R_2 = 342.2k \Rightarrow \text{Standard } R_2 = 330k$$

فرمول طلایی :

$$R_1 = R_B \left[\frac{V_{CC}}{V_T} \right] = \frac{100k \times 24}{16.7 v} = 143.7 k \Rightarrow \text{Standard } R_1 = 150k$$

$$R_2 = \frac{R_B}{1 - \left[\frac{V_T}{V_{CC}} \right]} = \frac{100}{1 - \frac{16.7}{24}} = 328.7k \Rightarrow \text{Standard } R_2 = 330k$$

پس از طراحی : در ابتدا باید روی ماکزیمم خروجی با بار تنظیم شود .

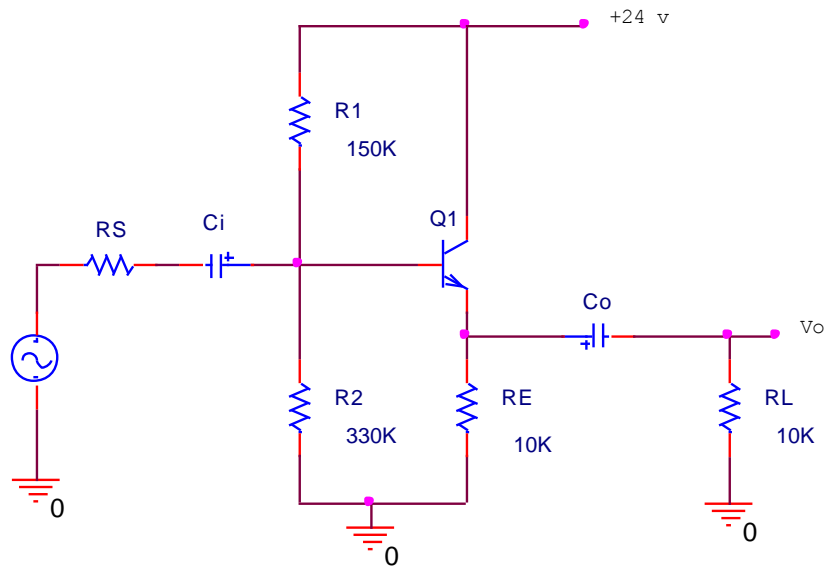
$$V_B = \frac{24 \times 330}{330 + 150} = 16.5 \text{ v}$$

$$V_E = 16.5 - 0.7 = 15.8 \text{ v}$$

$$I_C = \frac{V_E}{R_E} = \frac{15.8}{10 \text{ k}} = 1.58 \text{ mA} \quad ; \quad V_{CE} = 24 - 15.8 = 8.2 \text{ v}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CE} - V_{CE \text{ sat}}}{R_{DC} + R_{ac}} = \frac{24 - 0.2}{10 \text{ k} + 5 \text{ k}} = 1.58 \text{ mA}$$

$$\begin{cases} MPP = 2 \cdot R_{ac} \cdot I_{CQ} = 2 \times 5 \text{ K} \times 1.58 \text{ m} = 15.8 \text{ v} & \text{ق. ق.} \\ MPP = 2 \cdot V_{CEQ} = 16.4 \text{ v} & \text{غ. ق. ق.} \end{cases}$$



شکل 1-3

$$DC) V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C \quad \text{معادله خط بار DC}$$

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC} \quad , \quad V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_E} = \frac{24}{10 \text{ k}} = 2.4 \text{ mA}$$

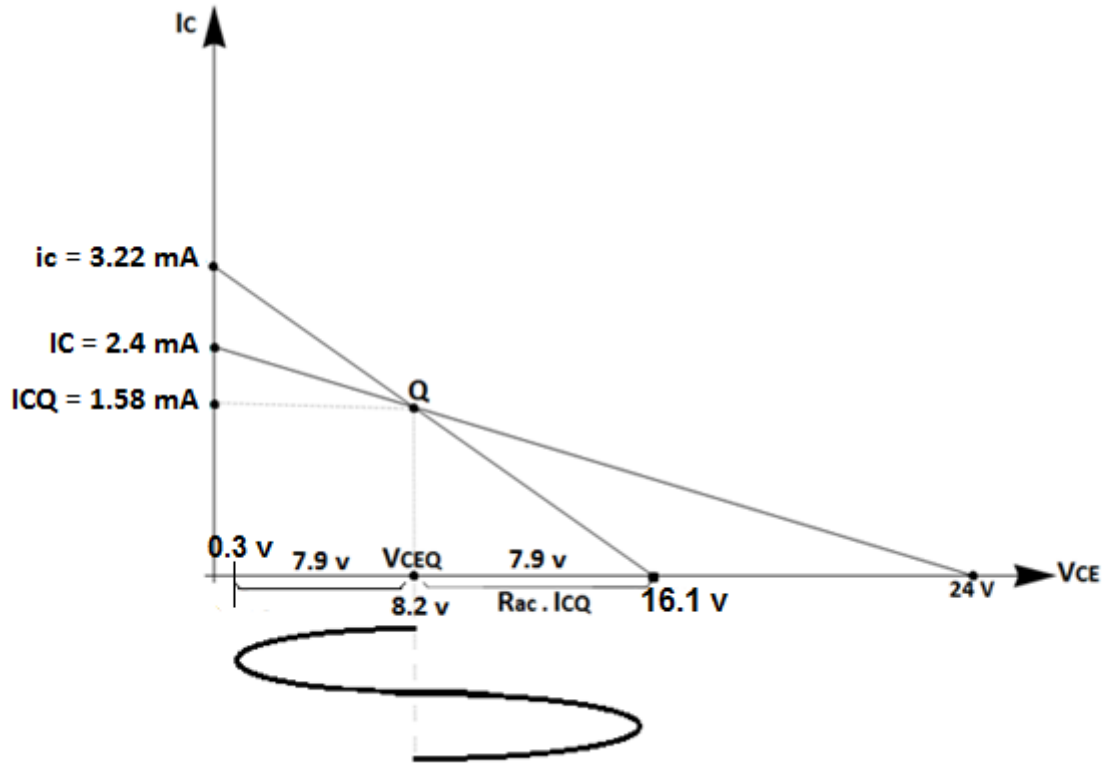
$$ac) V_{ce} = -(R_c || R_L) i_c \quad \text{معادله خط بار ac}$$

$$i_c - I_{CQ} = -\frac{1}{R_{ac}} (v_{ce} - V_{CEQ})$$

$$v_{ce} = 0 \rightarrow i_c = \frac{V_{CEQ}}{R_E || R_L} + I_{CQ} = \frac{8.2}{5 \text{ K}} + 1.58 \text{ mA} = 3.22 \text{ mA}$$

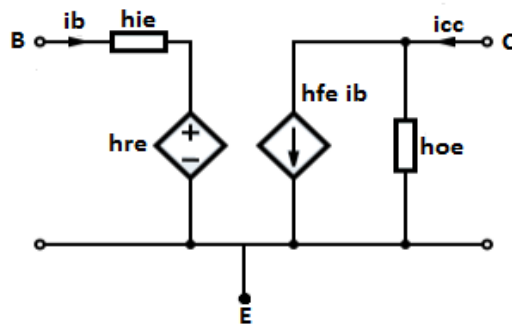
$$i_c = 0 \rightarrow -I_{CQ} = -\frac{V_{ce}}{R_{ac}} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} \rightarrow V_{ce} = V_{CEQ} + R_{ac} I_{CQ} = 8.2 + (5 \text{ k} \times 1.58 \text{ mA}) = 16.1 \text{ v}$$

خط بار :



شکل 1-4

مدل H (مدل هیبرید) :



شکل 1-5

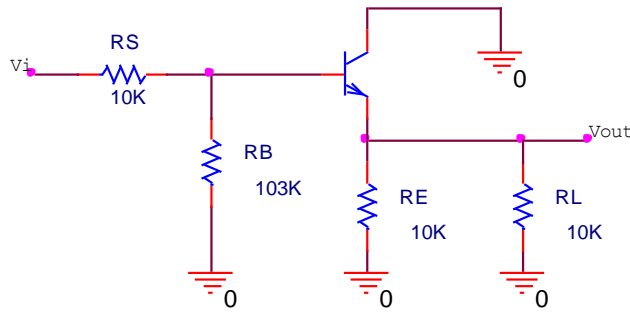
$$R_B = R_1 \parallel R_2 = 150k \parallel 330k = 103.125 k$$

$$1) Z_{in} = R_B \parallel [\beta(re + (RE \parallel RL))]$$

$$r_e = \frac{25mv}{1.58mA} = 15.82 \cong 15\Omega$$

$$r_{\pi} = \beta \cdot r_e = 100 \times 15 = 1.5 k\Omega$$

$$Z_{in} = 103k \parallel 100[15 + 5 k] = 103 k \parallel 500k = 85.4k$$



شکل 1-6

$$2) Z_O = \left[\frac{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_S) + r_{\pi}}{\beta + 1} \right] \parallel R_E = \left[\frac{(103 \text{ K} \parallel 10 \text{ K}) + 1.5 \text{ K}}{101} \right] \parallel 10 \text{ K} = 103 \Omega$$

$$3) A_{VL} = \frac{(1 + \beta)R'E}{r_{\pi} + (1 + \beta)R'E} = \frac{101 \times 5k}{1.5k + 101 \times 5k} = \frac{505}{506.5} = 0.99$$

$$4) A_I = \frac{A_{VL} \times Z_{in}}{R_L} = \frac{0.99 \times 85.4k}{10k} = 8.45$$

$$A_I = \frac{(1 + \beta)RB}{[(R + \beta)RE] + R_B} = 9.35 \quad \text{مدل هیبرید}$$

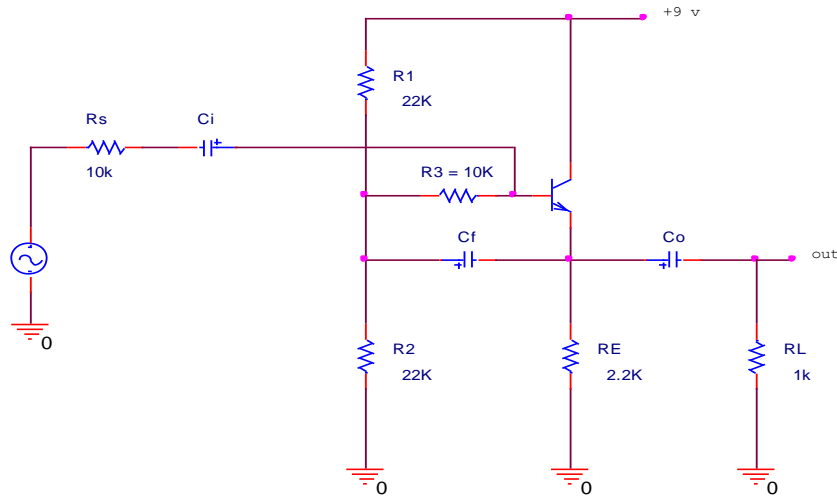
$$A_{VS} = A_{VL} \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_S} = \frac{0.99 \times 85.4 \text{ K}}{10 \text{ K} + 85.4 \text{ K}} = 0.88$$

خلاصه نتایج بدست آمده تئوری و نرم افزار

	MPP	V_{ONL}	V_{OFL}	V_S	V_i	Z_i	Z_O	A_V	A_{VL}	I_i	I_o	A_I
تئوری	15.8	-	16	-	-	85.4k	103	0.99	0.99	-	-	8.45
نرم افزار	15v	15.7	15.7	17	15.2	86.3k	133	1	0.98	176 uA	1.5 mA	8.5

آزمایش 4: بررسی تقویت کننده C.C با خازن بوت استرپ

مقدار $A_I, A_{VS}, A_V, Z_O, Z_i$ را قبل از وصل خازن C_f و بعد از خازن C_f بدست آورید.



$$\beta_{min} = 100$$

$$V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = 4.5 \text{ v}$$

$$V_E = 4.5 - 0.7 = 3.8$$

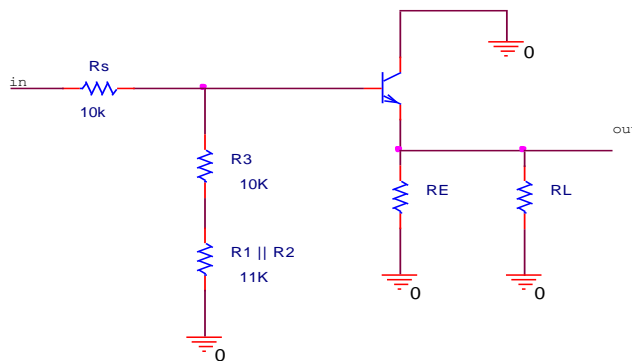
$$I_{CQ} = \frac{V_E}{R_E} = 1.72 \text{ mA}$$

نکته: نیاز به طراحی R_1 و R_2 با مقادیر زیاد نیست چون اثر C_f چندان مشخص نمی شود.

$$r_e = \frac{25 \text{ mv}}{I_{CQ}} = 14.5 \quad , \quad r_{\pi} = \beta r_e = 1.45 \text{ k}$$

$$g_m = \frac{1}{r_e} = 69 \text{ ms}$$

بدون خازن C_f :



شکل 1-2

$$R'_E = R_E || R_L = 0.687k \quad , \quad R_B = R_1 || R_2 + R_3 = 21k$$

$$1) Z_i = R_B || \beta(r_e + R'_E) = \frac{21 \times 70.15}{21 + 70.15} = 16.16 K$$

$$2) Z_O = R_E || \left(\frac{r_\pi + R_B || R_S}{\beta + 1} \right) \cong 2.2 k || \left(\frac{1.45 k + 21 k || 10 k}{100} \right) = \frac{2200 \Omega \times 82.2}{2282.2} = 79 \Omega \quad \text{بدون بار} :$$

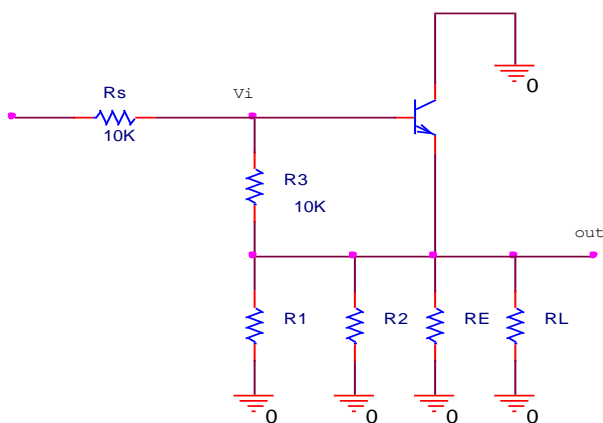
$$3) A_{VL} = \frac{(\beta)R'_E}{(\beta)(R'_E + r_e)} = \frac{69.387 k}{68.7 k + 1.45 k} = \frac{68.7 k}{70.15} = 0.98$$

$$A_{VL} \cong \frac{R'_E}{r_e + R'_E} \cong 0.98$$

$$4) A_{VS} = \frac{A_{VL} \times Z_i}{R_S + Z_i} = \frac{0.98 \times 16.16 K}{10 k + 16.16 K} = 0.605 \cong 0.6$$

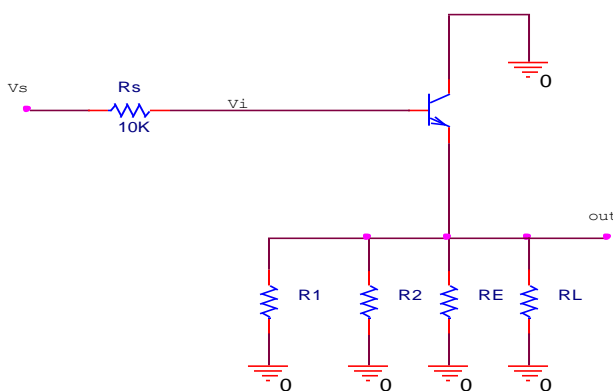
$$5) A_I = \frac{A_{VL} \times Z_i}{R_L} = \frac{0.98 \times 16.16 K}{1 k} = 15.83$$

با خازن Cf :



شکل 1-3

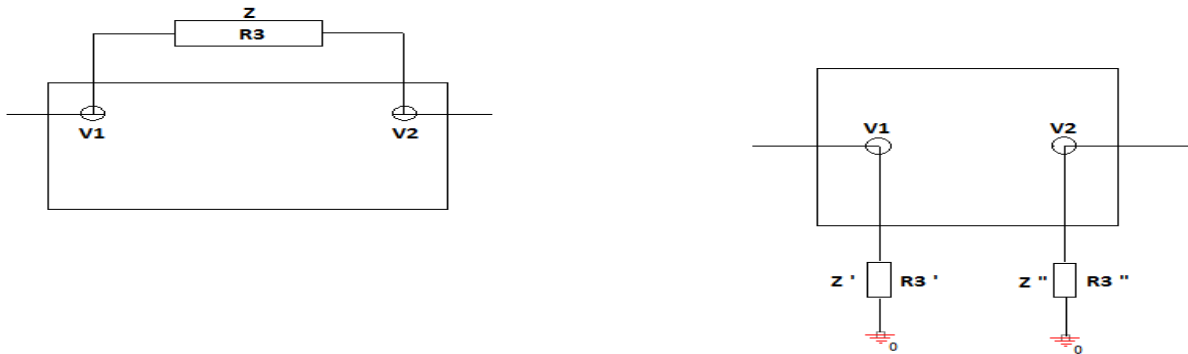
1) در صورت $A_V = 1 \leftarrow R_3 = \infty$ و مدار مطابق شکل زیر خواهد شد :



شکل 1-4

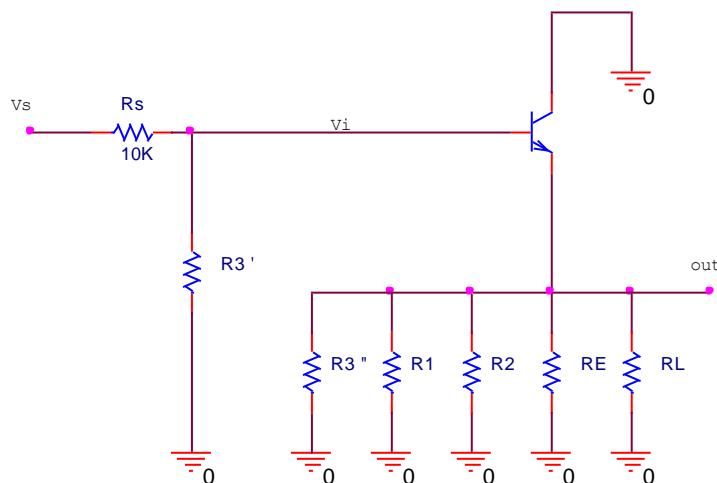
2) وضعیت مقاومت R_3 در صورت $A_V < 1$ مطابق شکل زیر به 2 مقاومت R'_3 و R''_3 (طبق قضیه میلر) تبدیل می شود.

طبق قضیه میلر:



شکل 1-5

طبق قضیه میلر:



شکل 1-6

پس با توجه به قضیه میلر:

$$R'_3 = \frac{R_3}{1 - A_{VL}} = \frac{10 \text{ k}}{1 - 0.98} = \frac{10 \text{ k}}{0.02} = 500 \text{ k}$$

البته به دلیل عبور جریان I_B از R_B نمی توان بزرگتر از 100 k در نظر گرفت.

$$R''_3 = \frac{R_3}{1 - \frac{1}{A_{VL}}} = \frac{10 \text{ k}}{1 - \frac{1}{0.98}} = \frac{10 \text{ k}}{0.02} = 500 \text{ k}$$

$$A_V = 0.98 \Rightarrow \begin{cases} R'_3 = 500 \text{ k} \\ R''_3 = 500 \text{ k} \end{cases}$$

$$R'_3 \& R''_3 = 500 \text{ k}$$

$$1) Z_i = R'_3 \parallel \beta(r_e + R'_E) = \frac{500 \times 70.15}{500 + 70.15} \cong 61 \text{ k}$$

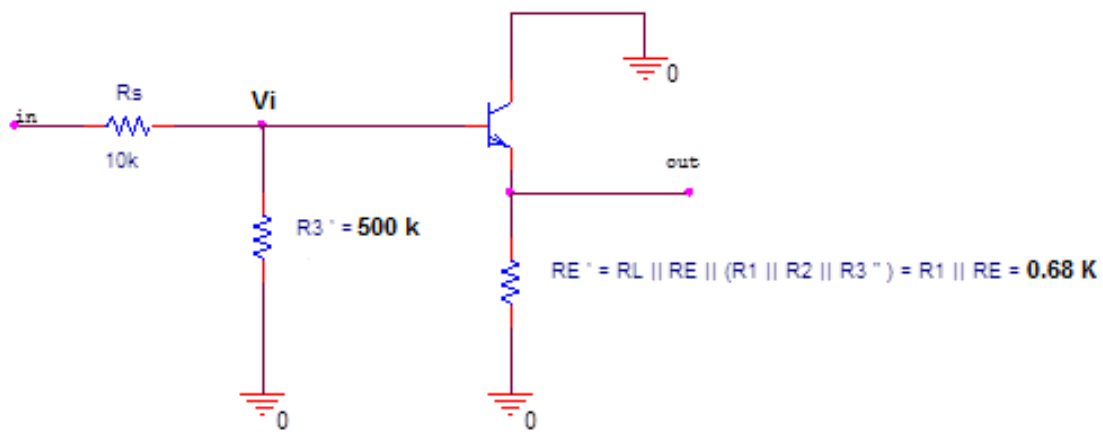
$$Z_O = R''_3 \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel R_E \parallel \left(\frac{(R_S \parallel R'_3) + r_{\pi}}{\beta} \right) = 500 \text{ k} \parallel 21 \text{ k} \parallel 21 \text{ k} \parallel 2.2 \text{ k} \parallel \left(\frac{10 \text{ k} \times 500 \text{ k}}{510 \text{ k}} \right)$$

$$Z_O = 1.82 \text{ k} \parallel 110 \Omega \cong 103 \Omega$$

$$A_{VL} \cong \frac{R'_E}{r_e + R'_E} \cong 0.98$$

$$A_I = \frac{0.98 \times 61 \text{ k}}{1 \text{ k}} = 59$$

$$A_{VS} = \frac{0.98 \times 61 \text{ k}}{10 \text{ k} + 61 \text{ k}} = 0.84$$



شکل 1-7

محاسبه						نرم افزار										
	Z_i	Z_O	A_V	A_{VS}	A_I	I_L	Z_i	Z_O	A_{VL}	A_{VLS}	A_I	V_S	V_i	V_{OFL}	V_{ONL}	I_i
بدون Cf	16.16 k	79	0.98	0.6	15.8	22 m	17 k	91	.95	.59	16.4	3.68	2.3	2.2	2.4	134
Cf با	61 k	103	0.98	0.84	59	2.28 m	61.5 k	166	.95	.81	58.4	2.8	2.4	2.28	2.66	392

ترانزیستور های اثر میدانی :

عناصر کنترل شونده با ولتاژ (FET)

مزایا :

- 1- دارای مقاومت ورودی خیلی زیاد در حدود $100 M\Omega$ هستند . $B_J \& T = 2 k\Omega$
- 2- مصنویت در مقابل نویز
- 3- دارای پارازیت کمتری بر روی سیگنال کوچک است . (مناسب برای ورودی طبقات)
- 4- پایداری حرارتی بیشتر
- 5- حجم کوچکتر (کاربرد در مدارات مجتمع IC)
- 6- تکنولوژی ساخت راحت تر
- 7- فرکانس قطع بالاتر
- 8- راندمان بالاتر
- 9- به هنگام استفاده از سویچ دارای ولتاژ آفست نیست .

معایب :

- 1- حاصلضرب عرض باند فرکانسی در بهره ولتاژ کوچکتر از BJT است .
- 2- سرعت عملکرد کمتر
- 3- حساس نسبت به الکتریسته ساکن در نتیجه با لمس کردن می سوزد
- 4- گران تر است .

چند اصطلاح پر کاربرد :

V_p (ولتاژ بحرانی) : ولتاژ درین - سورسی را که به گرفتگی کانال منجر می شود می گویند و در این حالت جریان $I_D =$

$Maximum$ می شود . $V_{DS} = V_p$

ID_{SS} : ماکزیمم جریان عبوری از ترانزیستور که در ولتاژ بحرانی بوجود می آید .

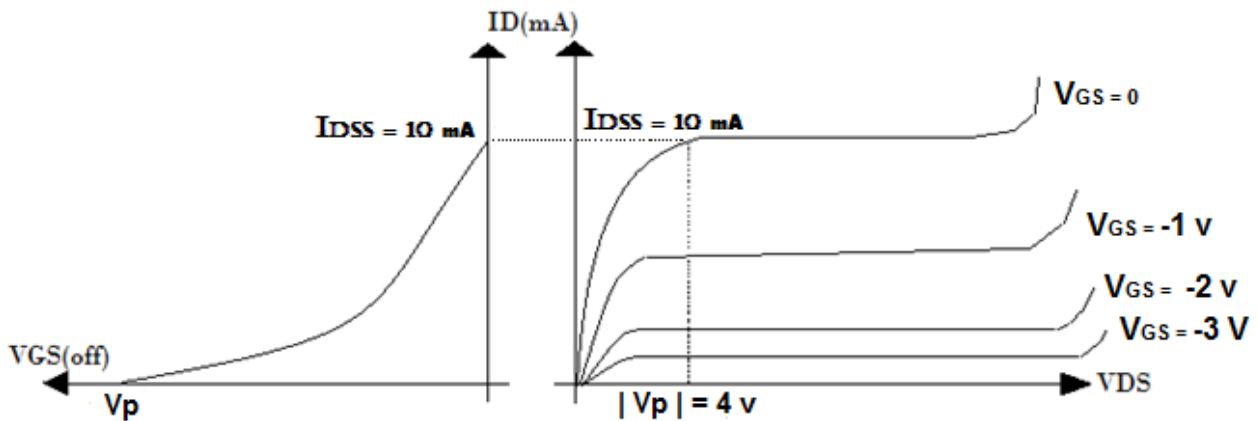
VGS (off) (ولتاژ آستانه یا قطع) : مقدار **VGS** که جریان درین را به صفر می رساند را می گویند و در ترانزیستورهای **JFET** ولتاژ آستانه تقریبا با ولتاژ بحرانی برابر است .

$$V_P \cong |V_{GS}(off)|$$

VDS(tr) یا **Ve** : برای گذر از ناحیه اهمی به ناحیه فعال (اشباع) باید مقدار **VDS** یک حداقل مقداری داشته باشد که آن را با **VDS(tr)** نمایش می دهند .

$$V_{DS(tr)} = |V_P| - |V_{GS}|$$

منحنی مشخصه های (FET) :



شکل 1-1

انواع نواحی کار :

1- ناحیه قطع $V_{GS} = V_{GS(off)} \leq V_P$

2- ناحیه خطی (اهمی - تریودی) $V_{DS} < V_{DS(tr)}$

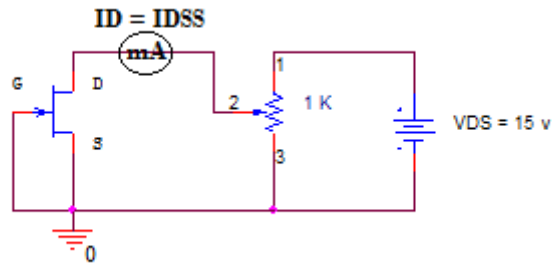
3- ناحیه اشباع (فعال - فشرده) $V_{DS} > V_{DS(tr)}$

4- مرز بین ناحیه اهمی و اشباع $V_{DS} = V_{DS(tr)}$

5- ناحیه شکست بهمنی $V_{DS} > 20 v$

بدست آوردن مقدار ID_{SS} و V_P از روی مدار :

حداقل ولتاژ درین - سورسی (V_P) که جریان خروجی را ماکزیمم می کند V_P است و آن جریان ثابت حداکثری ID_{SS} است .



شکل 1-2

روابط مهم FET :

$$1) I_D = I_{D_{SS}} \left[1 - \left| \frac{V_{GS}}{V_p} \right| \right]^2$$

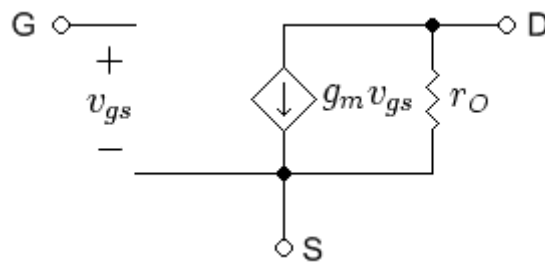
$$2) g_m = \frac{2}{|V_p|} \sqrt{I_D - I_{D_{SS}}}$$

$$3) g_m = \frac{2I_{D_{SS}}}{V_p} \left[1 - \left| \frac{V_s}{V_p} \right| \right]$$

$$4) g_{m_0} = \frac{2 I_{D_{SS}}}{|V_p|}$$

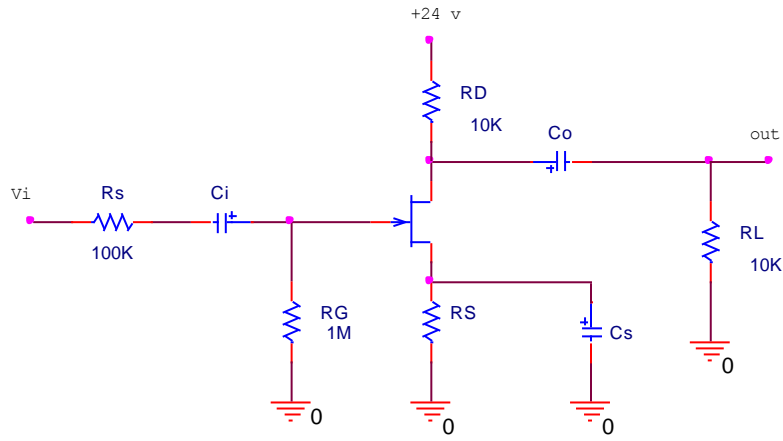
هدایت انتقالی FET (g_m) : بیانگر میزان تقویت جریان ac در مقابل ولتاژ گیت - سورس می باشد که واحد آن زیمنس است و بین 10 الی 100 میلی زیمنس است .

مدل H ترانزیستور های FET :



شکل 1-3

طراحی بایاس سرخود : با توجه به مقادیر V_p و $I_{D_{SS}}$ روبرو مقدار R_s را به نحوی طراحی کنید که $I_D = 1 \text{ mA}$ شود . سپس ولتاژ درین سورس را محاسبه کنید و با توجه به مقدار V_{DS} ناحیه کار ترانزیستور را مشخص کنید .



شکل 1-4

$$\begin{cases} V_p = -4 \text{ v} \\ I_{DSS} = 10 \text{ mA} \end{cases}$$

$$V_{GS} = -R_S I_D = -R_S \times 1 \text{ mA} = -R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 \Rightarrow 1 \text{ mA} = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{-R_S}{-4}\right)^2$$

$$\frac{1 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} = \left(1 - \frac{R_S}{4}\right)^2 \Rightarrow \sqrt{\frac{1}{10}} = 1 - \frac{R_S}{4}$$

$$0.316 = 1 - \frac{R_S}{4} \Rightarrow \frac{R_S}{4} = 0.683$$

$$R_S = 2.735 \text{ k} \Rightarrow \text{Standard} \Rightarrow R_S = 2.7 \text{ k}\Omega$$

$$V_S = R_S \times I_D \Rightarrow V_S = 2.7 \text{ k} \times 1 \text{ mA} = 2.7 \text{ v}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S)I_D$$

$$V_{DS} = 24 - (10 \text{ K} + 2.7 \text{ K}) \times 1 \text{ mA} = 11.3 \text{ v}$$

$$V_{GS} = -R_S \times I_D = -2.7 \text{ k} \times 1 \text{ mA} = -2.7 \text{ v}$$

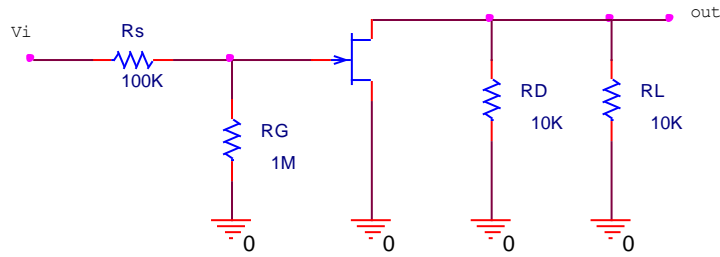
$$V_{DS(tr)} = |V_p| - |V_{GS}|$$

$$V_{DS(tr)} = 4 - 2.7 = 1.3 \text{ v}$$

$$11.3 > 1.3 \Rightarrow \text{ناحيه اشباع}$$

$$V_{DS} > V_{DS(tr)} : \text{شرط ناحيه اشباع}$$

تحلیل ac: مدار معادل تقویت کننده سورس مشترک با بایاس سرخود:



شکل 1-5

$$g_m = \frac{2}{|V_p|} \sqrt{I_D I_{DSS}} \Rightarrow \frac{2}{4} \sqrt{1 \text{ mA} \times 10 \text{ mA}} = 1.58 \text{ mS}$$

$$Z_{in} = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$Z_{out} = R_D = 10 \text{ k}\Omega$$

با بار بدون خازن بای پس :

$$A_V = \frac{-g_m R'_D}{1 + g_m R_S} = \frac{-1.58 \times (10 || 10)}{1 + (1.58 \times 2.7)} = -1.5$$

$$R'_D = R_D || R_L = 10 \text{ k} || 10 \text{ k} = 5 \text{ k}\Omega$$

با بار با خازن بای پس :

$$A_V = -g_m R'_D = -1.58 \text{ mS} \times 5 \text{ k} = -7.9$$

بدون بار با خازن بای پس :

$$A_V = -g_m R_D = -1.58 \text{ mA} \times 10 \text{ k} = -15.8$$

بدون بار بدون خازن بای پس :

$$A_V = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S} = \frac{-1.58 \text{ m} \times 10 \text{ k}}{1 + (1.58 \text{ m} \times 2.7 \text{ k})} = -3$$

محاسبه بهره جریان :

الف _ (با بار بدون خازن بای پس) :

$$A_I = |A_{VL}| \times \frac{Z_{in}}{R_L} = \frac{1.5 \times 1000 \text{ k}}{10 \text{ k}} = 150$$

ب _ (با بار و خازن بای پس) :

$$A_I = |A_{VL}| \times \frac{(Z_{in})}{R_L} = \frac{7.9 \times 1000 k}{10 k} = 790$$

جدول خلاصه پارامترهای ac مدار بایاس سرخود طراحی شده :

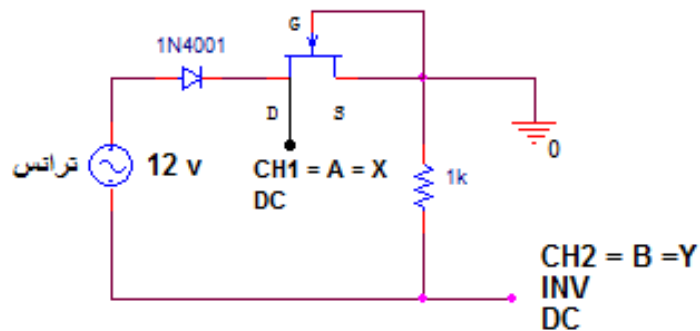
نام پارامتر AV	R_L, C_S	R_L, C_S	R_E, C_S	R_E, C_S
تئوری	-1.5	-7.9	-15.8	-3
نرم افزار				

تئوری	$Z_{in} = 1000 k$	$Z_o = 10 k$	$A_{I(CB)} = 150$	$A_{I(CB)} = 790$
نرم افزار				

مدار

بدست آوردن و ترسیم منحنی مشخصه ی V-I خروجی JFET :

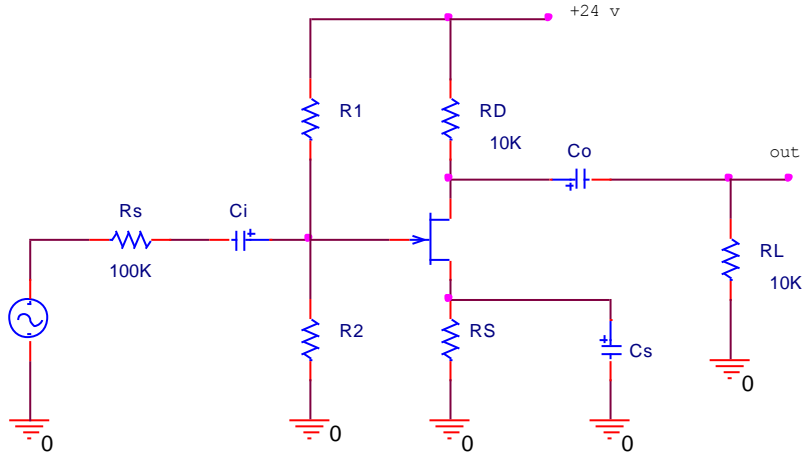
(دقت داشته باشید حتما هر دو کانال اسیلوسکوپ می بایست بر روی DC تنظیم شده باشند)



شکل 1-6

طراحی مدار بایاس تقسیم ولتاژ :

R_2 و R_1 را به گونه ای طراحی کنید که $R_{in} = 150 k$ و $V_G = 3 v$ شود و مقدار R_s به گونه ای طراحی کنید که $I_D = 1 mA$ شود. سپس با توجه به مقدار V_{DS} بگویید که تقویت کننده در چه ناحیه ای کار می کند. (مقدار $V_p = -4 v$ و $I_{DSS} = 10 mA$ در نظر گرفته شود).



شکل 1-7

$$R_T = R_{th} = Z_{in} = R_1 || R_2 = 150 k\Omega$$

$$V_T = V_{th} = V_G = 3 v$$

$$1) R_1 = \frac{R_T \times V_{DD}}{V_T} = \frac{150 k \times 24}{3} = 1200 k \Rightarrow \text{Standard} = 1.2 M\Omega$$

$$2) R_2 = \frac{R_T}{1 - \frac{V_T}{V_{DD}}} = \frac{150 k}{1 - \frac{3}{24}} = 171 k \Rightarrow \text{Standard} = 180 k\Omega$$

$$Z_{in} = R_1 || R_2 = 1200 k || 180 k = 156.5 k\Omega$$

$$V_G = \frac{V_{DD} \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24 \times 180 k}{1200 k + 180 k} = 3.13 v$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$1 mA = 10 mA \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$3) V_{GS} = \left(\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} - 1 \right) \times V_P = -2.73 v$$

$$V_{GS} = V_G - V_S \Rightarrow V_S = |V_{GS}| + V_G = 2.73 + 3.13 = 5.86 v$$

$$4) R_S = \frac{|V_{GS}| + V_G}{I_D} = \frac{2.73 + 3.13}{1 mA} = 5.86 k$$

$R_S \Rightarrow$ Standrad 5.6 k

$$5) V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S)I_D = 24 - (10\text{ k} + 5.86\text{ k}) = 7.4\text{ v}$$

$$V_{DS(tr)} = |V_P| - |V_{GS}| = |-4| - |-2.76| = 1.24\text{ v}$$

$V_{DS} > V_{DS(tr)} \Rightarrow$ ناحیه اشباع

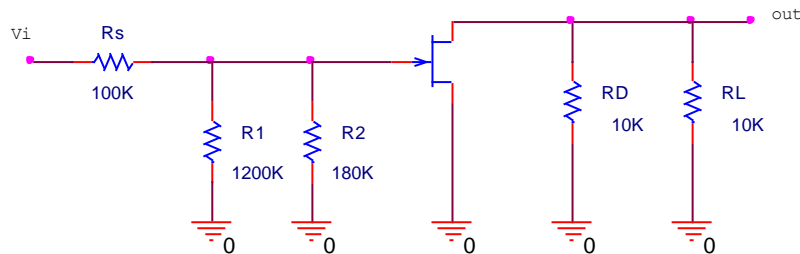
پارامترهای ac بایاس تقسیم ولتاژ :

$$g_m = \frac{2}{|V_P|} \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}} = \frac{2}{-4} \sqrt{1\text{ m} \times 10\text{ m}} = 1.58\text{ ms}$$

$$Z_{in} = R_1 \parallel R_2 = 1.2\text{ M}\Omega \parallel 180\text{ k}\Omega = 156.5\text{ k}\Omega$$

$$Z_O = R_D = 10\text{ k}\Omega$$

مدار معادل ac تقویت کننده سورس مشترک (بایاس تقسیم ولتاژ):



شکل 1-8

محاسبه بهره ولتاژ :

$C_S \& R_E$ (1)

$$A_V = \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S} = \frac{-1.58\text{ m} \times 10\text{ k}}{1 + (1.58\text{ m} \times 5.86\text{ k})} = -1.54$$

$C_S \& R_L$ (2)

$$A_{VL} = \frac{-g_m \cdot R'_D}{1 + g_m \cdot R_S} = \frac{-1.58\text{ m} \times 5\text{ k}}{1 + (1.58\text{ m} \times 5.86\text{ k})} = -0.77$$

$C_S \& R_E$ (3)

$$A_V = -g_m \cdot R_D = -1.58\text{ m} \times 10\text{ k} = -15.8$$

$C_S \& R_L$ (4)

$$A_{VL} = -g_m \cdot R'_D = -1.58\text{ m} \times 5\text{ k} = -7.9$$

محاسبه بهره جریان :

1) بدون خازن C_S ، با مقاومت R_L :

$$A_I = |A_{VL}| \times \frac{Z_{in}}{R_L} = \frac{|-0.77| \times 156.5 k}{10 k} = 12.05$$

2) با خازن C_S و مقاومت R_L :

$$A_I = |A_{VL}| \times \frac{Z_{in}}{R_L} = \frac{|-7.9| \times 156.5 k}{10 k} = 123.6$$

نام پارامتر	$A_V(R_L, C_S)$	$A_V(R_L, C_S)$	$A_V(R_L, C_S)$	$A_V(R_L, C_S)$
تئوری	-0.77	-7.9	-15.8	-1.54

نام پارامتر	$A_I(C_S)$	$A_I(C_S)$	Z_{in}	Z_o	g_m
تئوری	123.6	12.05	156.5 k	10 k	1.58 m

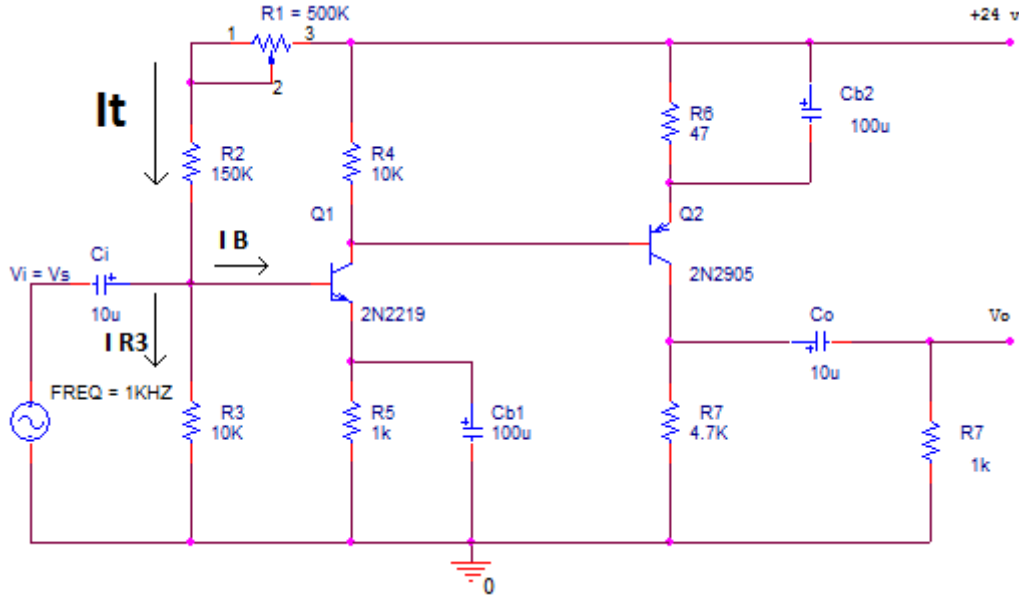
2 نکته در FET :

نکته 1) گذاشتن خازن بای پس C_S باعث افزایش بهره ولتاژ و بهره جریان شده ولی اثری در Z_{in} ندارد .

نکته 2) افزایش R_L ، باعث تغییر خط بار ac و باعث افزایش بهره ولتاژ می شود ولی کاهش بهره جریان را همراه خواهد داشت .

آزمایش 6 : کوپلاژ مستقیم :

تحلیل DC : $(V_{CE2} = 12\text{ v})$, $\beta_1 = 4$, $\beta_2 = 260$



شکل 1-1

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CE2}}{R_7 + R_6} = \frac{24 - 12}{4.7\text{ k}\Omega + 47\Omega} = \frac{12\text{ v}}{4747\Omega} = 2.52\text{ mA}$$

$$V_{E2} = V_{CC} - R_{E2}I_{E2} = 24 - (47 \times 2.52\text{ mA}) = 23.88\text{ v} \cong 23.9\text{ v}$$

$$V_{B2} = V_{E2} - 0.7 = 23.88 - 0.7 = 23.2\text{ v} , \quad V_{C1} = 23.2\text{ v}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = \frac{2.52\text{ mA}}{260} = 9.7\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_{C1}} + I_{B2} = \frac{24 - 23.2}{10\text{ k}} + 9.7\text{ }\mu\text{A} = \frac{0.8\text{ v}}{10\text{ k}} + 9.7\text{ }\mu\text{A} = 89.7\text{ }\mu\text{A}$$

$$r_{e1} = \frac{25\text{ mv}}{89.7\text{ }\mu\text{A}} = 278\Omega , \quad r_{e2} = \frac{25\text{ mv}}{2.52\text{ mA}} = 10\Omega$$

$$V_{E1} = V_{R5} = 1\text{ k} \times 89.7\text{ }\mu\text{A} = 89.7\text{ mv} = 0.089\text{ v}$$

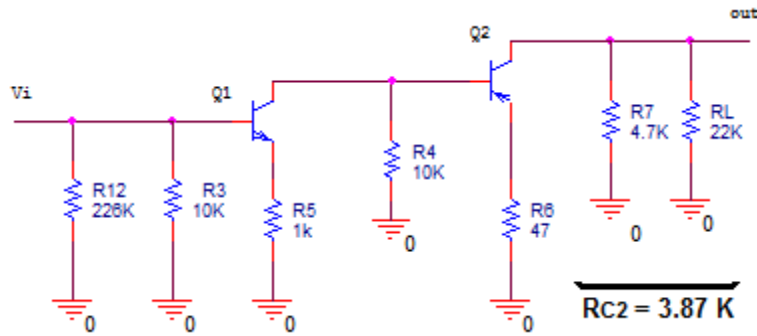
$$V_{B1} = 0.7 + 0.089 = 0.789\text{ v} \cong 0.8\text{ v}$$

$$V_{R2+R1} = V_{CC} - V_{B1} = 24 - 0.8 = 23.2\text{ v}$$

$$I_t = I_{R3} + I_{B1} = \frac{0.8\text{ v}}{10\text{ k}} + \frac{89.7\text{ }\mu\text{A}}{4} = 80\text{ }\mu\text{A} + 22.4\text{ }\mu\text{A} = 102.4\text{ }\mu\text{A}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{I_t} = \frac{24 - 0.8}{102.4\text{ }\mu\text{A}} = 226\text{ k}\Omega$$

الف (بدون خازن باي پس ، با مقاومت بار :



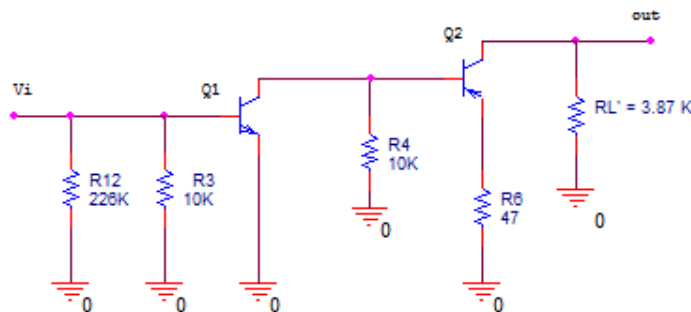
شکل 1-2

$$A_{V2} = -\frac{\sum R_{C2}}{\sum R_{E2}} = -\frac{R_{C2} || R_L}{R_{E2} + r_{e2}} = -\frac{3.87 \text{ k}}{47 \Omega + 10 \Omega} \cong -68$$

$$A_{V1} = -\frac{\sum R_{C1}}{\sum R_{E1}} = -\frac{R_{C1} || \beta_2(r_{e2} + R_{E2})}{r_{e1} + R_{E1}} = -\frac{10 \text{ k} || 260(10 + 47)}{1278 \Omega} = -\frac{5970 \Omega}{1278 \Omega} \cong -4.67$$

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2} = -68 \times -4.67 = 317$$

با خازن Cb1 و RL (بدون خازن cb2):



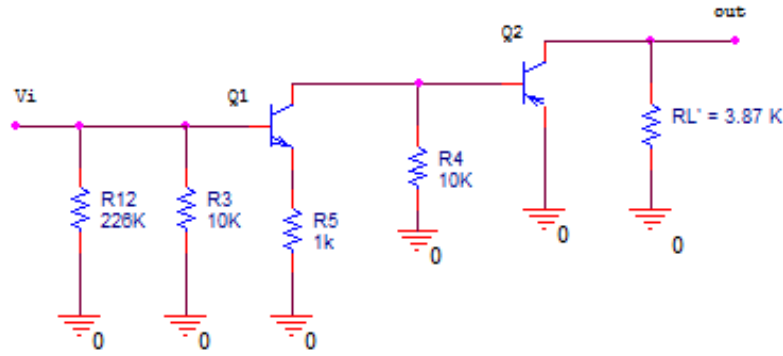
شکل 1-3

$$A_{V2} = -\frac{\sum R_{C2}}{\sum R_{E2}} = -\frac{R_{C2} || R_L}{R_{E2} + r_{e2}} = -\frac{3.87 \text{ k}}{47 + 10} \cong -68$$

$$A_{V1} = -\frac{\sum R_{C1}}{r_{e1}} = -\frac{R_{C1} || \beta_2(r_{e2} + R_{E2})}{r_{e1}} = -\frac{10 \text{ k} || 260(10 + 47)}{278 \Omega} = -\frac{5970 \Omega}{278 \Omega} = -21.47$$

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2} = -68 \times -21.47 = 1460$$

با خازن Cb2 و RL (بدون خازن cb1) :



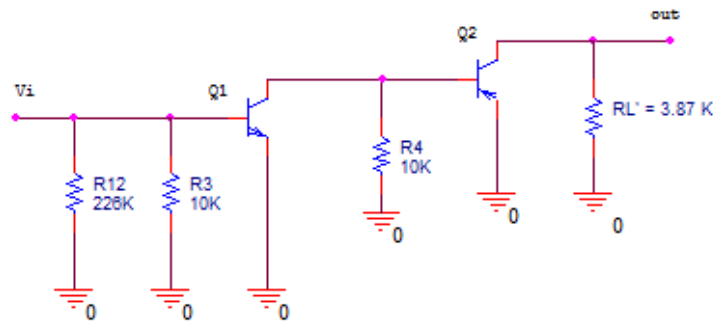
شکل 1-4

$$A_{V2} = -\frac{\sum R_{C2}}{r_{e2}} = -\frac{R_{C2} || R_L}{r_{e2}} = -\frac{3.87 \text{ k}}{10} = -387$$

$$A_{V1} = -\frac{\sum R_{C1}}{\sum R_{E1}} = -\frac{R_{C1} || \beta_2(r_{e2})}{r_{e1} + R_{E1}} = -\frac{10 \text{ k} || 260(10)}{1278 \Omega} = -\frac{2060 \Omega}{1278 \Omega} = -1.61$$

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2} = -387 \times -1.61 = 623$$

با خازن Cb1 و Cb2 و RL :

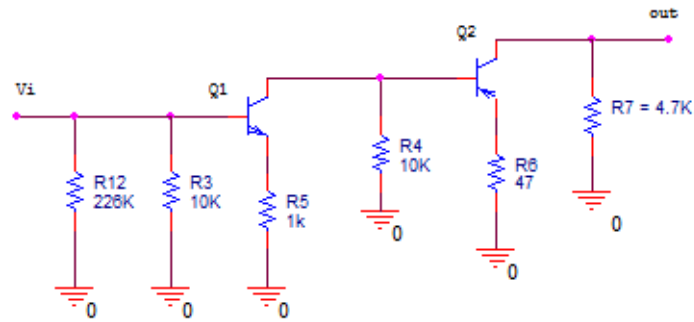


شکل 1-5

$$A_{V2} = -\frac{\sum R_{C2}}{r_{e2}} = -\frac{R_{C2} || R_L}{r_{e2}} = -\frac{3.87 \text{ k}}{10 \Omega} = -387$$

$$A_{V1} = -\frac{\sum R_{C1}}{r_{e1}} = -\frac{R_{C1} || \beta_2(r_{e2})}{r_{e1}} = -\frac{10 \text{ k} || 260(10)}{278 \Omega} = -\frac{2060 \Omega}{278 \Omega} = -7.41$$

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2} = -387 \times -7.41 = 2868$$



شکل 1-6

$$A_{V2} = -\frac{R_{C2}}{r_{e2} + R_{E2}} = -\frac{4.7 \text{ k}}{10 + 47} = -82.45$$

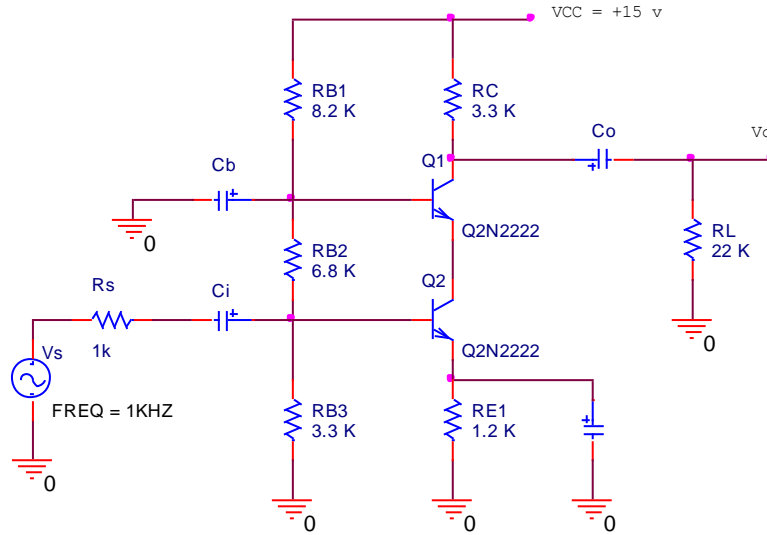
$$A_{V1} = -\frac{\sum R_{C1}}{\sum R_{E1}} = -\frac{R_{C1} || \beta_2(r_{e2} + R_{E2})}{R_{E1} + r_{e1}} = -\frac{10 \text{ k} || 260(10 + 47)}{1278 \Omega} = -\frac{5970 \Omega}{1278 \Omega} = -4.67$$

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2} = -82.45 \times -4.67 = 385$$

جدول خلاصه :

	A_{V1}	A_{V2}	A_{VT}
بدون RL و خازن بای پس	4.67	82.45	385
با RL ، بدون خازن بای پس	4.67	68	317
با RL ، با Cb1	21.47	68	1460
با RL ، با Cb2	1.61	387	623
با RL ، با Cb1 و Cb2	7.41	387	2868

آزمایش 6 : تقویت کننده ی آبخاری (کاسکود CASCODE) ، $\beta_1 = 150$ ، $\beta_2 = 100$ ،



شکل 1-7

$$V_{B1} = \frac{R_{B3} \times V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2} + R_{B3}} = \frac{15 \times 3.3}{8.2 + 6.8 + 3.3} = 2.7 \text{ v}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2} = \frac{V_B - 0.7}{R_{E1}} = \frac{2}{1.2 \text{ K}} = 1.66 \text{ mA}$$

$$V_{B2} = \frac{15 \times (6.8 + 3.3)}{(8.2 + 6.8 + 3.3)} = \frac{151.5}{18.3} = 8.27 \text{ v}$$

$$V_{C1} = V_{E2} = 8.27 - 0.7 = 7.57 \text{ v}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - (R_C \times I_C) = 15 - (3.3 \text{ K} \times 1.66 \text{ m}) = 9.7 \text{ v}$$

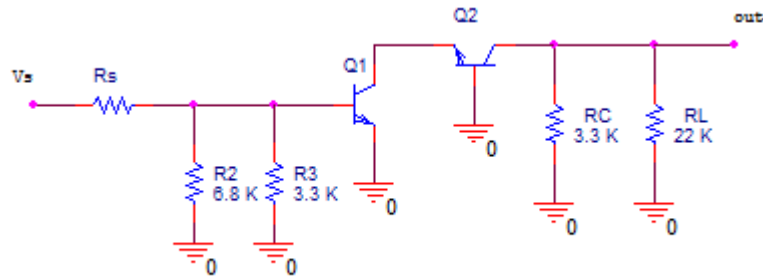
$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 7.57 - 2 = 5.57$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 9.5 - 7.57 = 1.95 \text{ v}$$

V	V_C	V_B	V_E	V_γ	V_{CE}	I_C	β
Q1	7.57	2.7	5.57	0.7	5.57	1.66 m	150
Q2	9.5	7.57	1.95	0.7	1.95	1.66 m	100

$$r_{e1} = \frac{25 \text{ m}}{I_{C1}} = \frac{25 \text{ m}}{1.66 \text{ m}} = 15 \Omega , \quad r_{e2} = \frac{25 \text{ m}}{1.66} = 15 \Omega$$

$$\text{نرم افزار} \begin{cases} f_L = 85 \text{ HZ} \\ f_H = 3.9 \text{ MHZ} \end{cases}$$



شکل 1-8

$$r_{\pi 1} = 2250 \Omega \quad \beta_1 = 150 \quad r_{e1} = 15 \Omega \quad C.E = Q1$$

$$r_{\pi 2} = 1500 \Omega \quad \beta_2 = 100 \quad r_{e2} = 15 \Omega \quad C.B = Q2$$

$$AV_1 = \frac{\sum RC}{\sum RE} = \frac{r_{e2}}{r_{e1}} = \frac{15}{15} = 1$$

$$\text{بدون بار } AV_2 = \frac{RC}{r_{e2}} = \frac{3300}{15} = 220$$

$$\text{با بار } AV_{L2} = \frac{RC'}{r_{e2}} = \frac{3.3k \parallel 22k}{15 \Omega} = \frac{2869 \Omega}{15} = 191$$

$$\text{بدون بار } AV_t = 220 \times 1 = 220$$

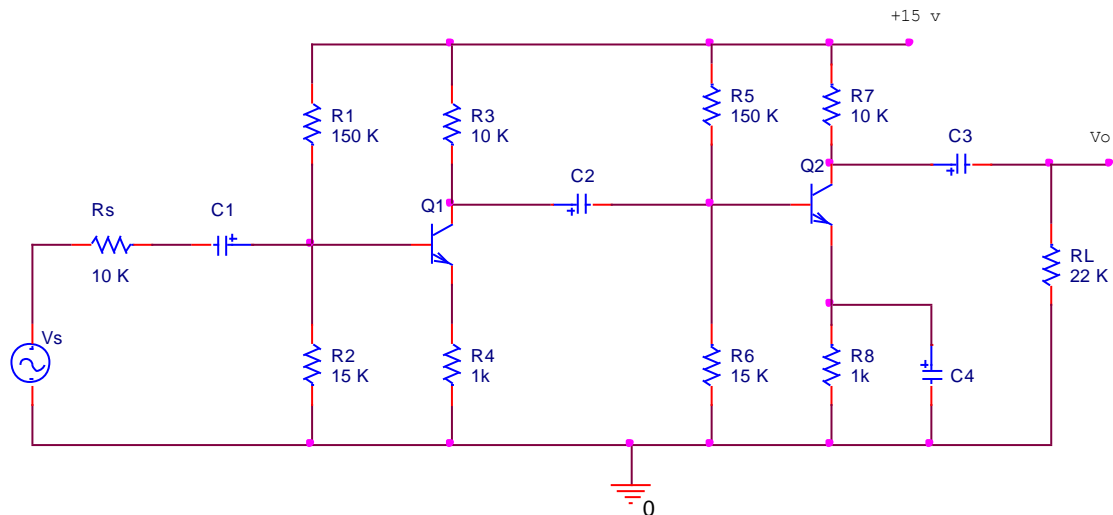
$$\text{با بار } AV_{Lt} = 191 \times 1 = 191$$

$$Z_{in} = R2 \parallel R3 \parallel r_{\pi 1} = 6.8 K \parallel 3.3 K \parallel 2.25 K = 1110 \Omega$$

$$Z_o = (RC \parallel r_o) \approx 3.3 K$$

$$AI = \frac{AV_L \times Z_{in}}{RL} = \frac{191 \times 1.11 K}{22 K} = 9.6$$

خلاصه نتایج تئوری بدست آمده						
AV_1	AV_2	AV_t	AV_{Lt}	Z_{in}	Z_o	AI
1	220	220	191	1.11 K	3.3 K	9.6



شکل 1-1

1 - تحلیل ac :

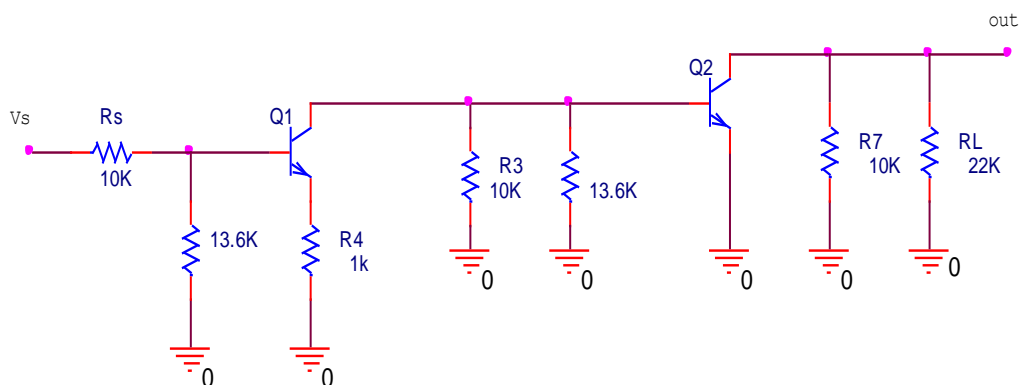
الف - با R_L و خازن C_4 :

$$I_{C1} = I_{C2} = 0.7mA$$

$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{25mV}{0.7mA} = 35.7$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 278$$

$$r_{\pi1} = r_{\pi2} = \beta \times r_e = 278 \times 35.7 = 9.9K\Omega \approx 10K\Omega$$



شکل 1-2

$$AV_{L2} = \frac{\sum RC'}{\sum RE2} = \frac{6875}{r_{e2}} = \frac{6875}{35.7} = 192.5$$

$$AV_1 = \frac{\sum RC_1}{\sum RE_2} = \frac{10^K \parallel 13.6^K \parallel 10^K}{1^K + 36} = \frac{3.6K}{1.036K} = 3.5$$

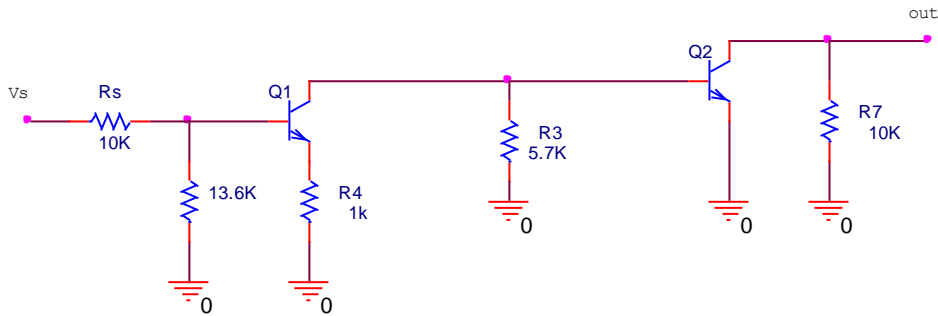
$$AV_{LT} = AV_1 \times AV_{L2} = 192.5 \times 3.5 = 673.75$$

$$Z_{in} = 13.6 K \parallel (\beta_1(1 K + 35.7)) = 13.6 K \parallel (278 K + 10 K) = 13.6 K \parallel 280 K = 13 K$$

$$Z_O = (R_C \parallel r_o) = R_C = 10 K$$

$$A_I = \frac{AV_{LT} \times Z_{in}}{R_L} = \frac{673.75 \times 13 K}{22 K} = 398$$

ب - بدون RL و با خازن C4 :



شکل 1-3

$$Z_{in} = 13 K$$

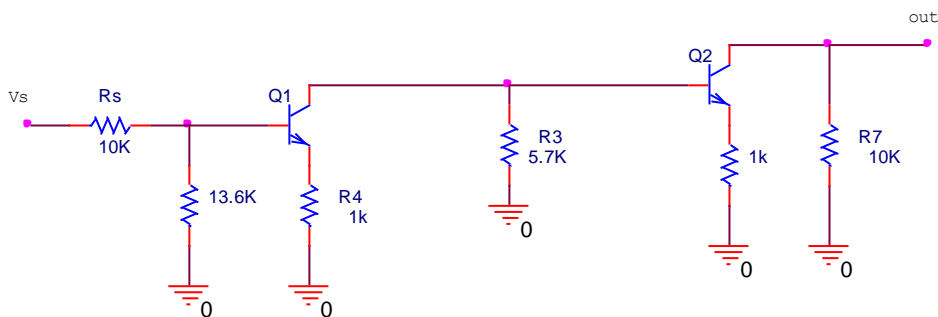
$$Z_O = 10 K$$

$$AV_2 = \frac{10 K}{36} = 277$$

$$AV_1 = \frac{5.7 K \parallel r_{\pi 2}}{R_{E1} + r_{e1}} = \frac{5.7 k \parallel 10 k}{1 k + 36} = 3.5$$

$$AV_T = 970$$

ج - بدون RL و خازن C4 :



شکل 1-4

$$Z_{in} = 13 K$$

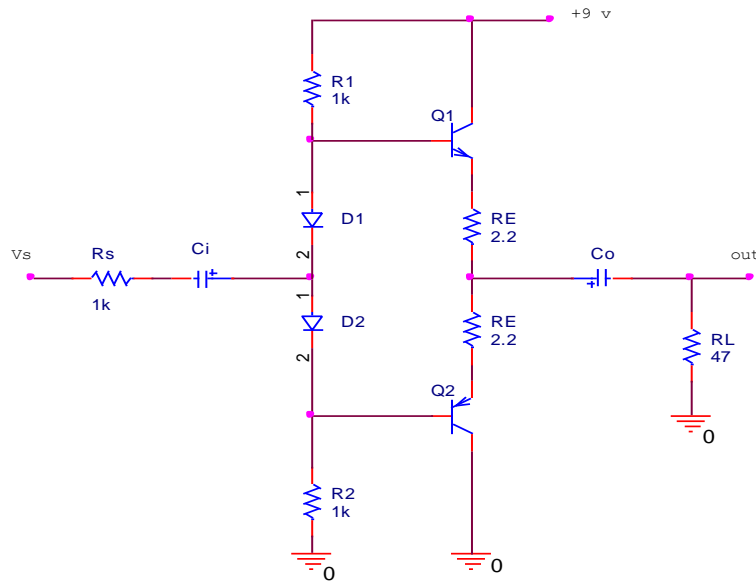
$$Z_o = 10 K$$

$$AV_2 = \frac{10 K}{1K + 36} = 9.65$$

$$AV_1 = \frac{5.7 K \parallel (\beta_2(1 K + 36))}{1K + 36} = \frac{5.7 K \parallel 280 K}{1.036 K} = 5.58$$

$$AV_T \approx 54$$

AV_1		AV_2		AV_T		
تئوری	نرم افزار	تئوری	نرم افزار	تئوری	نرم افزار	وضعیت مدار
3.5	4	192.4	137	673.75	541	الف - با RL و C4
3.5	4	277	207	970	802	ب - بدون RL و با C4
5.58	5.4	9.65	9.65	54	52	ج - بدون RL و C4



شکل 1-1

تحلیل ac :

$$V_{B2} = \frac{(V_{CC} - 2V_Y)}{(R_1 + R_2)} \times R_2 = \frac{(9 - 1.4)}{2K} \times 1K = 3.8V$$

$$V_{B1} = V_{B2} + 2V_Y = 3.8 + 1.4 = 5.2$$

$$V_{C1} = 9V, \quad V_{E1} = V_{B1} - 0.7 = 5.2 - 0.7 = 4.5V$$

$$V_{C2} = 0, \quad V_{E2} = V_{B2} + 0.7 = 3.8 + 0.7 = 4.5V$$

$$I_R = I_D = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{R} = \frac{9 - 5.2}{1K} = 3.8mA$$

نکته 1 :

در صورتی که ترانزیستور ها کاملا مشابه باشند ($\beta_1 = \beta_2$) و V_Y دیود ها با ولتاژ V_{BE} ترانزیستور ها یکسان باشد $I_{C1} = I_{C2} = 0$ خواهد شد. ولی از آنجا که شرایط غیر ایده آل می باشد و β ها با یکدیگر برابر نمی باشند، جریانی از ترانزیستور ها عبور می نماید که بطور تقریبی برابر است با :

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_D}{5} = \frac{3.8m}{5} = 0.76mA$$

نکته 2 :

از آنجایی که این تقویت کننده ها ، از نوع سیگنال بزرگ می باشند (Large signal) ، در صورت وجود سیگنال جریان ترانزیستور ها تغییر می کند ، بطوری که بعد از اعمال سیگنال جریان کلکتور برابر 10 mA می شود .

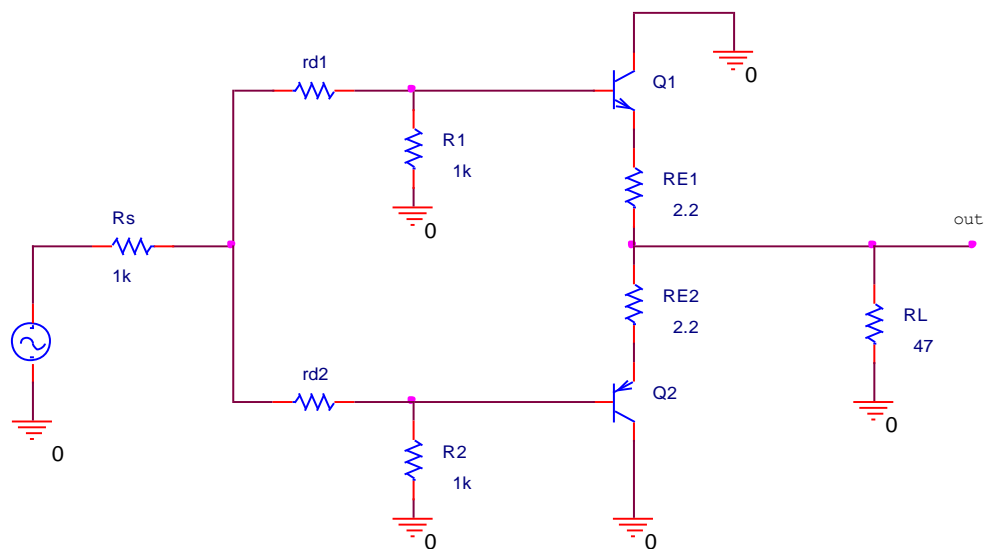
$$I_C = 10 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{25 \text{ mV}}{10 \text{ mA}} = 2.5 \Omega \quad , \quad \beta_1 = \beta_2$$

نکته 3 :

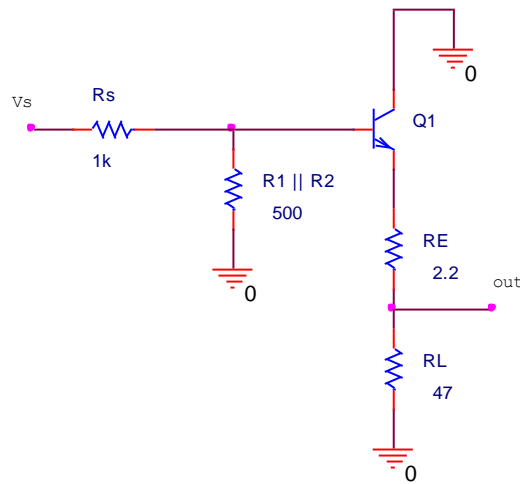
با توجه به کم بودن مقاومت دینامیکی دیود می توان از آن صرف نظر نمود .

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{25 \text{ mV}}{3.8 \text{ mA}} = 6.8 \Omega$$



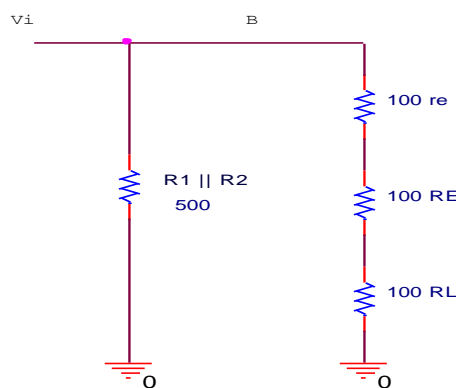
شکل 1-2

چون هر ترانزیستور کامپلی متتاری تنها در یک نیم سیکل روشن است ، پس می توان در مدار معادل فقط یک ترانزیستور قرار داد .



شکل 1-3

محاسبه ی امپدانس ورودی :



شکل 1-4

$$Z_{in} = \frac{R_1}{2} \parallel \beta_1 (r_e + R_E + R_L)$$

$$Z_{in} = 500 \parallel 100 (2.5 + 2.2 + 47)$$

$$Z_{in} = 0.5 K \parallel 5.17 K = 455 \Omega$$

محاسبه ی امپدانس خروجی :

$$r_{\pi} = \beta r_e = 100 \times 2.5 = 250 \Omega$$

$$Z_O = \left[\left(\frac{r_{\pi} + \frac{R}{2}}{\beta} \right) + R_E \right]$$

$$Z_o = \left[\left(\frac{250 + 500}{100} \right) + 2.2 \right]$$

$$Z_o = 7.5 + 2.2 = 9.7 \Omega$$

محاسبه ی بهره ی ولتاژ با بار :

$$AV_L = \frac{R_L'}{r_e + R_L'} = \frac{R_E' \parallel R_L}{r_e + (R_E' \parallel R_L)}$$

$$AV_L = \frac{9.7 \parallel 47}{2.5 + (9.7 \parallel 47)} = \frac{8}{2.5 + 8} = 0.76$$

محاسبه ی بهره ی جریان :

$$AI = \frac{AV_L \times Z_{in}}{R_L} = \frac{0.76 \times 455}{47} = 7.35$$

محاسبه ی بهره ی توان :

$$AP = AV_L \times AI = 0.76 \times 7.35 = 5.6$$

محاسبه ی راندمان ایده آل (کلاس AB) :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{\frac{V_{CC} \times I_m}{2}}{\frac{2 \cdot V_{CC} \times I_m}{\pi}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{V_{CC}}{V_{CC}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \times 100 = 78.5 \%$$

V_s	V_i	V_{OFL}	V_{ONL}	AV_L	AI	AP	Z_{in}	Z_o	
6.51	2.06	1.79	2.15	0.85	6.3	5.3	483	9.45	نرم افزار
				0.76	7.35	5.6	455	9.7	تنوری

محاسبه ی راندمان با نرم افزار :

$$I_1 = 4.65 \text{ mA}$$

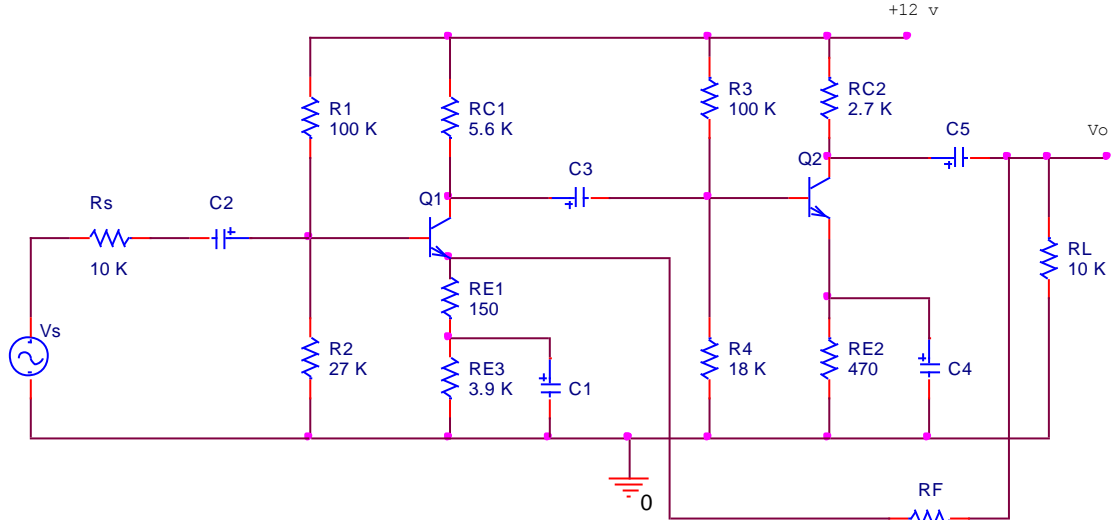
$$I_2 = 22 \text{ mA}$$

$$I_S = 17.35 \text{ mA}$$

$$P_{CC} = 156.15 \text{ mW}$$

$$P_o = 78.1$$

$$\eta = 50 \%$$



شکل 1-1

الف - تحلیل DC :

$$V_{B1} = \frac{12 \times 27}{100 + 27} = 2.55 \text{ V} , \quad V_{E1} = 2.55 - 0.7 = 1.85 \text{ V}$$

$$V_{CE1} = 12 - (5.6 \text{ K} + 4.050) \times 0.456 \text{ m} = 7.6 \text{ V}$$

$$\beta_1 = 200$$

$$I_{C1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = \frac{1.85}{4050} = 0.456 \text{ mA}$$

$$r_{e1} = \frac{25 \text{ m}}{I_{C1}} = \frac{25 \text{ m}}{0.456} \approx 55 \Omega$$

$$r_{\pi1} = \beta_1 \times r_{e1} = 11 \text{ K}\Omega$$

$$V_{B2} = \frac{12 \times 18}{100 + 18} = 1.83 \text{ V} , \quad V_{E2} = 1.83 - 0.7 = 1.13 \text{ V}$$

$$V_{CE2} = 12 - (2.7 \text{ K} + 0.47 \text{ K}) \times 2.4 \text{ m} = 4.4 \text{ V}$$

$$\beta_2 = 200$$

$$I_{C2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 2.4 \text{ mA}$$

$$r_{e2} = \frac{25 \text{ m}}{I_{C2}} = \frac{25 \text{ m}}{2.4 \text{ m}} = 10.5 \Omega$$

$$r_{\pi2} = \beta_2 \times r_{e2} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\beta_1 = \frac{480 \mu}{1.79 \mu} = 268 \quad , \quad \beta_2 = \frac{2.24 m}{7.54 \mu} = 297$$

$$r_{\pi 1} = 14.7 k\Omega \quad , \quad r_{\pi 2} = 3.1 k\Omega$$

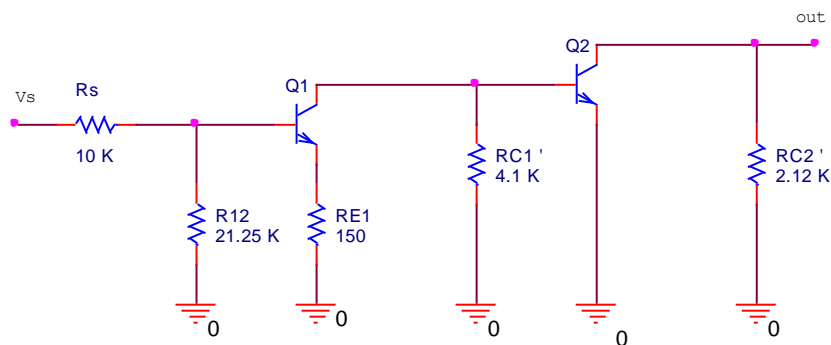
تحلیل ac : بدون فیدبک

$$R_{12} = 100 K \parallel 27 K = 21.25 K\Omega$$

$$R'_{C1} = 5.6 K \parallel 100 K \parallel 18 K = 100 K \parallel 4.27 K = 4.1 K \parallel r_{\pi 2} = 1.76 k$$

$$R'_L = R_{C2} \parallel R_L = 2.7 K \parallel 10 K = 1.33 K$$

مدار معادل ac با مقاومت R_L و خازن $C1$ ، $C4$ و بدون مقاومت R_f :



شکل 1-2

$$AV_2 = \frac{R_C}{r_{e2}} = \frac{2.7 k}{10.5} = 257 \quad \text{بدون بار}$$

$$AV_{L2} = \frac{R'_L}{r_{e2}} = \frac{1.33 k}{10.5} = 126 \quad \text{با بار}$$

$$AV_1 = \frac{R_{C1}'}{R_E + r_{e1}} = \frac{1.76 K}{150 + 55} = 8.58$$

$$AV_{LT} = AV_1 \times AV_{L2} = 1081 \quad \text{با بار}$$

$$AV_T = AV_1 \times AV_2 = 2205 \quad \text{بدون بار}$$

$$\beta_1 = 268 \quad \text{نرم افزار}$$

$$Z_{in} = R_{12} \parallel \beta_1 (r_{e1} + R_{E1}) = 21.25 K \parallel 268 (55 + 150) = 21.25 K \parallel 27.33 K = 15.32 K$$

$$Z_O = R_C \parallel r_o \approx R_C = 2.7 K$$

$$AV_S = AV_{LT} \times \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_S} = 1081 \times \frac{15.32}{15.32 + 10} = 654$$

$$AI = AV_{LT} \times \frac{Z_i}{R_L} = 1081 \times \frac{15.32 K}{10 K} \approx 1656$$

محاسبه ی R_f :

$$1 - A = AV_T = 2205 \quad \text{بهره ی ولتاژ بدون فیذبک}$$

$$2 - K = \frac{A}{AV_f} = \frac{2205}{200} = 11$$

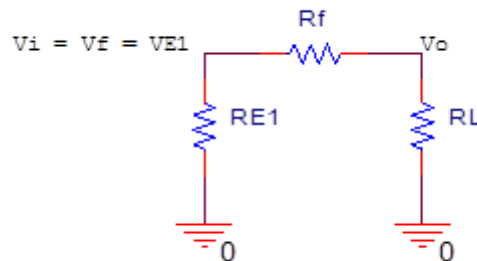
$$3 - K = 1 + \beta A \quad \text{توپولوژی فیذبک}$$

$$\beta = \frac{K - 1}{A} = \frac{10}{2205} = 4.53 m$$

$$\beta = \frac{R_{E1}}{R_f + R_{E1}} \quad \text{ضریب تضعیف شبکه ی فیذبک}$$

$$R_{E1} = \beta R_f + \beta R_{E1}$$

$$4 - R_f = \frac{(1 - \beta)R_{E1}}{\beta} = \frac{(1 - 4.53 m) \times 150}{4.53 m} = 32.96 K\Omega \quad st \rightarrow 33 k\Omega$$



شکل 1-3

$$V_O = V_{E1} + V_{Rf}$$

$$V_i = V_{RE1}$$

$$AV = \frac{V_o}{V_i}$$

$$\beta = \frac{V_i}{V_o} = \frac{R_{E1}}{R_f + R_{E1}}$$

محاسبه با فیدبک (تئوری) :

$$K = 11$$

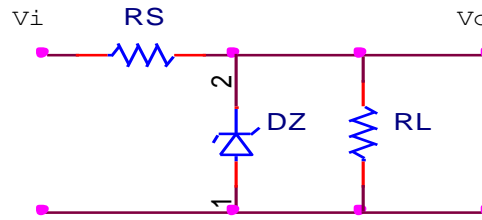
$$1) AV_f = \frac{AV}{K} = \frac{2205}{11} = 200$$

$$2) Z_{if} = Z_i \times K = 15.32 K \times 11 = 168.52 K$$

$$3) Z_{of} = \frac{Z_o}{K} = \frac{2.7 K}{11} = 245 \Omega$$

$$4) AI_f = \frac{AI}{K} = \frac{1656}{11} = 150.54$$

V_L	6 v
I_L	10 ma
V_{in}	10~16 v
I_{Zmin}	1 mA



مطلوب است :

$$R_S , P_{RS} , V_Z , I_Z , P_Z , R_L , R_{Lmin}$$

$$1) V_Z = V_L = 6 V , V_Z \text{ St.} \rightarrow 6.2 v$$

$$2) R_S = \frac{(V_{i \min} - V_Z)}{I_L + I_{Zmin}} = \frac{10 - 6.2}{10 m + 1 m} = 345 \Omega \text{ St.} \rightarrow 330 \Omega$$

$$3) P_{RS} = \frac{(V_{i \max} - V_Z)^2}{R_S} = \frac{(16 - 6.2)^2}{330} = 291 mW \text{ St.} \rightarrow 0.5 W$$

$$4) P_Z = \frac{(V_{i \max} - V_Z) V_Z}{R_S} = \frac{(16 - 6.2) 6.2}{330} = 184 mW \text{ St.} \rightarrow 0.25 W$$

$$5) I_{Z \max} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{0.25}{6.2} = 40.3 mA$$

$$6) R_L = \frac{V_Z}{I_L} = \frac{6.2}{10 m} = 0.62 K\Omega$$

$$7) R_{L \min} = \frac{V_Z}{I_{Z \max} - I_{Zmin}} = \frac{6.2}{(40 - 1)m} = 0.158 k\Omega \text{ St.} \rightarrow 180 \Omega$$

$$V_i = 8.5 \text{ v}$$

$$V_Z = 6.2 \text{ v}$$

$$I_{Zmin} = 4.4 \text{ mA}$$

V_i	2	4	6	7	8	9	10	12	14	16	18
V_o	1.7	3.5	5.2	6.07	6.18	6.2	6.22	6.23	6.24	6.25	6.26

R_L	∞	100 K	10 K	4.7 K	1 K	470	330	220	180	100
I_L	0	62.5 μ	625 μ	1.33m	6.24m	13.2m	18.8m	25.5m	27.5m	32.6m
V_o	6.25	6.25	6.25	6.25	6.24	6.22	6.2	5.6	5	3.2
I_Z	23.5 m	23.4 m	22.9 m	22.2 m	17.3 m	10.3 m	4.85 m	11.7 p	100 p	6.5 p

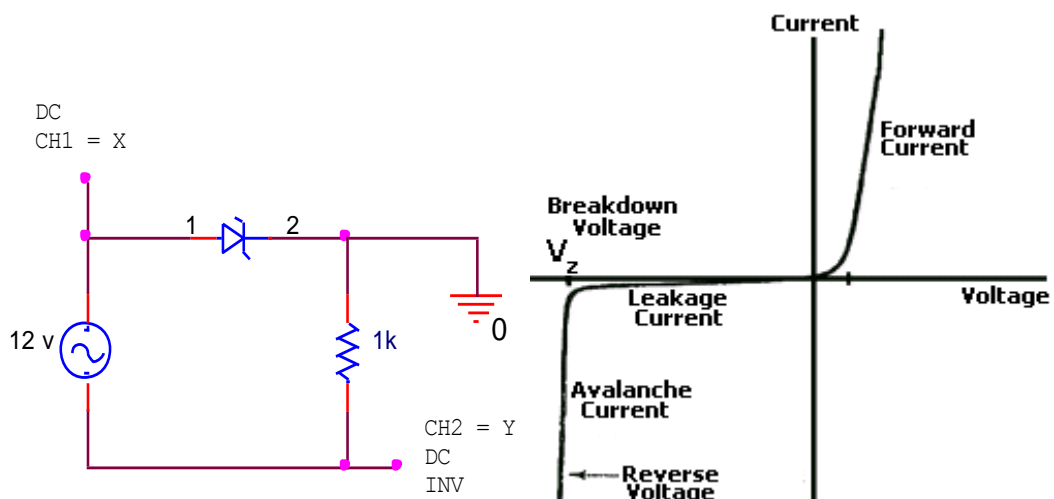
$$R_L = 271\Omega$$

$$V_o = 6.16 \text{ v}$$

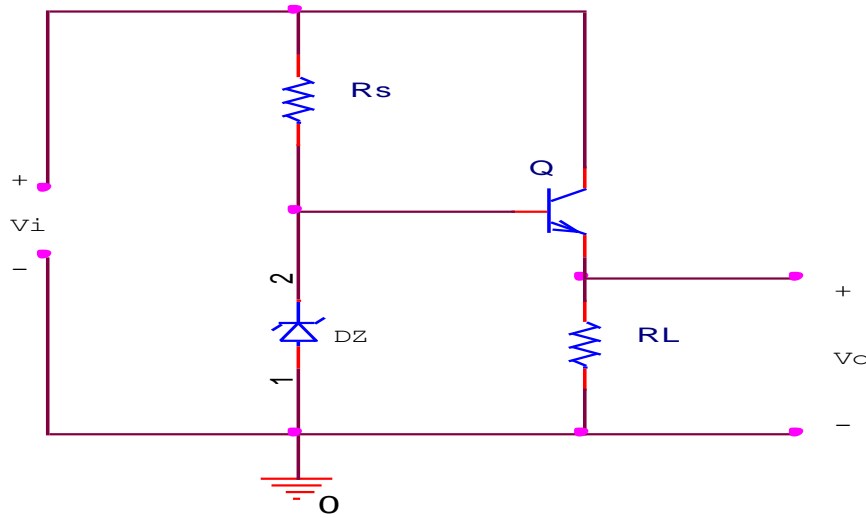
$$I_{Zmin} = 1.04 \text{ mA}$$

$$I_L = 22.7 \text{ mA}$$

رسم منحنی مشخصه ی ولت آمپر دیود زنر:



V_L	5.5
I_{Lmax}	100 mA
V_i	10~18 v
I_{Zmin}	1 mA
hfe_{min}	20
Q	2N2219 OR BC 140



$$1) R_{Lmin} = \frac{V_o}{I_{Lmax}} = \frac{5.5}{100} = 55 \Omega$$

$$2) I_B = \frac{I_L}{1+\beta} = \frac{100m}{1+20} = 4.76 mA$$

$$3) V_o = V_Z - V_{BE} \Rightarrow V_Z = V_o + V_{BE} = 5.5 + 0.7 = 6.2 v \quad St. \rightarrow 6.2 v$$

$$4) R_S = \frac{V_{i min} - V_Z}{I_{Zmin} + \frac{I_L}{hfe_{min}}} = \frac{10 - 6.2}{1m + 5m} = 633 \Omega \quad St. \rightarrow 620 \Omega$$

$$5) P_{RS} = \frac{(V_{i max} - V_Z)^2}{R_S} = \frac{(18 - 6.2)^2}{0.62 K} = 224 mW \quad St. \rightarrow 250 mW$$

$$6) P_Z = \frac{(V_{i max} - V_Z)V_Z}{R_S} = \frac{(18 - 6.2)6.2}{0.62 K} = 118 mW \quad St. \rightarrow 250 mW$$

$$7) P_T = V_{CE} \times I_C = (V_{i max} - V_o) I_{Lmax} = (18 - 5.5) \times 100 m = 1.25 W$$