

الکترونیک ۱

جلسه چهارم

مدرس : سجاد قراگوزلو حصاری

دانشکده فنی انقلاب اسلامی

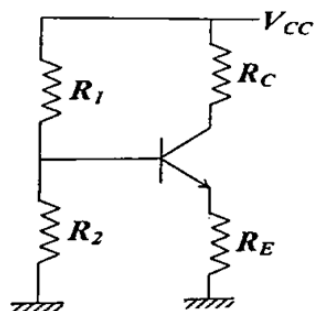
الف) احتساب شیب خط بار dc :

$$m_{dc} = \frac{-1}{\text{مجموع مقاومتهای dc در حلقه خروجی از } V_{CC} \text{ به سمت } -V_{EE}}$$

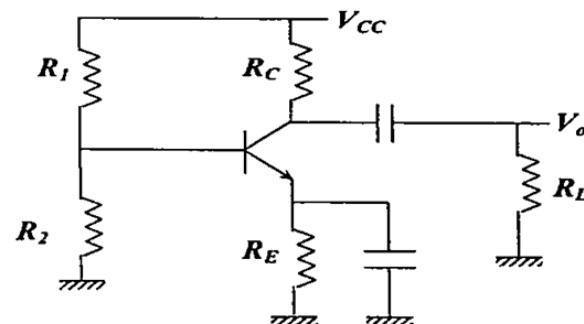
ب) احتساب شیب خط بار ac :

$$m_{ac} = \frac{-1}{\text{مجموع مقاومتهای ac در حلقه خروجی از } V_{CC} \text{ به سمت } -V_{EE}}$$

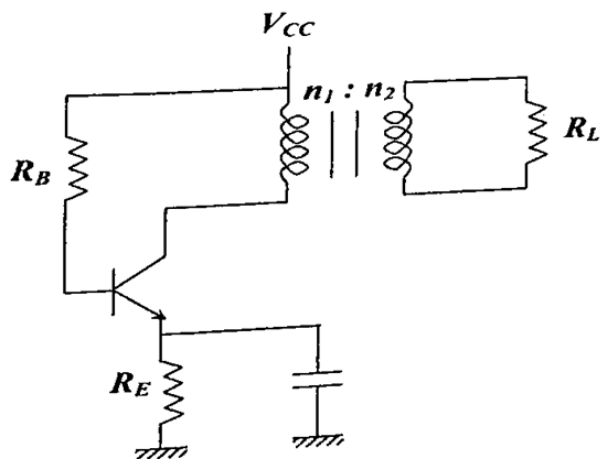
به عنوان مثال در مدارات زیر شیب خط بار dc و ac به صورت زیر می باشد :



$$m(ac) = \frac{-1}{R_C + R_E}, \quad m(dc) = \frac{-1}{R_C + R_E}$$



$$m(ac) = \frac{-1}{(R_C \parallel R_L)}, \quad m(dc) = \frac{-1}{R_C + R_E}$$



$$m(dc) = \frac{-1}{R_E}, \quad m(ac) = \frac{-1}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot R_L}$$

تحلیل AC ترانزیستور BJT

انواع مدار معادل ترانزیستور BJT

(۱) مدار معادل هایبرید :

$$h_{12} = h_r = \left. \frac{V_i}{V_o} \right|_{I_i=0}$$

نسبت ولتاژ انتقال معکوس مدار باز

$$h_{11} = h_i = \left. \frac{V_i}{I_i} \right|_{V_o=0}$$

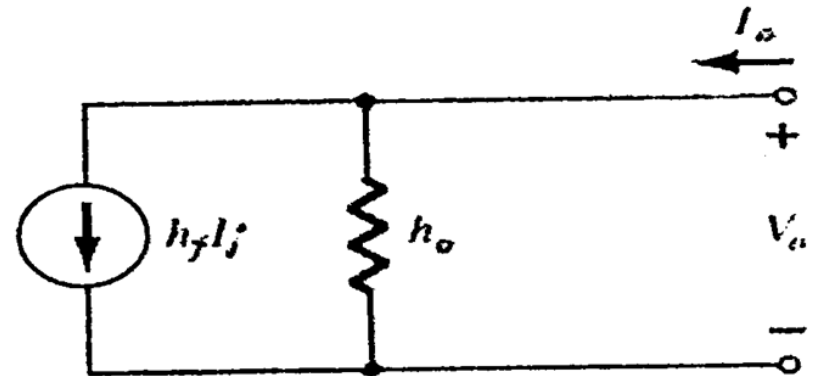
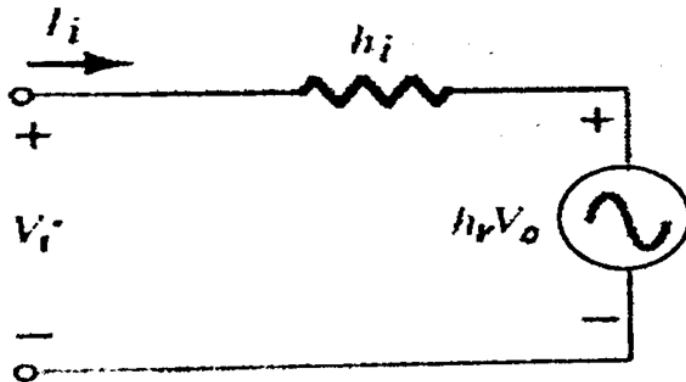
امپدانس ورودی اتصال کوتاه

$$h_{22} = h_o = \left. \frac{I_o}{V_o} \right|_{I_i=0}$$

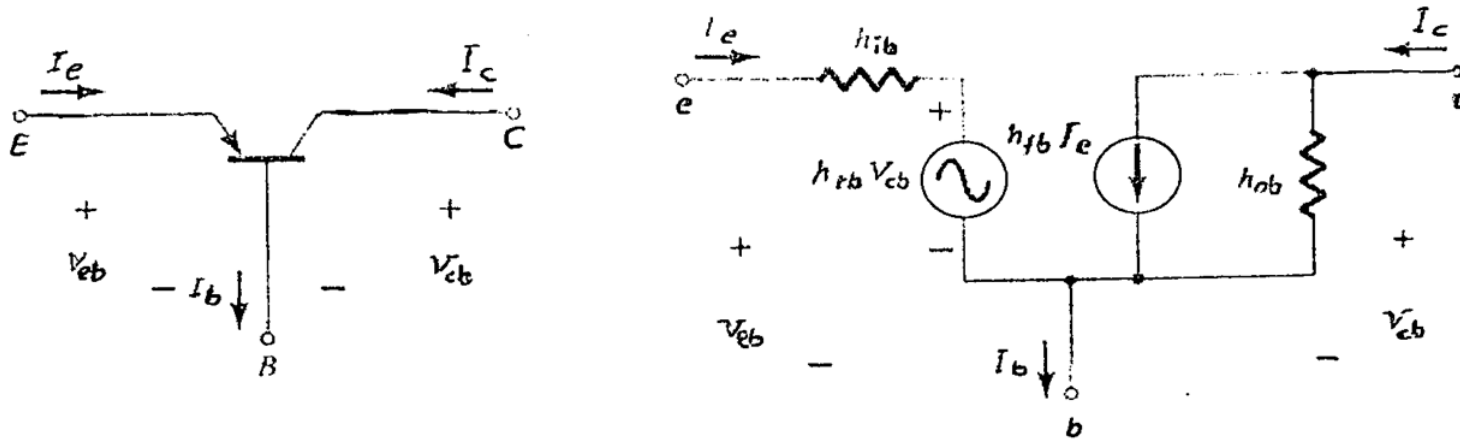
هدایت خروجی

$$h_{21} = h_f = \left. \frac{I_o}{I_i} \right|_{V_o=0}$$

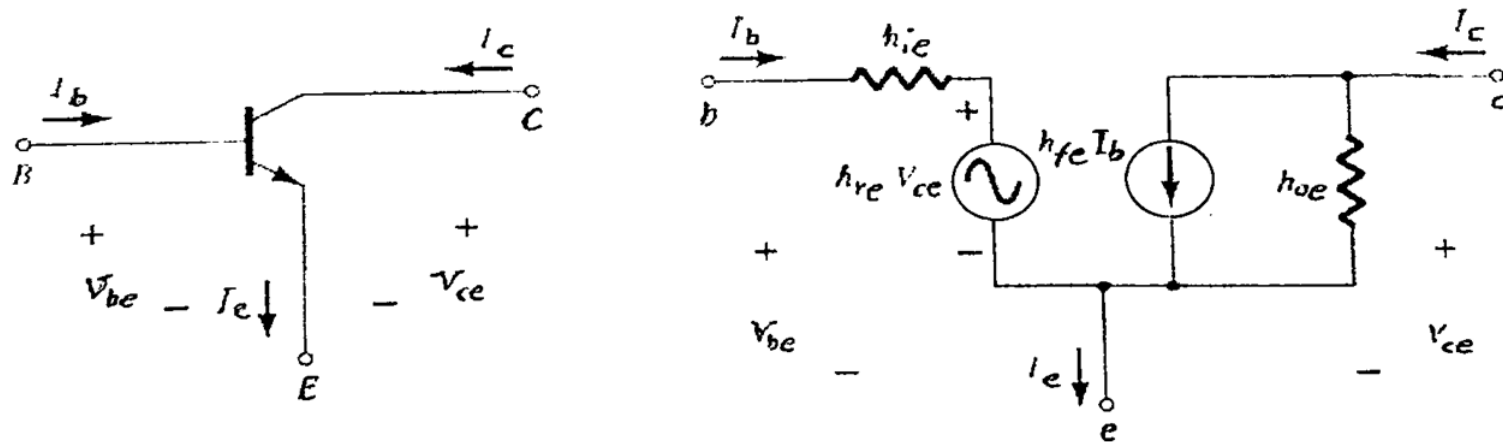
نسبت انتقال جریان مستقیم



مدار معادل هایبرید ترانزیستورهای npn و pnp برای گرایش امیتر مشترک و بیس مشترک به صورت زیر است.

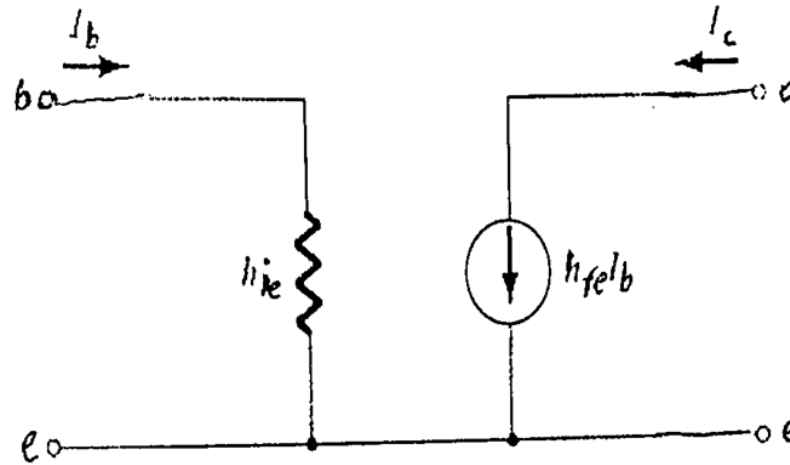


«مدار معادل در حالت بیس مشترک»



«مدار معادل در حالت امیتر مشترک»

مدار معادل ساده شده برای حالت امیتر مشترک به صورت زیر است :



روابط موجود :

در گرایش بیس مشترک داریم :

در گرایش کلکتور مشترک داریم :

$$r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

$$h_{ic} = h_{ie} = h_{fe} \cdot r_e$$

$$h_{fc} = -(\beta + h_{fe})$$

$$h_{rc} = 1 - h_{re}$$

$$h_{oc} = h_{oe}$$

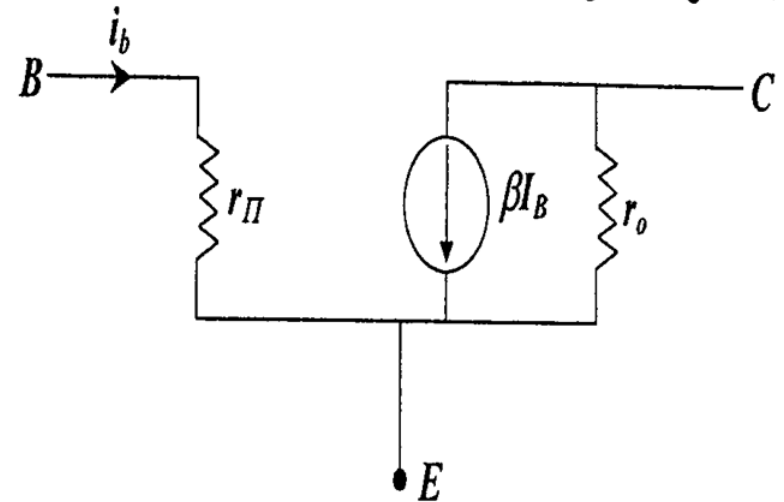
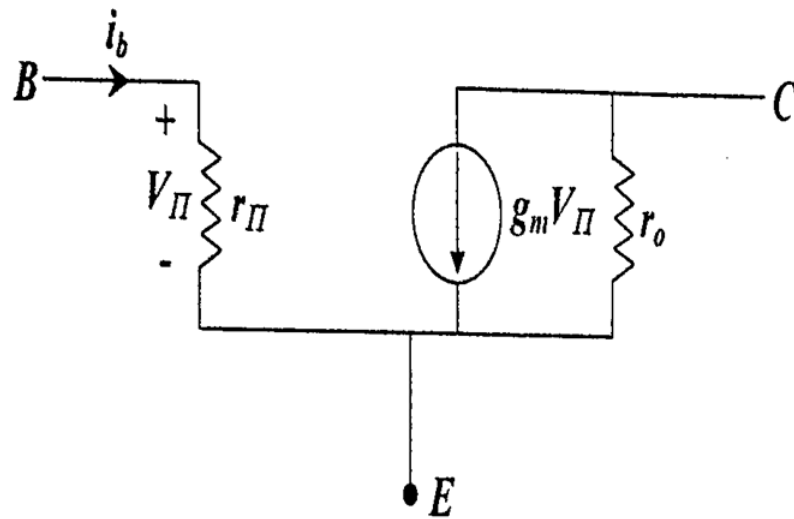
$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{\beta + h_{fe}} \cong r_e$$

$$h_{fb} = \frac{-h_{fe}}{\beta + h_{fe}} = -\alpha$$

$$h_{rb} = \frac{h_{ic} \cdot h_{oe}}{\beta + h_{fe}} - h_{re}$$

$$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{\beta + h_{fe}}$$

۲) مدار معادل π :



معادلات مربوطه:

$$V_{\pi} = r_{\pi} \cdot I_b, \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}, \quad g_m = \frac{1}{r_e} = \frac{I_E}{V_T}$$

روابط بین پارامترهای هایبرید و π به صورت زیر است:

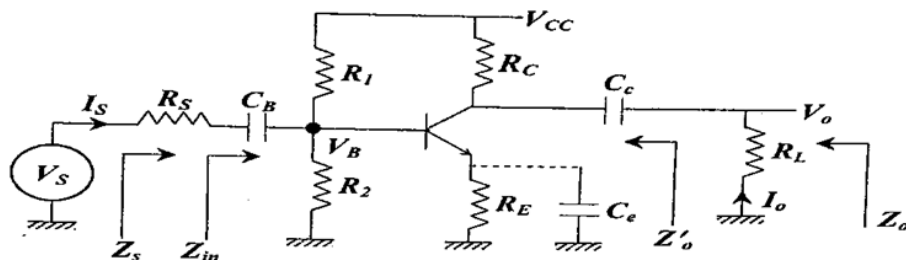
$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}, \quad h_{ie} = r_{\pi}, \quad \beta = h_{fe}, \quad r_e = \frac{h_{ie}}{h_{fe}}, \quad g_m = \frac{h_{fe}}{h_{ie}}$$

توانین انعکاس امپدانس در BJT

- ۱- از دید بیس مقاومت‌های امیتر در $(1 + \beta)$ ضرب می‌شوند، یا به عبارتی اگر مقاومت امیتر به بیس وارد شود در $(1 + \beta)$ ضرب می‌شود.
- ۲- از دید امیتر مقاومت‌های بیس بر $(1 + \beta)$ تقسیم می‌شوند یا به عبارتی دیگر مقاومت‌های موجود در بیس اگر به امیتر وارد شوند بر $(1 + \beta)$ تقسیم می‌شوند.

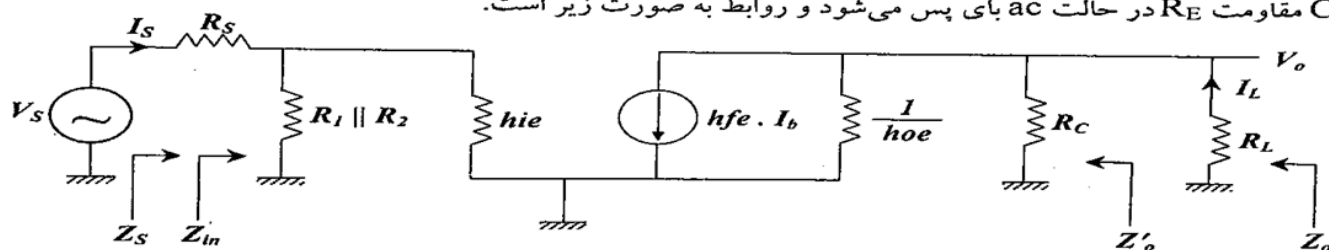
الف) گرایش امیتر مشترک (Common – Emitter – Configuration) :

اگر سیگنال ورودی به بیس داده شود و سیگنال خروجی از کلکتور گرفته شود تقویت کننده امیتر مشترک نام دارد و ساختار آن به صورت زیر است.



حالت اول) خازن C_E موجود باشد:

با وجود خازن C_E مقاومت R_E در حالت ac بای پس می شود و روابط به صورت زیر است.



$$Z_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie} \quad , \quad Z_S = R_S + Z_{in} = R_S + R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie}$$

$$Z_o' = R_C \parallel r_o \cong R_C \quad , \quad Z_o = R_L \parallel Z_o' = R_L \parallel R_C \parallel r_o \cong R_C \parallel R_L$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_B} = \frac{-\beta(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{h_{ie}} \cong \frac{-R_L \parallel R_C}{r_e} \quad , \quad A_{V_S} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_B} \times \frac{V_B}{V_S}$$

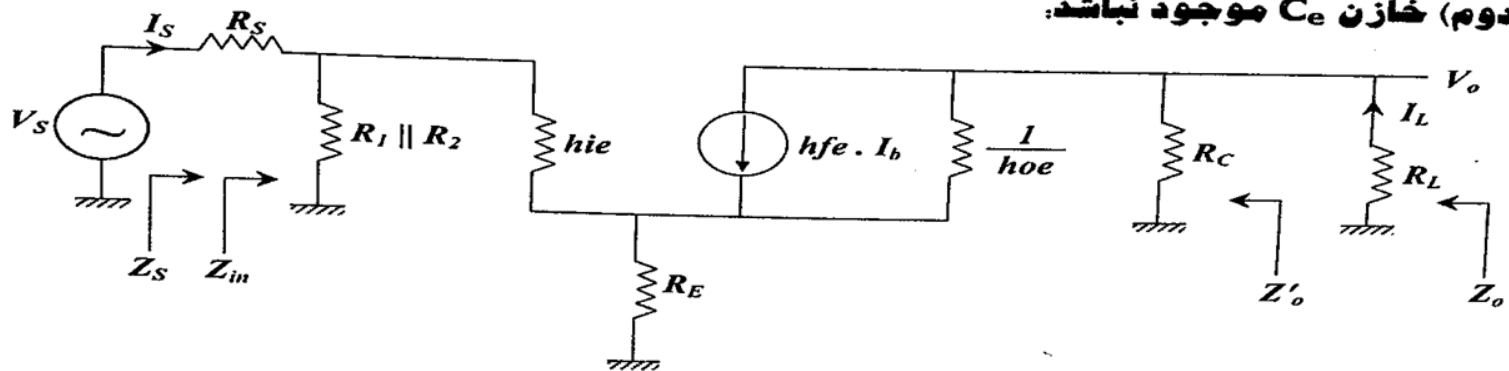
$$\frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \Rightarrow A_{V_S} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \times A_V = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \times \frac{-\beta(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{h_{ie}}$$

$$\Rightarrow A_{V_S} \cong \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \times \frac{-R_L \parallel R_C}{r_e}$$

$$AI = \frac{I_o}{I_S} \Rightarrow AI = |A_{V_S}| \times \frac{Z_S}{R_L}$$

دقت شود R_L مقاومتی است که جریان I_O از آن می گذرد و Z_S امپدانس دیده شده، قبل از R_S است. همچنین لازم به ذکر است که اگر جهت I_O به سمت پایین بود AI منفی می شود و در غیر این صورت AI مثبت است.

حالت دوم) خازن C_e موجود نباشد:



در این حالت مقاومت R_E از لحاظ ac در مدار موجود است و روابط به صورت زیر است.

$$Z_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel [h_{ie} + (1 + \beta) R_E]$$

$$Z_S = Z_{in} + R_S = R_S + R_1 \parallel R_2 \parallel [h_{ie} + (1 + \beta) R_E]$$

$$Z_o' = R_C$$

$$Z_o = Z_o' \parallel R_L = R_C \parallel R_L$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_B} = \frac{-\beta(R_L \parallel R_C)}{h_{ie} + (1 + \beta) R_E}$$

$$A_{V_S} = \frac{V_o}{V_B} \times \frac{V_B}{V_S}, \quad \frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \Rightarrow A_{V_S} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \times \frac{-\beta(R_L \parallel R_C)}{h_{ie} + (1 + \beta) R_E}$$

$$A_I = |A_V| \times \frac{Z_S}{R_L}$$

روش تستی محاسبه A_V در گرایش امیتر مشترک :

$$A_V = \frac{V_o}{V_B} = - \frac{\text{امپدانس دیده شده از خروجی} (-\beta)}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}}$$

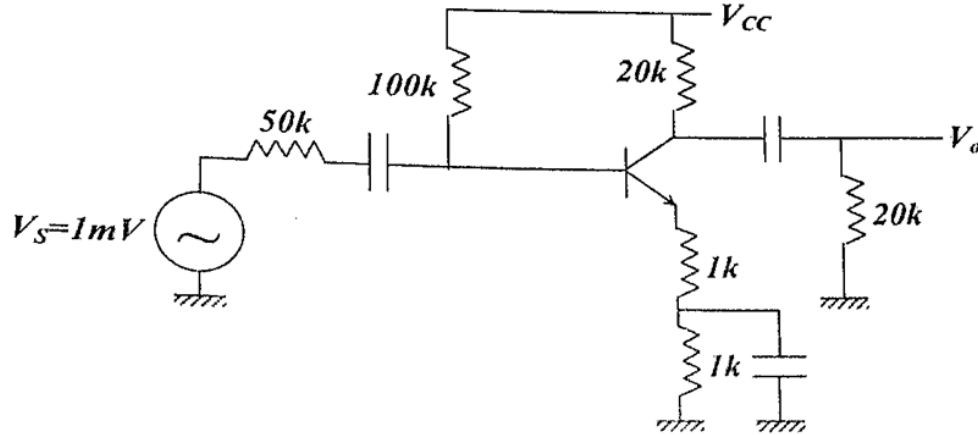
$$\Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_B} = \frac{-\beta(R_L \parallel R_C)}{h_{ie} + (1 + \beta) R_E} \quad (C_e \text{ نباشد})$$

$$\Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_B} = \frac{-\beta(R_L \parallel R_C)}{h_{ie}} \quad (C_e \text{ باشد})$$

دیده می شود که نتایج با روابط قبلی مطابقت دارد.

- ۱- تقویت کننده امیتر مشترک برای تقویت ولتاژ و جریان و توان بکار می رود .
- ۲- تقویت کننده امیتر مشترک دارای امپدانس خروجی و ورودی متوسط است.
- ۳- تقویت کننده امیتر مشترک دارای AV و AI زیاد است.
- ۴- ولتاژ خروجی نسبت به ولتاژ ورودی در این تقویت کننده دارای اختلاف فاز 180° درجه است.
- ۵- اضافه کردن R_E یا عدم وجود C_E باعث کاهش شدید AV می شود.

مثال : در مدار زیر مقدار قدر مطلق ولتاژ خروجی مدار کدام است ؟



$$\beta = 100$$

$$h_{ie} = 1k$$

۵ mV (۱)

۱۰ mV (۲)

۲۰ mV (۳)

۴۰ mV (۴)

پاسخ : گزینه «۱» ☒

$$V_O = A V_T \cdot V_S \quad \frac{V_O}{V_B} = \frac{-\beta \times (\text{امپدانس دیده شده از خروجی})}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}} = \frac{-\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)R_E}$$

$$A V_T = \frac{V_O}{V_B} \times \frac{V_B}{V_S} \quad \frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_S}$$

$$Z_{in} = 10 \cdot k \parallel (h_{ie} + (1 + \beta)1k)$$

Z_{in} : مقاومت دیده شده بعد از R_S

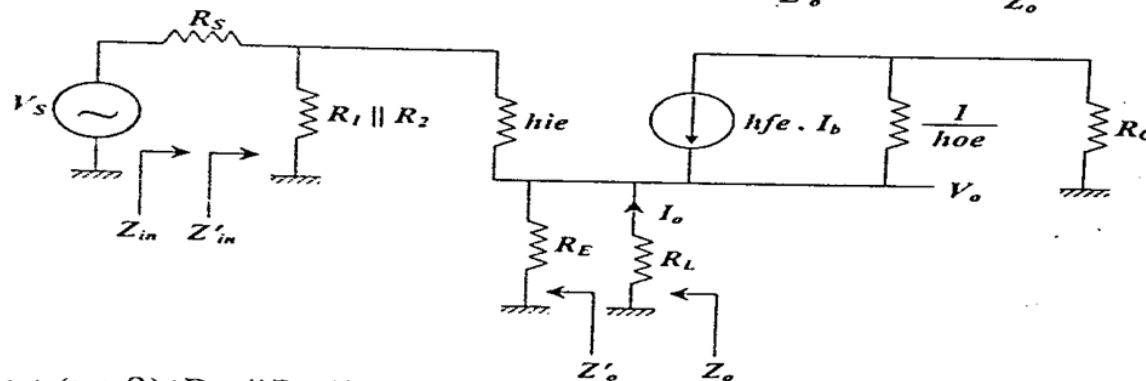
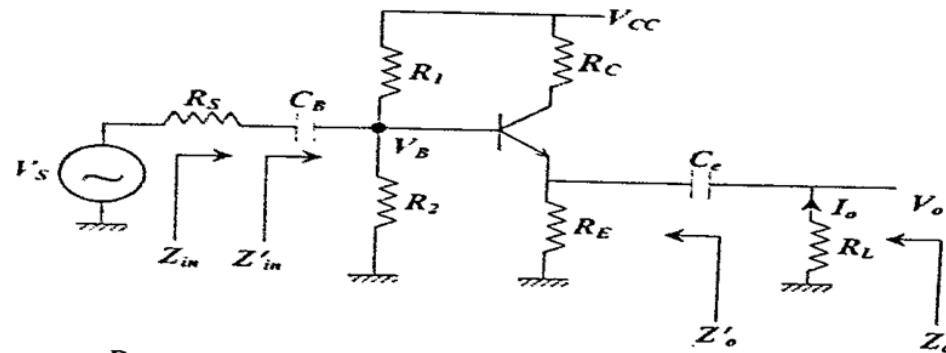
$$Z_{in} = 10 \cdot k \parallel (1k + 110 \cdot k) \approx 5 \cdot k$$

$$\frac{V_O}{V_B} = \frac{-110 \times (20k \parallel 20k)}{1k + (1 + 110)1k} = \frac{-1100}{112} \approx -10$$

$$\frac{V_B}{V_S} = \frac{5 \cdot k}{5 \cdot k + 50 \cdot k} = \frac{1}{11} \Rightarrow A V_T = \frac{1}{11} \times -10 = -0.9$$

$$V_O = A V_T \cdot V_S = -0.9 \times 1mV = -0.9mV \Rightarrow |V_O| = 0.9mV$$

(ب) گرایش کلکتور مشترک (Common – Collector – Configuration) ،
اگر سیگنال ورودی به بیس و سیگنال خروجی از امیتر گرفته شود تقویت کننده از نوع کلکتور مشترک می باشد.



تحلیل :

$$Z'_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel (h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L))$$

$$Z_{in} = Z'_{in} + R_S$$

$$Z'_o = R_E \parallel \left(\frac{h_{ie} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_S}{1 + \beta} \right)$$

$$Z_o = Z'_o \parallel R_L$$

$$AV = \frac{V_o}{V_B} = \frac{\beta(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \cong \frac{R_E \parallel R_L}{r_e + R_E \parallel R_L} < 1$$

$$AV_S = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_B} \times \frac{V_B}{V_S}, \quad \frac{V_B}{V_S} = \frac{Z'_{in}}{R_S + Z'_{in}} \Rightarrow AV_S = \frac{R_E \parallel R_L}{r_e + R_E \parallel R_L} \times \frac{Z'_{in}}{R_S + Z'_{in}}$$

$$AI = AV_S \times \frac{Z_{in}}{R_L}$$

لازم به ذکر است که R_L مقاومتی است که جریان I_O از آن می گذرد. همچنین اگر جهت جریان I_O به سمت پایین بود علامت AI منفی می شود.

روش تستی محاسبه AV در گرایش کلکتور مشترک :

$$AV = \frac{V_o}{V_B} = + \frac{\beta \times (\text{مقاومت‌های معادل موجود در امیتر})}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}}$$

$$AV = \frac{\beta(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \cong \frac{R_L \parallel R_E}{R_L \parallel R_E + r_e} < 1$$

دیده می‌شود که این روابط با روابط قبلی بدست آمده مطابقت دارد.

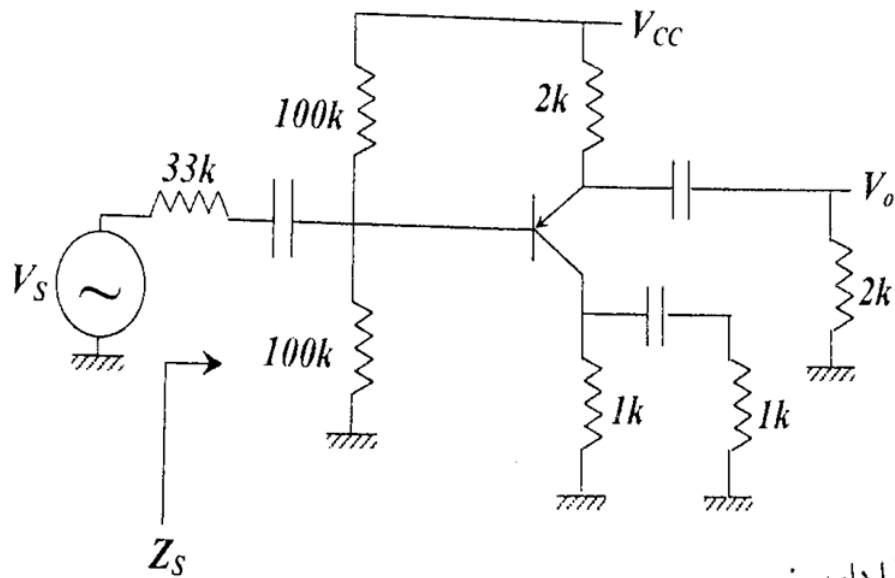
نکات مهم در مورد گرایش کلکتور مشترک

۱- تقویت کننده کلکتور مشترک جهت تطبیق امپدانس و به عنوان بافر استفاده می‌شود.

۲- امپدانس ورودی در این گرایش زیاد و امپدانس خروجی کم است.

۳- این تقویت کننده دارای $AV < 1$ و $AI \gg 1$ است.

۴- ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی هم فاز است.



مثال : در مدار زیر مقدار $\frac{V_o}{V_s}$ کدام است ؟

$$\beta = 100$$

$$r_{\pi} = 1k$$

(۱) -۱۰

(۲) ۰/۴۹

(۳) ۰/۹۸

(۴) ۱

✓ پاسخ : گزینه «۲» تقویت کننده از نوع C.C است لذا داریم :

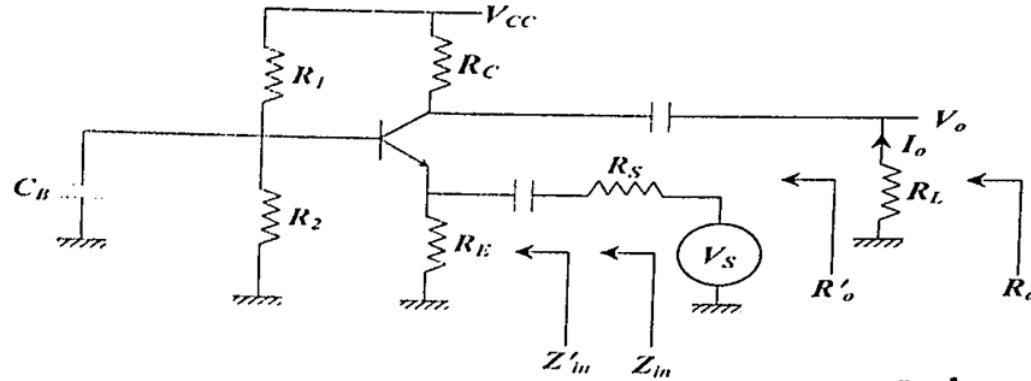
$$\frac{V_o}{V_B} = \frac{\beta(R_L \parallel R_E)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_L \parallel R_E)} = \frac{100 \times (2k \parallel 2k)}{1k + (1 + 100)(2k \parallel 2k)} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{100}{1 + 101} = \frac{100}{102} = 0.98$$

$$\frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_S}{R_S + Z_S} = \frac{100 \parallel 100 \parallel 100}{33 + 100 \parallel 100 \parallel 100} \Rightarrow \frac{V_B}{V_S} = \frac{1}{2}$$

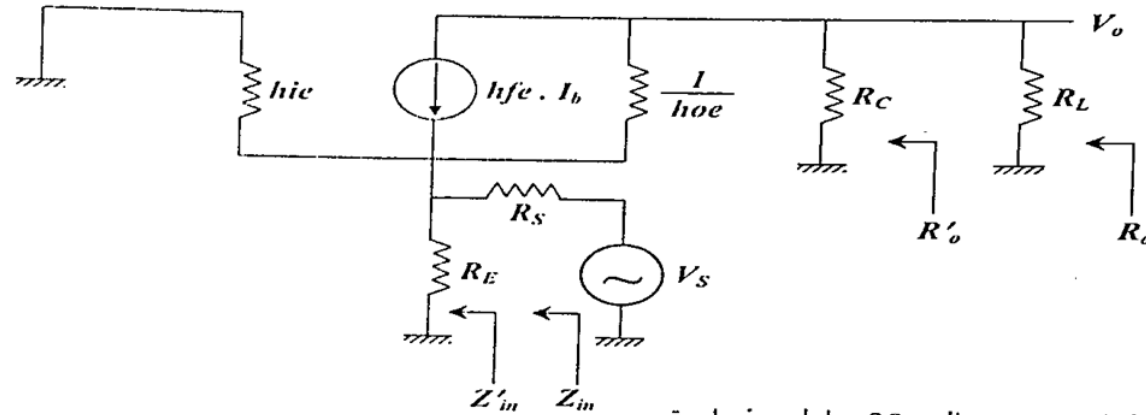
$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_S} \times \frac{V_B}{V_S} \Rightarrow \frac{V_o}{V_S} = 0.98 \times \frac{1}{2} = 0.49$$

ج) تقویت کننده بیس مشترک (Common – Base – Configuration)

اگر سیگنال ورودی به امپتر و سیگنال خروجی از کلکتور گرفته شود تقویت کننده بیس مشترک است.



حالت اول) C_B موجود است.



در این حالت ولتاژ بیس در حالت ac معادل صفر است.

$$R_o' = R_C$$

$$R_o = R_o' \parallel R_L = R_C \parallel R_L$$

$$Z_{in}' = R_E \parallel \left(\frac{h_{ie}}{1 + \beta} \right) \cong R_E \parallel r_e$$

$$Z_{in} = R_S + Z_{in}'$$

$$AV = \frac{V_o}{V_E} = \frac{R_C \parallel R_L}{r_e}$$

$$AV_S = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_E} \times \frac{V_E}{V_S}$$

$$\frac{V_E}{V_S} = \frac{Z_{in}'}{R_S + Z_{in}'}$$

$$AV_S = \frac{Z_{in}'}{R_S + Z_{in}'} \times \frac{R_C \parallel R_L}{r_e}$$

$$AI = \frac{Z_{in}}{R_L} \times AV_S$$

دقت شود اگر جهت I_O به سمت پایین باشد AI منفی خواهد بود همچنین R_L مقاومتی است که I_O از آن می گذرد.

حالت دوم) خازن C_B موجود نباشد

$$Z_{in} = R_S + Z'_{in} \quad , \quad Z'_{in} = R_E \parallel \left(\frac{h_{ie} + R_1 \parallel R_2}{1 + \beta} \right) \cong r_e + \frac{R_1 \parallel R_2}{1 + \beta}$$

$$R_o' = R_C \quad , \quad R_o = R_o' \parallel R_C = R_L \parallel R_C$$

$$AV = \frac{V_o}{V_E} = \frac{R_C \parallel R_L}{r_e + \frac{R_1 \parallel R_2}{1 + \beta}} \quad , \quad AV_S = \frac{Z'_{in}}{R_S + Z'_{in}} \times \frac{R_C \parallel R_L}{r_e + \frac{R_1 \parallel R_2}{1 + \beta}}$$

$$AI = \frac{Z_{in}}{R_L} \times AV_S$$

روش تستی محاسبه AV در گرایش بیس مشترک :

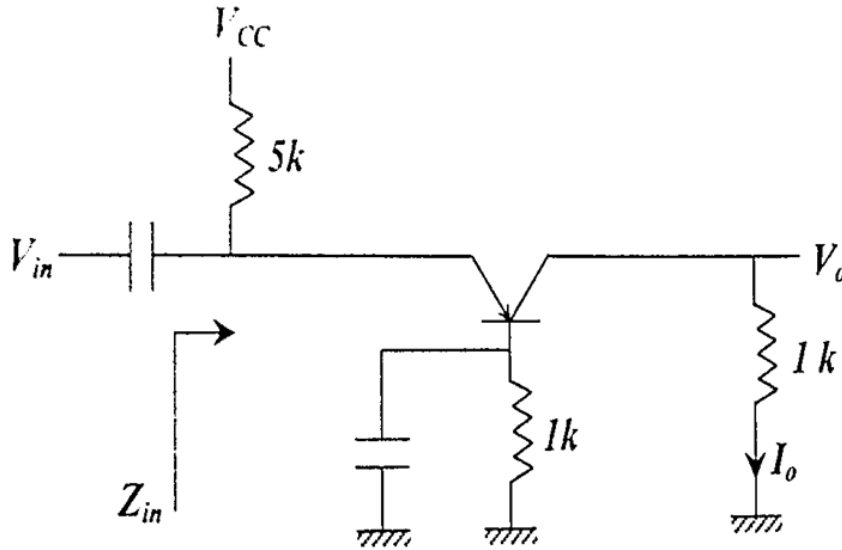
$$AV = \frac{V_o}{V_E} = \frac{\text{(امپدانس دیده شده از خروجی)}}{\text{(امپدانس دیده شده از امیتر به سمت بیس)}}$$

$$\Rightarrow AV = \frac{V_o}{V_E} = \frac{R_C \parallel R_L}{r_e} \quad (C_B \text{ باشد}) \quad \text{و} \quad \Rightarrow AV = \frac{V_o}{V_E} = \frac{R_C \parallel R_L}{r_e + \frac{R_1 \parallel R_2}{1 + \beta}} \quad (C_B \text{ نباشد})$$

نکات مهم در مورد گرایش بیس مشترک

- ۱- امپدانس ورودی این تقویت کننده کم و امپدانس خروجی آن متوسط است.
- ۲- گین ولتاژ یا AV زیاد و گین جریانی کم و کوچکتر از یک است.
- ۳- کاربرد آن به عنوان تقویت کننده فرکانس های بالا به علت پهنای باند وسیع می باشد.
- ۴- ولتاژ ورودی نسبت به ولتاژ خروجی هم فاز است.
- ۵- عدم وجود خازن C_B باعث کاهش گین ولتاژ و پهنای باند می شود.

مثال : قدر مطلق بهره تقریبی جریان در مدار زیر کدام است ؟



$$\beta = 100$$

$$h_{ie} = 5\text{ k}$$

۱ (۱)

۱۰ (۲)

۱۵ (۳)

۱۸ (۴)

پاسخ : گزینه «۱» ☒

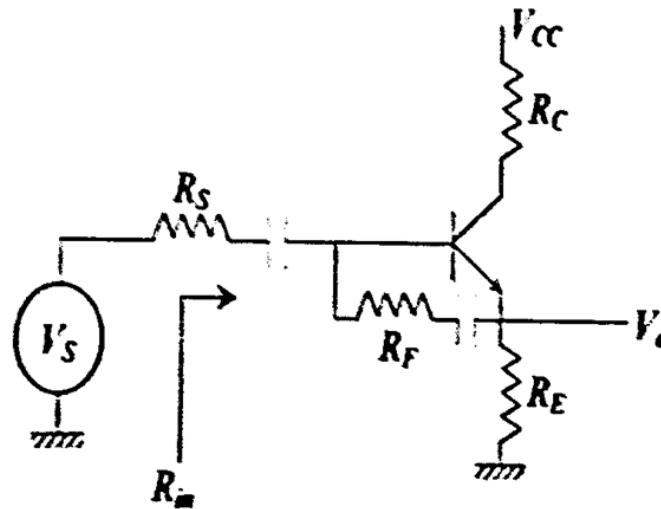
$$A_I = A_V \times \frac{Z_{in}}{R_L} \quad Z_{in} = 5\text{ k} \parallel \left(\frac{h_{ie}}{1 + \beta} \right) = 5\text{ k} \parallel \left(\frac{5\text{ k}}{101} \right) \approx 50\text{ }\Omega$$

$$A_V = \frac{R_L}{\frac{h_{ie}}{1 + \beta}} = \frac{1\text{ k}}{\frac{5\text{ k}}{101}} = 20$$

$$\Rightarrow A_I = A_V \times \frac{Z_{in}}{R_L} = 20 \times \frac{50}{1000} = 1$$

مدار بوت استرپ

جهت افزایش امپدانس ورودی در گرایش کلکتور یک شبکه RC سری بین ورودی و خروجی گذاشته می شود که مدار بوت استرپ نام دارد. با ورود این شبکه امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم می شود.



دقت شود اضافه کردن مدار بوت استرپ به گرایشهای امیتر و بیس مشترک نه تنها امپدانس ورودی را زیاد نمی کند بلکه آن کم می کند.