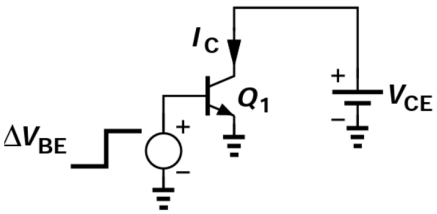
مقدم ترارسانایی transconductance



می‌خواهیم ببینیم تغییرات اندک ولتاژ بین امیتر باعث چه تغییری روی I_c خواهد شد.

$\Delta V_{BE} \longrightarrow \Delta I_c$ $\qquad I_c = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$

هرچقدر $\frac{\Delta I_c}{\Delta V_{BE}}$ بیشتر باشه قبول داری از این نظر تقویت تغییرات بیشتری دارد ؟

$g_m = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{BE}}$ تغییرات کوچک $\longrightarrow$ $g_m = \frac{\partial I_c}{\partial V_{BE}} = I_s \times \frac{1}{V_T} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = \frac{I_c}{V_T}$

$g_m = \frac{I_c}{V_T}$ mA/V یا S زمینس $\qquad V_T = 25mV$

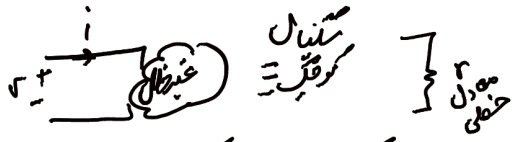
نشان می‌دهد g_m با جریان DC ترانزیستور رابطه مستقیم دارد.
اگر $I_c = 0 \leftarrow g_m = 0 \leftarrow$ سیگنال ac تقویت نمی‌شود.

واحد g_m چیست ؟ mA/V یا زمینس (S)

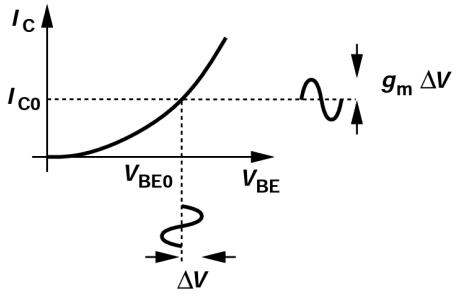
ارتباط این g_m با قضیه سیگنال کوچک درس مدار الکتریکی چیست؟

در درس مدار اگر مدار غیرخطی منبع ac سیگنال کوچک داشتیم می‌توانستیم به جای مقاومت غیرخطی معادل مقاومت خطی شده را قرار داد.

$$r_{\text{خطی}} = \frac{\partial V}{\partial I} \quad \text{یا} \quad g = \frac{\partial I}{\partial V}$$

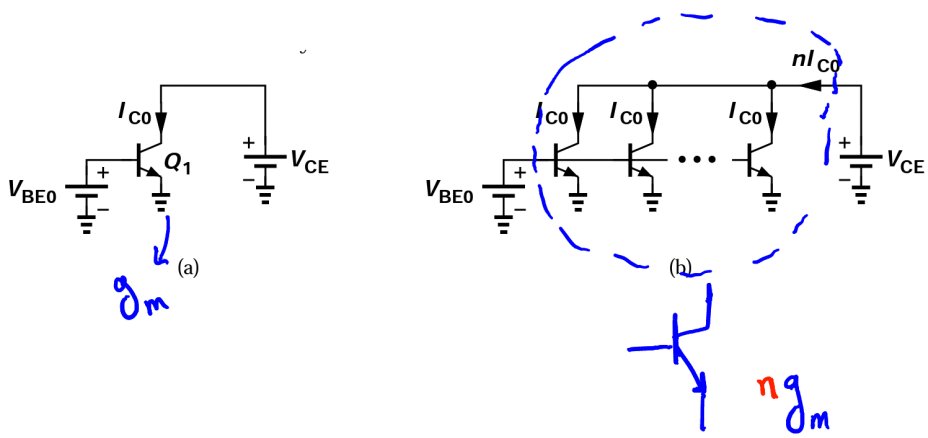


تفاوت اینجا این است که جریان یک شاخه به ولتاژ شاخه دیگر مرتبط است.



نتیجه‌گیری: اگر ولتاژ V_{BE} به اندازه ΔV تغییر کند جریان I_C به اندازه $g_m \Delta V$ تغییر می‌کند.

مثال: اگر تعداد ترانزیستور مشابه را با هم به صورت زیر موازی کنیم g_m کل چه تغییری می‌کند؟



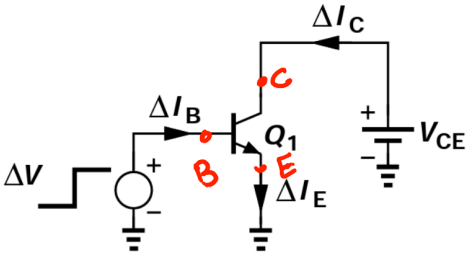
با موازی کردن n ترانزیستور جریان کل n برابر می‌شود

$ng_m \leftarrow g_m$

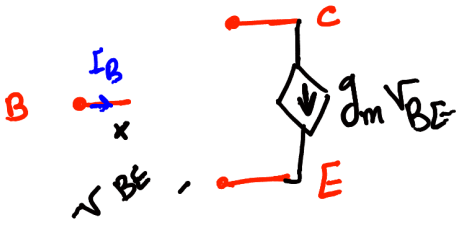
مدل سیگنال کوچک - بدون اثر ارلی

$$I_c = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

برای این کار ولتاژ دو سر را تغییر می‌دهیم و ۲ سر دیگر را ثابت نگه می‌داریم و تغییرات جریان را با منبع وابسته مدل می‌کنیم. اگر تغییرات ولتاژ ۲ سر منجر به تغییر جریان همان ۲ سر شود مقاومت معادل آن ۲ سر مدل سازی می‌شود.



(a)



$$I_c = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \rightarrow I_B = \frac{1}{\beta} I_c = \frac{1}{\beta} I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

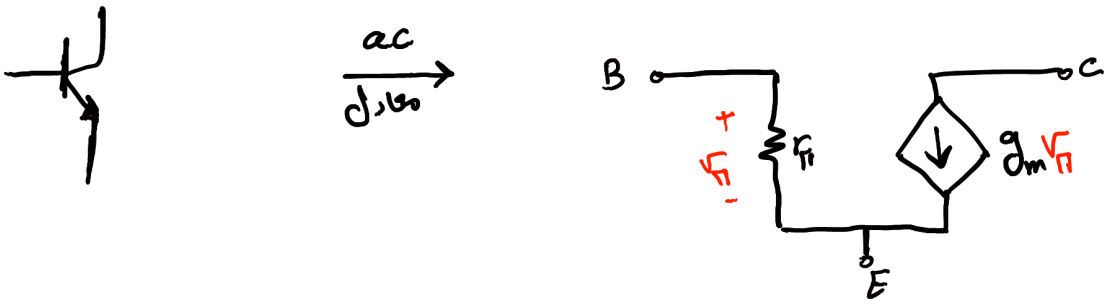
جریان I_B به ولتاژ ۲ سر خودش وابسته است پس می‌توان به جای آن مقاومت بین بیس امیتر قرار می‌دهیم.

$$I_B = \frac{I_s}{\beta} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \rightarrow \frac{1}{r_\pi} = \frac{\partial I_c}{\partial V_{BE}} = \frac{I_s}{\beta V_T} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

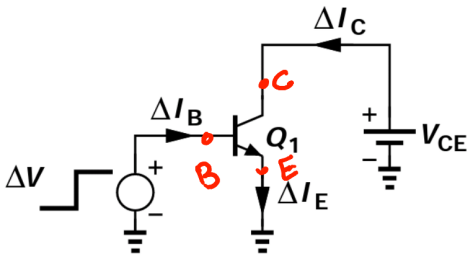
(I_c)

$$\rightarrow r_\pi = \beta \frac{V_T}{I_c}$$

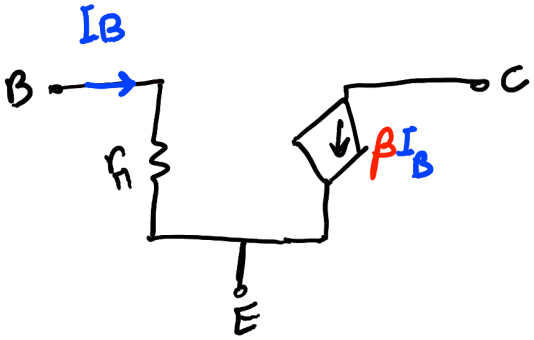
۲ سر بیس امیتر مقاومت سیگنال کوچک $r_\pi = \beta \frac{V_T}{I_c}$ قرار داده می‌شود.



در مدل π ارتباط ولتاژ ac بین امیتر و جریان ac کلکتور بیان می‌شود.



$\Delta I_c = \beta \Delta I_B \rightarrow \beta I_B$ منبع وابسته



اثر اثر ارلی را مجدداً در نظر بگیریم چه کنیم؟

$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}\left(1+\frac{V_{CE}}{V_A}\right)$$

با اثر ارلی جریان I_C به V_{CE} وابسته می‌شود و می‌توان مدل مقاومت ارلی ۲ سر را برای سیگنال کوچک قرار داد.

مقاومت ۲ سر کلکتور امیتر یا مقاومت ارلی :

$$\frac{1}{r_o} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} = \underbrace{I_S e^{V_{BE}/V_T}}_{I_C}\left(0+\frac{1}{V_A}\right)$$

$$= \frac{I_C}{V_A}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

خلاصه تحلیل ac

مدل ac برای npn و pnp تفاوتی ندارد.

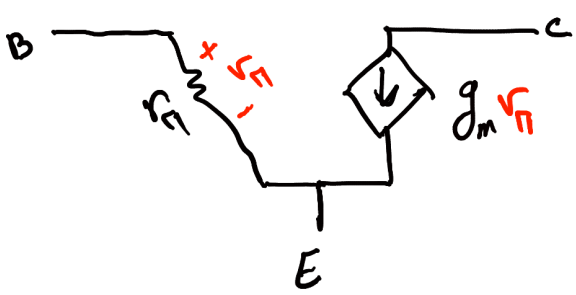
npn

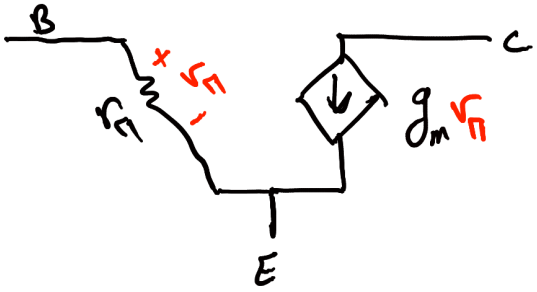


pnp

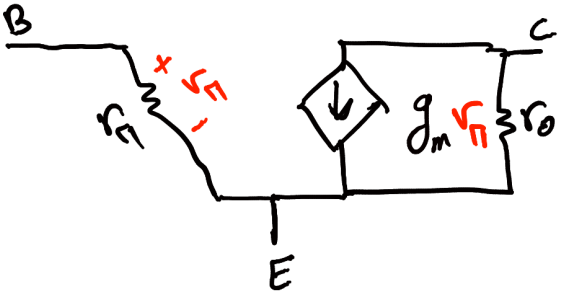


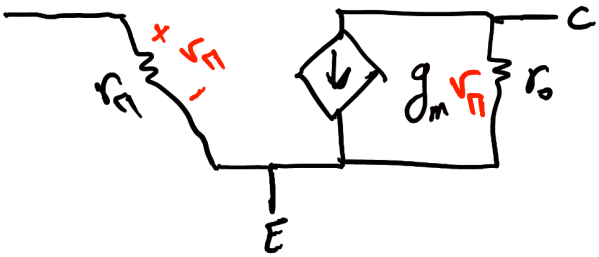
مدل π بدون اهمی



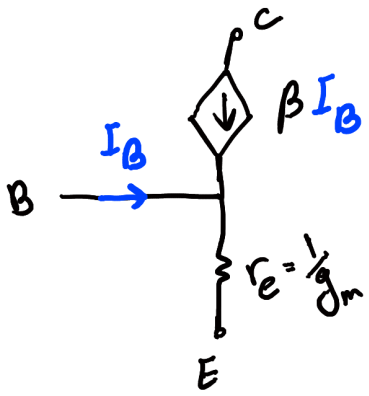


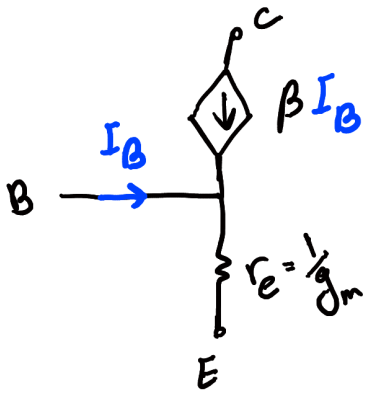
مدل π با اهمی





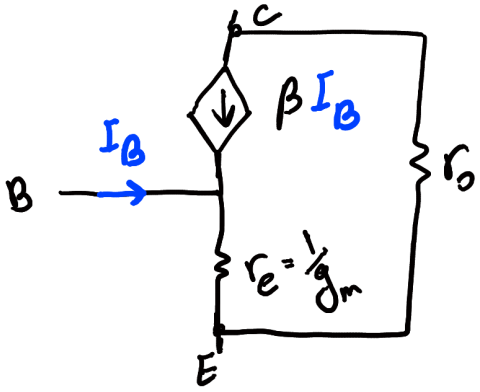
مدل T

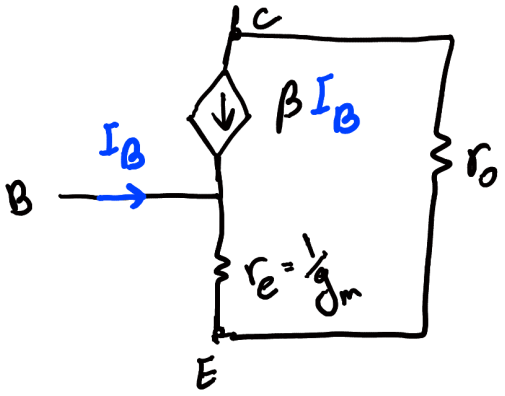




✓ مدل T رابطه جریان کلکتور و بیس را بیان می‌کند.
✓ ولتاژ بیس بالا شاخه امیتر است.

مدل T با اثر ارلی



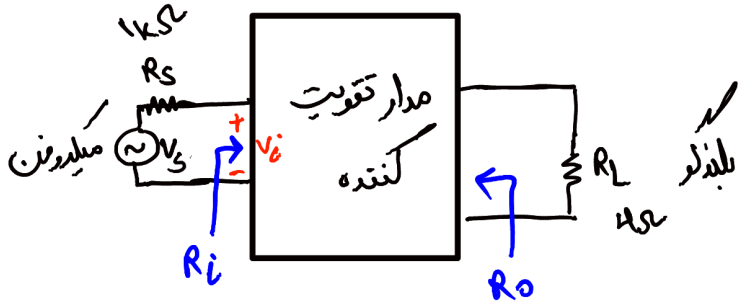


پارامترهای مدار تقویت کننده :

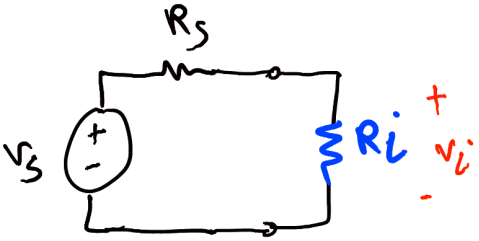
هر تقویت کننده ولتاژ بهره ولتاژ $A_V = \frac{V_o}{V_i}$

R_i : مقاومت ورودی

R_o : مقاومت خروجی



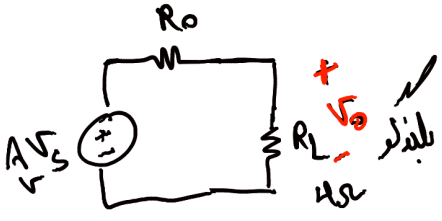
ولتاژی که تحویل تقویت کننده می‌شود V_i نه V_s و ما خواهیم V_s تحویل داده شود.



$$V_i = V_s \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

هرچقدر R_i بزرگتر باشد $V_i \simeq V_s$

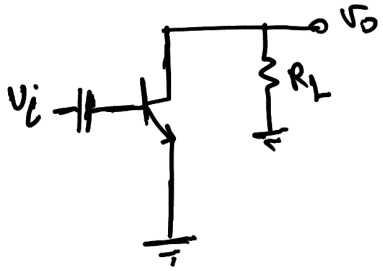
پس محاسبه R_i تقویت کننده از نظر ac مهم است.

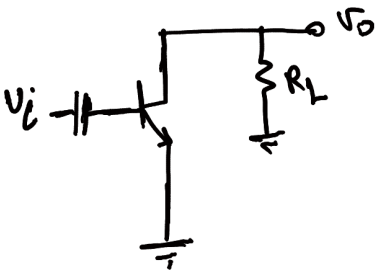


$$V_o = A_V V_s \frac{R_L}{R_L + r_o}$$

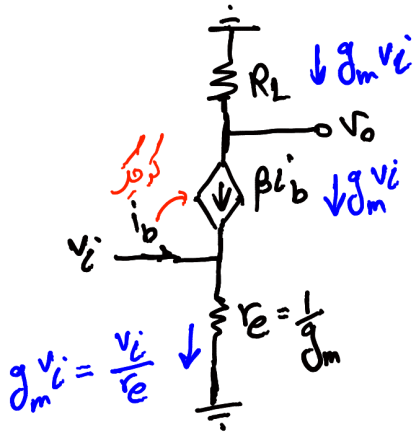
هرچقدر r_o کم تر باشد ولتاژ بیشتری به خروجی منتقل می‌شود.

مثال: بهره ولتاژ $\frac{v_o}{v_i}$ در مدار زیر با فرض فعال بودن





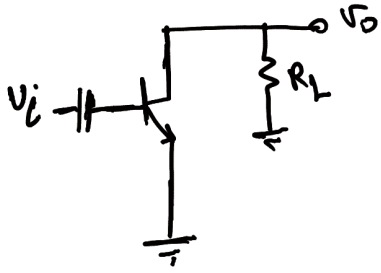
مدل T

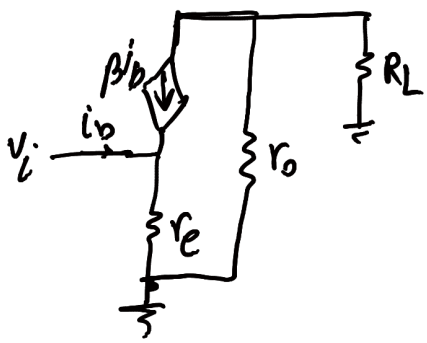


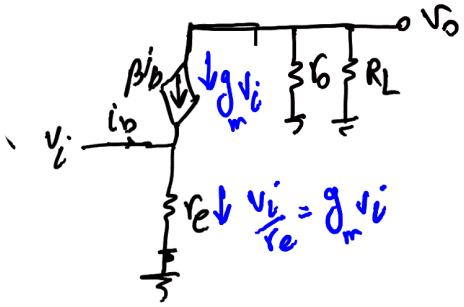
از i_b بسیار در مقابل βi_b صرف نظر می‌شود.

$$v_o = -R_L \cdot g_m v_i \longrightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m \cdot R_L$$

مثال) با اثر اولی مدار بالا تحلیل می‌شود؟







زمین می‌توانند جدا شوند.

$$v_o = -g_m v_i (R_L \| r_o)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_L \| r_o$$

روش ابتدایی توسلی

۵) مدار ac را رسم کنید. ← sc : و منابع dc خاموش و زمین ها را جدا کنید.

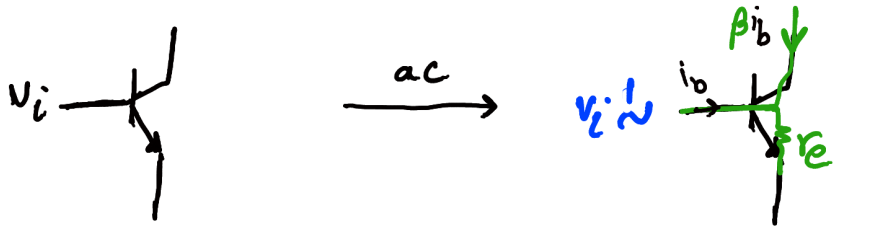
۱) مدار ac ذهنی را در نظر بگیرید.

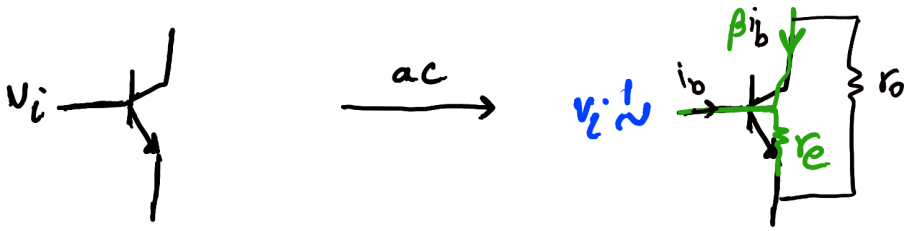
۲) به جای v_i منبع سینوسی کوچک ۱ ولت فرض کنید (منظور ادلت خیلی کوچک)

۳) اگر از v_i تا زمین مقاومت ها خیلی ساده مشخص هستند جریان را حساب کنید.

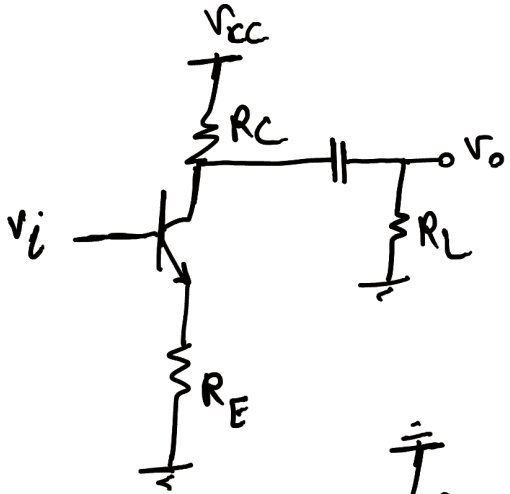
۴) اگر v_i تا زمین مقاومت ها پیچیده بود مقاومت معادل را حساب کنید.

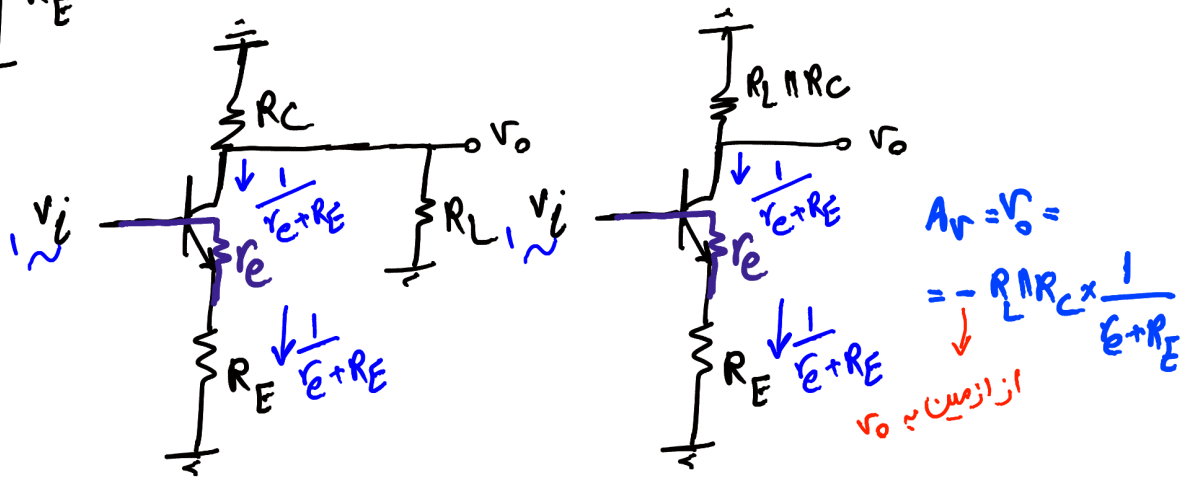
اگر $v_i = 1$ ← $A_V = v_o$ است.





مثال: جریان ac مدار زیر را محاسبه کنید.

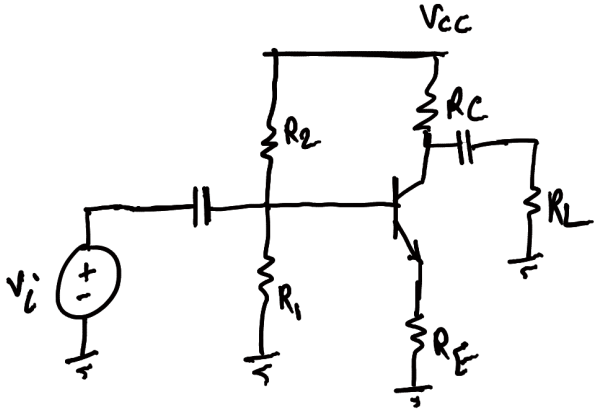




چرا بین بار R_L و مدار تقویت کننده خازن می‌گذارند؟

اگر R_L کوچک باشد روی بایاس DC اثر می‌گذارد و طراحی را از نظر DC خراب می‌کند.

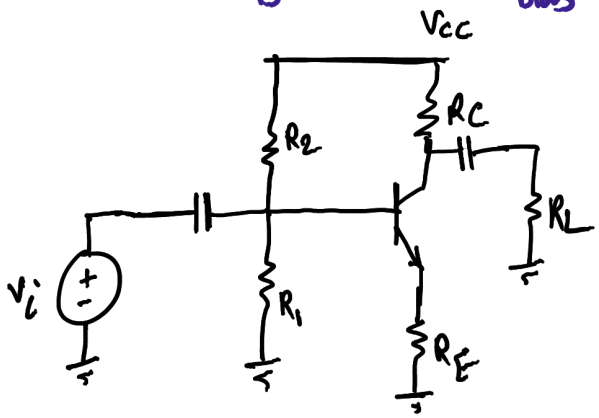
با گذاشتن خازن از نظر DC جدا می‌کنیم تا روی نقطه کار I_C تاثیر نگذارد.

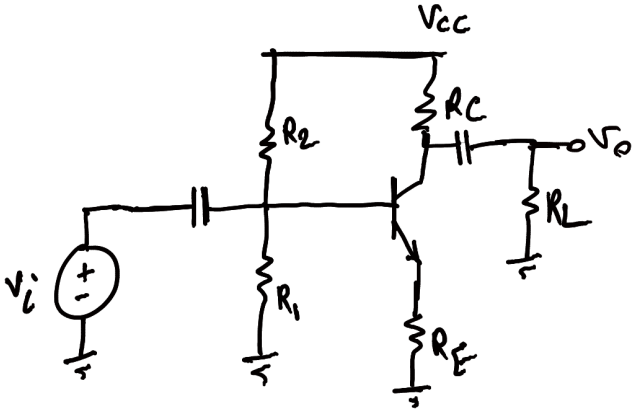


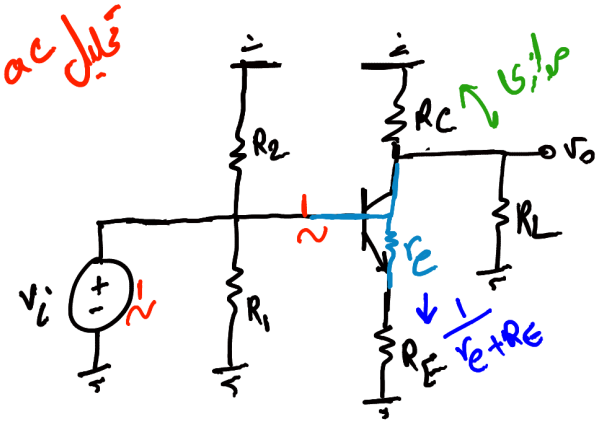
خازن بیس چه کاربردی دارد؟

اگر نباشد ولتاژ بیس همیشه V_i است و بایاس DC ندارد یعنی V_{cc} روی آن تاثیر ندارد وجود خازن باعث می‌شود که در حالت DC ولتاژ DC به بیس برسد $V_B = V_{cc}\frac{R_1}{R_1+R_2}$ و در حالت ac هم V_i

$V_B = V_i + V_{bias}$







$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -R_C \parallel R_L \times \frac{1}{r_e + R_E}$$

سوال: آیا R_1 و R_2 در بهره ولتاژ نقشی ندارند؟

ظاهرا نقش مستقیم ندارد ولی R_2 و R_1 جریان I_C را تنظیم و در نتیجه $g_m = \frac{1}{r_e}$ را تنظیم می‌کنند.

رسانایی $g_m = \frac{I_C}{V_T}$ $\xrightarrow{\text{برعکس}}$ $r_e = \frac{V_T}{I_C} \longrightarrow r_\pi = h_{ie} = \beta r_e = \beta \frac{1}{g_m} = \beta \frac{V_T}{I_C}$

اثر اولی $r_o = \frac{V_A}{I_C}$

به جای درگیر شدن برای محاسبه عدد r_e ، g_m و r_π و r_o از تکنیک زیر استفاده کنید

$$g_m = 40\, I_C$$

$$I_C = 1mA \longrightarrow g_m = 40\, s \xrightarrow{mA/V} \longrightarrow r_e = \frac{1}{40}k \longrightarrow r_\pi = \frac{100}{40} = 2.5k$$

$$I_C = \frac{1}{2}mA \longrightarrow g_m = 20\, mA/V \longrightarrow r_e = \frac{1}{20}k \longrightarrow r_\pi = \frac{100}{20} = 5k$$