



گروه مهندسی ساخت و اجرا

مرجع تخصصی نقشه، مدل، مقاله و کتاب
و انواع پروژه‌های مهندسی

www.Sakhtoejra.com

 @sakhtoejra

الکترونیک ۱

استاد درس: مهندس کاشی

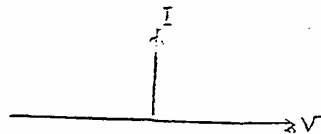
1

مدارهای دیودی: از انواع مدارهای دیودی که بررسی می‌کنیم می‌توان مدارهای برشگر

(limiter-clapper)، مدارهای یکسریکننده، مدارهای چندبرابرکننده و مدارهای تثبیت

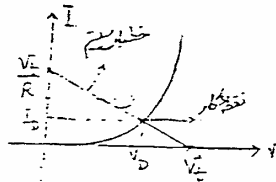
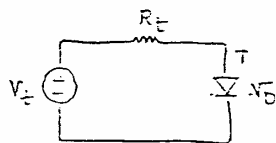
کننده ولتاژ را نام برد.

معایش دیود ایده آل:



درونخ تحنیل داریم: ۱- مدل ترمیمی

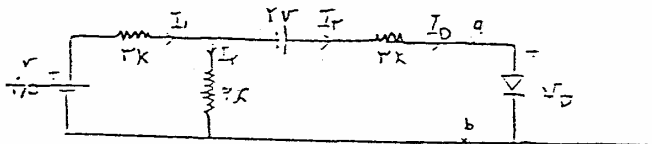
۲- مدل خطی پاره ای



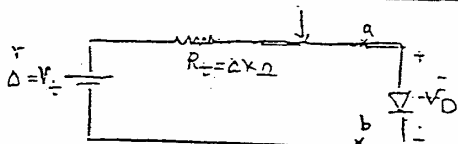
مدل ترمیمی =
مثال =

$$V_t = R_t I_D + V_D \rightarrow V_D = V_t - R_t I_D$$

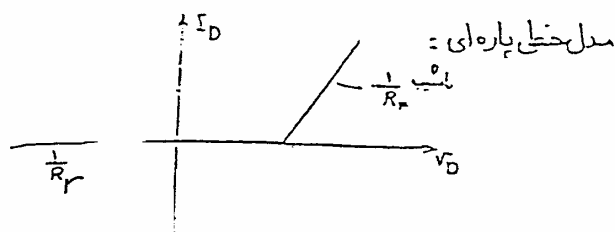
معادله خط بار



مثال =



$$V_D = \Delta - \Delta I_D$$



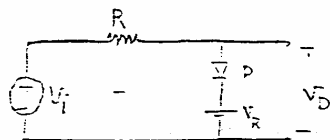
نمایش دیود در گرایش مستقیم =

نمایش دیود در گرایش معکوس =

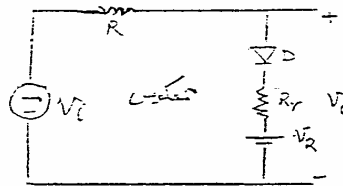
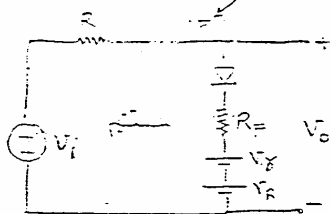
جدا کردن به هم ریزه خط مدار را می بیند.

حدود $R_F : 100 \text{ k}\Omega$

$R_F \approx 1 \sim 3 \text{ M}\Omega$



مثال =



$$V_O = V_{R_F} + V_D + V_R$$

گرایش مستقیم =

$$V_O = \left[V_i - (V_D + V_R) \right] \frac{R_F}{R_F + R} + V_D + V_R$$

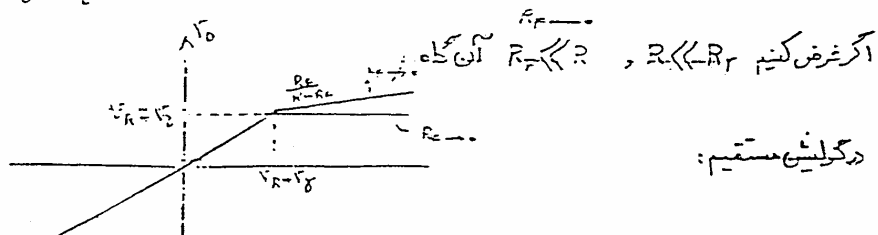
$$\rightarrow V_O = \frac{R_F}{R_F + R} V_i + (V_D + V_R) \left(\frac{R}{R_F + R} \right)$$

$$V_O = V_{R_F} + V_R$$

گرایش معکوس =

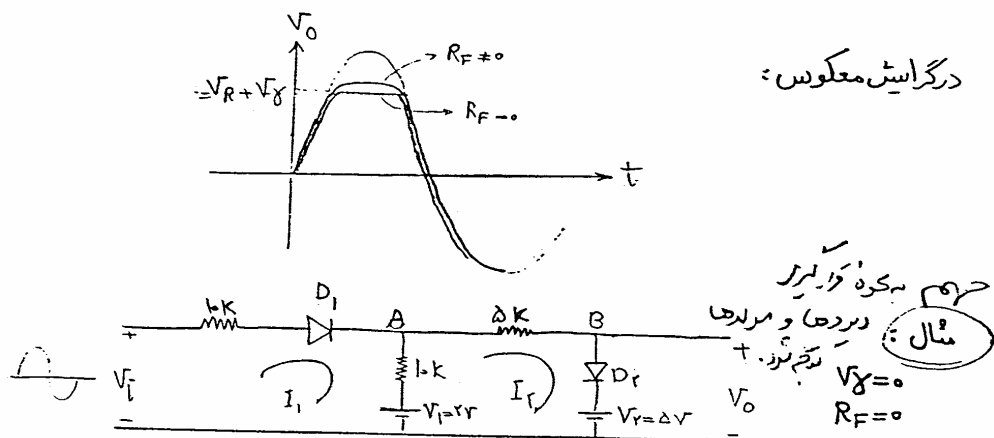
$$V_O = (V_i - V_R) \frac{R}{R_F + R} + V_R$$

$$V_O = V_i$$



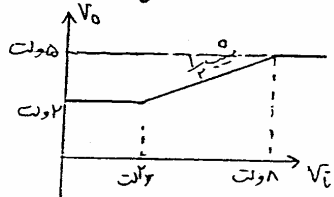
در گرایش مستقیم:

3

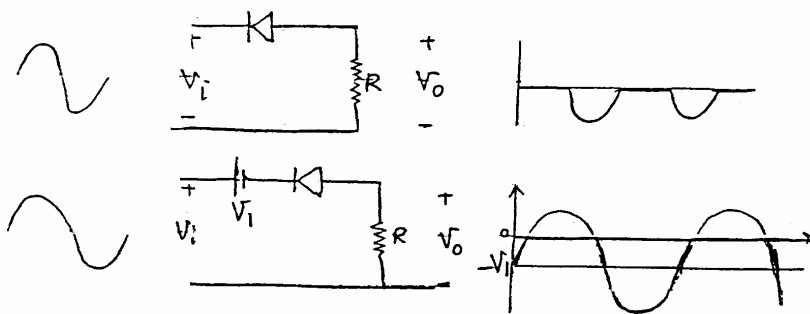


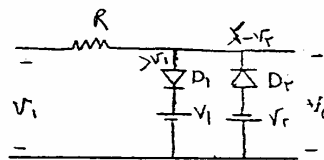
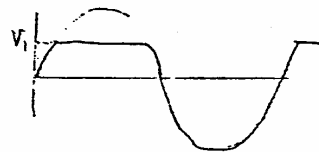
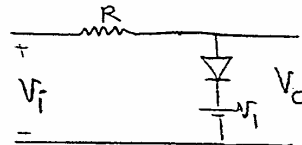
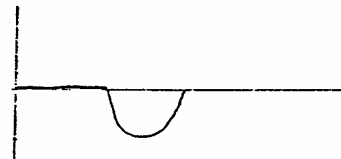
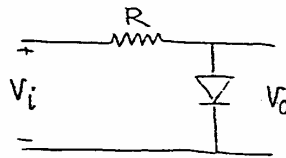
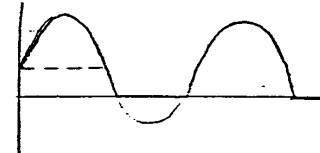
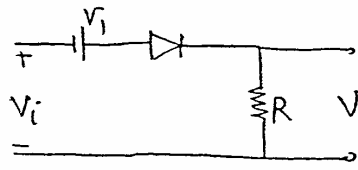
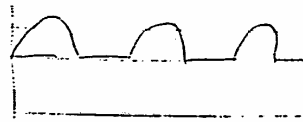
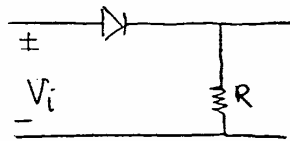
اگر $V_i = 0 \rightarrow$ خاموش D_2
 $V_A = V_B = 2V$
 $\rightarrow V_i < 2V \rightarrow V_o = 2V$

اگر $V_i > 2V$:
 $V_A = V_{R_{1k}} + V_1 = (V_i - V_1) \times \frac{1}{1+1} + V_1$
 $V_A = 5 \rightarrow V_i = 8V$
 $\rightarrow V_i > 8V \rightarrow V_o = 5V$

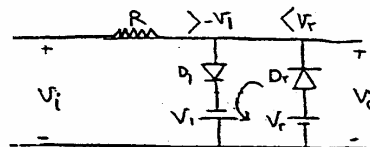
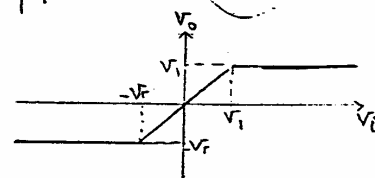


مدلهای بیشتر:



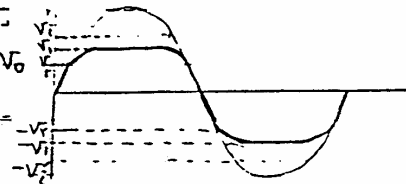
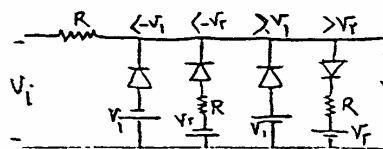


$$\begin{cases} R_F = 0 = R_d = r_d \\ V_F = 0 \\ R_r = \infty \end{cases} \quad \text{دیود ایده‌آل}$$



در مدار بالا بعد از گذشت زمان یکی از دو شاخه و یا هر دو همزمان می‌سوزند

$$V_i > V_r$$

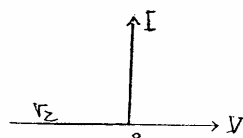
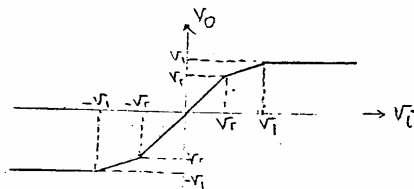


5

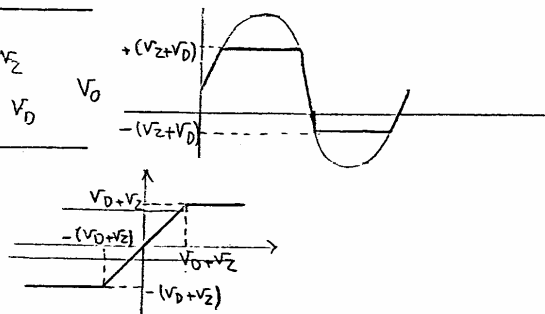
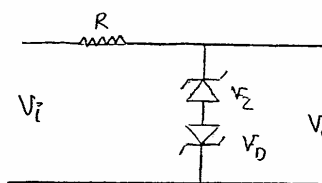
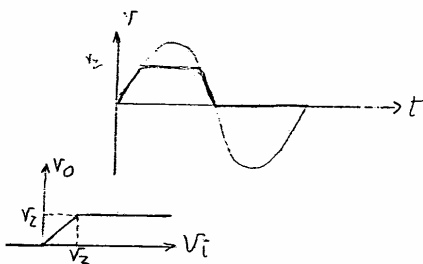
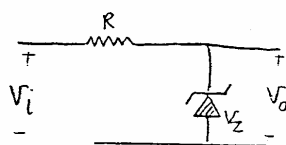
$$0 < V_i < V_r \rightarrow V_o = V_i$$

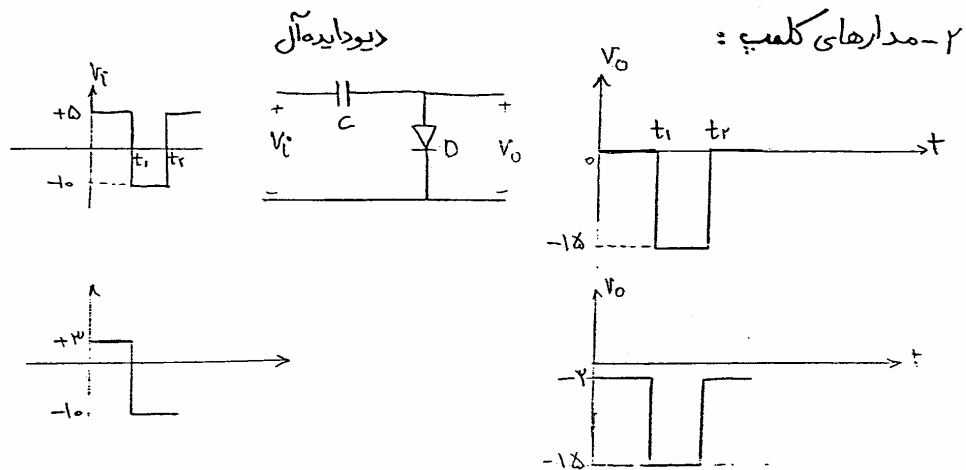
$$V_r < V_i \rightarrow V_o = V_R + V_r = \frac{(V_i - V_r)}{R + R} R + V_r = \frac{V_i + V_r}{2}$$

$$\text{if } V_o = V_r \rightarrow V_i = 2V_r - V_r$$

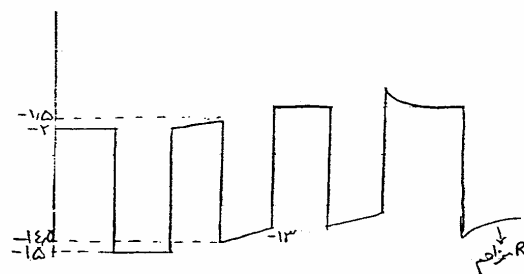


دیود زنر ایده آل :



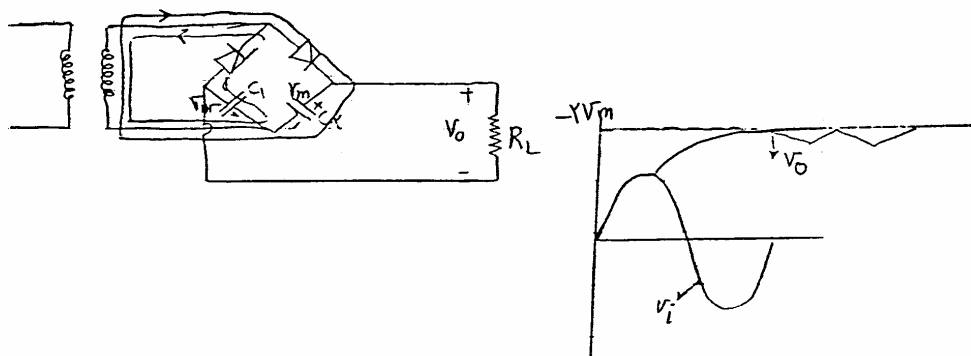


باموازی کردن یک مقاومت با دیود فرصت لازم برای دشارژ کردن خازن بوجود می آید.

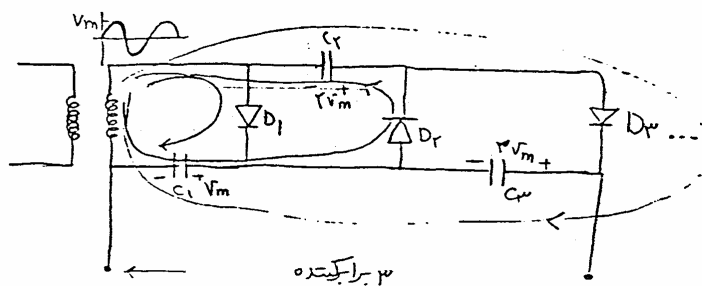


۳- مدارهای چندبرابرکننده ولتاژ :

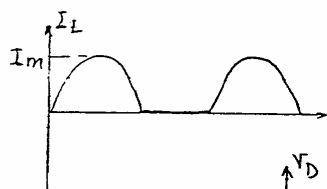
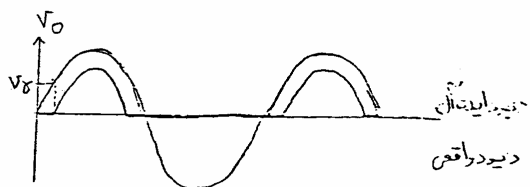
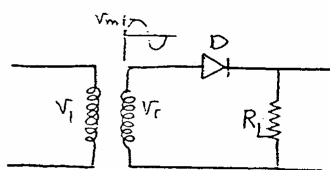
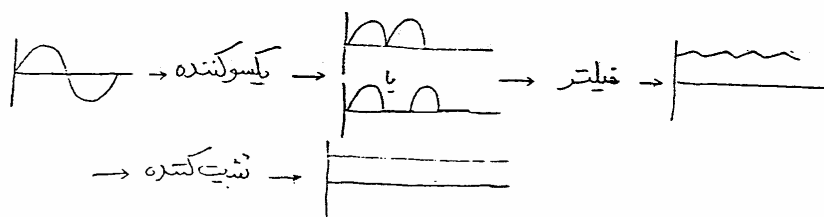
دو برابر کننده =



۷

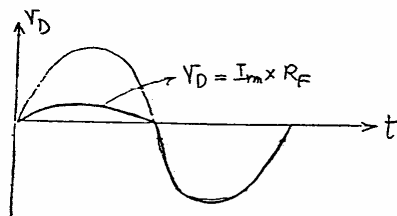


۲- مدارهای یکسوکننده =



$$I_m = \frac{V_m}{R_L + R_F} \quad , \quad V_o = I_m \times R_L$$

$$V_D = I_m \times R_F$$



$$R_F \neq 0$$

$$V_i = V_m \sin \omega t$$

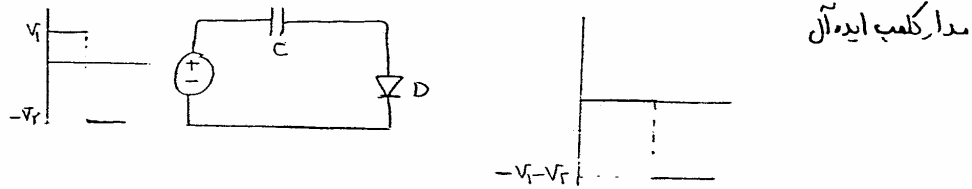
$$\begin{cases} V_D = I_m \times R_F & 0 < \omega t < \pi \\ V_D = V_i & \pi < \omega t < 2\pi \end{cases}$$

$$V_{dc_{RL}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_D(t) dt = \quad , \quad V_{dc_{RL}} = \frac{1}{T} \int_0^T R_L I_m \sin \omega t dt = \frac{R_L I_m}{\pi}$$

$$V_D = \frac{1}{T} \int_0^T v_D dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^T I_m \sin \omega t \cdot R_F dt + \int_{\frac{T}{2}}^T V_m \sin \omega t dt \right]$$

$$\rightarrow V_D = -\frac{I_m}{\pi} R_L$$

9



با تغییر ناگهانی V_i به V_i' که کمتر از V_i است خازن میل رسیدن به ولتاژ V_i' را خواهد داشت اما



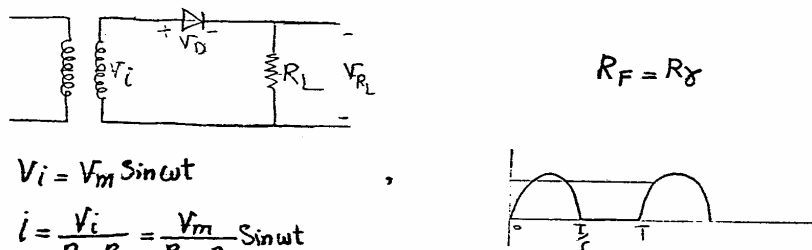
اگر مقاومت R را با دیود موازی کنیم خازن در هر آنترناس کمی دشارژی شود تا نهایتاً بعد از

چند آنترناس ولتاژ $-V_i + V_i'$ به صفری برسد بعد از آن مدار کلمپ به مدار کلمپ ایده آل تبدیل

می شود. در این حالت مقاومت مزاحم خواهد بود به شرط اینکه مقدار آن بسیار بزرگ باشد تا فرصت

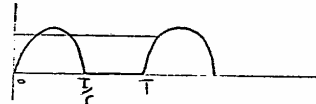
دشارژ شدن به خازن را ندهد. نمودار این میجت در جلسه قبل کشیده شده است.

راندمان یکسوساز = نسبت توان DC تحویلی به بار را به توان متوسط ورودی گوئیم.



$$V_i = V_m \sin \omega t$$

$$i = \frac{V_i}{R_L + R_F} = \frac{V_m}{R_L + R_F} \sin \omega t$$

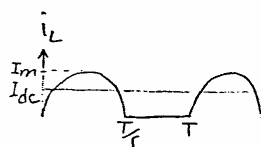


$$(P_i)_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T (V_i \times i) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_m \sin \omega t) \left(\frac{V_m}{R_L + R_F} \sin \omega t \right) dt$$

$$\rightarrow P_{av} = \frac{V_m^2}{4(R_L + R_F)}$$

توان متوسط ورودی

$$P_{o_{dc}} = (I_{dc})^2 R_L$$



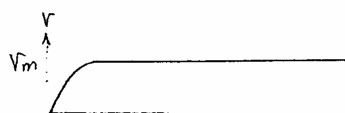
$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t dt \rightarrow I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}$$

$$P_{o_{dc}} = \frac{I_m^2}{\pi^2} R_L = \left(\frac{V_m}{R_L + R_F} \right)^2 R_L$$

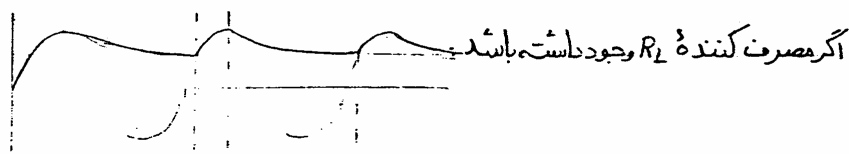
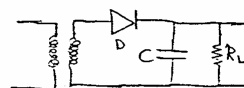
$$\rightarrow \text{راندمان یکسو ساز} = \frac{4 R_L}{\pi^2 (R_F + R_L)} \times 100$$

if $R_F \ll R_L$

راندمان = 7. %



اگر در مدار قبل دیود ایده آل باشد آن گاه:



اگر مصرف کننده R_L وجود داشته باشد:

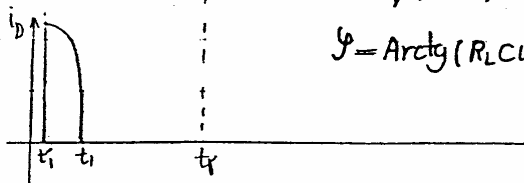
اگر $\tau = R_L C$ بسیار بزرگتر از T باشد مقدار شارژ خازن کمتر خواهد بود و تقریباً جریان ثابتی را خواهیم داشت.

$$i_D = i_C + i_L = C \frac{dv_D}{dt} + \frac{V_D}{R_L}$$

دیود ایده آل $\rightarrow i_D = C \frac{dv_i}{dt} + \frac{V_D}{R_L} = C \omega V_m \cos \omega t + \frac{V_m \sin \omega t}{R_L}$

$$\rightarrow i_D = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad I_m = \sqrt{(C \omega V_m)^2 + \frac{V_m^2}{R_L^2}}$$

$$\varphi = \text{Arctg}(R_L C \omega)$$

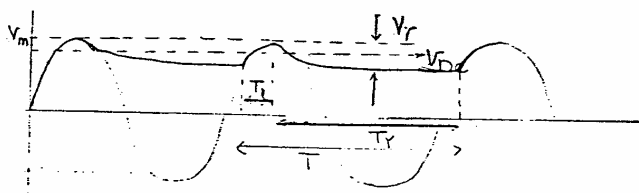


۱۱

$$t = t_1 \rightarrow V_{O_{t_1}} = V_m \sin \omega t_1 \quad , \quad V_C = (V_i - V_p) e^{-\frac{t}{RC}} + V_p$$

$$t > t_1 \rightarrow V_{O_{t_1}} = (V_m \sin \omega t_1) e^{-\frac{(t-t_1)}{R_L C}}$$

$$t = t_r \rightarrow V_{O_{t_2}} = (V_m \sin \omega t_1) e^{-\frac{(t_r-t_1)}{R_L C}} = V_m \sin \omega t_r$$



$$V_{DC} \triangleq V_m - \frac{V_r}{2}$$

$$\text{if } T \gg T_1 \rightarrow T_r \simeq T$$

$$V_r = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{I_{DC} \times T}{C} \rightarrow V_r = \frac{I_{DC} \times T}{C}$$

$$Q = C V_r \rightarrow Q = I_{DC} T$$

برای اینکه V_r را به حداقل برسانیم می‌توانیم C را بالا ببریم یا اینکه تغییراتی در فرکانس داد.

اگر R_L در مدار زیاد باشد (بدترین شرایط) برای یافتن اینکه دیود تا چه حد می‌تواند عبور تا شکست ولتاژ داشته باشد

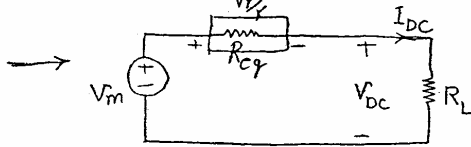
$$\begin{cases} V_R \Rightarrow 2V_m \\ I_{av} \\ I_p \\ P = \frac{1}{T} \int_0^T i_D \times v_D dt \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{مشخصات موجود در} \\ \text{کاتالوگ دیود.} \end{array}$$

پیدا کند.

$$V_{DC} = V_m - \frac{V_r}{\gamma}$$

$$V_{DC} = V_m - \frac{I_{DC}}{\gamma FC}$$

در مدار یکسوساز نیم موج (مبدل قیل) دیدیم که:



→

$$Req = \frac{1}{\gamma FC}$$

مقاومت معادل یکسوساز نیم موج

در حالت غیر ایده آل به جای V_m از V'_m استفاده می‌کنیم:

$$V'_m = V_m - V_g$$

مثال: $V_m = 15\text{ V}$, $C = 200\text{ }\mu\text{F}$, $R_L = 200\text{ }\Omega$, $f = 50\text{ Hz}$

$V_g = 0$, $I_{DC} = ?$, $V_{DC} = ?$, $V_r = ?$

$$\rightarrow Req = \frac{1}{\gamma FC} = 50\text{ }\Omega \quad \rightarrow I_{DC} = \frac{V_m}{R_L + Req} = \frac{15}{200 + 50} = 40\text{ mA}$$

$$\rightarrow V_{DC} = R_L \cdot I_{DC} = 200 \times 40\text{ mA} = 12\text{ V}$$

$$\rightarrow V_r = V_m - V_{DC} = 15 - 12 = 3\text{ V}$$

علت بزرگ بودن V_r به علت کم بودن C است و این مناسب نیست.

تعریف:

$$V.R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

زمان بار زمان همراه بار

در مثال قبل:

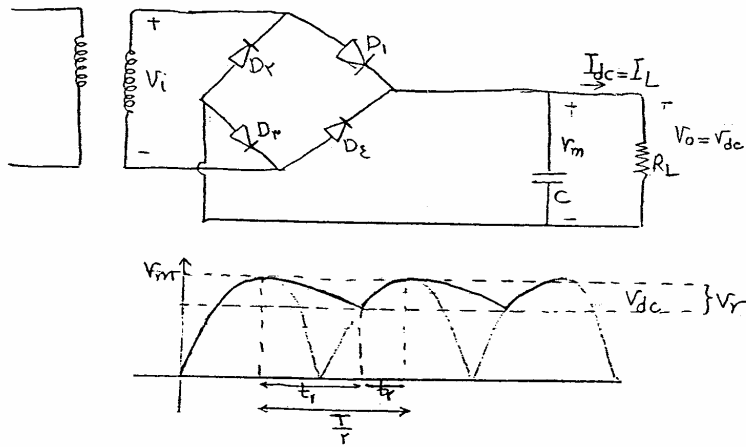
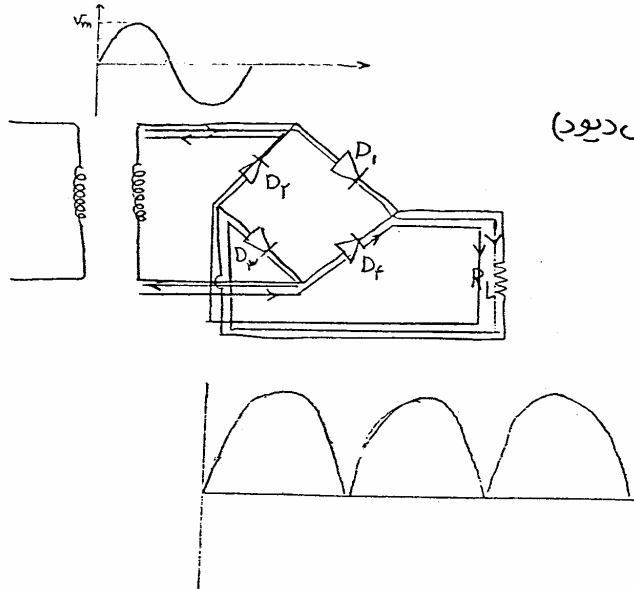
$$V.R = \frac{15 - 12}{12} = \frac{1}{4} = 25\%$$

هرچه $V.R$ کمتر باشد بهتر است برای کم کردن $V.R$ رگولاسیون دوروش داریم:

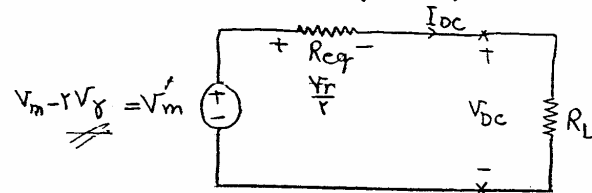
۱۳

تکسوسازی تمام موج :

۱- روش چهار دیودی (پل دیود)



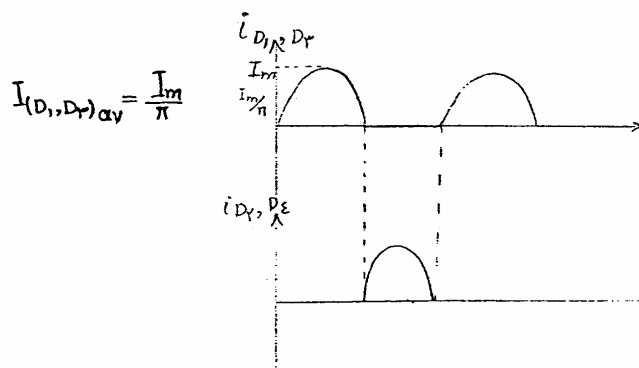
$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{2}, \quad \frac{V_r}{2} = R_{eq} \times I_{dc}$$



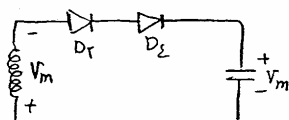
if $t_1 \gg t_r : t_1 \approx \frac{T}{f}$

$$Q = C \times V_r = I_{DC} \times \frac{T}{f}$$

$$\rightarrow V_r = \frac{I_{DC} \times \frac{T}{f}}{C} = \frac{I_{DC}}{f f C} , R_{eq} = \frac{1}{f f C}$$



برای یافتن ماکزیم ولتاژ دیودها مدار معادل را رسم می‌کنیم.



$$V_{R, D_r, D_\epsilon} = V_m$$

برای یافتن توان هم مانند یکسوسازی نیم موج عمل می‌کنیم.

مثال: $V_m = 15V$ $C = 200 pF$ $R_L = 200 \Omega$

چون V_r داده نشده است پس دیودها ایده آل بوده و V_m برابر V_r است

$$R_{eq} = \frac{1}{f f C} = \frac{1}{f \times 50 \times 200 \times 10^{-6}} = 25 \Omega \quad \dots I_{DC} = \frac{V_m}{R_L + R_{eq}} = 47 mA$$

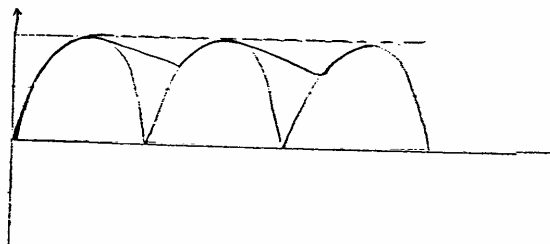
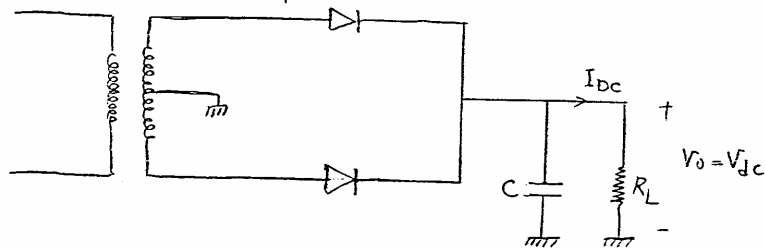
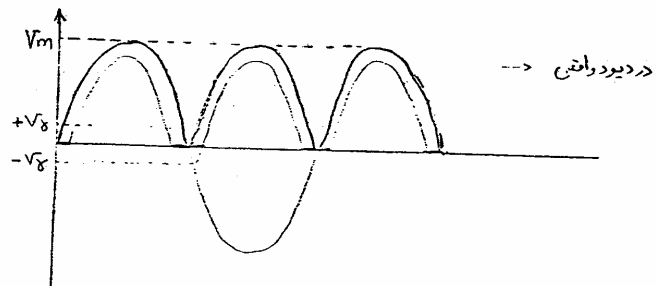
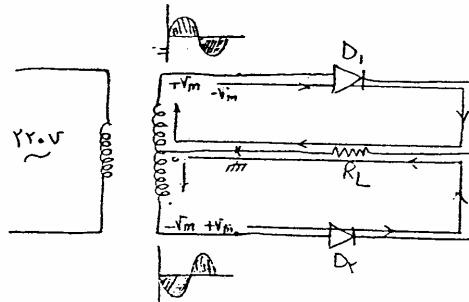
$$V_{DC} = R_L \cdot I_{DC} = 13.14 V$$

$$\left. \begin{aligned} V_r &= 2(V_m - V_{DC}) \\ V_r &= \frac{I_{DC}}{f f C} \end{aligned} \right\} \rightarrow V_r = 3.35 V_{PP}$$

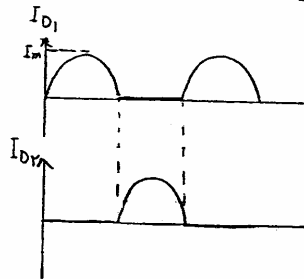
pick to pick

۱۵

۲- ترانس سروسط (سه سر)



اگر فقط خازن باشد V_d طبق نقطه چین خواهد بود با اضافه شدن R_L ، V_d به صورت بالا تغییر می کند.



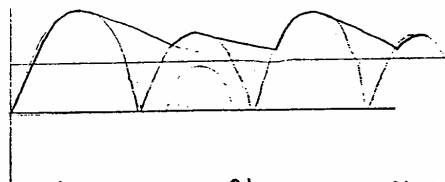
بخشهای مربوط به V_d در این روش مانند روش قبلی است. $I_{av} = \frac{I_m}{\pi}$

توان نیز مانند روش قبلی محاسبه می شود.

در این روش : $PIV = 2V_m$

با اینکه ثانویه ترانس در این روش دو برابر دوره‌ها در روش پل دیودی است ولی حجم دوترانس در هر دو حالت برابر است دلیل این است که چون در این روش نصف ثانویه در یک آلترانس خاموش است لذا سیم نازکتری نیاز داریم اما در پل دیودی تمام ترانس همواره روشن است و باید سیم کلفت‌تری داشته باشیم.

در یکسوسازی تمام موج با ترانس سروسط $Pick$ ها در $repel$ باهم اختلاف دارند و یکی در میان زیاد و کم می‌شوند. دلیل به خاطر درست انتخاب نشدن سروسط ثانویه است. لذا $pick$ آلترانس مثبت ممکن است متفاوت با $Pick$ آلترانس منفی باشد.



گاهی اوقات ممکن است $pick$ آلترانس منفی آن قدر پایین باشد که مانند یکسوسازی نیم

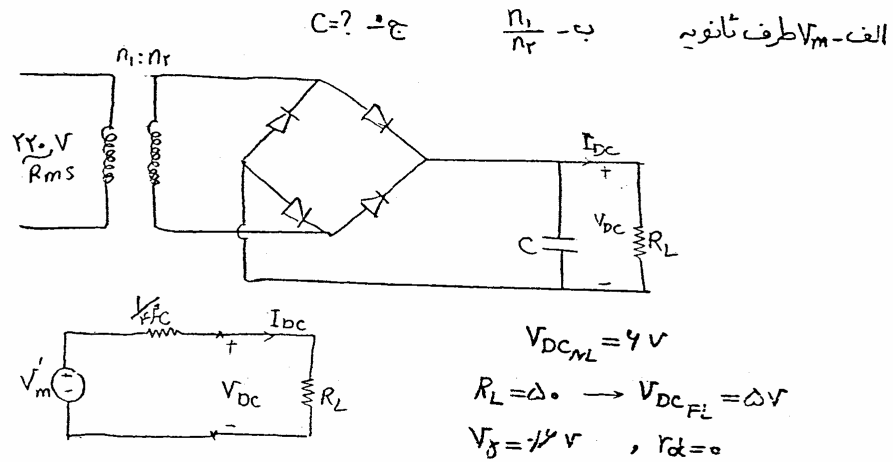
موج شود که در شکل با خط چین نمایش داده شده است.

مثال :

در مدار یکسوساز شکل زیر ولتاژ DC بدون بار برابر ۹ ولت و با بار 50Ω برابر ۵ ولت است.

با فرض اینکه ولتاژ مستقیم دیودها $0.7V$ و مقاومت دیامیک آنها چیزی باشد با 50Ω مطلوب است.

۱۷



$$V_m' = V_m - 2V_g \rightarrow V_m = V_m' + 2V_g \rightarrow V_m = 4.8V$$

$$V_m' = V_{DC_{NL}} = 4V$$

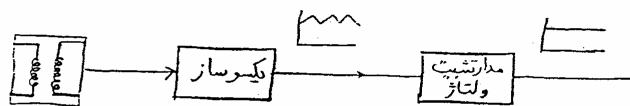
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} \rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{220}{4.8} \approx 45.8$$

$$V_2 = \frac{V_m'}{\sqrt{2}}$$

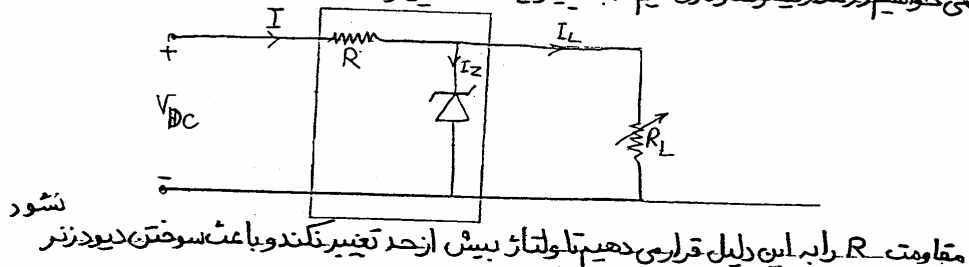
$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = 1.1A$$

$$V_{DC_{FL}} = V_m' - I_{DC} \cdot R_{eq} \rightarrow R_{eq} = \frac{1}{f \cdot C}$$

$$V_{DC} = V_{DC_{FL}} - I_{DC} \cdot R_{eq}, C = 500 \mu F$$



می‌خواهیم مدار دیکوساز کاری کنیم که با تغییر R_L - V_o تغییر نکند.



حال شرایط بحرانی را در نظریه گیریم. در این حالت R_2 قطع شده است و جریان تأمین‌های بالای رود در این صورت حدپایین R را محاسبه می‌کنیم. اگر R از این حدپایین تر باشد I_Z بیش از حد بالای رود و زرمی سوزد. از طرفی حد بالای R را طوری انتخاب می‌کنیم که زرم تثبیت کنندگی خود را داشته باشد.

$$P_{Zmax} = V_Z \cdot I_{Zmax} \quad , \quad \frac{I_{Zmin}}{I_{Zk}} < I_Z < I_{Zmax}$$

$$R_{min} = \frac{V_{DC} - V_{Zk}}{I_{Zmax}} \quad R_{max} = \frac{V_{DC} - V_{Zk}}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

چون در عمل I تقریباً ثابت است لذا می‌توانیم V_{DC} را ثابت فرض کنیم مگر اینکه در مساله

بیان شود اگر $V_{i min} < V_{DC} < V_{i max}$ آن گاه:

$$R_{min} = \frac{\overset{V_{i max}}{\cancel{V_{DC}}} - V_{Zk}}{I_{Zmax}} \quad R_{max} = \frac{\overset{V_{i min}}{\cancel{V_{DC}}} - V_{Zk}}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

اگر زرم ایده آل نباشد و مقاومت دینامیکی داشته باشد یک مقاومت r_z با زرم سری می‌شود در این

صورت در رابطه جای V_{Zk} از V_Z استفاده می‌کنیم که:

$$V_Z = V_{Zk} + r_z \cdot I_Z$$

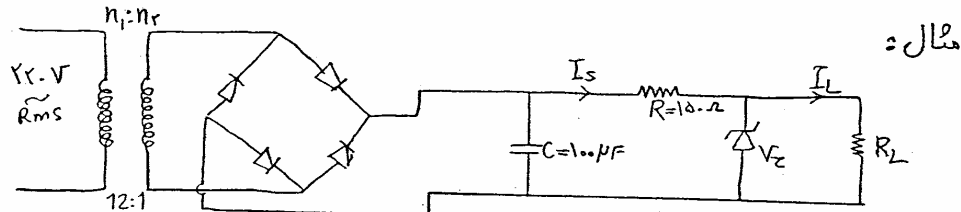
ولتاژ ریز ولتاژ ریز

$$\text{اگر بار را برداریم:} \quad \left(\overset{\text{ولتاژ ریز}}{\cancel{V_Z}} \right) = \left(\overset{\text{ولتاژ ریز}}{\cancel{V_Z}} \right) \cdot \frac{r_z}{r_z + R}$$

اگر بار هم وجود داشته باشد این ولتاژ ریز تغییر نمی‌کند یعنی با تغییر R ولتاژ ریز تقریباً

ثابت خواهد بود.

۱۲



مثال:

در مدار زنی تنظیم کننده شکل بالا دیودها ایده آل بوده و

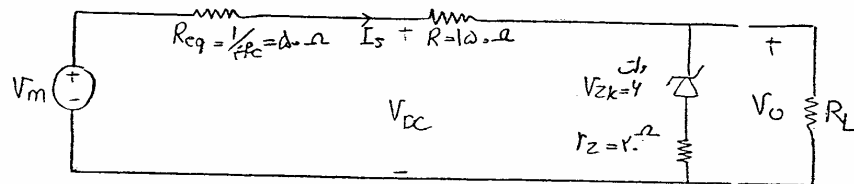
$$V_{ZK} = 9V$$

$$I_{Zmax} = 40mA$$

$$I_{Zmin} = 5mA$$

مطلوبست محاسبه خازن بار R_L در صورتیکه:

$$r_z = 20\Omega \quad 1A < V_E < 24V$$



$$V_{Emin} = 1A \rightarrow \frac{V_r}{V_i} = \frac{V_{eq}}{1A} = \frac{1}{17}$$

$$\rightarrow V_m = \sqrt{r} V_{Ez} = 21.21V$$

$$\text{بسیار: } I_S = \frac{V_m - V_Z}{R_{eq} + R + r_z} = 49.15mA$$

$$I_{Lmax} = I_S - I_{Zmin} = 44.15mA$$

$$R_{Lmin} = \frac{V_O}{I_{Lmax}} = \frac{V_{ZK} + r_z \cdot I_{Zmin}}{I_{Lmax}} = 95.09\Omega$$

$$V_{Emax} = 24V \rightarrow V_{Ez} \rightarrow V_m = 21.21V$$

$$\text{بسیار: } I_S = \frac{V_m - V_{ZK}}{R_{eq} + R + r_z} = 101.29mA$$

$$\rightarrow I_{Lmin} = I_S - I_{Zmax} = 61.29mA$$

$$\rightarrow R_{Lmax} = \frac{V_O}{I_{Lmin}} = \frac{V_{ZK} + r_z \cdot I_{Zmax}}{I_{Lmin}} = 174.38\Omega$$

توان زیستور:

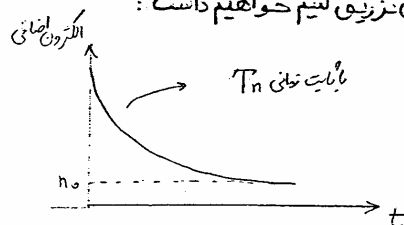
طول عمر ناقل ، طول عمر الکترون آزاد:

$$P = P_o = N_a$$

می دانیم که در یک نیمه هادی از نوع P:

$$n = n_o = \frac{n_i^2}{N_a}$$

اگر یک دسته الکترون به این نیمه هادی تزریق کنیم خواهیم داشت:



الکترون های اضافی و تزریق شده با حفره ها ترکیب می شوند. این ترکیب در زمان های اول زیاد و

رفته رفته طبق نمودار بالا کاهش می یابد. زمان لازم برای ترکیب شدن این الکترون های آزاد را

طول عمر الکترون آزاد گوئیم.

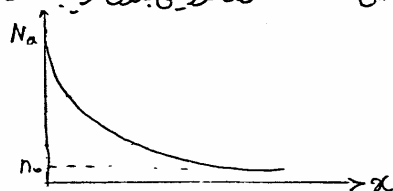
$$N = N_o = N_d$$

در نیمه هادی نوع n

$$p = p_o = \frac{n_i^2}{N_d}$$

T_n در نیمه هادی های مختلف در حدود میکروثانیه است.

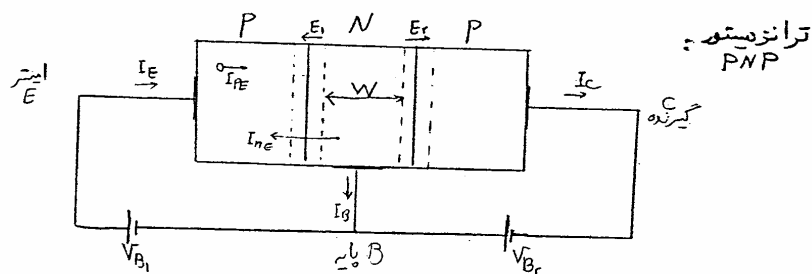
طول نفوذ (منظور از طول نفوذ، فاصله ای است که الکترون تزریق بدون ترکیب شدن در نیمه هادی



پیش رفته است.

طول نفوذ در نیمه‌های مختلف در حدود ۲۰ الی ۲۰۰ میکرون است.

با توجه به مفاهیم بالا به تعریف ترانزیستوری پردازیم :



اگرسیم سوم نباشد I_B و I_E برابر خواهند بود.

با وجود سیم سوم اگر حفزه‌ای که از P به N وارد شده است بیش برود به میدان موافق E_C می‌رسد و به

جای اینکه از E_C برود به ناحیه P رفته و I_C را تولید می‌کند. این به شرطی است که ناحیه N باریک باشد

و میدان E_C قوی‌تر باشد. برای زیاد کردن E_C باید ناحیه تخلیه افزایش یابد لذا V_{B_2} را در

اتصال سوم قرار می‌دهیم. در این صورت هم E_C قوی‌تری شود و هم ناحیه تخلیه بزرگ‌تری شود.

عریف تر شدن ناحیه تخلیه همان باریک شدن ناحیه N خواهد بود.

به پایه‌ای که حضور آن برقی می‌کند (I_E) امیتر گوئیم. به پایه‌ای که جمع‌کننده الکترون است (I_C)، کلکتر

یا گیرنده گوئیم و به پایه سوم (I_B)، پایه یا Base گوئیم.

چگالی الکترون در سیم \gg چگالی حفزه در امیتر

ناخالصی دهنده در بیس \gg ناخالصی گیرنده در امیتر

$$(N_a)_E \gg (N_d)_B$$

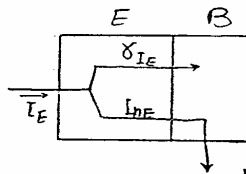
ضریب مقاومت بیس \ll ضریب مقاومت امیتر

$$r_E \ll r_B$$

$$I_E = I_{PE} + I_{NE}$$

γ (راندگان امیتر) :

$$\gamma = \frac{I_{PE}}{I_{PE} + I_{NE}}, \quad \gamma = 1 - \frac{W}{L_{nE}} \times \frac{J_E}{J_B}$$



I_{NE} در پدیده ترانزیستوری هیچ دخالتی ندارد.

$$W = 10 \mu, \quad L_{nE} = 50 \mu$$

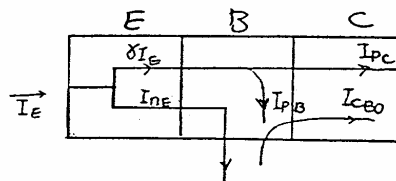
$$(N_d)_B = 10^{14} / \text{cm}^3, \quad (N_a)_E = 10^{18} / \text{cm}^3$$

$$\rightarrow \gamma = 0.95$$

مثال عددی :

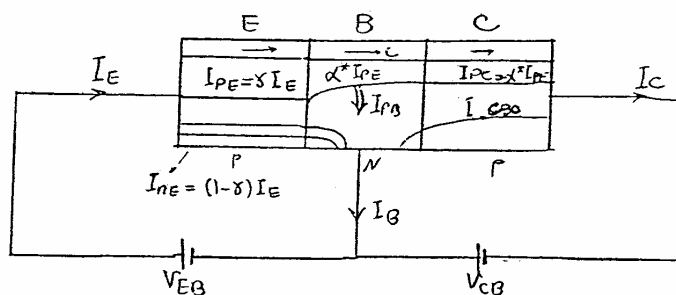
α^*
فاکتور انتقال در Base :

$$\alpha^* = \frac{\text{جریان حفره‌ای در انتهای پایه}}{\text{جریان حفره‌ای در ابتدای پایه}} = \frac{I_{PC}}{I_{PE}}$$



$$\alpha^* \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_{PB}} \right)^2$$

$$I_{CBO} \rightarrow \begin{matrix} \text{Si : } nA \\ \text{Ge : } \mu A \end{matrix}$$



$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = I_{PE} + I_{nE}$$

$$I_{PE} = \gamma I_E$$

$$\begin{cases} I_{PC} = \alpha^* I_{PE} = \alpha^* \gamma I_E \\ I_{CBO} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_C = I_{PC} + I_{CBO} = \alpha^* \gamma I_E + I_{CBO} \end{cases}$$

$$I_B = I_{nE} + I_{PB} - I_{CBO}$$

$$\rightarrow I_B = (1 - \gamma) I_E + (\gamma I_E - \alpha^* I_{PE}) - I_{CBO}$$

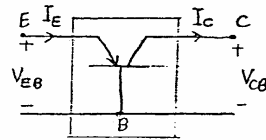
$$\rightarrow I_B = (1 - \alpha^* \gamma) I_E - I_{CBO}, \quad \alpha = \alpha^* \gamma$$

$$\begin{cases} I_E \\ I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \approx \alpha I_E \approx I_E \\ I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{CBO} \approx (1 - \alpha) I_E \end{cases} \quad \text{در هر رانژ لیتر:$$

پدیده آلای یا پدیده مدولاسیون پهنای باند: باز داشتن V_{CB} پهنای باند (W) کمی شود

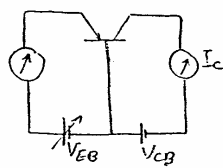
با کم شدن W، α^* زیاد شده و در نتیجه I_C بالایی رود. پدیده افزایش I_C را با افزایش V_{CB} پدیده

آلای گوئیم.

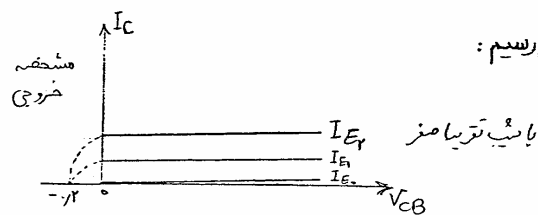


فنایش ترانزیستور =

می‌خواهیم ببینیم در I_E ثابت با تغییر V_{CB} ، I_C چگونه تغییری کند. به همین منظور مدار زیر را



ترتیب داده و آزمایش کنیم.

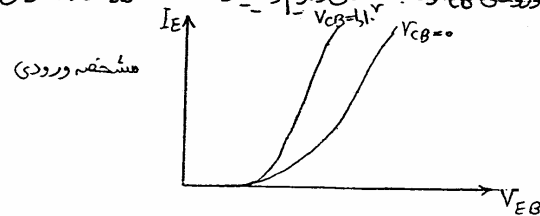


پس از آزمایش به نتیجه زیر می‌رسیم:

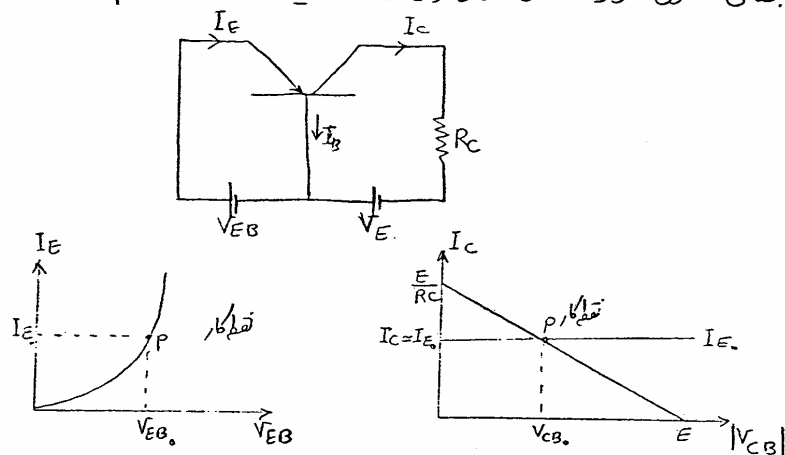
اگر جهت باتری V_{CB} را عوض کنیم در حلقه ولتاژ ۱۲، میدان E بین B و C تقریباً خنثی می‌شود و جریان

صفر خواهد بود.

برای بررسی مشخصه ورودی V_{CB} را ثابت نگه می‌داریم و تغییرات I_E در V_{EB} را بررسی می‌کنیم.



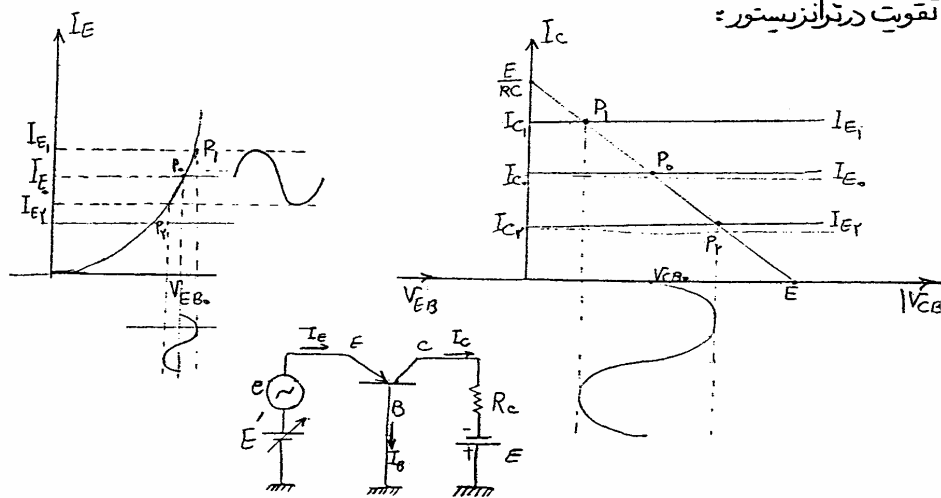
برای بررسی اصول تقویت کنندگی در ترانزیستور مدار زیر را تشکیل می‌دهیم:



$$E = R_C I_C + V_{CB} \quad , \quad I_C \approx I_E$$

معادله خط بار

تقویت در ترانزیستور:

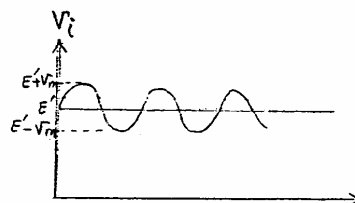


$$I_{C_0} \approx I_{E_0}$$

$$E = R_C I_{C_0} + V_{CB_0}$$

$$iP \quad e \ll V_{EB_0}$$

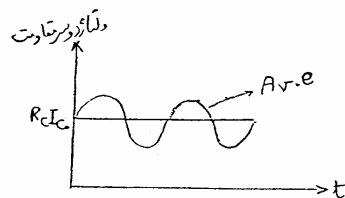
$$e = V_m \sin \omega t$$



$$\Delta I_C = I_{C1} - I_{C2} = i_c$$

$$\Delta I_E = I_{E1} - I_{E2} = i_e$$

$$\rightarrow V_C = R_C i_c$$



$$\begin{cases} I_B = (1-\alpha) I_E - I_{CB0} \\ I_C = \alpha I_E + I_{CB0} \end{cases}$$

$$\Delta I_C = \alpha \Delta I_E$$

$$i_c = \alpha i_e \rightarrow i_c = i_e$$

$$\frac{e}{r_d} = i_e$$

$$V_0 = V_C = R_C i_c$$

$$i_c = \alpha i_e$$

$$V_0 = R_C \alpha \frac{e}{r_d}$$

$$A_v = \frac{V_0}{e} = \frac{R_C}{r_d} \cdot \alpha \approx \frac{R_C}{r_d}$$

$$r_d = \frac{\frac{m k T}{q}}{I} = \frac{\eta V_T}{I_E}$$

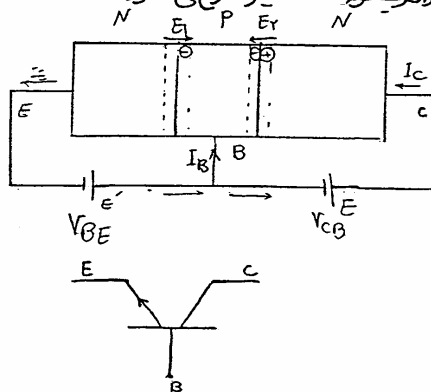
$$V_{E1} = V_{EB} = 1V, \quad I_{E1} = 2mA, \quad E = 1.7V$$

مثال عددی:

$$R_C = 2.1k\Omega, \quad I_{C1} = 1.9mA, \quad \beta = 5$$

$$\rightarrow r_d = \frac{25 \times 29}{2} = 29\Omega, \quad A_v = \frac{R_C}{r_d} = \frac{2.1k\Omega}{29} \approx 72$$

تمام توجهیات بالا در مورد ترانزیستور NPN نیز مطرح می شود.



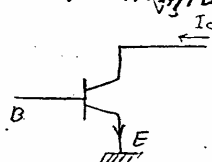
$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

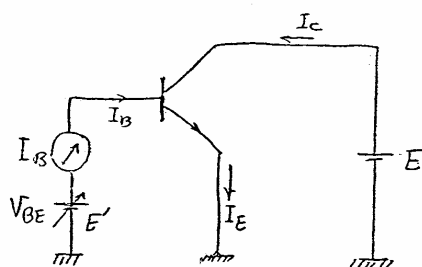
27

با توجه به اینکه ناقله‌های الکتریکی در این ترانزیستور الکترون‌ها هستند در نتیجه سرعت این ترانزیستور بیشتر از ترانزیستور PNP است.

از لحاظ تقویت‌کنندگی، تقویت‌کننده‌های Base مشترک و امیتر مشترک کاملاً شبیه هم هستند. فقط تقویت‌کننده امیتر مشترک مزایایی نسبت به Base مشترک دارد.

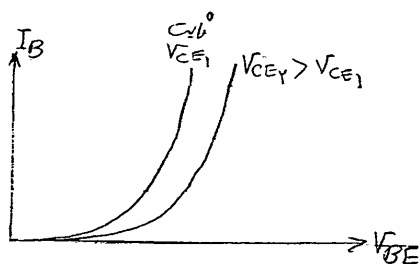


تقویت‌کننده
امیتر مشترک



تقویت‌کننده امیتر مشترک:

$$\begin{aligned} E' &< E \\ E - E' &= V_{CB} \\ I_C + I_B &= I_E \\ I_C &= \alpha I_E + I_{CBO} \end{aligned}$$



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

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} + I_{CBO} \quad , \quad \frac{\alpha}{1-\alpha} \triangleq \beta$$

$$\begin{aligned} \text{if } \alpha &\rightarrow 1 \quad \rightarrow \quad I_C = \beta I_B + \beta I_{CBO} \\ &\quad \rightarrow \quad I_C \approx \beta I_B \end{aligned}$$

$$\beta I_{CBO} \triangleq I_{CEO}$$

$$\alpha = 0.99, \quad I_{CBO} = 0.1 \mu A \quad \rightarrow \quad \beta = 99 \quad \text{مثال عددی:}$$

پارامتر β را با h_{FE} نیز نمایش می‌دهند.

از روابط بالا برای آئین مشخص، تعویض کننده لایته مشترک این است که در این حالت جریان نیز تقویت می‌شود.

$$r_{dE} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$$

رابطه مشترک

$$r_{dE} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

$$r_{dE} \leq (1+\beta) r_{dB}$$

$$\rightarrow h_{ie} = (1+\beta) h_{ib}$$

$$\text{از طرفی: } I_C \approx I_E$$

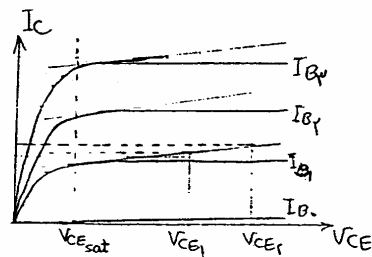
$$I_E = I_C = \beta I_B$$

$$\Delta I_E = \beta \Delta I_B$$

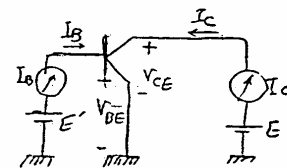
$$\rightarrow r_{dE} = \frac{\Delta V_{BE} \times \beta}{\Delta I_E}$$

$$r_{dE} = \frac{\eta V_T}{I_C} \cdot \beta$$

r_{dE} را با پارامترهای h_{ie} ، h_{FE} نیز نمایش می‌دهند.



مشخصه خروجی:

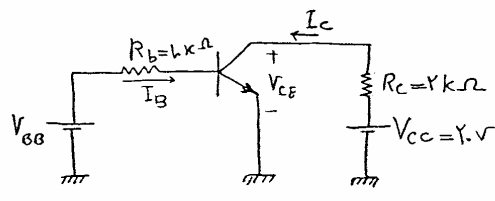


$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

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

$$r_{dE} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C} \quad \cdot \quad r_{dE} = \frac{\Delta V_{CE}}{I_C}$$

29



مثال :

$$\beta = 100$$

$$V_{BE(on)} = 0.7V, \quad V_{BE(sat)} = 0.8V, \quad V_{CE(sat)} = 0.2V$$

الف) اگر $V_{BE} = 1.2V$ نگاه بیابید: I_C و V_{CE} ب) اگر $V_{BE} = 2.1V$ بیابید: I_C و V_{CE}

ج) $V_{BE(min)}$ را بیابید.

$$\begin{aligned} \text{الف) } V_{BE} &= R_b I_B + V_{BE(on)} \rightarrow I_B = 50 \mu A \\ &\rightarrow \begin{cases} I_C = 50 \cdot I_B = 5 \text{ mA} \\ V_{CE} = 10V \end{cases} \\ V_{CC} &= R_c I_C + V_{CE} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ب) } V_{BE} &= 2.1V \rightarrow I_B = \frac{V_{BE} - V_{BE(on)}}{R_b} = 200 \mu A \\ I_C &= \beta I_B = 20 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_c I_C = -10V$$

در نتیجه فرض اولیه ما نادرست است و ترانزیستور در ناحیه فعال نیست فرض می‌کنیم در ناحیه اشباع

$$\rightarrow I_{C(max)} = I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_c} = 9.9 \text{ mA} \quad \text{هستیم}$$

$$\rightarrow \begin{cases} I_C = 9.9 \text{ mA} \\ V_{CE} = 0.2 \end{cases}$$

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{BE} - V_{BE(sat)}}{R_b} =$$

$$\frac{I_C}{I_{B(sat)}} < \beta$$

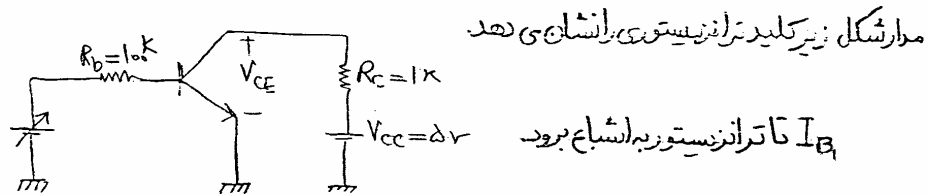
ج) $I_C = 9.9 \text{ mA} \approx I_{C \text{ sat}}$

$$I_{B \text{ min}} = \frac{I_{C \text{ sat}}}{\beta} = \frac{9.9 \text{ mA}}{100} = 99 \mu\text{A}$$

یعنی جریانی حداقل به اندازه ۹۹ میکروآمپر (در درستی) خواهیم تا ترانزیستور به حالت اشباع برود.

$$V_{BE \text{ min}} = I_{B \text{ min}} \times R_b + V_{BE \text{ sat}} \rightarrow V_{BE \text{ min}} = 1.1 \text{ V}$$

مثال برای حالت سوئیچینگ:



$$100 < \beta < 200$$

$$V_{CE \text{ sat}} = 0.2 \text{ V}$$

$$I_{CBO} = 1/1 \mu\text{A}$$

ب) $V_{BE \text{ max}}$ تا ترانزیستور قطع می ماند.

الف) $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \rightarrow I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{CE \text{ sat}}}{R_C} = 4.1 \text{ mA}$

$$I_B = \frac{I_{C \text{ sat}}}{\beta_{\text{min}}} = 41 \mu\text{A}$$

$$\begin{aligned} \beta_{100} &\rightarrow I_B = 41 \mu\text{A} \\ \beta_{200} &\rightarrow I_B = 20.5 \mu\text{A} \end{aligned}$$

ب) $I_E = 0, I_C = I_{CBO}, V_{BE} = 0$

$$V_{BB} = -R_b I_{CBO} + V_{BE} \rightarrow V_{BB \text{ max}} = -11 \text{ V}$$

ناحیه ای که بالای I_B و درست راست V_{CEsat} قرار دارد، ناحیه فعال (active) ترانزیستور گفتم.

ناحیه سمت چپ V_{CEsat} را ناحیه اشباع گوئیم. در این ناحیه $I_C < \beta I_B$ است.

V_{CEsat} در حدود از ۰.۲ الی ۰.۳ ولت است.

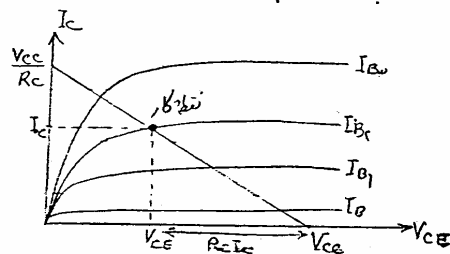
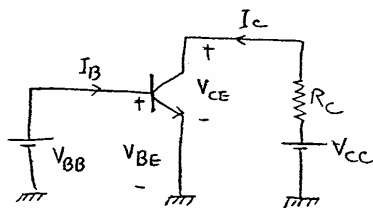
اگر $I_B = 0$ $\rightarrow I_C = \overbrace{I_{CE0}}^{(1+\beta)I_{CB0}}$ Base را باز کنیم ترانزیستور قطع نمی شود

ناحیه قطع ناحیه ای است که در آن $I_E = 0$ ، $I_C = I_{CB0}$. لذا برای اینکه ترانزیستور قطع شود

باید $V_{BE} = 0$ بکنیم. این ناحیه زیر I_B در منحنی قرار دارد.

به غیر از اسکم از ناحیه فعال به عنوان تقویت کننده استفاده می کنیم. از ناحیه اشباع و ناحیه قطع نیز

در کاربرد سوئیچی ترانزیستور نیز استفاده می شود.



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

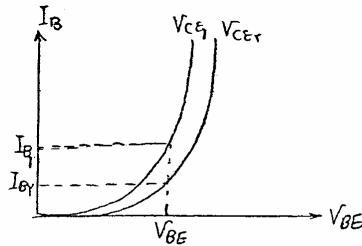
$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

معادله خط بار

$$I_{Cmax} = I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C}$$

در مشخصه ورودی با تغییر V_{CE} ، I_B تغییری کند (در یک V_{BE} ثابت).

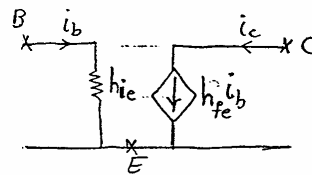
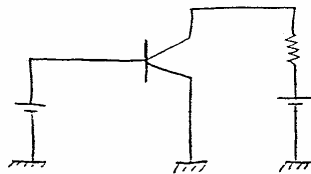


تفاوت دیود بیس-امیتر با دیود معمولی این است که محدود جریان در دیود بیس-امیتر بسیار کوچکتر از

محدوده جریان در دیود معمولی است.

$$h_{ib} \times i_e = V_{ie} \rightarrow V_o = R_c \times i_c, \quad A_{v_b} = \frac{V_o}{V_{ib}}$$

$$h_{ie} \times i_b = V_{ie} \rightarrow V_o = R_c \times i_c, \quad A_{v_e} = \frac{V_o}{V_{ie}}$$



$$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} = \frac{i_c}{i_b} = h_{fe}$$

$$I_c \approx \beta I_B + I_{CBO}$$

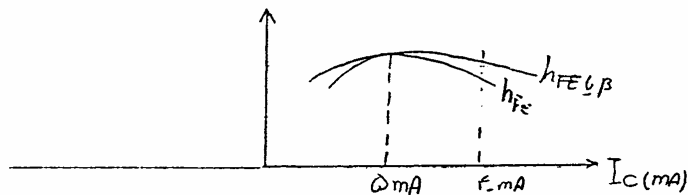
$$\Delta I_c = \Delta \beta I_B + \beta \Delta I_B + \Delta I_{CBO}$$

فرض کنیم تغییرات در β و I_{CBO} ناچیز است

$$(h_{fe}) = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} = \beta + \Delta \beta \cdot \frac{I_B}{\Delta I_B}$$

فرض کنیم تغییرات در β ناچیز است

$$(h_{FE}) = \beta$$

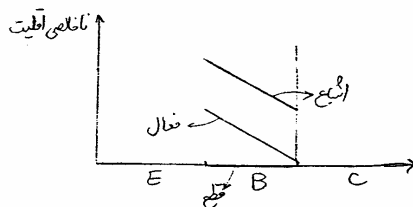
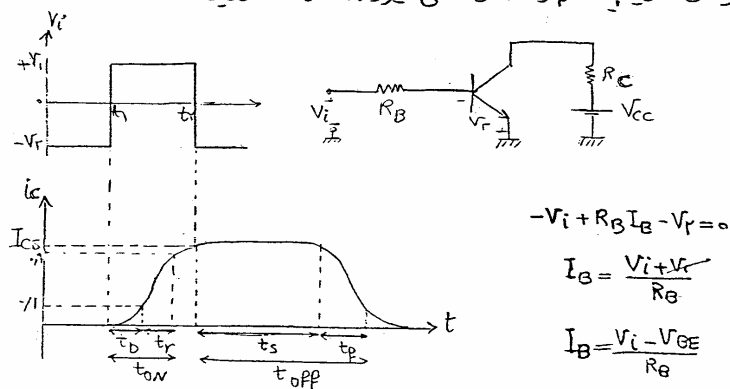


33.

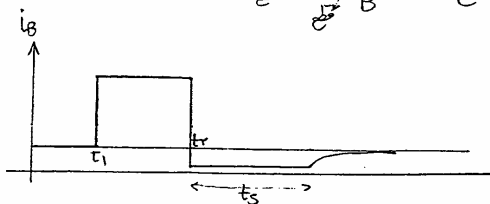
در ترانزیستورهای فرکانس بالا مشخصات خاص دیگری وجود دارد که عبارتند از:

$$P_T, C_{be}, C_{bc}$$

در ترانزیستورهای سوئیچینگ پارامترهای خاصی نیز وجود دارد که در زیر آمده است:



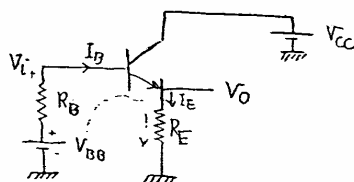
t_s : زمان رسیدن از ناحیه اشباع به فعال



$$t_{ON} \begin{cases} t_D = 10 \text{ ns} \\ t_r = 20 \text{ ns} \end{cases} \quad t_{OFF} \begin{cases} t_s = 225 \text{ ns} \\ t_f = 40 \text{ ns} \end{cases}$$

به عنوان مثال

35



مدار کلکتور مشترک:

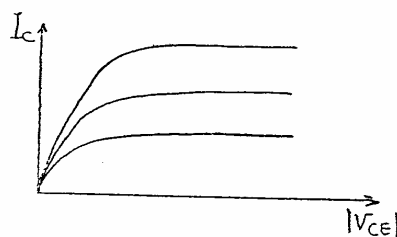
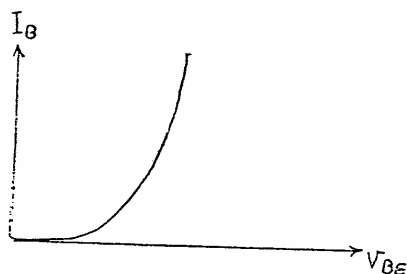
$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_E \approx (1 + \beta) I_B$$

$$I_C \approx I_E$$

$$-V_{CC} + V_{CE} + R_E I_C = 0$$

$$-V_{CE} \rightarrow V_{EC}$$



امپدانس ورودی کلکتور مشترک بیشتر از امپدانس ورودی امیتر مشترک که در امیتر دارای مقاومت

دنیت) است. مزیت این شیوه این است که افت سیگنال در خروجی نداریم. چون در امیتر مشترک

با گذشتن بار در خروجی سیگنال افت پیدا می کند. اما در کلکتور مشترک امپدانس خروجی چه با بار و

چه بدون بار سیگنال افت ندارد. مدار کلکتور مشترک در مدارها به عنوان تطبیق امپدانسها

به کاری رود چون امپدانس ورودی بالا و امپدانس خروجی کم دارد.

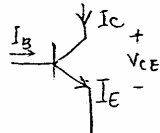
gain جریانی در کلکتور مشترک تقریباً با gain جریانی امیتر مشترک مشابه است.

$$\begin{cases} A_{i_b} = \frac{i_c}{i_b} \approx 1 \\ A_{v_b} > \end{cases} \quad , \quad \begin{cases} A_{i_e} = \frac{i_c}{i_b} \approx h_{fe} \\ A_{v_e} > \end{cases} \quad , \quad \begin{cases} A_{i_c} = \frac{i_c}{i_b} \approx 1 + h_{fe} \\ A_{v_c} \approx 1 \end{cases}$$

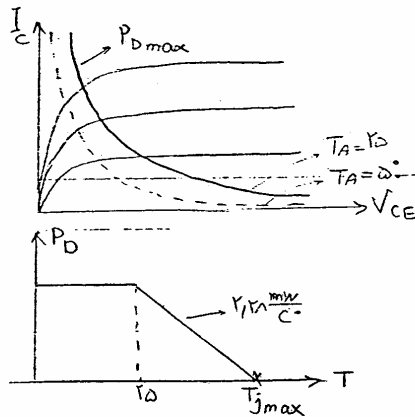
مشخصات اصلی ترانزیستور:

۱- I_{Cmax}

۲- P_{Dmax} $\frac{P_C}{P_D}$



$$P_D = I_C \cdot V_{CE} + I_B \cdot V_{BE}$$



۳- Derating ضریب

$$4- BV_{CE0} (V_{CEmax})$$

حد آنتولتاژ و خروجی تا شکست پیدا نکند.

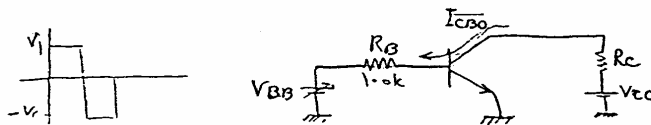
$$5- BV_{CE0}$$

حد آنتولتاژ خروجی تا شکست در دیود بسبب کلکتور رخ ندهد.

$$6- BV_{EB0}$$

حد آنتولتاژ ورودی بسبب ایترا تا شکست رخ ندهد.

در مدار شکل زیر ولتاژ بلخی چقدر باشد تا ترانزیستور عمل سوئیچینگ را انجام دهد.



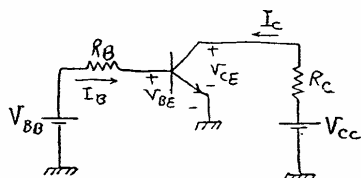
$$V_{BB} - R_B I_{B0} + V_{BE} = 0$$

$$V_{BB} = 1$$

$$I_{B0} = 1 \mu A$$

در پایین ترین

$$\rightarrow V_{BE} = -9.9 = -1.0 V$$



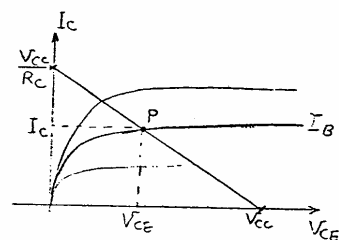
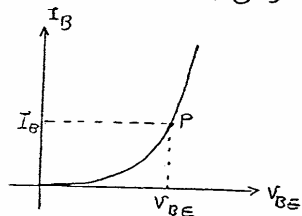
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C \approx \beta I_B$$

$$\rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$\rightarrow \boxed{V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C}$$

مدارهای بایاس :



شیب خط بار $\frac{1}{R_C}$ است که با انتخاب نامناسب R_C (بزرگ بودن آن) و با فرض ثابت بودن I_C ،

V_{CE} کم می شود و نقطه کار P به ناحیه اشباع نزدیک می شود. همچنین تغییرات منبع تغذیه DC

(V_{CC}) (کم شدن آن) باعث می شود که نقطه کار به ناحیه اشباع نزدیک شود.

مثال : $V_{BB} = 10V$, $R_C = 2k\Omega$, $V_{BB} = 10V$, $\beta = 125$, $V_{BE(on)} = 7V$, $V_{CE(sat)} = 1V$

الف) R_B را طوری پیدا کنید که نقطه کار وسط خط بار DC شود. (ب) اگر $V_{BB} = 7.1V$ شود نقطه کار

جدید را بیابید. $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \rightarrow \boxed{V_{CE} = 10 - 2I_C}$ معادله خط بار

نقطه کار $\rightarrow \begin{cases} I_C = 1.5 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \end{cases}$

$I_B = \frac{I_C}{\beta}$
 $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \rightarrow R_B = 20 \text{ k}\Omega$

اگر بخواهیم R_B را به صورت تقریبی قرار دهیم باید بیشتر از β قرار دهیم. چون با توجه به اینکه

$V_{CE(sat)}$ برابر $V/2$ است. نقطه کار وسط دارای ولتاژ بیشتری از $5V$ است (حدود $5V$)، در نتیجه R_B بیشتر

از β است.

$$V_{BB} = 4.1V \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = 20.2\mu A$$

$$I_C = 125 \times 12\mu A = 1.5mA$$

$$I_C > I_{C(sat)} \rightarrow I_C = I_{C(sat)}$$

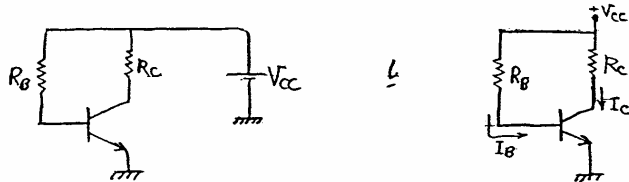
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = 4.9mA \rightarrow I_C = 4.9mA$$

ترانزیستور در ناحیه اشباع است.

$$\rightarrow V_{BB} = 4.1V \quad , \quad \text{نقطه کار} \quad \begin{cases} I_C = 4.9mA \\ V_{CE} = 12V \end{cases}$$

معمولاً مدار را طوری طراحی می کنند که از یک باتری استفاده شود، یعنی به جای V_{BB} از V_{CC} استفاده

می کنند و R_B را طوری انتخاب می کنند که I_B با حالت قبل تفاوت نکند.



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad , \quad I_C = \beta I_B$$

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

در این نوع مدار:

۱- با فرض ثابت بودن I_B با توجه به اینکه دلمنه تغییرات β زیاد است در خروجی تغییرات I_C را خواهیم

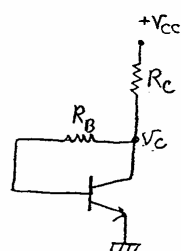
داشت و نقطه کار تغییر می کند. در نتیجه β نقطه کار را تغییر می دهد....

۲- با افزایش I_C افزایش می یابد و افزایش I_C باعث افزایش توان تلفاتی است. تغییرات I_C

$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} \quad \text{همراه خواهد بود با تغییرات نقطه کار.}$$

$$T \uparrow \Rightarrow I_{CE0} \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow$$

برای کم کردن افزایش دمایی و رسیدن به پایداری حرارتی از طرح زیر استفاده می کنیم:



(فیدبک ولتاژ - شنت) =

$$V_C = V_{CC} - (I_C + I_B) R_C$$

$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$

$$T \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_C \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$$

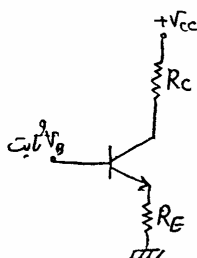
به این ترتیب مشکل ما تا حدی توسط مدار بالا حل می شود.

طرح دیگر (فیدبک جریان - سری) = اگر بتوانیم V_B را ثابت نگه داریم:

$$V_E = I_E R_E \approx I_C R_E$$

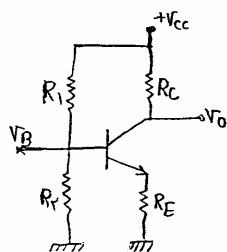
$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$T \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_E \uparrow \Rightarrow V_{BE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$$



همچنین در این طرح مشکل β نیز حل می شود چون در رابطه زیر وابستگی به β حذف شده است.

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

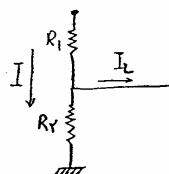


با گذاشتن دو مقاومت R_1 و R_2 وضعیت بهتری از نظر پایداری

دمایی و استقلال از β بوجود می آید. (منار خود بایاس $Self Bias$) و

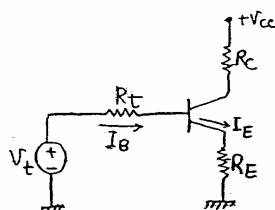
تنها مشکل ثابت نگه داشتن V_B است..

نکته: در مدار زیر با ثابت بودن V_{CC} اگر بخواهیم با تغییرات I_E ، V_{BE} ثابت بماند باید نسبت $\frac{I}{I_E}$



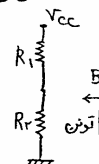
بسیار بزرگ باشد.

حال مدار معادل تونن را از بیس به بعد می گیریم:



$$R_t = R_1 \parallel R_2$$

$$V_t = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



$$-V_t + R_t I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

$$\rightarrow I_E = \frac{V_t - V_{BE}}{R_E + \frac{R_t}{1 + \beta}}$$

اگر $R_E \gg \frac{R_t}{1 + \beta}$ باشد که گاه I_E مستقل از β خواهد بود و در تم $\frac{R_t}{1 + \beta}$ را حذف می کنیم

باقی به اینکه β نیز تغییرات دارد در نتیجه دقیق ترین شرط به صورت زیر است:

$$R_E \gg \frac{R_T}{1 + \beta_{min}} \rightarrow R_T = \frac{R_E \times \beta_{min}}{1}$$

مثلاً ۱۰ برابر بزرگتر از β_{min}

$$\rightarrow I_C \approx I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

مثال: یک تقویت کننده خود بایاس به صورت مقابل است:

$V_{CC} = 10V$, $R_C = 4.7k\Omega$
 $V_{BE} = 0.7V$, $40 < \beta < 120$

قادر R_1 و R_2 را طوری پیدا کنید که نقطه کار نقطه Q

$$Q \begin{cases} I_C = 1.5mA \\ V_{CE} = 5V \end{cases} \text{ باشد}$$

$$\xrightarrow{KVL} V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$$

$$\xrightarrow{I_C = I_E} R_E = 100\Omega \rightarrow R_T = \frac{10 \times 40}{10} = 40k\Omega$$

$$\begin{cases} R_1 = R_T \left(\frac{V_{CC}}{V_T} \right) \\ R_2 = \frac{R_T}{1 - \frac{V_T}{V_{CC}}} \end{cases}$$

$$I_E = \frac{V_T - V_{BE}}{R_E}$$

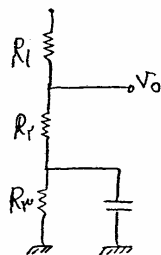
$$\rightarrow V_T = 1.7V$$

$$\rightarrow \begin{aligned} R_1 &= 2.4k\Omega \\ R_2 &= 48.2k\Omega \end{aligned}$$

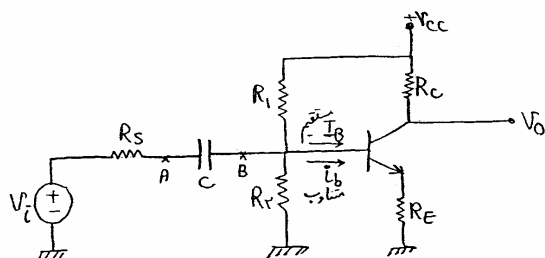
خطبار ac: در مدار زیر از لحاظ dc، V_{CE} یک تقسیم ولتاژ بین R_1 ، R_2 و R_3 است. از

لحاظ ac اگر خازن c نباشد خط بار مانند dc است ولی با وجود خازن، اگر مقدار c طوری

باشد که امپدانس آن خیلی کوچکتر از R_3 باشد، V_{CE} یک تقسیم ولتاژ دیگر خواهد بود.



با قرار دادن یک خازن به صورت موازی با R_E در تقویت کننده مدل خط بار ac آن با خط بار dc آن تفاوت می‌کند.

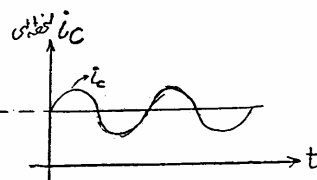
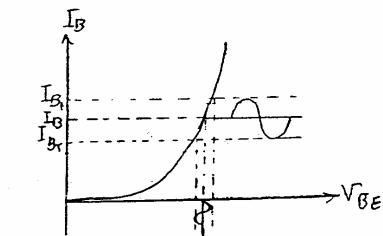
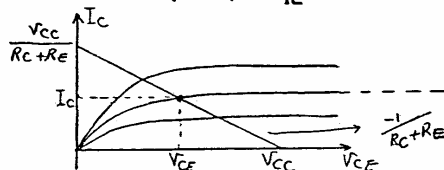


$$(dc) \quad V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$

$$i_B = i_b + I_B$$

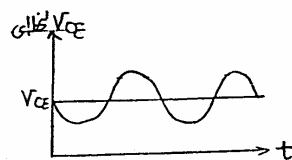
$$i_C = I_C + i_c$$

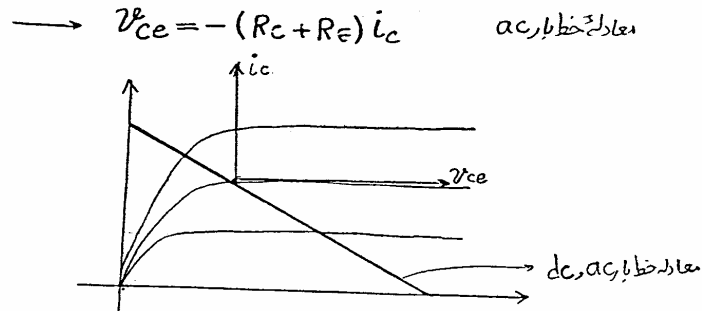
$$\Delta I_C = I_C - I_{C1} = h_{FE} \Delta I_B = i_c$$



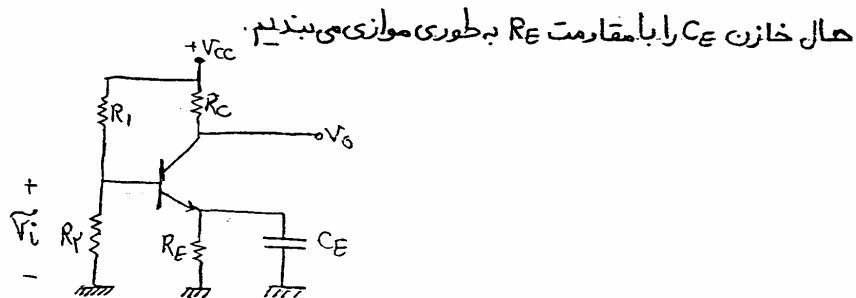
$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$

$$V_{CE} = \underbrace{V_{CC} - (R_C + R_E) I_C}_{V_{CE}} - \underbrace{(R_C + R_E) i_c}_{v_{ce}}$$





با توجه به شکل مدار علت قرار دادن خازن C این است که اتصال AC بین دو نقطه A و B برقرار شود و اتصال DC این دو نقطه قطع شود تا ولتاژ AC در نقطه B مستقل از ولتاژ DC نقطه A (که صفر است) باشد. اگر خازن نبود و منبع ولتاژ AC را با مقاومت رویی R_S مستقیماً به B وصل می‌کردیم برای پیدا کردن نقطه کار باید منابع AC را اتصال کوتاه کنیم و نقطه کار را با منابع DC بیابیم. در این صورت مقاومت R_S در پیدا کردن نقطه کار دخالت خواهد داشت.



در این حالت امپدانس C_E برابر $\frac{1}{j\omega C_E}$ است که در فرکانسهای میانی اگر C_E طوری انتخاب شود که این امپدانس بسیار کوچکتر از R_E باشد در نتیجه در حالت AC این خازن اتصال کوتاه

خواهد بود و تمامی ولتاژ V_{CE} بر روی دیود BE خواهد افتاد. از لحاظ dc همان حالت قبل

خواهد بود و هیچ تغییری نخواهیم داشت... به خازن C_E ، خازن بایپاس $Bypass$ گوئیم.

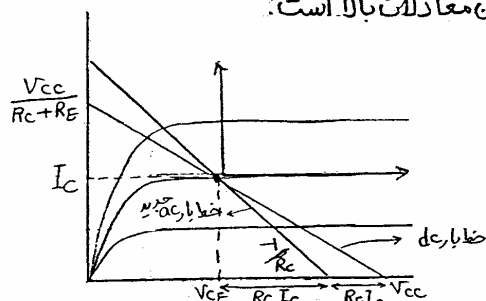
برای یافتن معادله خط بار ac به طریق زیر عمل می‌کنیم:

$$V_{CE} = \frac{V_{CC} - (R_C + R_E)I_C}{V_{CE}} - \frac{(R_C)I_C}{V_{CE}}$$

$$\rightarrow \boxed{V_{CE} = -R_C I_C}$$

باتوجه به اینکه $R_E \parallel C_E$ ^{اسپایس} برابر صفر است در نتیجه از نظر ac افت ولتاژ در دوسر R_E نخواهیم

داشت و این دلیل بر نوشتن معادلات بالا است.



در هر دو حالت خروجی ما یعنی V_o همان V_{R_C} است که برابر با R_C است.

$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C \\ V_{CE} = R_C I_C \quad (*) \end{cases}$$

$$\rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E}$$

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E} \times R_C$$

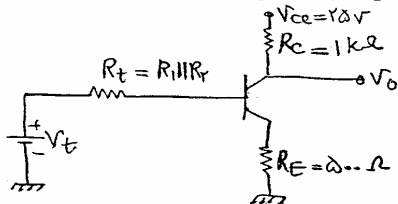
مفهوم معادله $(*)$ این است که اگر نخواهیم ماکزیم تغییرات دامنه را در ولتاژ V_{CE} داشته باشیم.

باید نقطه کار در وسط قرار داشته باشد و با توجه نمودار صفت قبل برای اینکه نقطه کار وسط باشد باید V_{CE} برابر $R_C I_C$ باشد. در این صورت دامنه خروجی نیز بیشترین تغییرات را خواهد داشت.

مثال: تقویت کننده آمپترومترش رای خواهیم طراحی کنیم به طوری که $200 < \beta < 100$ و $V_{BE} = 0.7V$
 $R_C = 1k\Omega$, $R_E = 500\Omega$, $V_{CC} = 15V$
 سوئیچ (تغییرات) خروجی ماکزیم و پایداری نقطه کار را داشته باشیم مقادیر R_1 و R_2 ؟

$$I_C = \frac{15}{1 + 0.5} = 10mA \quad \leftarrow \text{نقطه کار} \quad V_{CE} = R_C I_C = 10V$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$$



چون از لحاظ dc بجهت می‌کنیم می‌توانیم خازن C_E را نگذاریم.

$$R_t = \frac{\beta_{min} \cdot R_E}{10} = 5k\Omega$$

$$R_1 = R_t \frac{V_{CC}}{V_i}$$

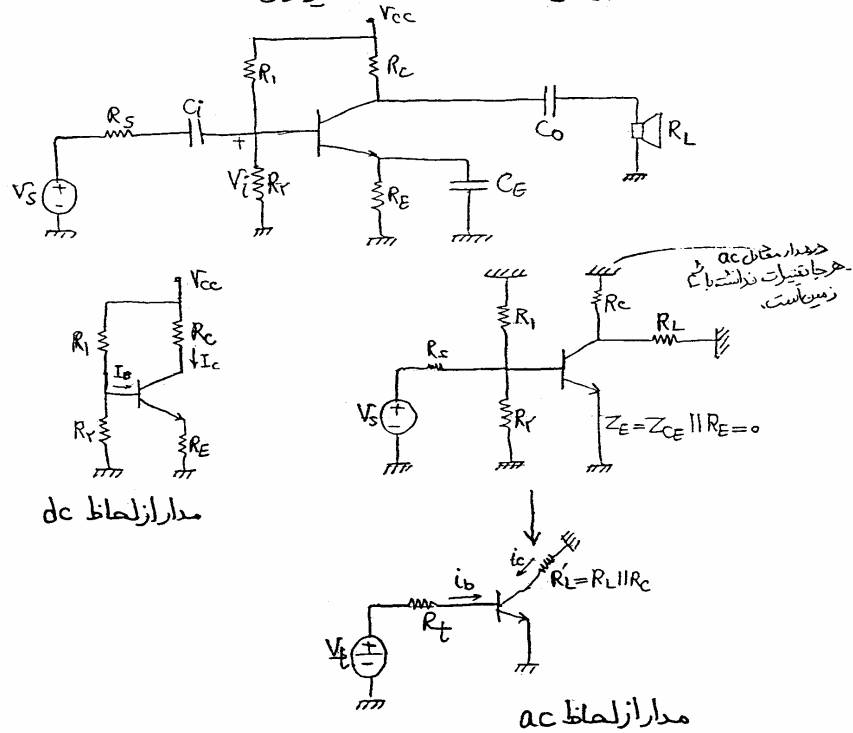
$$R_2 = R_t \frac{V_t}{V_{CC} - V_t}$$

$$R_1 = 21.9k\Omega \approx 22k\Omega$$

$$R_2 = 4.18k\Omega \approx 4.2k\Omega$$

$$-V_t + R_t I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E = 0 \quad \rightarrow \quad V_t = V_{BE} + R_E \cdot I_E = 0.7V$$

در عمل در این نوع تقویت کننده ها خروجی ما به طور مستقیم R_C نیست بلکه خازن C_O را همراه با مقاومت بار R_L در خروجی قرار می دهیم تا I_C به مقاومت بار وارد نشود و فقط خروجی از نظر ac تغذیه شود. (به عنوان مثال جریان dc در بلندگو فقط باعث گرم شدن آن می شود). در نتیجه با این تغییرات معادله خط بار تغییر می کند.

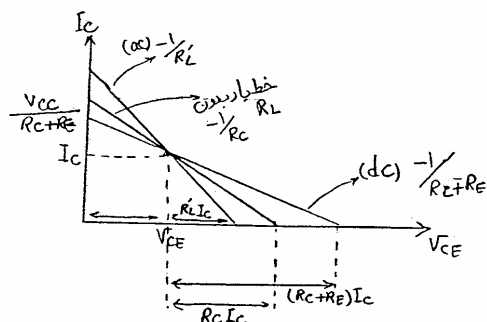


$$V_O = V_{CE}^* = -i_c (R'_L)$$

$$V_{CE}^{\text{مستقیم}} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$

$$\rightarrow V_{CE}^* = \frac{V_{CC} - R_C I_C - R_E I_C}{V_{CE}^{\text{مستقیم}}} - \frac{R'_L i_c}{V_{CE}^{\text{تغییر}}}$$

45



* در هر حالت ماکزیم سوئیگ وقتی است که نقطه کار وسط خط بار a_c باشد.

$$\begin{cases} R'_L I_C = V_{CE} \\ V_{CC} - (R_C + R_E) I_C = V_{CE} \end{cases}$$

$$\rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \parallel R'_L)}$$

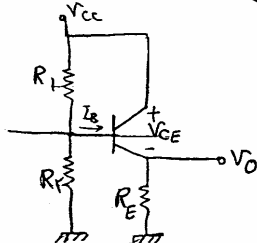
$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \parallel R'_L)} \times R'_L$$

اگر خازن C_o وجود نداشته باشد V_{CE} خط بار a_c تفاوتی نخواهد کرد ولی نقطه کار به همی خورد.

تقویت کننده کلکتور مشترک:

از نظر تعادل حرارتی و استقلال نقطه کار از β این تقویت کننده با امپدانس مشترک هیچ تفاوتی ندارد

در کلکتوری توان از R_C استفاده کردو یا نکرد اما گاهی اوقات از R_C استفاده می کنیم و آن



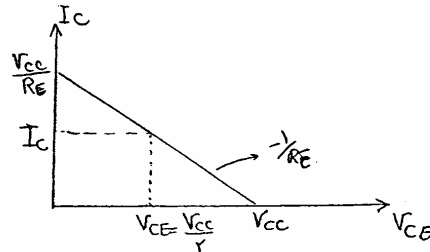
وقتی است که I_C زیاد است. چون

$$P = V_{CE} \cdot I_C \text{ توان تلفاتی}$$

ترانزیستور با V_{CE} نسبت مستقیم دارد و با قراردادن $V_{CE} \cdot R_C$ کاهش می یابد.

$$V_{CC} = V_{CE} + R_E I_C$$

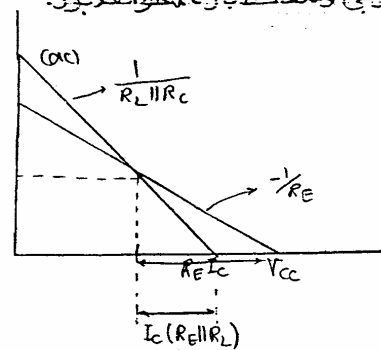
$$V_{CE} = R_E I_C$$



در این حالت نیز اگر $R_E I_C = V_{CE}$ باشد ما کمترین سوئیچینگ عرضی را خواهیم داشت.

اگر خازن C_c و R_L را قرار دهیم خط بار ac متعادل از خط بار dc خواهد بود و به طبع سوئیچینگ کمترین

خروجی وسط خط بار ac خواهد بود.

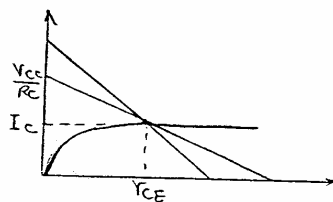
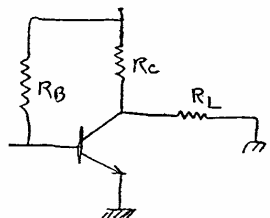


$$(R_E \parallel R_L) I_C = V_{CE}$$

47

بایاس در تقویت کننده =

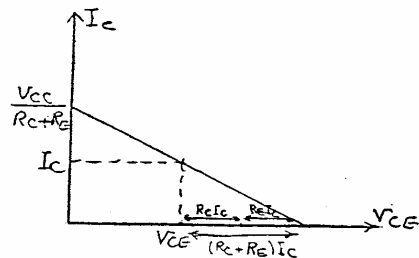
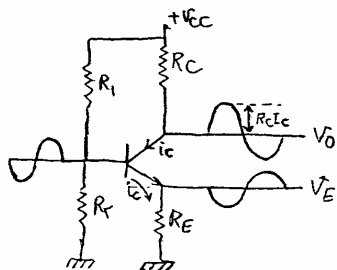
+ تقویت کننده امپدانس مشترک =



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

$$R_C I_C = V_{CE} \quad \text{سویچینگ ماکزیم}$$

$$(R_C \parallel R_L) I_C = V_{CE} \quad \text{سویچینگ ماکزیم}$$



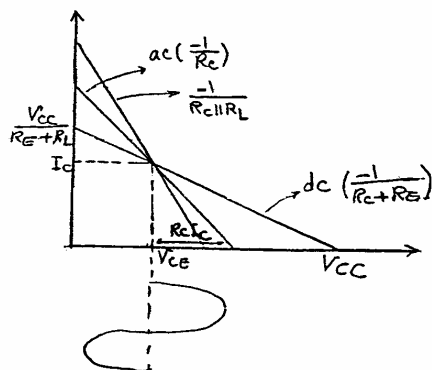
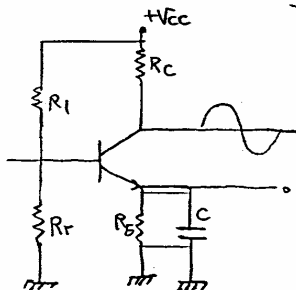
$$V_O = -R_C i_c$$

$$V_E = R_E i_c$$

$$V_{CE} = R_E I_x + R_C I_x$$

$$V_O^+ = V_O^- \rightarrow R_C I_C = R_C I_x$$

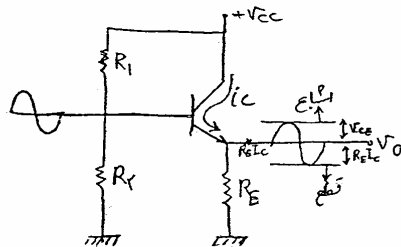
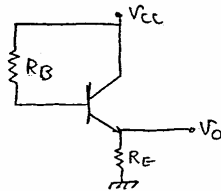
$$\rightarrow V_{CE} = R_E I_C + R_C I_C \quad \text{سویچینگ ماکزیم}$$



$V_{CE} = R_C I_C$ سوئیچ ماکزیمم بدون بار

$V_{CE} = (R_C \parallel R_L) I_C$ سوئیچ ماکزیمم با بار

۲- تقویت کننده کلکتور مشترک:

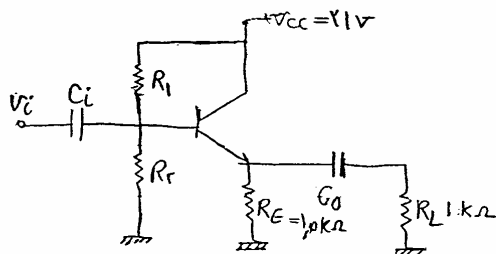


$V_E = R_E (I_C + i_c)$

$V_{CE} = R_E I_C$ بدون بار

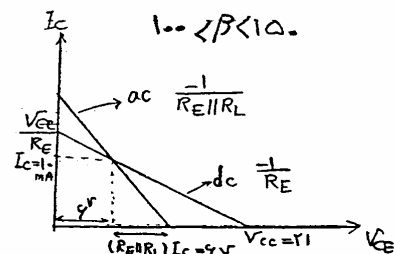
$V_{CE} = (R_E \parallel R_L) I_C$ با بار

سوئیچ ماکزیمم:



مثال: R_C, R_1 و اطوری بیکندیک

سوئیچ ماکزیمم داشته باشیم:



$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C$ خط بار DC

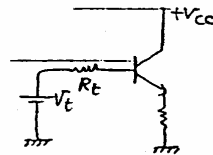
$V_{ce} = -(R_E \parallel R_L) i_c$ خط بار AC

$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C \\ V_{CE} = (R_E \parallel R_L) I_C \end{cases} \rightarrow I_C = 1.0 \text{ mA} \rightarrow V_{CE} = 4 \text{ V}$$

$R_t = \frac{\beta_{min} \times R_E}{1.0} = 10 \text{ k}\Omega$

$V_t = R_t I_B + V_{BE} + R_E I_E$

$R_1 = R_t \frac{V_{CC}}{V_t}, R_2 = \frac{R_t}{1 - \frac{V_t}{V_{CC}}}$
 $= 74.1 \text{ k}\Omega, 11.4 \text{ k}\Omega$

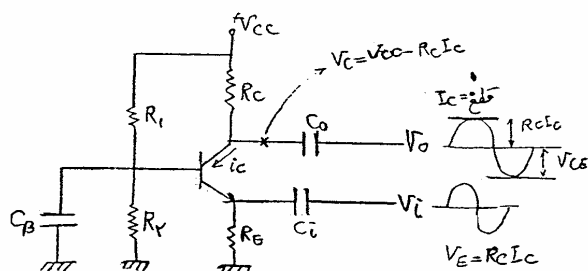


۴۹

اگر در تقویت کننده کلکتور مشترک مقاومت R_C در کلکتور بسته باشیم V_C و V_O به اندازه 180° اختلاف فاز خواهند داشت و برای تعیین سوئیچینگ ماکزیمم در این حالت مانند تقویت کننده امیتر مشترک عمل می کنیم.

همچنین برای اینکه سیگنال V_C (ولتاژ ac) را حذف کنیم (به صفر برسانیم) می توانیم از خازن بای پس در کلکتور استفاده کنیم.

۳- تقویت کننده بیس مشترک



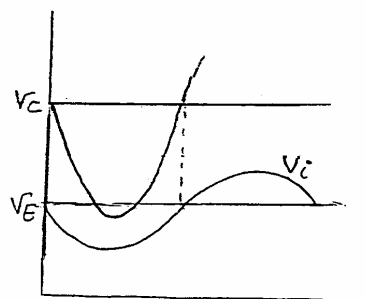
وجود خازن C_E برای افزایش

تقویت کنندگی ترانزیستور است

خازن C_E نقش خازن C_E در امیتر تقویت کننده امیتر مشترک را دارد.

$$R_C I_C = V_{CE}$$

$$\begin{cases} V_{CC} = V_{CE} + (R_E + R_C) I_C \\ V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \\ \rightarrow V_{CB} = (V_{CC} - V_{BE}) - (R_E + R_C) I_C \end{cases}$$



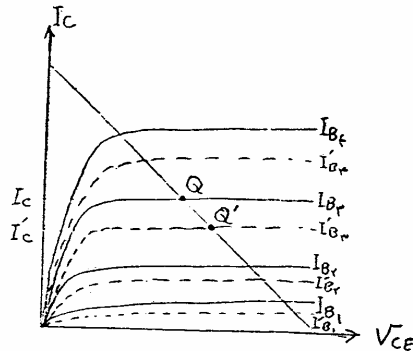
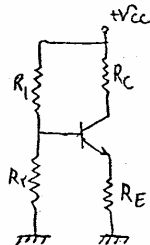
پایداری نقطه کار =

۱- I_{CBO} برابر افزایش $1^\circ C \nearrow$

۲- V_{BE} $1^\circ C \nearrow$ $1,5mV \searrow$

۳- β ΔV_{CC} ۴-

۵- تئوریس المانهای جانبی (اغلب مقاومتها)



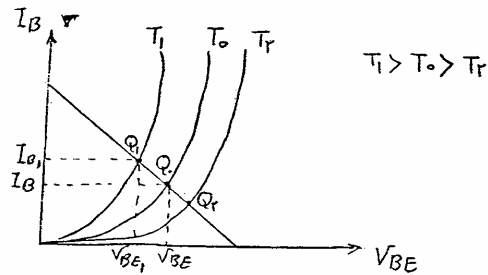
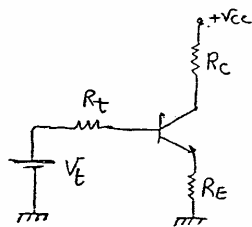
پایداری نقطه کار

- * I_{CBO}
- * V_{BE}
- * β
- V_{CC}
- R

به ازای تغییرات β بین β_{min} و β_{max} جریانهای I_{B1} و I_{B2} تبدیل می شوند.

$$V_{CC} \approx (R_C + R_E) I_C + V_{CE}$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO}$$



$$V_E = R_t I_B + V_{BE} + R_E (1 + \beta) I_B$$

$$I_C \rightarrow f(I_{CBO}, V_{BE}, \beta, \dots)$$

ضرایب پایداری حرارتی

برای تفکیک تغییرات I_C از $dI_C = I_{C1} - I_{C2}$ استفاده می کنیم که اگر تغییرات I_C نسبت

به پارامترهای f به صورت خطی باشد آن گاه $dI_C \approx \Delta I_C$

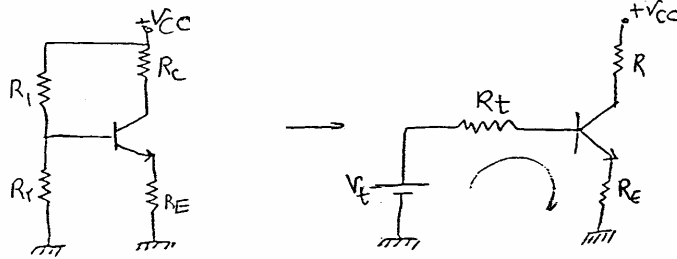
$$dI_C = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} dI_{CBO} + \frac{\partial I_C}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} dV_{BE}$$

$$S_{I_{CBO}} = S_I = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}}, \quad S_{V_{BE}} = S_V = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}, \quad S_B = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta}$$

تغییرات کم

$$S_I \approx \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} \quad , \quad S_V = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

$$, \quad S_B = \frac{\partial I_C}{\partial \beta}$$



$$\begin{cases} I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CB0} \\ V_t = R_t I_B + V_{BE} + R_E (1 + \beta) I_B \end{cases}$$

$$\longrightarrow I_C = \frac{\beta}{R_E (1 + \beta) + R_t} (V_t - V_{BE}) + \frac{(1 + \beta)(R_E + R_t)}{R_E (1 + \beta) + R_t} I_{CB0}$$

$$\longrightarrow S_I = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} = (1 + \beta) \times \frac{1 + \frac{R_t}{R_E}}{(1 + \beta) + \frac{R_t}{R_E}}$$

$$\text{if } R_t \ll R_E \longrightarrow S_I = 1$$

$$\text{if } R_t \ll (1 + \beta) R_E \xrightarrow{\text{دفعه ۱}} R_t = \frac{(1 + \beta) R_E}{1}$$

$$\longrightarrow S_I = 1 + \frac{R_t}{R_E}$$

$$S_V = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = - \frac{\beta}{R_E (1 + \beta) + R_t}$$

$$\text{if } R_t \ll (1 + \beta) R_E \longrightarrow S_V = - \frac{1}{R_E}$$

۵۳

برای محاسبه S_β :

$$V_t - V_{BE} \gg (R_E + R_t) I_{CB0} \longrightarrow I_C \approx \frac{\beta}{R_E(1+\beta) + R_t} (V_t - V_{BE})$$

$$T_1 \longrightarrow I_{C1}, \beta_1 \longrightarrow I_{C1} = \frac{\beta_1}{R_E(1+\beta_1) + R_t} (V_t - V_{BE})$$

$$T_r \longrightarrow I_{Cr}, \beta_r \longrightarrow I_{Cr} = \frac{\beta_r}{R_E(1+\beta_r) + R_t} (V_t - V_{BE})$$

$$\Delta I_C = I_{Cr} - I_{C1}, \quad \frac{I_{C1}}{I_{Cr}} = \frac{\beta_1}{\beta_r} \times \frac{R_E(1+\beta_r) + R_t}{R_E(1+\beta_1) + R_t}$$

$$\longrightarrow \frac{I_{Cr} - I_{C1}}{I_{C1}} = \frac{\Delta I_C}{I_{C1}} = \frac{\Delta \beta (R_t + R_E)}{\beta_1 (R_t + (1+\beta_r) R_E)}$$

$$\longrightarrow S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} = \frac{I_{C1} (R_t + R_E)}{\beta_1 [R_t + (1+\beta_r) R_E]}$$

$$\Delta I_C = \left(1 + \frac{R_t}{R_E}\right) \Delta I_{CB0} - \frac{1}{R_E} \Delta V_{BE} + \frac{I_{C1}}{\beta_1} \cdot \frac{R_E + R_t}{R_t + (1+\beta) R_r} \Delta \beta +$$

رابطه بالا وقتی است که $R_t \ll (1+\beta) R_E$

$$\Delta I_C = S_I \Delta I_{CB0} + S_V \Delta V_{BE} + S_\beta \Delta \beta + S_{V_{CC}} \Delta V_{CC} + S_R \Delta R +$$

$$R_C = 2 \text{ k}\Omega, \quad V_{CC} = 20 \text{ V}, \quad \begin{cases} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 10 \text{ V} \end{cases} \quad \text{مثال:}$$

$$34 < \beta < 90, \quad 1.75 \text{ mA} < I_C < 2.75 \text{ mA}, \quad R_1, R_2$$

$$\longrightarrow V_{CC} = (R_E + R_C) I_C + V_{CE} \longrightarrow R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{\beta_r - \beta_1} = \frac{2.75 - 1.75}{90 - 34} = \frac{I_{C1} (R_t + R_E)}{\beta_1 [R_t + (1+\beta_r) R_E]}$$

$$\rightarrow R_t = 201 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{cases} R_1 = \frac{V_t}{V_{CC}} R_t \\ R_2 = \frac{R_t}{1 - \frac{V_{CC}}{V_t}} \end{cases}, V_t = R_t I_{\beta} + V_{BE} + R_E I_E$$

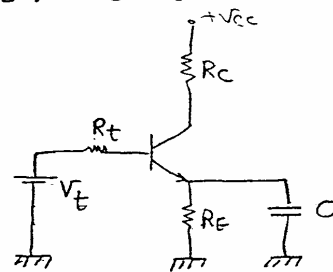
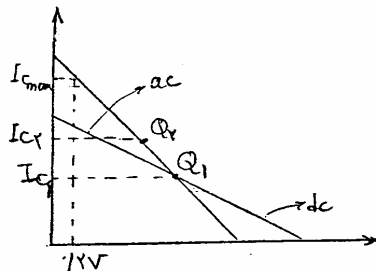
$$\rightarrow I_C \approx I_E = \frac{V_t - V_{BE}}{\frac{R_t}{\beta} + R_E} < 1 \text{ mA}$$

$$\rightarrow 1.15 \left(\frac{R_t}{\beta} + R_E \right) < V_t - V_{BE} < 1.15 \left(\frac{R_t}{\beta} + R_E \right)$$

β_{min} β_{max}

$$\rightarrow 3.18 < V_t < 3.4 \rightarrow \frac{R_1}{R_2}$$

مثال: اگر $40 < \beta < 120$, $0.7 < V_{BE} < 0.8$ باشد V_t , R_E , R_t را طوری پیدا کنید که
 $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$
 $V_{CE_{sat}} = 1 \text{ V}$
 سوئیچ I_C را داشته باشیم.



$$\rightarrow I_{C1} = 0 \text{ mA}$$

$$(ac) V_{CE} = -R_C i_c \quad \text{خط بار } ac$$

$$\rightarrow (V_{CE_{dc}} - V_{CE}) = -R_C (i_c - I_C) \quad (1)$$

$$(1), (2) \rightarrow I_{CQ} = \frac{9.1}{1 + R_E}$$

$$V_{CC} \approx R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C \quad \text{خط بار } dc \quad (2)$$

$$\rightarrow \frac{\Delta I_C}{I_{C1}} < I_{CQ} < \frac{9.1}{1 + R_E}$$

$$V_{CE} = 1 \text{ V}, \quad I_{Cm} = I_{CQ} + 0 \text{ mA}$$

$$\Delta I_C = I_{CQ} - I_{C1} = \frac{9.1}{1 + R_E} = 0 \text{ A}$$

$$\Delta I_C = \frac{9.1 - \Delta R_E}{1 + R_E}$$

I

$$\Delta I_C = S_\beta \Delta \beta + S_{V_{BE}} \Delta V_{BE}$$

$$S_\beta = \frac{I_C}{\beta_1} \times \frac{R_t + R_E}{R_t + (1 + \beta_r) R_E} \Delta \beta - \frac{1}{R_E} \Delta V_{BE} \rightarrow \boxed{\Delta I_C = \frac{I_C}{R_E} + \frac{Y}{\Delta}}$$

$$R_t \ll (1 + \beta) R_E \xrightarrow{\text{فرض کنیم}} R_t = \frac{\beta_{min} \cdot R_E}{10}$$

$$I, II \rightarrow R_E = 77 \Omega, \boxed{R_E = 775 \Omega}$$

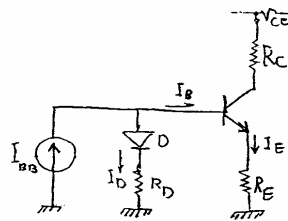
$$\rightarrow R_t = 79 K \Omega, \quad I_{C1} = 5 mA$$

$$I_{C2} = 5.48 mA$$

$$\rightarrow \omega < I_C \leq 5.48$$

$$\rightarrow \omega < \frac{V_t - V_{BE}}{R_E + \frac{R_t}{\beta}} < 5.48 \xrightarrow{\text{فرض کنیم}} 4.7 < V_t < 4.9$$

$$\boxed{\begin{aligned} V_t &= 4.8 V \\ R_t &= 79 K \Omega \\ R_E &= 775 \Omega \end{aligned}}$$



جبران اثر داریتی =

$$I_{BB} = I_D + I_B$$

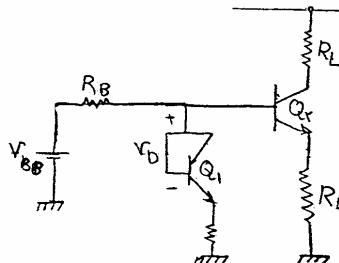
$$V_D + R_D I_D = V_{BE} + R_E I_E$$

$$\frac{V_{BE}}{I_{C30} \beta}$$

$$\rightarrow I_E = \frac{V_D - V_{BE} + I_{BB} R_D}{R_E + \frac{R_D}{1 + \beta}}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta I_E}{\Delta T} = \frac{\frac{\Delta V_D}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}}{R_E + \frac{R_D}{1 + \beta}}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = -K$$

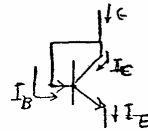


استفاده از ترانزیستور Q_1 به غنم روبرو و بجای دیود مطلقا

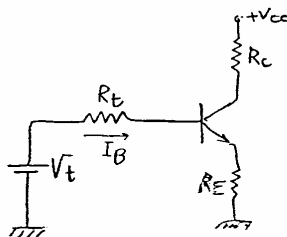
این مزیت را دارد که ولتاژش ورودی ترانزیستور کم است.



$$h_{ie} = \frac{\eta V_T}{I_C}$$



$$\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$



$$R_t = R_D \parallel R_B$$

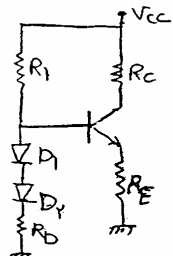
$$V_t = \frac{R_D V_{BB} + R_B V_D}{R_D + R_B}$$

$$V_t = R_t I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

$$\rightarrow I_E = \frac{(V_{BB} R_D + V_D R_B) / (R_B + R_D)}{R_E}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta I_E}{\Delta T} = \frac{1}{R_E} \left[\frac{\Delta V_D}{\Delta T} \cdot \frac{R_B}{R_B + R_D} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \right]$$

$$\text{, } \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = -K \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta I_E}{\Delta T} = \frac{K}{R_E} \left[\frac{1}{1 + \frac{R_B}{R_D}} \right]$$

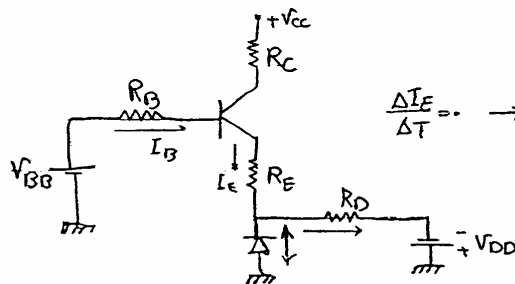


$$V_t = \frac{V_{CC} R_D + V_D R_B}{R_D + R_B}$$

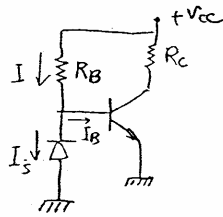
$$R_t = R_D \parallel R_B$$

$$I_E = \frac{(V_{CC} R_D + V_D R_B) / (R_B + R_D) - V_{BE}}{R_E}$$

$$\frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \rightarrow \frac{\Delta I_E}{\Delta T} = 0 \rightarrow R_B = R_D$$



$$\frac{\Delta I_E}{\Delta T} = 0 \rightarrow \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = \frac{\Delta V_D}{\Delta T} \quad \text{تنویس: با شکل اینک}$$

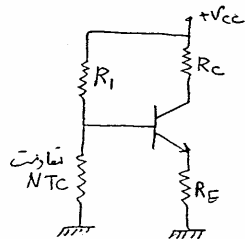


جریان اثر حرارتی I_{CBO} :

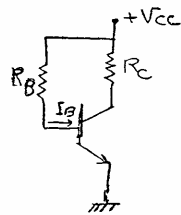
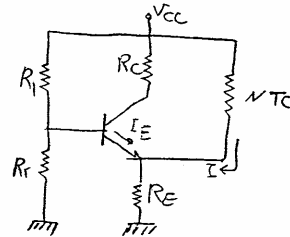
$$\begin{cases} I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO} \\ I_C = \beta (I - I_S) + (1 + \beta) I_{CBO} \end{cases}$$

با فرض دما برابر و در ولتاژ بیس و خروجی بزرگ

$$\rightarrow \frac{\Delta I_C}{\Delta T} = -\beta \frac{\Delta I_S}{\Delta T} + (1 + \beta) \frac{\Delta I_{CBO}}{\Delta T} \approx 0, \quad \beta \gg 1$$



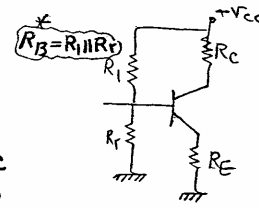
تثبیت کنندگی حرارتی با استفاده از مقاومت های PTC, NTC :



$$\Delta I_C = S_I \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} + \dots$$

$$S_o = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_C} \text{ مایل به یابی در مدار پایدار}$$

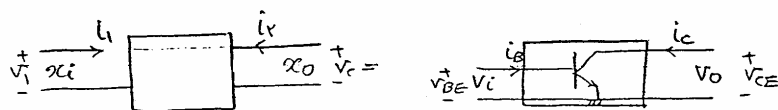
$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} \approx 1 \rightarrow I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$



$$\rightarrow S_o = \frac{1}{\left(\frac{R_B + R_E(1 + \beta)}{R_B + R_E} \right)} = \frac{R_E(1 + \beta)}{R_B^* + R_E}, \quad R_B^* \ll (1 + \beta) R_E$$

$$\rightarrow S_o = \frac{(1 + \beta) R_E}{R_B^* + R_E}$$

$$S_o = 1 + \frac{\beta R_E}{R_E + R_B}, \quad \beta \gg 1, \quad S_o > 1$$



$$Z \begin{cases} V_1 = Z_{11} i_1 + Z_{12} i_2 \\ V_2 = Z_{21} i_1 + Z_{22} i_2 \end{cases}$$

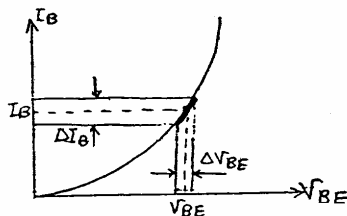
$$Y \begin{cases} i_1 = y_{11} V_1 + y_{12} V_2 \\ i_2 = y_{21} V_1 + y_{22} V_2 \end{cases}$$

$$h \begin{cases} V_1 = h_{11} i_1 + h_{12} V_2 \\ i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} V_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_{11} = \frac{V_1}{i_1} \Big|_{i_2=0} & \text{امپدانس ورودی خروجی باز} \\ Z_{12} = \frac{V_1}{i_2} \Big|_{i_1=0} & \text{امپدانس خروجی ورودی باز} \\ Z_{21} = \frac{V_2}{i_1} \Big|_{i_2=0} & \text{امپدانس انتقالی معکوس} \\ Z_{22} = \frac{V_2}{i_2} \Big|_{i_1=0} & \text{امپدانس انتقالی مستقیم} \end{cases}$$

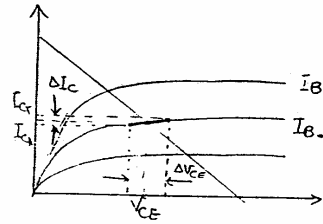
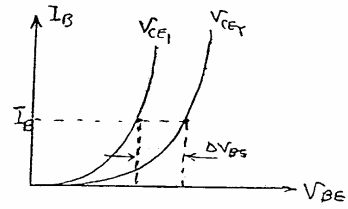
$$\begin{cases} y_{11} = \frac{i_1}{V_1} \Big|_{V_2=0} & \text{ادمیتانس ورودی} \\ y_{12} = \frac{i_1}{V_2} \Big|_{V_1=0} & \text{ادمیتانس خروجی} \\ y_{21} = \frac{i_2}{V_1} \Big|_{V_2=0} & \text{ادمیتانس انتقالی معکوس} \\ y_{22} = \frac{i_2}{V_2} \Big|_{V_1=0} & \text{ادمیتانس انتقالی مستقیم} \end{cases} \quad \begin{cases} h_{11} = \frac{V_1}{i_1} \Big|_{V_2=0} & \text{امپدانس ورودی } (h_{ie}) \\ h_{12} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{i_1=0} & \text{ادمیتانس خروجی } (h_{oe}) \\ h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{V_2=0} & \text{بهره ولتاژ انتقالی معکوس } (h_{re}) \\ h_{22} = \frac{i_2}{V_2} \Big|_{i_1=0} & \text{بهره جریان انتقالی مستقیم } (h_{fe}) \end{cases}$$

$$h_{11} = h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \Big|_{V_{CE} \text{ ثابت}}$$

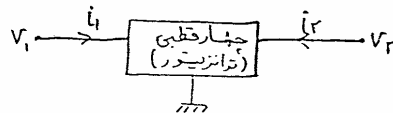


59

$$h_{ir} = h_{re} = \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \right|_{I_B \text{ const}}$$



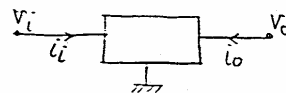
مدار هیبرید:



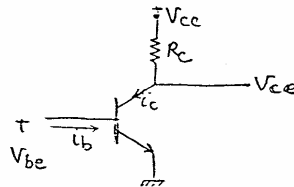
$$\begin{cases} V_i = h_{11} i_i + h_{1r} V_r \\ i_r = h_{r1} i_i + h_{rr} V_r \end{cases}$$

پارامترهای h

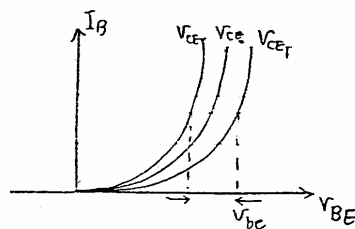
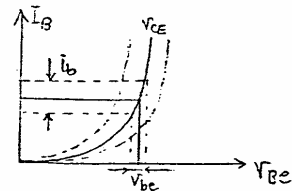
$$\begin{cases} V_i = h_{ie} i_i + h_{re} V_o \\ i_o = h_{fe} i_i + h_{oe} V_o \end{cases}$$



$$\begin{cases} V_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} V_{ce} \\ i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} V_{ce} \end{cases}$$

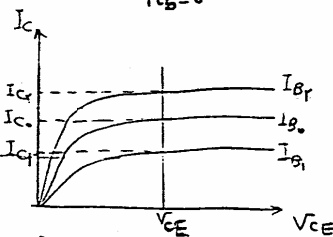


$$h_{ie} = \left. \frac{V_{be}}{i_b} \right|_{V_{ce}=0} \quad \text{امپدانس ورودی}$$



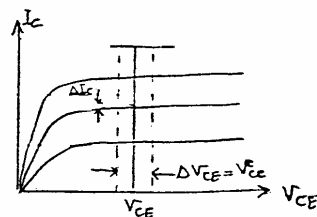
$$h_{re} = \left. \frac{V_{be}}{V_{ce}} \right|_{i_b=0} \quad \text{نمونه ولتاژ معکوس}$$

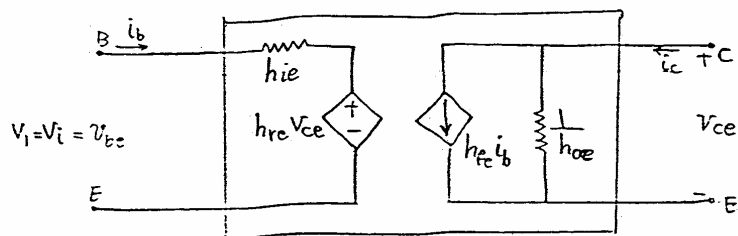
$$h_{fe} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{V_{ce}=0} \quad \text{بهره جریان مستقیم}$$



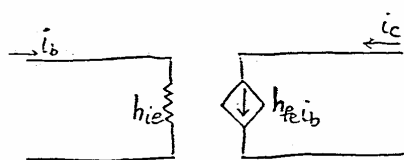
$$\begin{cases} i_b - \Delta i_b = I_{B1} - I_{B2} \\ i_c = \Delta i_c = I_{C2} - I_{C1} \end{cases}$$

$$h_{oe} = \left. \frac{i_c}{V_{ce}} \right|_{i_b=0} \quad \text{ادیتانس خروجی}$$



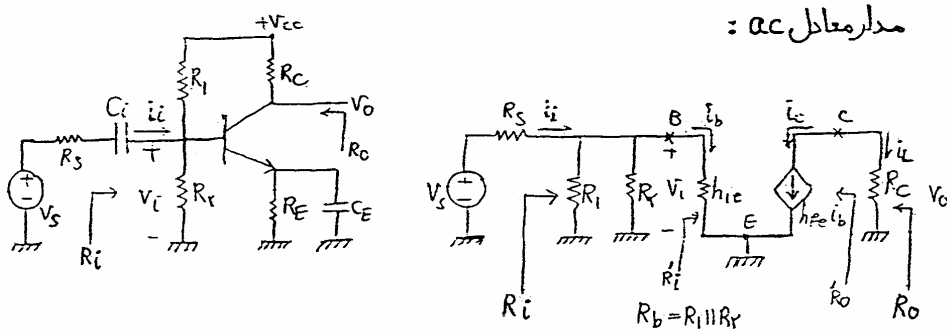


مدل هیبرید C.E (دقیق)



مدل تقریبی

مدل معادل ac :



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \text{ گین ولتاژ}$$

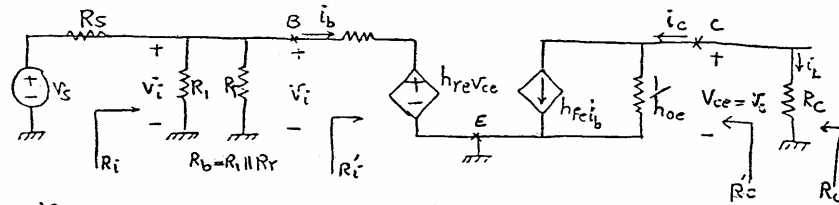
$$A_i = \frac{i_L}{i_i} \text{ گین جریانی}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_o i_c}{h_{ie} i_b} \overset{A'_i}{\longrightarrow} A_v = -\frac{h_{fe} R_o}{h_{ie}} = -\frac{R_o}{R'_i} A'_i$$

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{-i_c}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i} = h_{fe} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} \longrightarrow A_i = h_{fe} \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel \overset{\text{مقاومت ورودی ترانزیستور}}{R'_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel \left(\frac{V_i}{i_b} \right) = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie} \longrightarrow R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie}$$

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = R'_o \parallel R_C = \infty \parallel R_C = R_C \longrightarrow R_o = R_C$$



$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \rightarrow \begin{cases} V_o = -R_c \cdot i_c = -R_c (h_{fe} i_b + V_o h_{oe}) \\ V_i = h_{ie} i_b + h_{re} V_{ce} = h_{ie} i_b + h_{re} V_o \end{cases}$$

$$\rightarrow A_V = \frac{-h_{fe} (R_c \parallel \frac{1}{h_{oe}})}{h_{ie} - h_{re} h_{fe} (R_c \parallel \frac{1}{h_{oe}})}$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel R'_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \frac{V_i}{i_b} = R_1 \parallel R_2 \parallel R'_i$$

$$, R'_i = h_{ie} - h_{re} h_{fe} (R_c \parallel \frac{1}{h_{oe}})$$

$$\rightarrow R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel (h_{ie} - h_{re} h_{fe} (R_c \parallel \frac{1}{h_{oe}}))$$

$$A_i = \frac{i_c}{i_b} = , A_V = \frac{R_o}{R'_i} \times A_i$$

$$, A_i = \frac{i_c}{i_b} = \frac{i_c}{h_{fe} i_b} \times \frac{h_{fe} i_b}{i_b} = \frac{1/h_{oe}}{1/h_{oe} + R_c} \times h_{fe} \rightarrow A_i = \frac{1/h_{oe}}{1/h_{oe} + R_c} \cdot h_{fe}$$

$$A_{i_s} = \frac{i_c}{i_i} = \frac{i_c}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i} = A_i \times \frac{R_b}{R_b + R'_i} \rightarrow A_{i_s} = A_i \frac{R_b}{R_b + R'_i}$$

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = R_c \parallel R'_o$$

$$R'_o = \left. \frac{V_o}{i_c} \right|_{V_s=0} = , i_c = h_{fe} i_b + V_o h_{oe} , h_{re} V_o = i_b (h_{ie} + R_s \parallel R_b)$$

$$\rightarrow Y_o = \frac{1}{R'_o} = h_{oe} - \frac{h_{fe} h_{re}}{h_{ie} + R_s \parallel R_b}$$

$$R_C = 1\text{ k}\Omega, R_S = 100\text{ }\Omega, R_B \gg h_{ie} \quad \text{مثال عددی} =$$

$$h_{fe} = \beta = 50, h_{ie} = 1100\text{ }\Omega, h_{re} = 2.5 \times 10^{-4}, h_{oe} = 25\text{ }\mu\text{S} \\ \rightarrow \frac{1}{h_{oe}} = 40\text{ k}\Omega$$

الف) مقادیر A_i, R_o, R_i, A_v را به طور دقیق بدست آورید. ب) با فرض $h_{re} h_{oe}$

تقریباً عبارات زیر قسمت الف را بدست آورید.

$$\rightarrow A_v = \frac{-h_{fe}(R_C \parallel \frac{1}{h_{oe}})}{h_{ie} - h_{re}h_{fe}R_C} = -44 \quad \text{الف)}$$

$$R_i = R'_i = h_{ie} - h_{re}h_{fe}R_C = 1100\text{ }\Omega \approx 1.1\text{ k}\Omega$$

$$A_i = -50.4 = \frac{-i_C}{i_b} = \frac{-i_C}{i_L}$$

$$Y_o = h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{h_{ie} + R_S \parallel R_B} = 114\text{ }\mu\text{S} \rightarrow R'_o = \frac{1}{Y_o} \approx 8.7\text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_C \parallel R'_o \approx 1\text{ k}\Omega$$

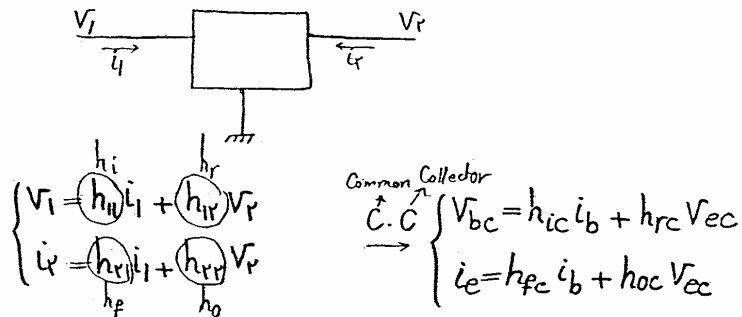
$$\rightarrow R_i = R_B \parallel h_{ie} = 1.1\text{ k}\Omega$$

$$R_o = R'_o \parallel R_C = \infty \parallel R_C = R_C = 1\text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{-h_{fe}R_C}{h_{ie}} = -45.45$$

$$A_i = \frac{-i_C}{i_b} = -h_{fe} = -50$$

65



$$h_{ic} = \left. \frac{V_{bc}}{i_b} \right|_{V_{ec}=0}$$

امپدانس ورودی

$$h_{rc} = \left. \frac{V_{bc}}{V_{ec}} \right|_{i_b=0}$$

بهره ولتاژ انتقالی معکوس

$$h_{fc} = \left. \frac{i_e}{i_b} \right|_{V_{ec}=0}$$

بهره جریان مستقیم

$$h_{oc} = \left. \frac{i_e}{V_{ec}} \right|_{i_b=0}$$

ادمیتانس خروجی

$$V_{bc} = V_{be} + V_{ec} = V_{be} = h_{ie} \times i_b$$

$$\rightarrow h_{ic} = \left. \frac{V_{bc}}{i_b} \right|_{V_{ec}=0} = \frac{h_{ie} \times i_b}{i_b} = h_{ie} \rightarrow \boxed{h_{ic} = h_{ie}}$$

$$h_{rc} = \left. \frac{V_{bc} + V_{ec}}{V_{ec}} \right|_{i_b=0} = \frac{h_{re} \cdot V_{ec} + V_{ec}}{V_{ec}} = 1 + h_{re}$$

$$V_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} V_{ce} = -h_{re} V_{ec}$$

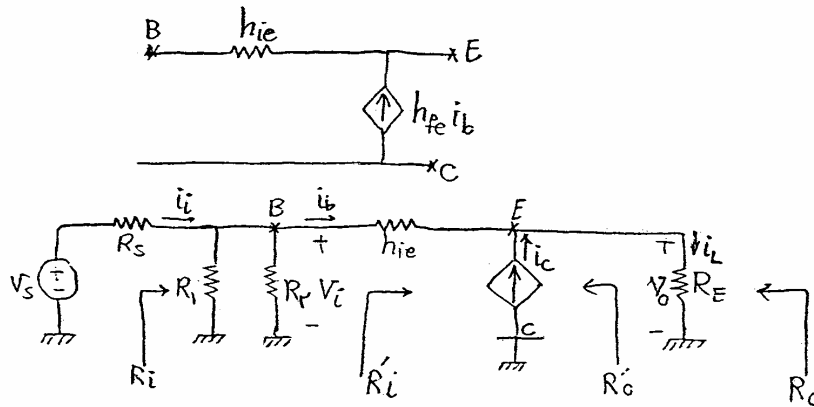
$$\rightarrow \boxed{h_{rc} = 1 + h_{re}}$$

$$h_{fc} = \left. \frac{i_e}{i_b} \right|_{V_{ec}=0} \rightarrow h_{fc} = \left. \frac{-(1 + h_{fe}) i_b}{i_b} \right|_{V_{ec}=0} = -(1 + h_{fe})$$

$$V_{ec}=0 \rightarrow i_e = h_{fe} i_b$$

$$\rightarrow \boxed{h_{fc} = -(1 + h_{fe})}$$

$$h_{oc} = \left. \frac{i_e}{v_{ec}} \right|_{i_b=0} = \frac{-i_c}{i_c \times \frac{1}{h_{oe}}} = h_{oe} \rightarrow \boxed{h_{oc} = h_{oe}}$$



$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i_i} = \frac{i_b + h_{fe} i_b}{i_b} \cdot \frac{R_b}{R_b + R_i'}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1+h_{fe}) i_b \cdot R_E}{(1+h_{fe}) i_b \cdot R_E + h_{ie} i_b} = \frac{(1+h_{fe}) R_E}{h_{ie} + (1+h_{fe}) R_E} \approx 1$$

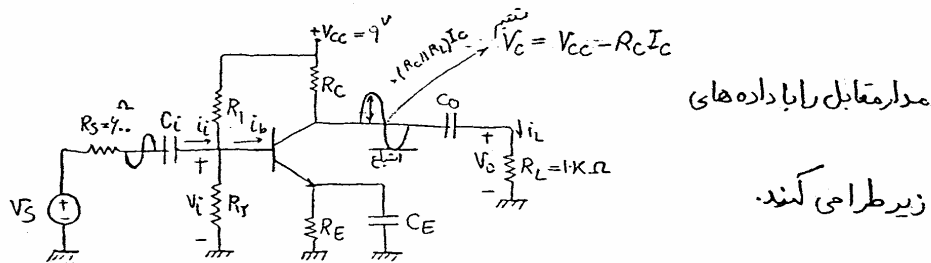
$$\rightarrow A_v = \frac{(1+h_{fe}) R_E}{h_{ie} + (1+h_{fe}) R_E}$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_1 \parallel R_f \parallel R_i'$$

$$R_i' = \frac{V_i}{i_b} = \frac{(1+h_{fe}) i_b \cdot R_E + h_{ie} i_b}{i_b} = (1+h_{fe}) R_E + h_{ie}$$

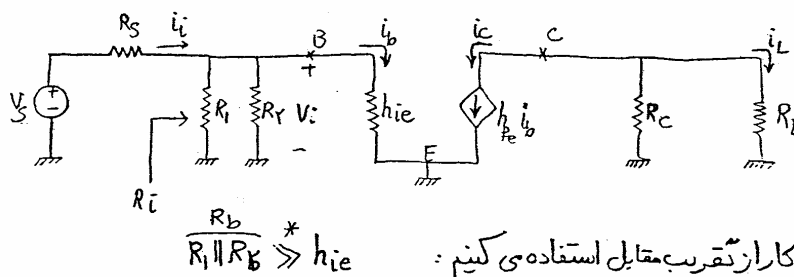
$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = R_o' \parallel R_E$$

$$R_o' = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = \frac{-i_b \cdot h_{ie} - i_b \cdot R_1 \parallel R_f \parallel R_s}{-(1+h_{fe}) i_b} = \frac{h_{ie} + R_1 \parallel R_f \parallel R_s}{(1+h_{fe})}$$



داده ها =

$$\beta = h_{fe} = 200, \quad \frac{i_L}{i_i} = A_i \gg 10, \quad R_i \gg 2K, \quad V_{O_{pp}} \geq 2V$$



$$A_i \gg 10 \rightarrow \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} = \frac{i_L}{i_c} \times \frac{i_c}{i_b} = \frac{-R_C}{R_C + R_L} \times h_{fe} \gg 10$$

$$\rightarrow R_C \geq 1.5 K\Omega$$

مقاومت استاندارد
1.5 K
2.2 K
3.3 K
4.7 K

$$R_i \approx h_{ie} \gg 2K\Omega, \quad h_{ie} = \frac{2V_T}{I_C} \beta \gg 2K\Omega \rightarrow \boxed{I_C \leq 2.5 mA} \quad (1)$$

$$(R_C || R_L) I_C \geq 1V \rightarrow \boxed{I_C \geq 1.33 mA} \leftarrow V_{O_p}^+$$

$$V_{CE} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C \quad \text{چون } V_{CE_{sat}} \text{ را نداده آن را صفری بگیریم.}$$

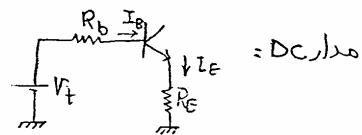
$$\rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \geq 1V \rightarrow I_C \leq \frac{1}{R_C + R_E}$$

$$\text{if } R_E = 0 \rightarrow \boxed{I_C \leq 1.99 mA} \leftarrow V_{O_p}$$

$$(1), (2), (3) \rightarrow I_C = 2 mA$$

$$I_C \leq \frac{A}{R_E + R_C} \xrightarrow{I_C = 1 \text{ mA}} R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_b = \frac{\beta_{min} R_E}{I_o} = 70 \text{ k}\Omega$$



$$\begin{cases} R_1 = R_b \frac{V_{CC}}{V_t} \\ R_2 = \frac{R_b}{1 - \frac{V_t}{V_{CC}}} \end{cases}$$

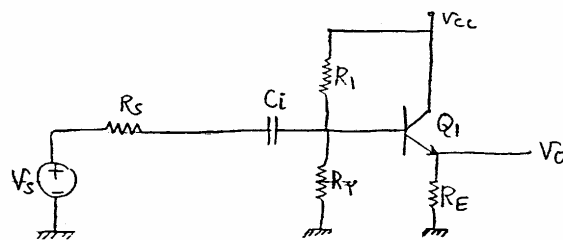
$$V_t = R_b I_B + V_{BE} + R_E I_E = 2.9 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow R_1 &= 43 \text{ k}\Omega & R_2 &= 21.9 \text{ k}\Omega \\ R_1 &= 41 \text{ k} & R_2 &= 33 \text{ k} \\ &\text{استاندارد} & &\text{استاندارد} \end{aligned}$$

اگر اعداد بدست آمده را در مسئله قرار داده و کلیار دیگر تحلیل کنیم خواهیم دید که:

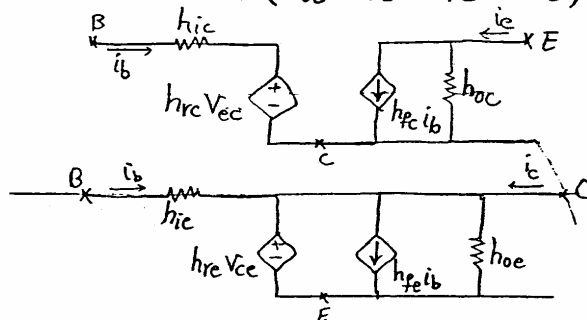
$$\rightarrow R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta_{ie} = 2.9 \text{ V} \quad , \quad A_i = -124.2 \quad , \quad V_{CE} = 1.4 \text{ V}$$

تقویت کننده کلکتور مشترک:



با فرض اینکه پارامترهای هیبرید را در تقویت کننده امیتر مشترک داریم پارامترهای هیبرید

کلکتور مشترک را بدست می آوریم $(h_{oc}, h_{rc}, h_{fc}, h_{ic})$:



71

C.E.

$$R_E = R_L = 1 \text{ K}\Omega, \quad R_S = 100 \Omega$$

مثال

$$R_b = R_1 \parallel R_2 = 500 \text{ K}\Omega, \quad h_{fe} = 50, \quad h_{ie} = 1100 \Omega$$

مقادیر R_o , A_i , R_i , A_v را بدست آورید:

$$A_v = \frac{(1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)} = \frac{(51)(10)}{11 + 51(10)} = 0.19$$

$$R_i = R_b \parallel R'_i = R_b \parallel [h_{ie} + (1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)] = 47 \text{ K}\Omega$$

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_e} \cdot \frac{i_e}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i_i} = \frac{R_E}{R_E + R_L} \cdot (1+h_{fe}) \cdot \frac{R_b}{R_b + R'_i} = 44 \text{ K}\Omega$$

$$A_i = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(i_L R_L) R_i}{(i_i R_L / R_i)} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_L}$$

می توان A_i را از رابطه مقابل بدست آورد:

$$R_o = R_E \parallel \frac{(R_S \parallel R_b) + h_{fe}}{1+h_{fe}} = 231 \Omega$$

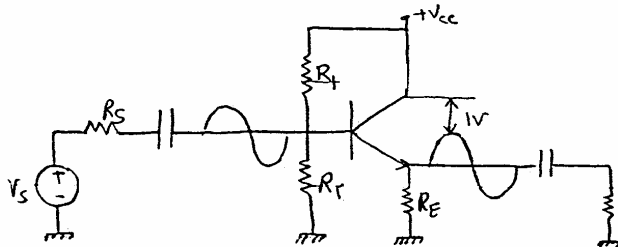
مثال: تقویت کننده کلکتور مشترک با داده های زیر طراحی کنید:

$$A_{v_S} \geq 190, \quad R_i \geq 15 \text{ K}\Omega, \quad V_{iP} = 2 \text{ V} \rightarrow V_{OP} = 2 \text{ V}$$

$$V_{CE_{min}} = 1 \text{ V}, \quad R_S = 100 \Omega, \quad R_L = 1 \text{ K}\Omega, \quad \text{ترانزیستور BC107}$$

$$150 < \beta < 200$$

$$V_{CC} = 9 \text{ V}, \quad \mu = 144, \quad V_T = 25 \text{ mV}$$



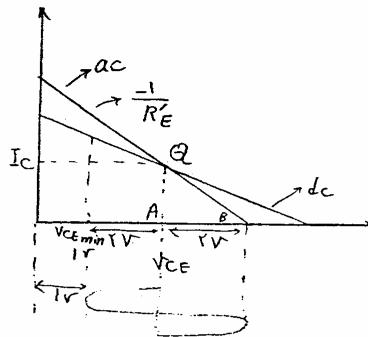
$$A_v = \frac{(1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)}{h_{ie} + (1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)} > 10 \rightarrow \frac{h_{fe}(R_E \parallel R_L)}{\frac{2V_T \beta}{I_C} + h_{fe}(R_E \parallel R_L)} > 10$$

$$\rightarrow 1 + \frac{1}{R_E} < 10 I_C$$

$$V_{CC} = R_E I_C + V_{CE}$$

$$\rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_E}$$

$$R_E + 10 V_{CE} < 10 V \quad (1)$$

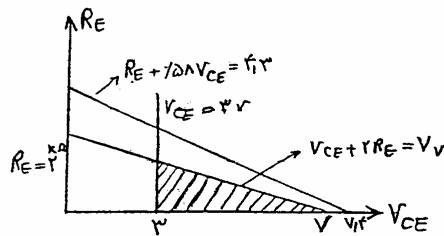


$$\rightarrow V_{CE} > 2V \quad (2)$$

$$AB = I_C \cdot R'_E > 2V, \quad R'_E = \frac{R_E \cdot R_L}{R_E + R_L}$$

$$\rightarrow I_C \cdot \frac{R_E}{1+R_E} > 2V$$

$$\rightarrow 10 R_E + V_{CE} < 10 V \quad (3)$$



$$\rightarrow R_E = 1k\Omega$$

$$\rightarrow V_{CE} = 5V, \quad I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_E} = 5mA$$

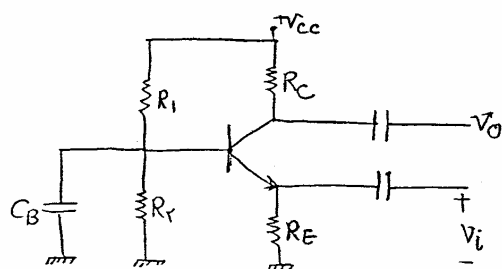
$$R_i = R'_i \parallel R_b = [h_{ie} + (1+h_{fe})(R_E \parallel R_L)] \parallel R_b > 10k$$

$$, \quad h_{ie_{min}} = \frac{2V_T \beta_{min}}{I_C} = 1.24k\Omega$$

$$\rightarrow R_b > 10k\Omega$$

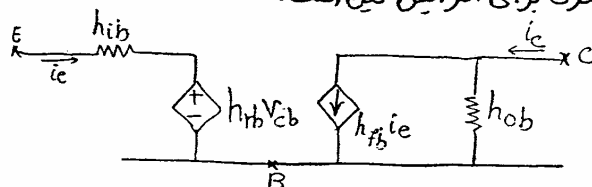
$$R_b = \frac{\beta_{\min} \cdot R_E}{10} \approx 18 \text{ k}\Omega \rightarrow R_1 \parallel R_2 = 18 \text{ k}\Omega$$

$\xrightarrow{\text{تقریب}}$
 $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$
 \downarrow استاندارد \downarrow استاندارد
 $33 \text{ k}\Omega$ $56 \text{ k}\Omega$



تقویت کننده بیس مشترک =

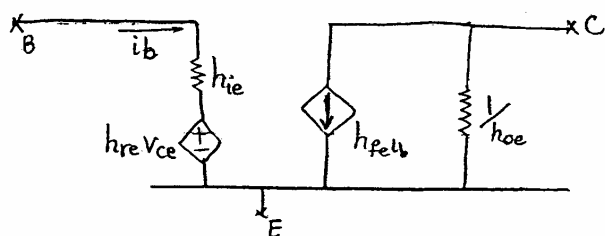
استفاده از خازن CB صرفاً برای افزایش گین است.



$$\begin{cases} v_{eb} = h_{ib} \cdot i_e + h_{rb} V_{cb} \\ i_c = h_{fb} i_e + V_{cb} h_{ob} \end{cases}$$

$$h_{ib} = \left. \frac{v_{eb}}{i_e} \right|_{v_{cb}=0}, \quad h_{rb} = \left. \frac{v_{eb}}{v_{cb}} \right|_{i_e=0}$$

$$h_{fb} = \left. \frac{i_c}{i_e} \right|_{v_{cb}=0}, \quad h_{ob} = \left. \frac{i_c}{v_{cb}} \right|_{i_e=0}$$



تمرین: پارامترهای هیبرید را محاسبه کنید.

جواب:

$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{ie}h_{oe} + (1+h_{fe})(1-h_{re})}$$

$$h_{fb} = \frac{-h_{fe}(1-h_{re}) - h_{oe}h_{ie}}{(1+h_{fe})(1-h_{re}) - h_{oe}h_{ie}}$$

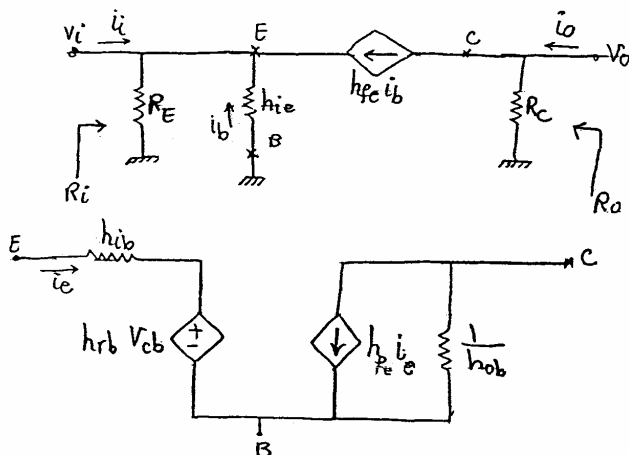
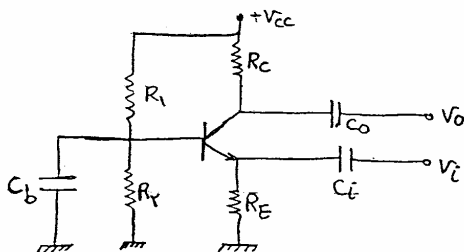
$$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{h_{ie}h_{oe} + (1+h_{fe})(1-h_{re})}$$

$$h_{rb} = \frac{h_{ie}h_{oe}}{1+h_{fe}} - h_{re}$$

می‌توان از تقریبهای $h_{ie}h_{oe} \ll h_{fe}$

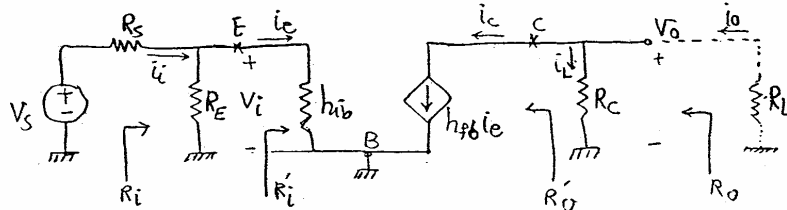
$$\rightarrow h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}, \quad h_{fb} = \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}}, \quad h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}}$$

تقویت‌کننده بیس مشترک:



$$h_{ib} = \frac{V_{eb}}{i_e} = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}} \quad , \quad h_{rb} = \frac{V_{eb}}{V_{cb}} = \frac{h_{ie}h_{oe}}{1+h_{fe}} - h_{re}$$

$$h_{fb} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}} \quad , \quad h_{ob} = \frac{i_c}{V_{cb}} = \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}}$$



$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_c} \cdot \frac{i_c}{i_e} \cdot \frac{i_e}{i_i} = -1 \times h_{fb} \times \frac{R_E}{R_E + h_{ib}}$$

$$\rightarrow A_i = \frac{-h_{fb} R_E}{R_E + h_{ib}} \approx -h_{fb}$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_E \parallel R'_i$$

$$R'_i = \frac{V_i}{i_e} = \frac{i_e h_{ib}}{i_e} = h_{ib} \rightarrow R'_i = h_{ib}$$

$$\rightarrow R_i = R_E \parallel h_{ib} \approx h_{ib}$$

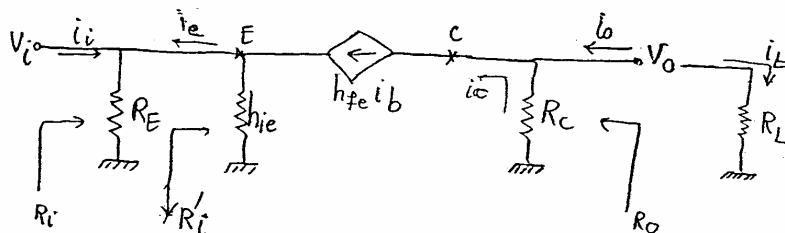
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C i_c}{h_{ib} i_e} = -\frac{h_{fb}}{h_{ib}} R_C = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} R_C \rightarrow A_v = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

$$A_v = A_i \frac{R_C}{R_i}$$

راه دیگر برای بدست آوردن A_v :

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_{s=0}} = R_C \parallel R'_o = R_C \rightarrow R_o = R_C$$

$$R'_o = \left. \frac{V_o}{i_c} \right|_{V_{s=0}} = \infty \rightarrow R'_o = \infty$$



$$A_i = \frac{i_c}{i_i} = \frac{i_c}{i_e} \cdot \frac{i_e}{i_c} = \frac{h_{fe} i_b}{(1+h_{fe}) i_b} \times \frac{-R_E}{R_E + R'_i} = \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}}$$

$$\rightarrow A_i = -\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}}$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_E \parallel R'_i = R_E \parallel \frac{V_i}{-i_e} = R_E \parallel \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}} \approx \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$$

$$\rightarrow R_i = R_E \parallel \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}} \approx \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$$

$$R'_i = \frac{-i_b h_{ie}}{-(1+h_{fe}) i_b} = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}} \rightarrow R'_i = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C i_c}{-i_b h_{ie}} = \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}} \rightarrow A_v = \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = R_C \parallel R'_o = R_C \parallel \frac{V_o}{i_i} \approx R_C \rightarrow R_o \approx R_C$$

اگر خازن \$C_b\$ را از مدار برداریم آن گاه:

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_E \parallel R'_i = R_E \parallel \frac{V_i}{-i_e} = R_E \parallel \frac{h_{ie} + R_b}{1+h_{fe}} = \frac{h_{ie} + R_b}{1+h_{fe}}$$

$$R'_i = \frac{-i_b h_{ie} - i_b (R_b)}{-(1+h_{fe}) i_b} = \frac{h_{ie} + R_b}{1+h_{fe}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C i_c}{-i_b h_{ie} - i_b R_b} = \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie} + R_b}$$

مثال: تقویت کننده بیس مشترک با بیس شده: $R_E = 1K$, $R_S = 10\Omega$

$h_{ib} = 21.4\Omega$, $R_L = 1K$, $h_{fb} = 1.5 \times 10^{-4}$, $h_{fb} = -198$

$h_{ob} = 1.5 \times 10^{-4} S$

$\rightarrow A_i = -h_{fb} = 198$

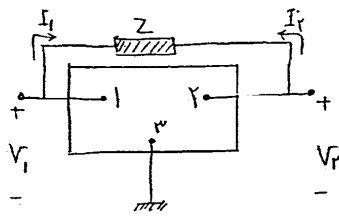
$A_v = \frac{-h_{fb} R_L}{h_{ib}} = 207$, $R_o = \frac{1}{h_{ob}} \parallel R_C = R_C = 1K\Omega$

$R_i = h_{ib} \parallel R_E = h_{ib} = 21.4$, $A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s}$

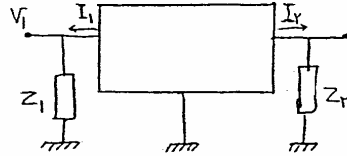
$A_{v_s} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_i + R_S} = 217$

نوع تقویت کننده	A_i	A_v	R_i	R_o
C-E با بار بیس	بالا h_{fe}	بالا $-\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$	متوسط	بالا
C-E بدون بار	متوسط	پائین	بالا	بالا
C.C	متوسط	≈ 1	بالا	پائین
C.B با بار بیس	≈ 1	بالا	پائین	بالا

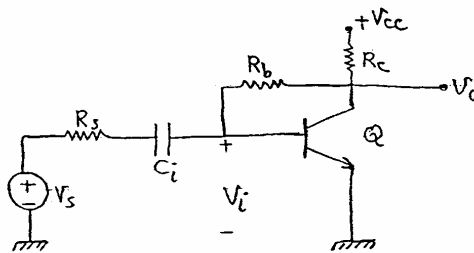
کاربرد
فرانش
متوسط



قضیه میلر:



$$\begin{cases} \frac{V_r}{V_i} = K \\ I_i = -I_r = \frac{V_i - V_r}{Z} \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} Z_i &= \frac{V_i}{I_i} \quad , \quad Z_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{K V_i}{V_r} \\ Z_i &= \frac{Z}{1-K} \\ Z_r &= \frac{Z}{1-\frac{1}{K}} = \frac{K Z}{K-1} \end{aligned}$$

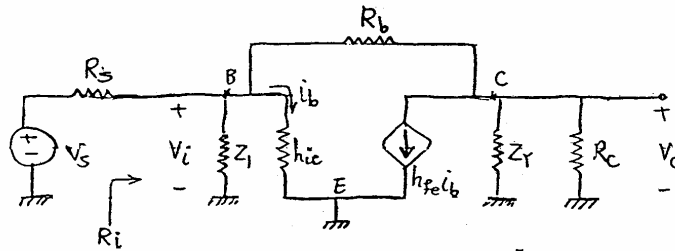


مثال:

$$A_v = ?$$

$$A_{v_s} = ?$$

$$R_i = ?$$



$$Z_i = \frac{Z}{1-K} \quad , \quad Z_r = \frac{K Z}{K-1} \approx Z$$

$$h_{ie} = 1.5 \text{ K}\Omega$$

$$h_{fe} = 100$$

$$(h_{oe})^{-1} = 10 \text{ K}$$

$$R_b = 200 \text{ K}$$

$$R_c = 10 \text{ K}$$

$$R_s = 10 \text{ K}$$

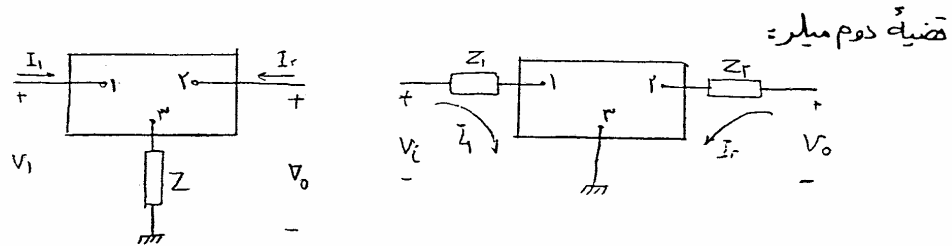
با توجه به

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fe} i_b \left(\frac{1}{h_{oe}} \parallel Z_r \parallel R_c \right)}{i_b h_{ie}} = -10.13$$

$$R_i = Z_i \parallel h_{ie} = 10.19 \Omega$$

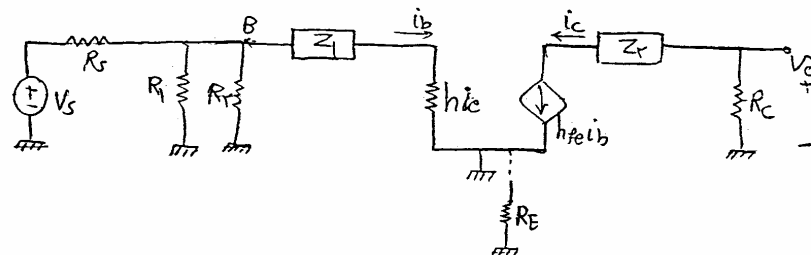
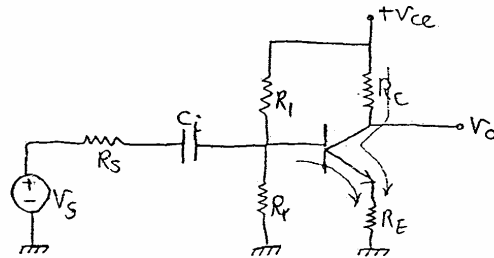
$$A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s} = -10.13$$

۷۲

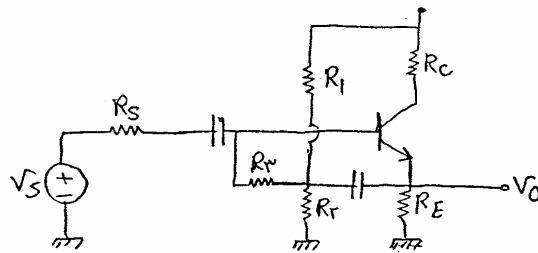


$$\frac{I_r}{I_1} = k, \quad \begin{cases} V_i = V_{ir} + Z(I_1 + I_r) \\ V_o = V_{rr} + Z(I_1 + I_r) \end{cases}, \quad \begin{cases} V_i = Z_1 I_1 + V_{ir} \\ V_r = Z_r I_r + V_{rr} \end{cases}$$

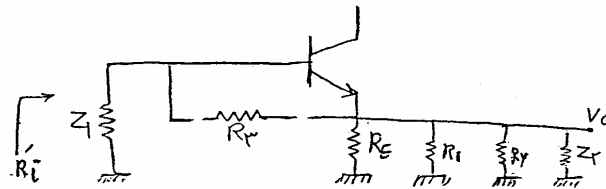
$$\rightarrow \begin{cases} Z_1 = Z(1+k) \\ Z_r = \frac{k+1}{k} Z \end{cases}$$



$$Z_1 = R_E(1+h_{fe}), \quad Z_r = \frac{1+h_{fe}}{h_{fe}} R_E \approx R_E, \quad (h_{oe})^{-1} \gg (R_E + R_C)$$

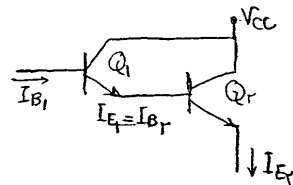


مدار معادل AC:



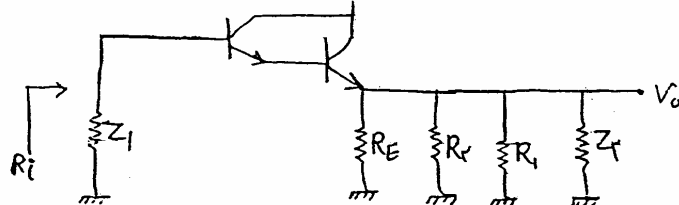
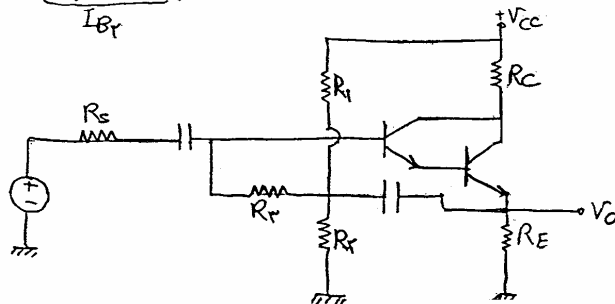
$$R'_i = Z_1 \parallel [h_{ie} + (1 + \beta_e)(R_E \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel Z_T)]$$

$$Z_1 = \frac{R_1 R_2}{1 - A_v}, \quad Z_T = \frac{R_T}{1 - \frac{1}{A_v}}$$



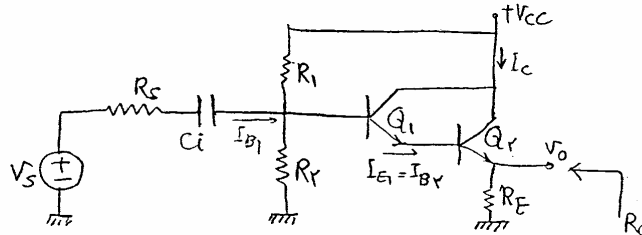
دارلینگتون:

$$I_{E1} = \frac{I_{B1}(1 + \beta_1)(1 + \beta_2)}{\beta_2}$$

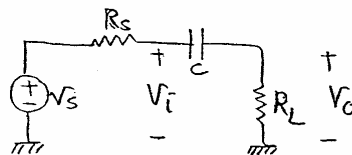


81

$$R'_i = Z_i \parallel \left[h_{ie1} + (1+h_{fe1}) \left[h_{ie2} + (1+h_{fe2})(R_E \parallel R_4 \parallel R_r \parallel Z_r) \right] \right]$$



$$R_o = R_E \parallel \frac{1}{1+h_{fe2}} \left[h_{ie2} + \frac{1}{1+h_{fe1}} \left[h_{ie1} + R_1 \parallel R_2 \parallel R_s \right] \right]$$



$$(R_L + R_S)C = \text{تایم ثابت}$$

$$\omega_p = \frac{1}{\tau}$$

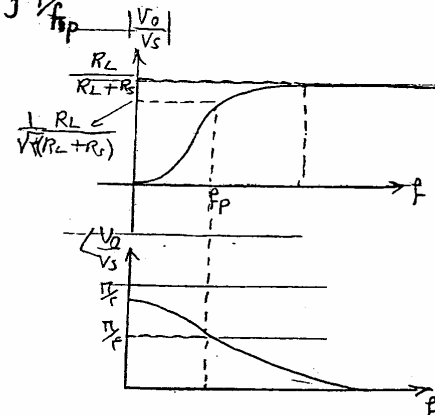
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_L}{R_L + R_S + \frac{1}{Cs}} = \frac{R_L Cs}{(R_L + R_S)Cs + 1} = \frac{R_L}{R_L + R_S} \cdot \frac{s}{s + \omega_p}$$

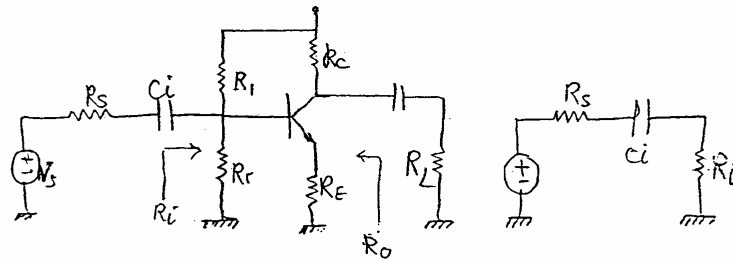
$$\frac{V_o(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{j\omega R_L C}{1 + j\omega(R_L + R_S)C} \quad \text{if } \omega_p = \frac{1}{(R_S + R_L)C}$$

$$\rightarrow \frac{V_o(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{j\omega R_L C}{1 + j\omega \frac{1}{\omega_p}} = \frac{j\omega R_L C \omega_p}{1 + j \frac{\omega}{\omega_p}}$$

$$\left| \frac{V_o}{V_s} \right| = \frac{\omega R_L C \omega_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^2}}$$

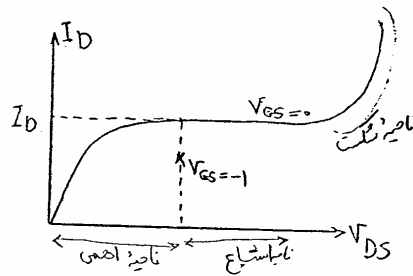
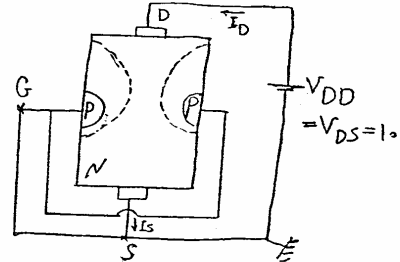
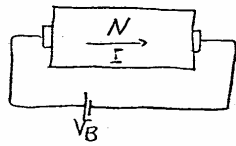
$$\angle \frac{V_o}{V_s} = \frac{\pi}{2} - \text{Arctg} \frac{\omega}{\omega_p} = \frac{\pi}{2}$$





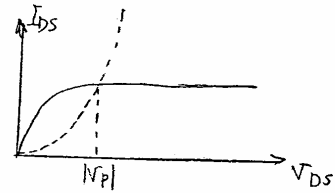
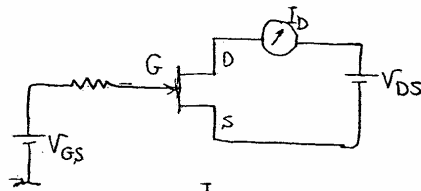
$$f_L = \frac{1}{\pi(R_i + R_s)C_i}$$

فیلڈ ایفکٹ ترانزیستور (field effect transistor) = FET

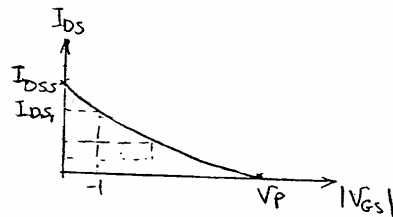


$$I_{DSS} \rightarrow V_{GS} = 0$$

$$V_{GS} = V_P \rightarrow I_D = 0$$



مستقیم انتقال



$$V_{GS} = 0 \rightarrow I_{DS} = I_{DSS}$$

$$V_{GS} = V_P \rightarrow I_{DS} = 0$$

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

$$V_P = -4V$$

$$I_{DSS} = 12mA$$

$$\rightarrow \begin{cases} V_{GS} = 0 \\ V_{GS} = -1.2V \\ V_{GS} = -2V \end{cases}$$

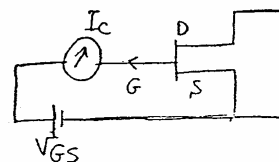
مثال عددی:

$$V_{GS}=0 \rightarrow I_{DS}=I_{DSS}=12mA$$

$$V_{GS}=-1.5V \rightarrow I_{DS}=12 \left(1 - \frac{-1.5}{-4}\right)^2 = 5.18mA$$

$$V_{GS}=V \rightarrow I_{DS}=5mA$$

$$\begin{cases} I_{DG} = 10 \mu A \\ P_D = 15W, \\ T = -45^\circ C + 3.5^\circ C \end{cases}$$

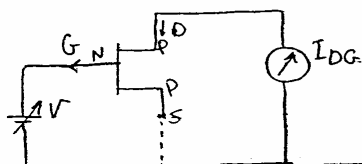


$$I_{GSS} = 0.1 \mu A$$

$$V_{GS} = 1.5V$$

$$T = 100^\circ \rightarrow I_{GSS} = 1 \mu A$$

$$V_{GS} = 1.5V$$



$$BV_{DG} = -10V$$

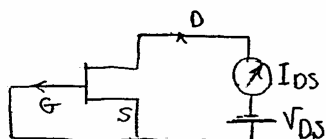
$$2.5 \mu A$$

$$10 \mu A$$

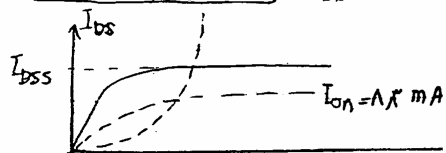
$$BV_{DG} = -BV_{GS}$$

در حالتی که خط صاف نیست

در حالتی که خط صاف وجود دارد:



$$V_{GS}=0 \rightarrow I_{DSS}=I_{DS}$$



$$V_{DS} = 10V$$

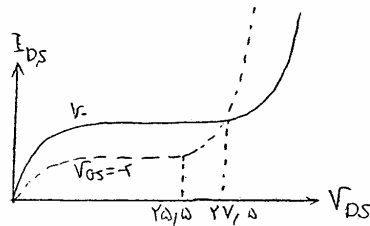
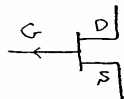
$$V_{GS} = 3.5V$$

85

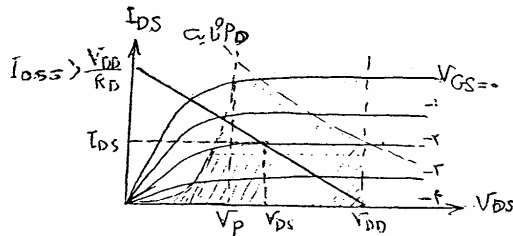
$$I_{D_{off}} = 1.0 \mu A \rightarrow V_{GS} = 1V \approx V_P$$

$$V_{DS} = 12V$$

BV_{DS}

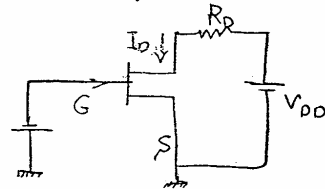


$$BV_{DS} = -V_{P/2}, \quad V_{DS} = V_{DG} + V_{GS}$$



$$P_D = I_{DS} V_{DS}$$

$$T = 25^\circ$$

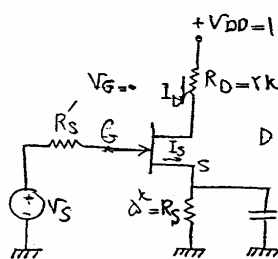


$$V_{DD} = R_D I_D + V_{DS}$$

$$V_{GS} = 0, \quad V_{DS} = |V_P| \quad \text{نمایه اشباع}$$

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_P$$

مثال: V_P, I_{DSS}, V_{GS} را برای مدارات زیر داشته باشید



$$I_{DSS} = 5mA, \quad V_P = -5V$$

$$\begin{cases} V_{GS} = V_G - V_S = -V_S = -R_S I_{DS} \\ I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = I_{DSS} \left(1 + \frac{R_S I_{DS}}{V_P}\right)^2 \end{cases}$$

$$\rightarrow I_{DS} = \frac{-V_{GS}}{R_S} = 1.04$$

$$\rightarrow I_{DS} \leftarrow$$

$$\rightarrow \frac{-V_{GS}}{R_S} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \rightarrow V_{GS} = \begin{cases} -3.2 \checkmark \\ -1.8 \end{cases}$$

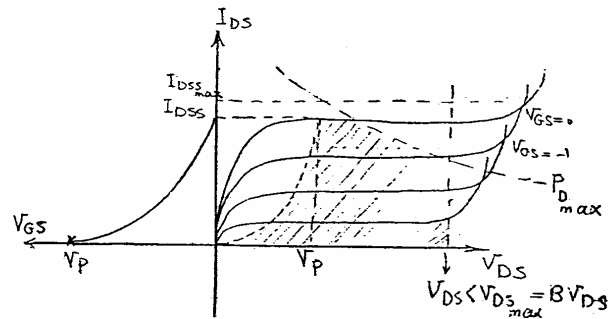
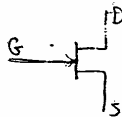
$$\begin{cases} I_{DS} < I_{DSS} \\ |V_{GS}| < |V_P| \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{شرایطی که باید حتماً در} \\ \text{مدارها چک شود.} \end{array}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - R_D I_{DS} = R_S \cdot I_{DSS}$$

$$\rightarrow V_{DS} = 5.18 \text{ V}$$

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_P \rightarrow V_{DS} \geq -3.2 - (-5) = 1.8 \text{ V}$$

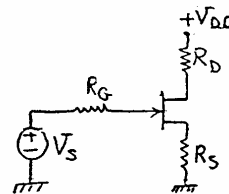
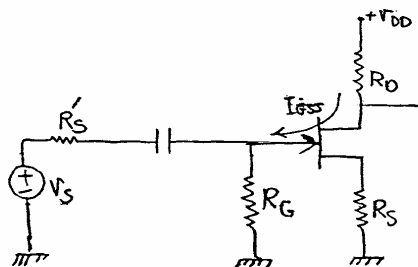
چک کردن برای ناحیه مجاز



$$\begin{cases} V_{DS} \gg V_{GS} - V_P \\ BV_{DS} \\ I_{DSmax} \\ P_{Dmax} = V_{DS} \cdot I_{DS} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{پارامتری} \\ \text{محدودکننده} \end{array}$$

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

$$I_{DS} < I_{DSS}$$



$$\begin{cases} I_{GSS} \\ \textcircled{1} V_G = I_{GSS} \times R_G = 10^{-9} \times 10^6 = 1 \text{ V} \\ I_{GSS} = 10 \text{ nA} \\ \textcircled{2} V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_S \\ = 1 - 4 = -3 \end{cases} \quad \textcircled{3} I_{DS} - I_{GSS} = I_S$$

R_G اگر کوچک باشد دیگر آمپدانس ورودی آن خیلی بزرگ نخواهد بود و اگر خیلی بزرگ باشد با

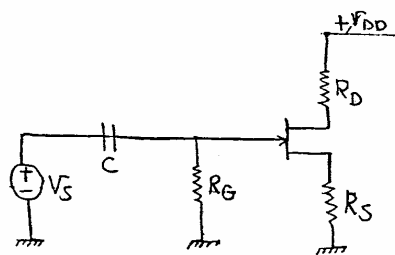
تغییرات دما که I_{GSS} تغییر می‌کند V_G تغییر خواهد کرد و احتمال این است که FET از ناحیه اشباع خارج

شود. همچنین با توجه به اینکه در ورودی سیگنال‌های noise وجود دارند اگر R_G خیلی بزرگ باشد

این سیگنال به خروجی منتقل می‌شود و در خروجی با توان بالایی تقویت و ظاهری شود اما اگر R_G

مناسب باشد noise توسط R_G به زمین منتقل می‌شود و در خروجی ظاهر نخواهد شد.

$$\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \rightarrow V_{GS} = R_S I_{DS} + (R_S + R_G) I_{GSS}$$



مثال :

$$25^\circ < T < 75^\circ$$

$$I_{GSS}(25^\circ) = 10 \text{ nA}$$

$$\Delta T = 5^\circ \text{C} \rightarrow I_{GSS} \times 10$$

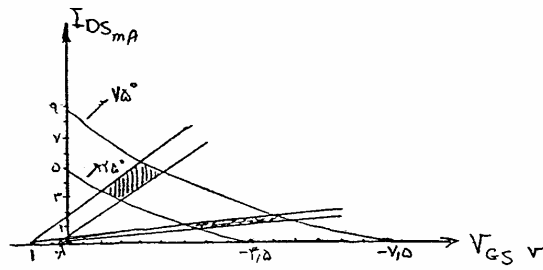
$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \left|\frac{V_{GS}}{V_P}\right|\right)^2$$

$$25^\circ \begin{cases} I_{DSS} = 5 \text{ mA} \\ V_P = -4.5 \text{ V} \end{cases} \quad 75^\circ \begin{cases} I_{DSS} = 9 \text{ mA} \\ V_P = -7.5 \text{ V} \end{cases}$$

$$a) R_S = 500 \Omega$$

$$b) R_S = 5 \text{ k}\Omega$$

مشخصه انتقالی را رسم کنید.



a) $R_S = \infty \Omega$

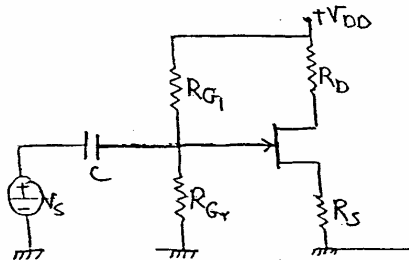
$$V_{GS} \longrightarrow V_{GS} = -\infty \cdot I_{DS} + 1$$

$$V_{GS} \longrightarrow V_{GS} \approx -\infty \cdot I_{DS} + 1$$

b) $R_S = \infty \text{ k}\Omega$

$$V_{GS} \longrightarrow V_{GS} = -\infty \cdot I_{DS} + 1$$

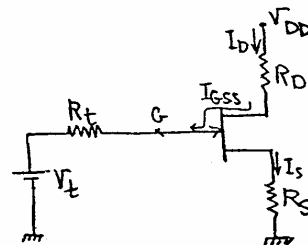
$$V_{GS} \longrightarrow V_{GS} = -\infty \cdot I_D + 1$$



$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_{GS} = V_{DD} \times \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} - R_S I_S$$

$$\begin{cases} V_t = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} \\ R_t = R_{G1} \parallel R_{G2} \end{cases}$$

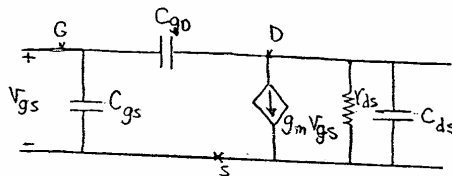


$$\begin{cases} I_D = I_S + I_{GSS} \\ V_G = R_t \times I_{GSS} + V_t \\ V_S = -R_S I_S \end{cases} \quad , \quad V_{GS} = V_G - V_S$$

تحلیل ac و تقویت کننده ها =

C.S	G ورودی	D خروجی	$ A_V > 1$
C.D	G ورودی	S خروجی	$A_V \approx 1$
C.G	S ورودی	D خروجی	$A_V > 1$ ← کاربرد چنانچه نظارد

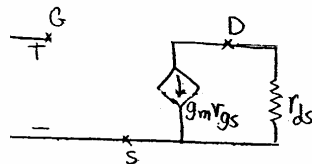
مدار معادل =



$$C_{gs}, C_{gd} \approx PF$$

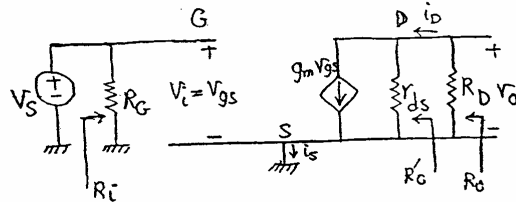
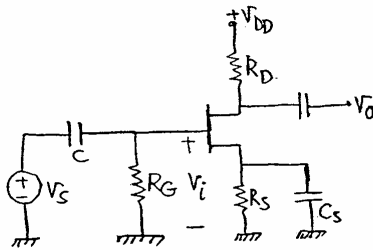
$$C_{ds} \ll C_{gs}, C_{gd}$$

$$\left. \begin{aligned} C_{iss} &= C_{gs} + C_{gd} \\ C_{rss} &\approx C_{gd} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{معادیری که در} \\ &\text{کاتالوگ FET} \\ &\text{داده می شوند.} \end{aligned}$$



مدل سیگنال کوچک FET =

تقویت کننده سورس مشترک C.S:

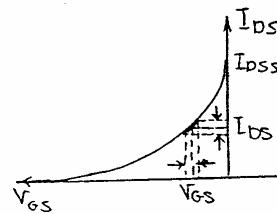


$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-g_m V_{gs} (R_D \parallel R_{ds})}{V_{gs}} = -g_m (R_D \parallel R_{ds})$$

$$g_m = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta V_{GS}} = g_{m_0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$g_{m_0} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|}$$

نسبت تغییر در نقطه I_{DSS}



$$R_i = R_G$$

$$R_O = \left. \frac{V_O}{i_O} \right|_{V_{GS}=0}, \quad R_O = R_D \parallel R'_O$$

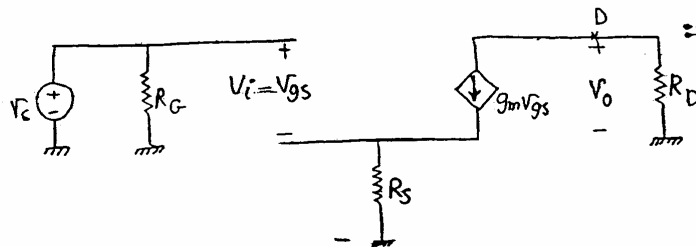
$$R'_O = \frac{V_O}{i_D} = r_{ds} \rightarrow R_O = R_D \parallel r_{ds}$$

باتوجه به اینکه $V_i = V_{GS}$ از نظر ac زمین است در نتیجه $V_i = V_{GS}$ لذا در این نوع تقویت کننده ها علاوه

بر پارامترهای بالا باید $V_{i,pp}$ را نیز محاسبه و محدود کنیم.

$$V_{i,pp} = \frac{V_{O,pp}}{A_V}$$

در حالت بایاس نشسته:

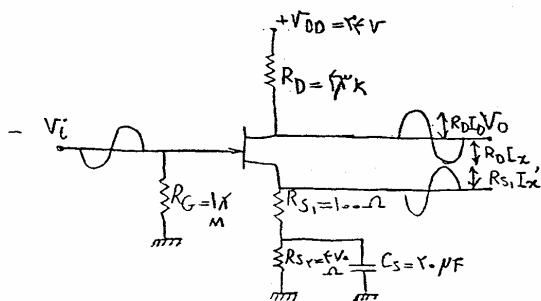


91

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m V_{gs} R_D}{V_{gs} + V_{gs} g_m R_S} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S}$$

$$\rightarrow A_V = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S}$$

$$R_i = R_G, \quad R_o = R_D$$



$$I_{DSS} = 4 \text{ mA}$$

مثال :

$$V_P = -4 \text{ V}$$

$$R_i, R_o, A_V, V_{opp}, f_L = ?$$

$$\begin{cases} I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \left| \frac{V_{GS}}{V_P} \right| \right)^2 \\ V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_{DS} (R_{S1} + R_{Sr}) = -1.4 \text{ V} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_{DS} = 1.9 \text{ mA} \\ V_{GS} = -1.4 \text{ V} \end{cases}$$

$$g_m = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) = 1.13 \text{ mS}$$

$\rightarrow g_{m_0} = 2 \text{ mS}$

$$A_V = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1}} = -0.17, \quad R_i = R_G = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_D = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D$$

$$V_{op}^+ = R_D I_D$$

$$\rightarrow V_{op}^+ = 1.9 \text{ V}$$

$$(dc) V_S = R_{S1} I_{DS} + R_{Sr} I_{DS}$$

$$(ac) V_S = R_{S1} I_D$$

$$V_{op}^- = V_{DS} \times \frac{R_D}{R_{S1} + R_D}$$

$$(dc) V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - R_D I_D - I_D (R_{S1} + R_{Sr}) = 9.1 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{op}^- = 9.1 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{opp} = 2 \times 9.1 = 18.2 \text{ V}$$

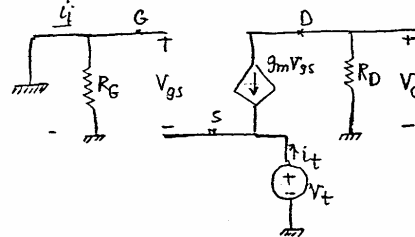
مقاومت خروجی کانال

$$R_{cs} = R_{sr} \parallel (R_{s1} + r_s)$$

$$i_t = -g_m V_{gs}$$

$$V_t = -V_{gs}$$

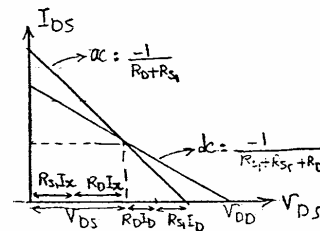
$$r_s = \frac{V_t}{i_t} = \frac{1}{g_m}$$



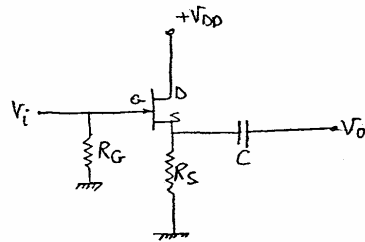
$$\rightarrow R_{cs} = 470 \parallel (100 + 1718) = 300 \Omega$$

$$\rightarrow f_L = \frac{1}{2\pi R_{cs} C_{cs}} = 2415 \text{ Hz}$$

روش دیگر یافتن V_{opp} از روی خط بار dc و ac

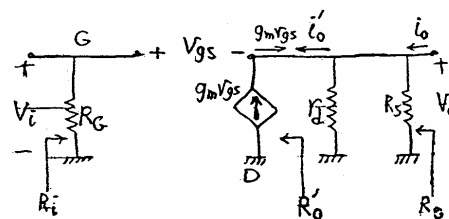


تقویت کننده درین مشترک C.D :



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m V_{gs} (r_d \parallel R_S) R'_L}{V_{gs} + g_m V_{gs} (r_d \parallel R_S)}$$

$$\rightarrow A_v = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L} < 1, \quad R'_L = R_S$$

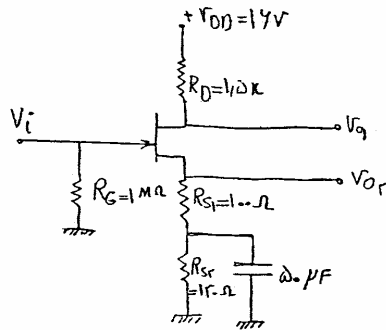


$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_i=0} = R'_D \parallel (r_d \parallel R_S)$$

$$R'_D = \frac{V_o}{i_o} = \frac{-V_{gs}}{-g_m V_{gs}} = \frac{1}{g_m}$$

$$\rightarrow R_o = \left(\frac{1}{g_m} \right) \parallel (r_d \parallel R_S) \approx \frac{1}{g_m} \parallel R_S$$

93



$$I_{DSS} = 1.2 \text{ mA}$$

مثال

$$g_{m0} = 1.2 \text{ mS}$$

$$R_{O1}, R_{O2}, A_{V1}, A_{V2}, R_i, f_L = ?$$

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

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - (R_{S1} + R_{S2}) I_{DS}$$

$$g_{m0} = \frac{r I_{DSS}}{|V_P|} = 1.2 \text{ mS}$$

}

$$V_P = -1.33 \text{ V}$$

$$\begin{cases} I_{DS} = 0.4 \text{ mA} \\ V_{GS} = -1.4 \text{ V} \end{cases}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = 1.12 \text{ mS}$$

$$(C.S) : A_{V1} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1}} = -3.1 \text{ V/V}$$

$$(C.D) : A_{V2} = \frac{V_{O2}}{V_i} = \frac{g_m R_L'}{1 + g_m R_L'} = \frac{g_m R_{S1}}{1 + g_m R_{S1}} = 1/20$$

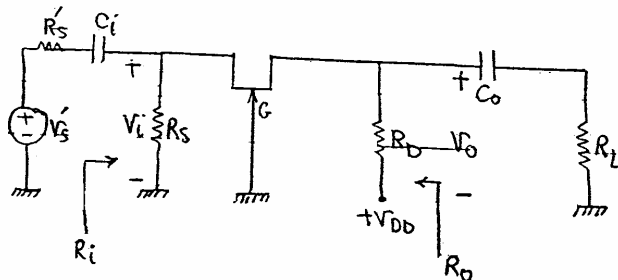
$$R_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{O1} = R_D = 1.5 \text{ k}\Omega$$

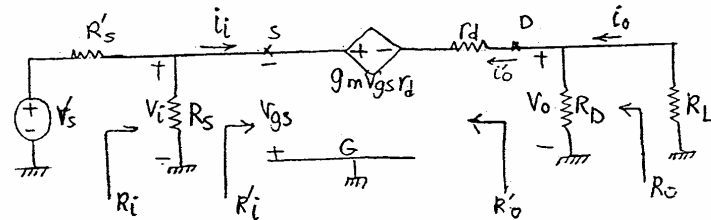
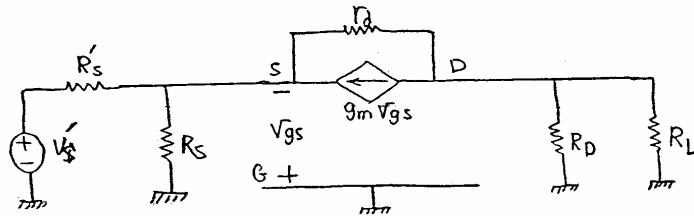
$$R_{O2} = \frac{1}{g_m} \parallel R_{S1} = 400 \Omega, \quad r_s = \frac{1}{g_m} = 401$$

$$f_L = ? \rightarrow R_{CS} = R_{Sr} \parallel \left[R_{S1} + \frac{1}{g_m} \right] = 411.5 \Omega$$

$$\rightarrow f_L = \frac{1}{2\pi R_{CS} C_S} = 411.9 \text{ Hz}$$



تقویت کننده گیت مشترک C.G



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

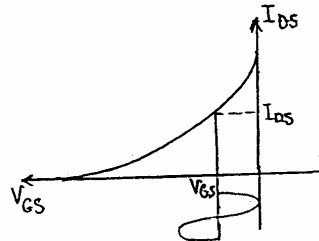
$$V_o = (R_D || R_L) i_i \quad \text{KVL: } +V_{gs} + g_m V_{gs} r_d + r_d i_i + (R_D || R_L) i_i = 0$$

$$V_i = -V_{gs}$$

$$\rightarrow i_i = -V_{gs} \frac{1 + g_m r_d}{r_d + (R_D || R_L)}$$

$$\rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(R_D || R_L) \left[\frac{V_{gs} (1 + g_m r_d)}{r_d + (R_D || R_L)} \right]}{-V_{gs}}$$

$$\rightarrow A_V = \frac{(R_D || R_L) (1 + g_m r_d)}{r_d + (R_D || R_L)}$$



$$V_D = V_{DD} - R_D I_D$$

$$V_i \downarrow \quad I_{DS} \uparrow \quad V_D \downarrow$$

$$A_V = \frac{(R_D || R_L) (g_m r_d)}{r_d} \approx g_m (R_D || R_L) \rightarrow A_V \approx g_m (R_D || R_L)$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_s || R'_i \quad \cdot \quad R'_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{-V_{gs}}{-V_{gs} \frac{1 + g_m r_d}{r_d + (R_D || R_L)}} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$\rightarrow R'_i = \frac{r_d + (R_D || R_L)}{1 + g_m r_d} \approx \frac{1}{g_m}$$

95

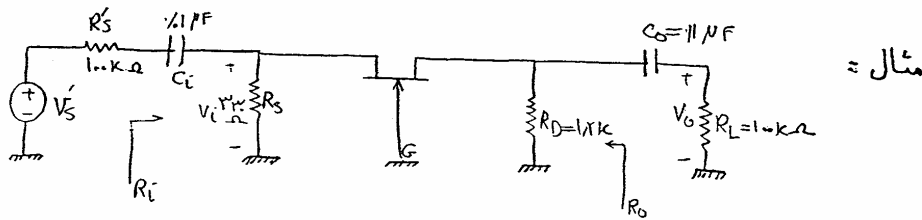
$$\rightarrow R_i = R_s \parallel \left(\frac{r_d + (R_D \parallel R_L)}{1 + g_m r_d} \right) \approx R_s \parallel \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{V_s=0} = R_D \parallel R'_o$$

$$R'_o = \frac{V_o}{i_o} = \frac{r_d i_o + g_m (V_{gs}) r_d + i_o (R_s \parallel R'_s)}{i_o} = r_d + g_m r_d (R_s \parallel R'_s) + (R_s \parallel R'_s)$$

$$\text{جدا } r_d \rightarrow R'_o = r_d (1 + g_m (R_s \parallel R'_s))$$

$$\rightarrow R_o = R_D \parallel [r_d (1 + g_m (R_s \parallel R'_s))] \approx R_D$$



$$V_{GS} = -1.1 \text{ V}, \quad g_m = 1.1 \text{ V/V}, \quad r_d = \infty$$

$$R_i, R_o, A_v, f_L = ?$$

$$A_v = \frac{(1 + g_m r_d)}{r_d + R'_L} \times R'_L \approx R'_L \left(\frac{1}{r_d} + g_m \right) \rightarrow A_v = g_m R'_L = g_m (R_L \parallel R_D) = 3.2 \text{ V/V}$$

$$R_i = R_s \parallel \frac{1}{g_m} = 1.1 \text{ k}\Omega, \quad R_o = R_D = 10 \text{ k}\Omega$$

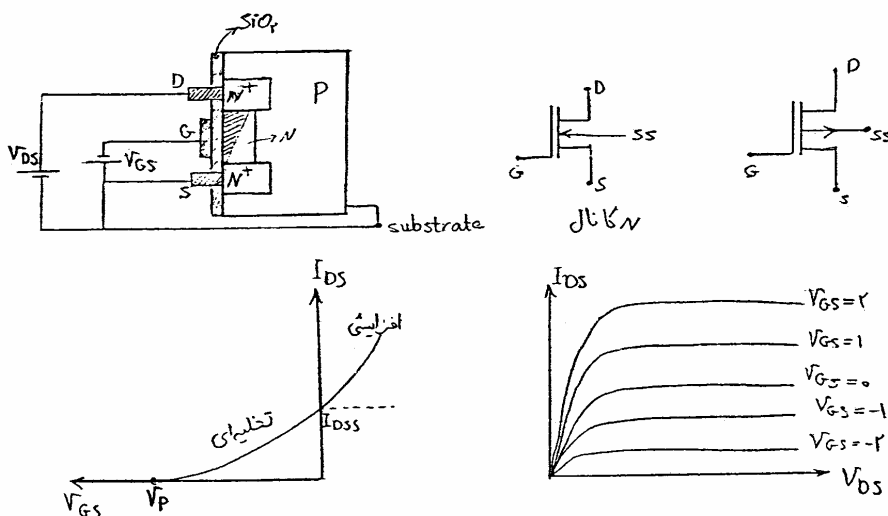
$$R_{Ci} = R_i + R'_s \approx 100 \text{ k}\Omega, \quad \tau_{Ci} = R_{Ci} \times C_i = 10 \text{ ns}$$

$$R_{Co} = R_D + R_L \approx 10 \text{ k}\Omega, \quad \tau_{Co} = R_{Co} \times C_o = 10 \text{ ns}, \quad f_{Ci} = \frac{1}{2\pi \tau_{Ci}} = 15.9 \text{ Hz}$$

Mos FET : دو نوع از این تقویت کننده داریم .

۱- تخلیه ای Depletion ۲- افزایشی Enhancement

نوع تخلیه ای :



$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2, \quad g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$g_{m0} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|}$$

$$I_{DSS} = 18 \text{ mA}, \quad V_P = -5 \text{ V}$$

مثال :

الف - کانال

$$V_{GS} = -3 \rightarrow I_{DS} = 18 \left(1 - \frac{-3}{-5}\right)^2 = 7.2 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 1.5 \rightarrow I_{DS} = 18 \left(1 - \frac{1.5}{-5}\right)^2 = 4.5 \text{ mA}$$

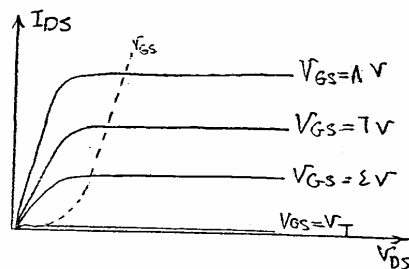
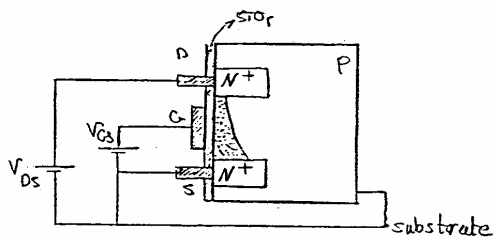
$$V_{GS} = -3 \rightarrow I_{DS} = 7.2 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 1.5 \rightarrow I_{DS} = 4.5 \text{ mA}$$

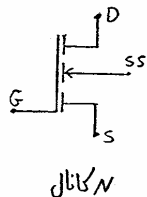
$$I_{DSS} = 18 \text{ mA}, \quad V_P = -5 \text{ V} \quad \text{ب - کانال P}$$

97

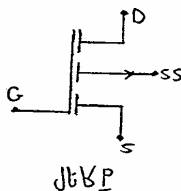
۲-نوع افزایشی =



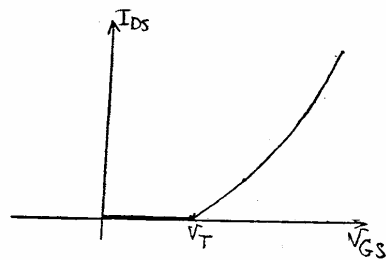
مث
 $V_T = V_{GS} \approx 1.3$
ولتاژ آستانه تشکیل کانال



کانال N



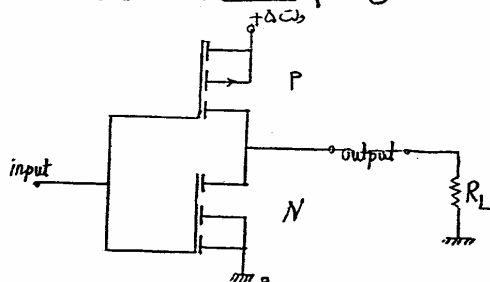
کانال P

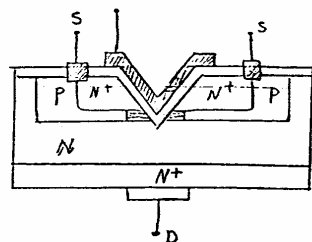


$$I_D = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_T)^2, \quad V_{GS} \geq V_T, \quad \beta \approx 1.5 \times 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T$$

از ترکیب NMOS (NMOSFET) و PMOS (PMOSFET) می‌توان یک CMOS ساخت.

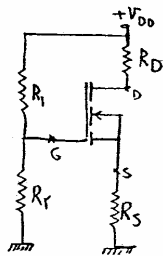




= VMOS

کاربرد VMOS در مدارهای سوئیچینگ با جریان بالا است چون مقاومت کمی دارد.

99

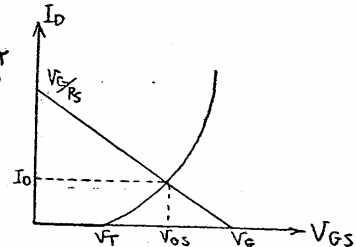


مدارهای بایاس MOSFET :

$$I_D = \frac{1}{2} \mu \beta (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$V_S = R_S I_D$$



$$\rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_D$$

$$I_D = \frac{V_G}{R_S} - \frac{V_{GS}}{R_S}$$

$$I_D = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

در حالت کلی PMOS, NMOS

$$A = R_S^2, \quad B = -\gamma [(|V_G| - |V_T|) R_S + \frac{1}{\beta}], \quad C = (|V_G| - |V_T|)^2$$

$$\begin{cases} \beta = \frac{1}{2} \mu \frac{C_{ox}}{L} \frac{W}{L} \\ V_T = 1V \end{cases}, \quad R_1 = 100k\Omega, \quad R_2 = 100k\Omega, \quad V_{DD} = 10V, \quad R_S = 1k\Omega, \quad R_D = 1k\Omega$$

$$\rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu \frac{C_{ox}}{L} \frac{W}{L} (V_G - V_T)^2, \quad I_D = \frac{V_G}{R_S} - \frac{V_{GS}}{R_S}$$

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 5V \rightarrow I_D = \frac{5V}{1k\Omega} - \frac{V_{GS}}{1k\Omega}$$

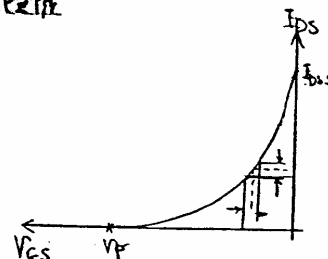
$$V_{DS} = V_D - V_S = (V_{DD} - R_D I_D) - R_S I_D = 1.4V$$

$$|V_{DS}| > |V_{GS} - V_T|$$

$$1.4 > 4.4 - 1 = 3.4$$

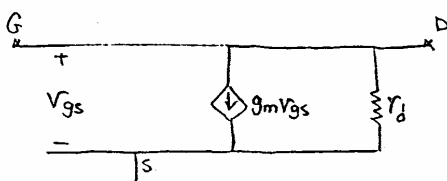
$$g_m^{-1} = \frac{\Delta V_{GS}}{\Delta I_{DS}} \rightarrow g_m = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta V_{GS}}$$

$$\text{JFET, Depletion: } \begin{cases} I_{DS} = I_{DSS} (1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \\ g_m = \frac{2 I_{DSS}}{|V_P|} (1 - \frac{V_{GS}}{V_P}) \end{cases}$$

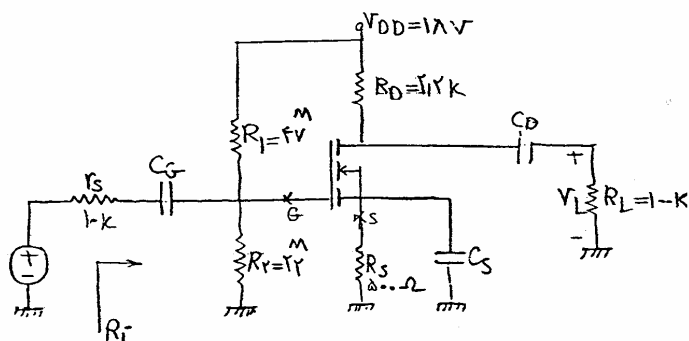


MOSFET Enhancement :

$$\begin{cases} \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \mu_n \times \beta (V_{GS} - V_T) = g_m \\ \beta (V_G - V_T) = g_m \end{cases}$$



در حالت کلی برای اینکه در ناحیه فعال قرار داشته باشیم :

$$|V_{DS}| \gg |V_{GS} - V_T|$$


مثال :

۱- ناحیه فعال ؟

۲- R_i

۳- $A_{V_S} = \frac{V_L}{V_S}$

$V_T = 2V$, $\beta = 10 \times 10^{-4} A/V^2$, $r_d = 75K$, $I_D = 1.9mA$

$\rightarrow V_{DS} \gg V_{GS} - V_T \rightarrow 12.18V \gg 1.79 - 2$

$V_{DS} = V_D - V_S = (V_{DD} - R_D I_D) - (R_S I_D) = 12.18V$

$V_{GS} = V_G - V_S = 1.79V$

$V_G = V_{DD} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.74V$

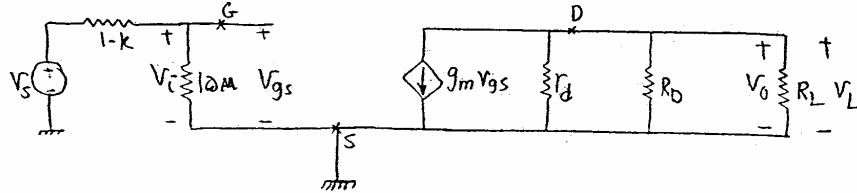
$I_D = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$, $A = +R_S^2$

$B = -2 \left[(|V_G| - |V_T|) R_S + \frac{1}{\beta} \right]$

$C = (|V_G| - |V_T|)^2$

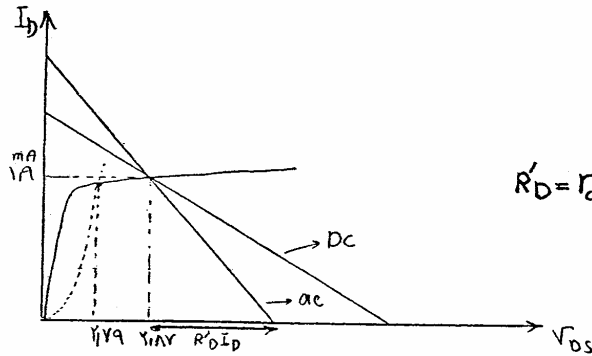
101

$$R_{in} = R_i \parallel R_T = 1 \text{ k} \parallel 1 \text{ M} = 1 \text{ M} \Omega$$



$$g_m = \beta (V_{GS} - V_T) = 1 \text{ mA/V}$$

$$A_{VS} = \frac{V_L}{V_S} = \frac{V_L}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_S} = \frac{-g_m V_{GS} (R_D \parallel R_L \parallel r_d)}{V_{GS}} \times \frac{1 \text{ M} \Omega}{1 \text{ M} \Omega + 1 \text{ k} \Omega} = -1.92$$

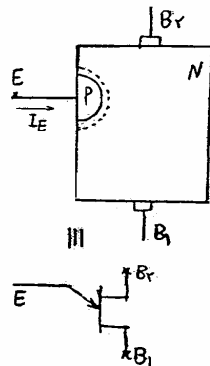


تعیین سوئیچینگ

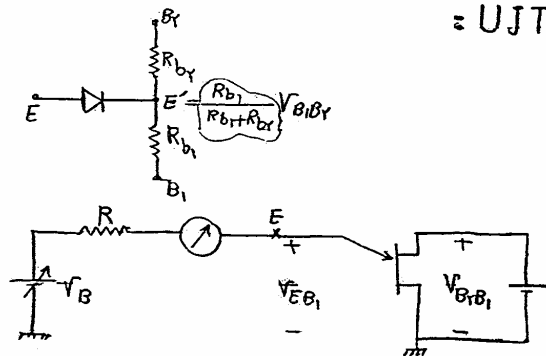
$$R'_D = r_d \parallel R_D \parallel R_L$$

خط بار DC : $V_{DD} = V_{DS} + (R'_D + R_S) I_D$

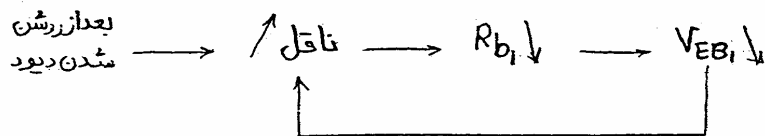
خط بار ac : $V_{DS} = -R'_D I_D$



$$\eta = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{bx}}$$

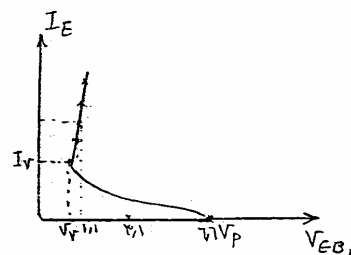
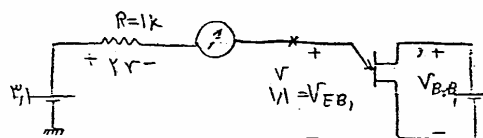


UJT

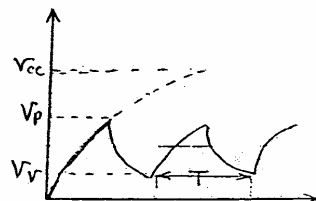
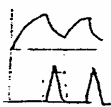
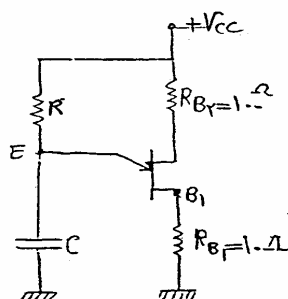


$$V_P = V_D + V_{E'}$$

$$V_P = V_D + \eta V_{BrB1}$$



استفاده از UJT در نوسان سازی:



$$T \approx \frac{1}{RC} \ln \frac{1}{1-\eta}$$

$$V_P = \eta V_{CC} + V_D$$

اگر بجای R از منبع جریان استفاده کنیم خازن به صورت خطی شارژی شود:

$$C V_P - Q = I \times T \rightarrow T = \frac{C V_P}{I}$$

کاربرد دیگری از UJT:

