بسمه تعالی

جزوه

الکترونیک ۱

دانشگاه

صنعتی امیر کبیر

استاد

مهندس کاشی

(الکترونیک I)

مدارهای دیودی: از انواع مدارهای دیودی که بررسی می کنیم می توان مدارهای برشگر

(یکسوساز - تک نیم موج) ؛ مدارهای یکسوکننده ، مدارهای چندبرابرکننده و مدارهای تثبیت

کننده ولتاژ را نام برده

تحلیل به روش ایده آل :

دو نوع تحلیل داریم : ۱- مدل ترسیمی

۲- مدل خطی پاره ای

مدل ترسیمی :

مثال :

معادله خط بار

مثال :

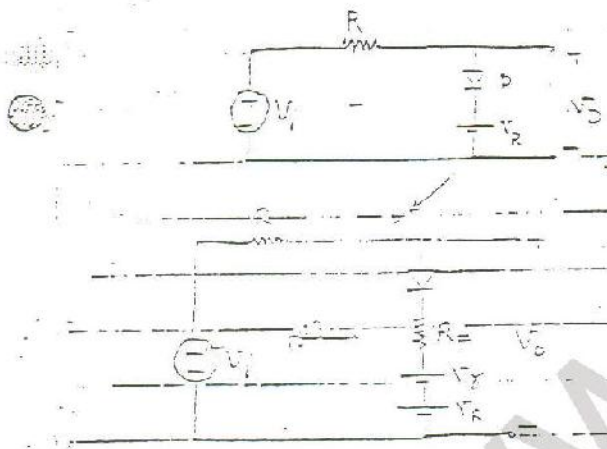
مدل خطی پاره ای :

www.tnar.ir

نمایش دیود در گرایش مستقیم :

نمایش دیود در گرایش معکوس :

مثال :



گرایش مستقیم :

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

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

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

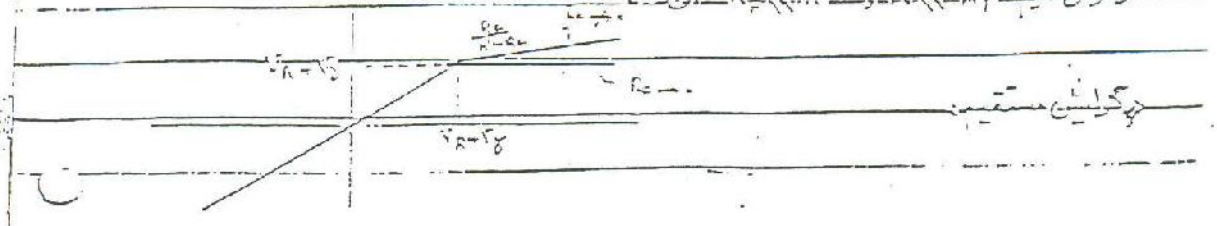
گرایش معکوس :

$$V_o = V_{R_2} + V_R$$

$$V_o = (V_i - V_R)\frac{R_2}{R_2 + R} + V_R$$

$$V_o = V_i$$

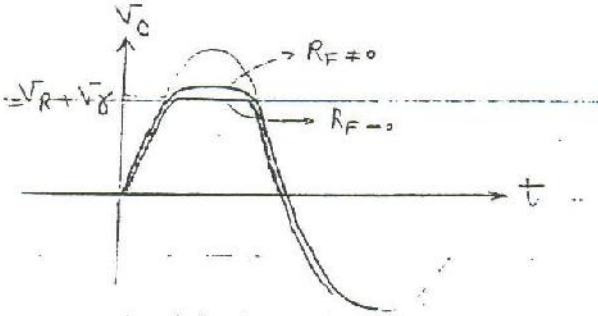
اگر فرض کنیم $R_2 \gg R$ و $R \gg R_F$ آنگاه



مشخصه گرایش مستقیم

www.ttnar.ir

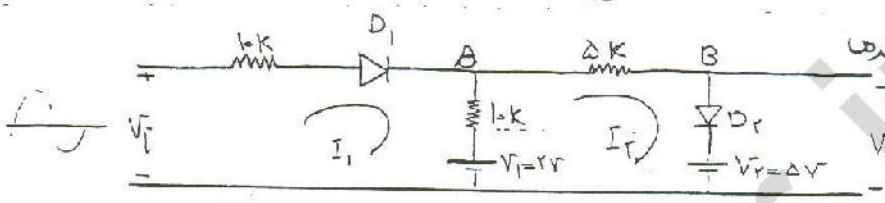
۲) درگرایش معکوس:



حرکت مدار کلمپر

مثال: دیودها و مولدها ایده‌آل در نظر گرفته شوند.

$V_\gamma = 0$
$R_F = 0$



اگر $V_i = 0$ ⟵ D_2 خاموش

و $V_A = V_B = ۲\ V$

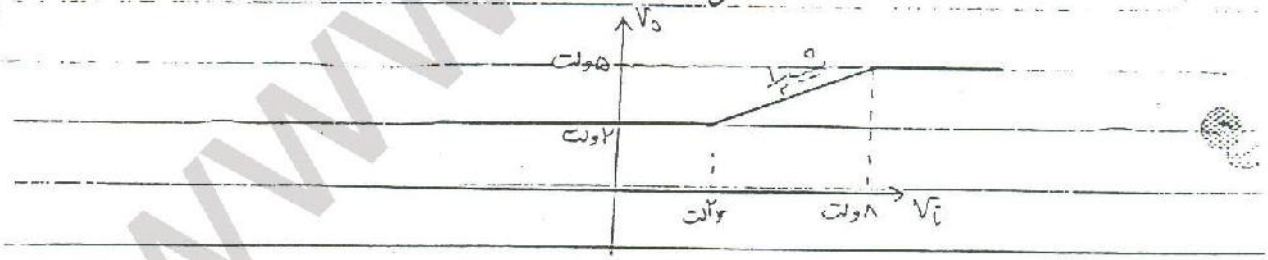
$\rightarrow V_i < ۲^{V} \longrightarrow V_o = ۲\ V$

اگر $V_i > ۲^{V}$:

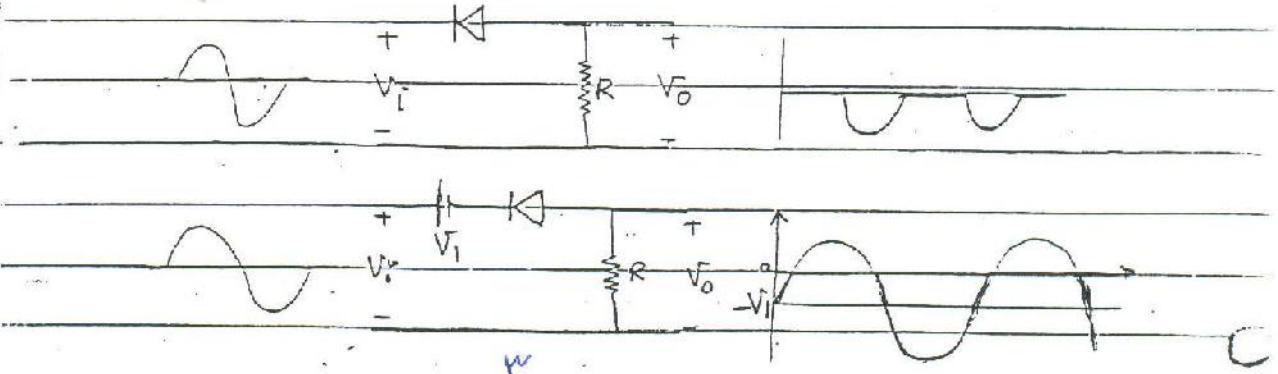
$$V_A = V_{R_{1K}} + V_1 = (V_i - V_1) \times \frac{۱۰}{۱۰ + ۱۰} + V_1$$

$V_A = ۵ \longrightarrow V_i = ۸^{V}$

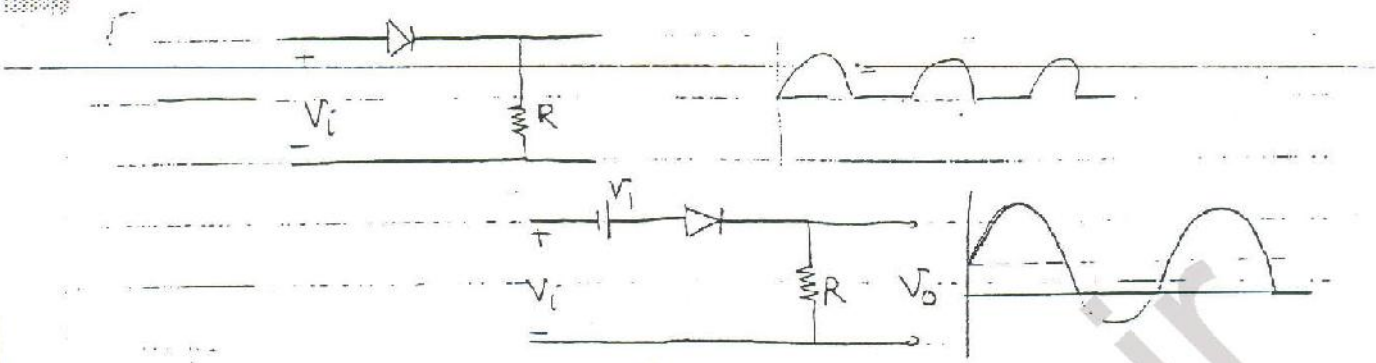
$\rightarrow V_i > ۸^{V} \longrightarrow V_o = ۵\ V$

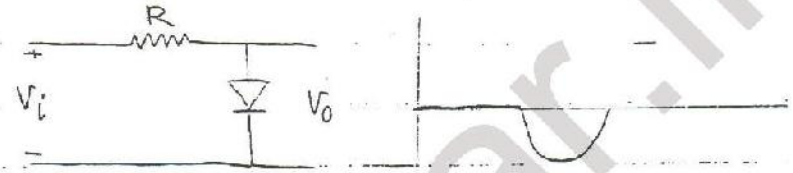


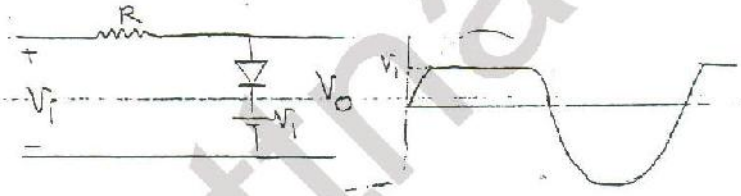
مدارهای برشگر =

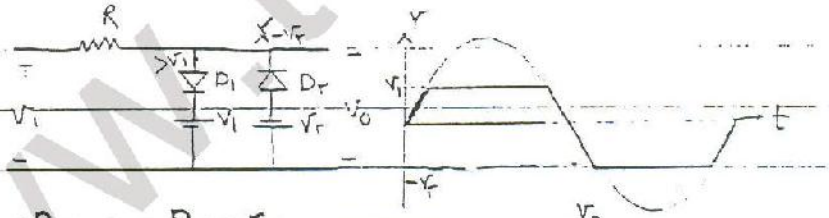


www.itnar.ir





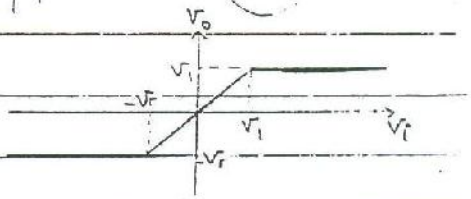


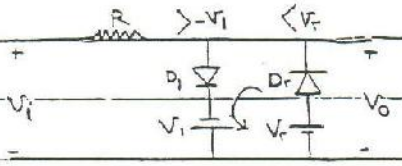


$R_F = 0 = R_\alpha = r_\alpha$

$V_\gamma = 0$ دیود ایده آل

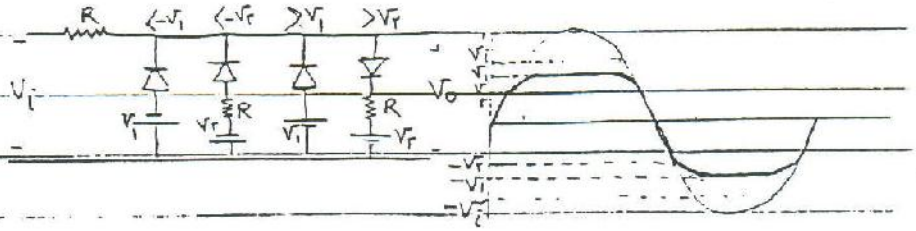
$R_r = \infty$





در مدار با لابعد از گذشت زمان یکی از دو شاخه و یا هر دو همزمان می سوزند

$V_1 > V_2$



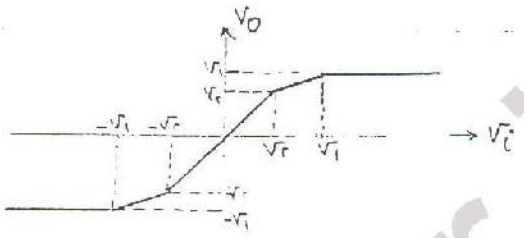
www.tnar.ir

5

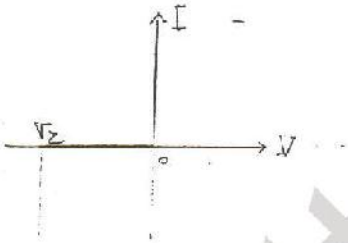
$0 < V_i < V_r \longrightarrow V_o = V_i$

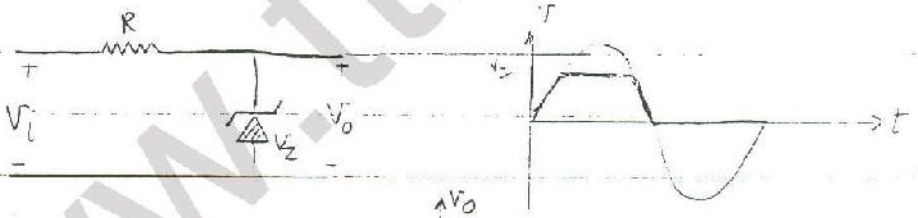
$V_r < V_i \longrightarrow V_o = V_R + V_r = \frac{(V_i - V_r)}{R+R} R + V_r = \frac{V_i + V_r}{2}$

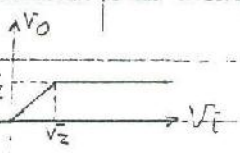
if $V_o = V_1 \longrightarrow V_i' = 2V_1 - V_r$

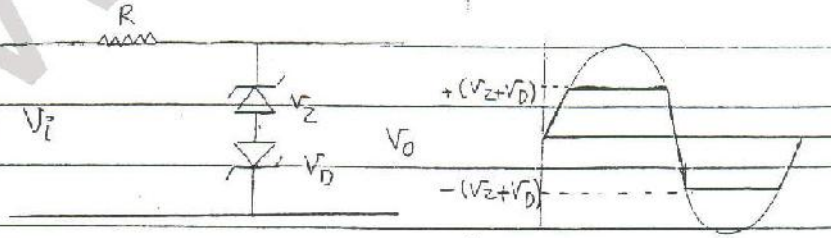


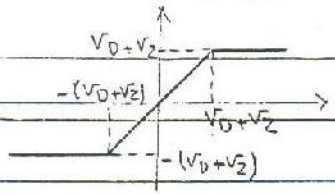
دیود زنر ایده آل :







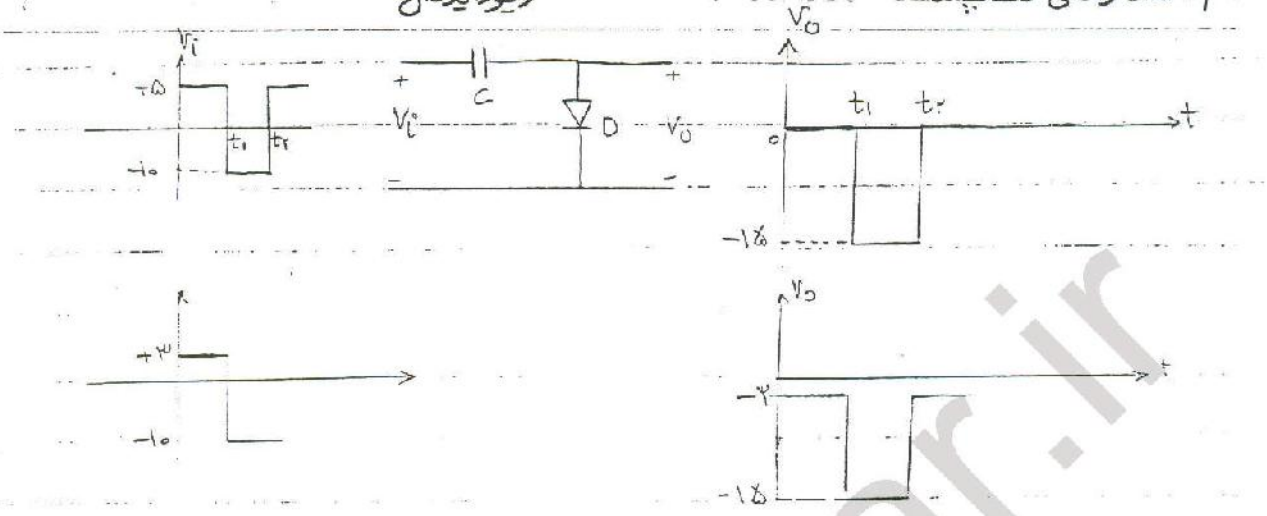




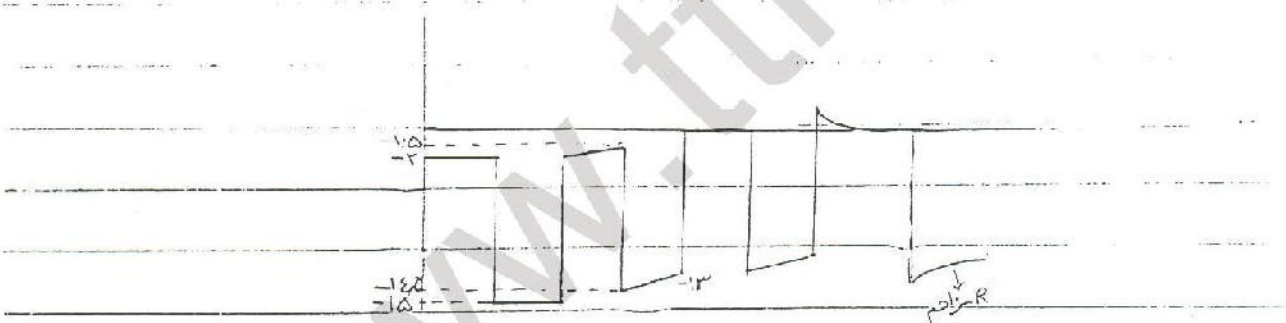
www.ttnar.ir

۲ـ مدارهای کلمپ:

دیود ایده‌آل

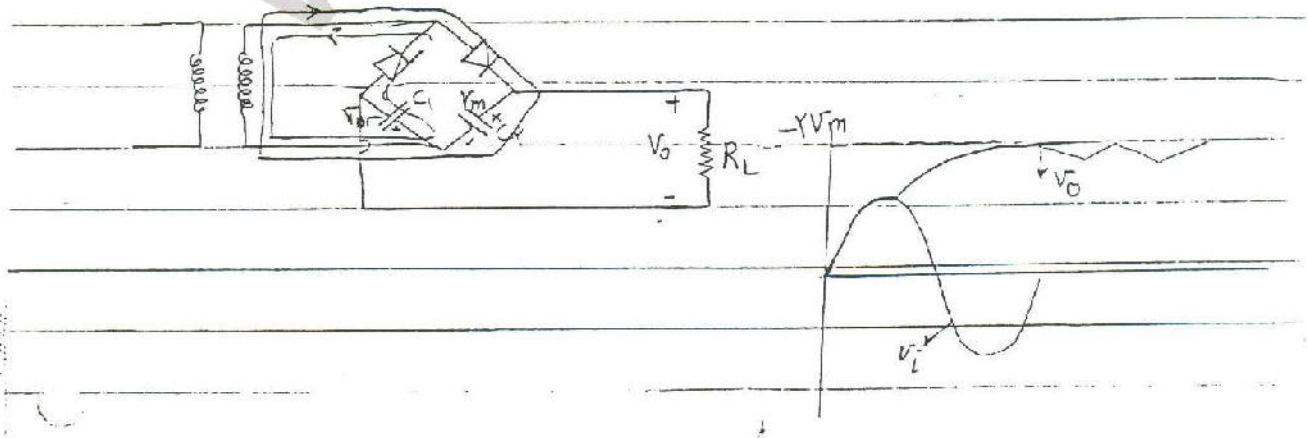


با موازی کردن یک مقاومت با دیود فرصت لازم برای دشارژ کردن خازن بوجود می آید.



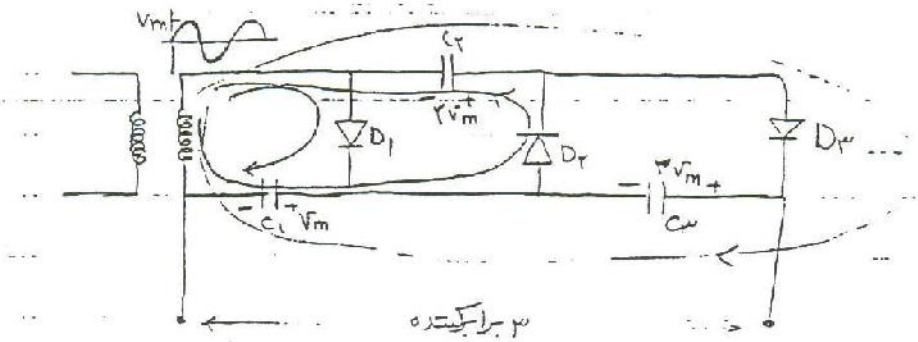
۳ـ مدارهای چند برابر کننده ولتاژ:

دوبرابر کننده:

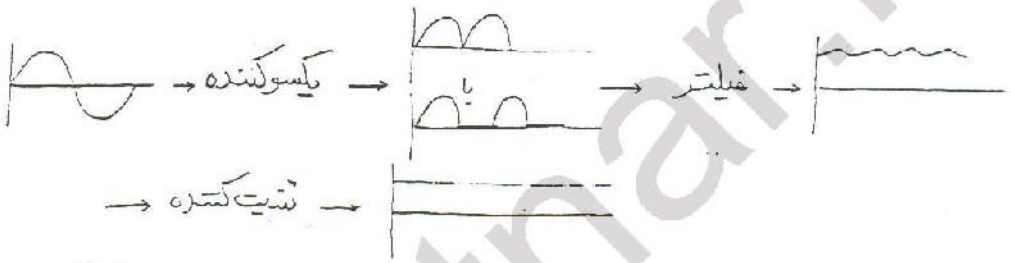


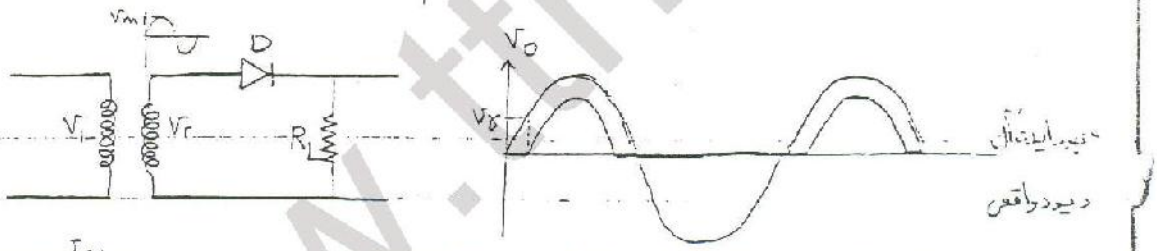
www.ttnar.ir

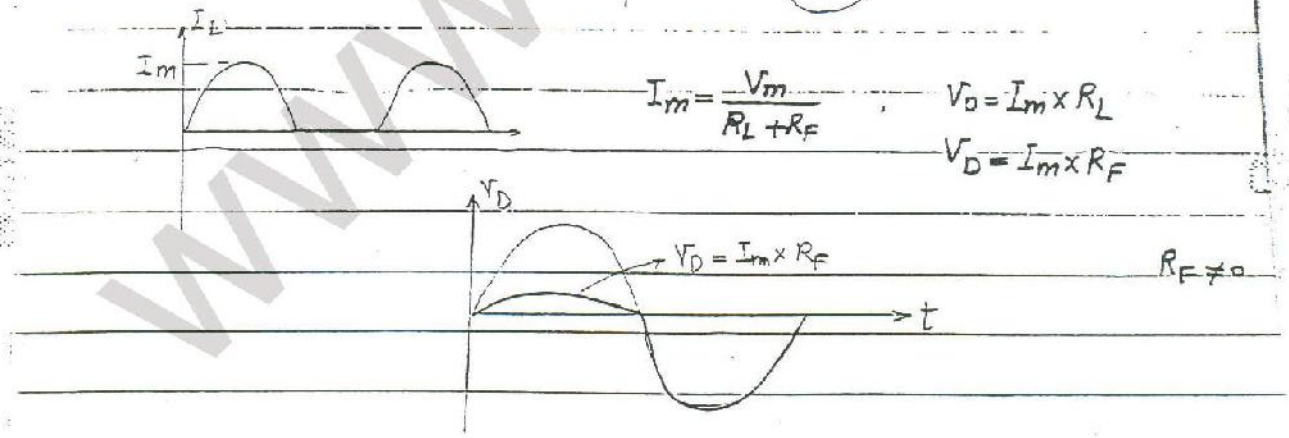
۶



۴ـ مدارهای یکسوکننده :







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

$$V_D = I_m \times R_F$$

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

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

$$V_{dc_{RL}} = \frac{1}{T}\int_{\frac{T}{2}}^{T} V_D(t)\,dt = \quad , \quad V_{dc_{RL}} = \frac{1}{T}\int_{0}^{\frac{T}{2}} R_L I_m \sin \omega t\,dt = \frac{R_L I_m}{\pi}$$

a

www.tmar.ir

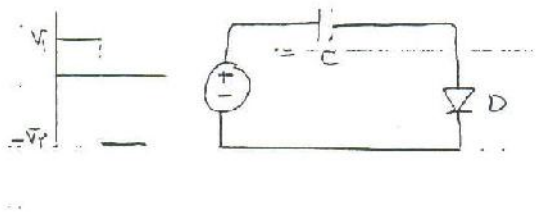
$$V_D = \frac{1}{T}\int_0^T V_D\,dt = \frac{1}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin\omega t \cdot R_F\,dt + \int_{\frac{T}{2}}^{T} V_m \sin\omega t\,dt\right]$$

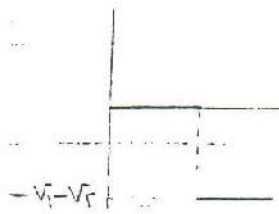
$$\longrightarrow V_D = -\frac{I_m}{\pi} R_L$$

www.ttnar.ir

۹

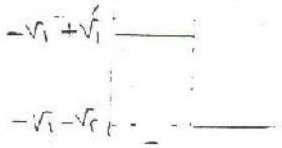
مدار کلمپ ایده آل





با تغییر ناگهانی V_1 به V_1' که کمتر از V_1 است خازن میل رسیدن به ولتاژ V_1' را خواهد داشت اما

چون نمی تواند



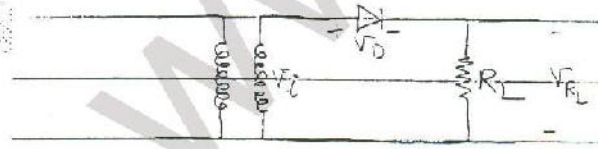
اگر مقاومت R را با دیود موازی کنیم خازن در هر آلترناتس کمی دشارژ می شود تا نهایتاً بعد از

چند آلترناتس ولتاژ $V_1'+V_1-$ به صفر می رسد 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. نمونه این مبحث در جلسه قبل کشیده شده است.

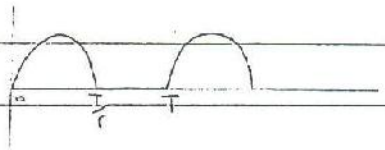
راندمان یکسوساز = نسبت توان DC تحویلی به بار را به توان متوسط ورودی گوئیم



$R_F = R_\gamma$

$V_i = V_m \sin \omega t$

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

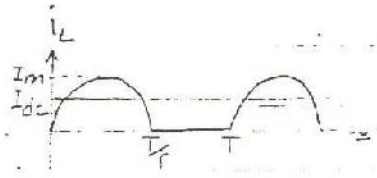


$$(P_i)_{av} = \frac{1}{T}\int_0^{T_F} (V_i \times i)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_F} (V_m \sin \omega t)\left(\frac{V_m}{R_L+R_F} \sin \omega t\right) dt$$

$$\xrightarrow[\text{توان متوسط ورودی}]{P_{i_{av}}} = \frac{V_m^2}{4(R_L+R_F)}$$

www.tnar.ir

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



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

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

$$\longrightarrow \text{راندمان یکسوساز} = \frac{4R_L}{\pi^2(R_F + R_L)} \times 100$$

if $R_F \ll R_L$ $\longrightarrow$ راندمان $= \%\ 40.5$

R_L نباشد

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 دشارژ خازن کمتر خواهد بود و تقریباً جریان ثابتی

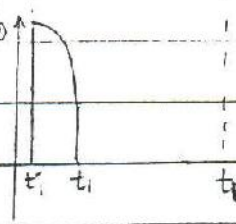
راخواهیم داشت

$$i_D = i_C + i_L = C\frac{dV_O}{dt} + \frac{V_O}{R_L}$$

دیود ایده آل $\longrightarrow$ $$i_D = C\frac{dV_i}{dt} + \frac{V_i}{R_L} = C\omega V_m \cos\omega t + \frac{V_m \sin\omega t}{R_L}$$

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

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

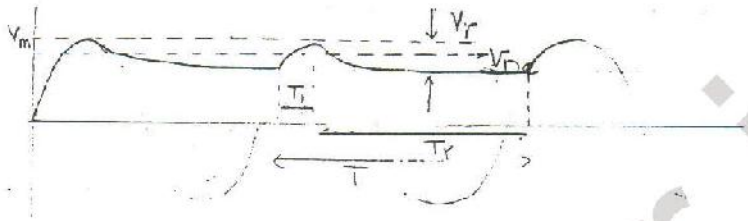


www.ttnar.ir

$t = t_1 \longrightarrow V_{O_{t_1}} = V_m \sin \omega t_1$ ، $V_C = (V_i - V_\beta) e^{-\frac{t}{\tau}} + V_\beta$

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

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



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

$if \quad T \gg T_1 \longrightarrow T_2 \simeq T$

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

$Q = C V_r \longrightarrow Q = I_{DC}\, T$

برای اینکه V_r را به حداقل برسانیم می‌توان C را بالا برد یا اینکه تغییراتی در خروجی داد.

اگر R_L در مدار نباشد (بدترین شرایط) برای یافتن اینکه دیود تا چه حدی می‌تواند برود تا شکست ولتاژ معکوس

پیدا کند.

- $V_R \Rightarrow 2V_m$ ← PIV
- I_{av}
- I_P
- $P = \frac{1}{T}\int_0^T i_D \times V_D\, dt$

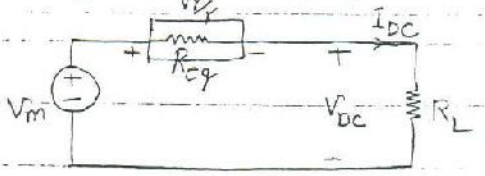
مشخصات موجود در کاتالوگ دیود.

www.tnar.ir

در مدار یکسوساز نیم موج (مدار قبل) دیدیم که:

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

$$V_{DC} = V_m - \frac{I_{DC}}{2fC} \longrightarrow$$



$\longrightarrow$

مقاومت معادل یکسوساز نیم موج $R_{eq} = \frac{1}{2fC}$

در حالت غیر ایده‌آل به جای V_m از V'_m استفاده می‌کنیم: $V'_m = V_m - V_\gamma$

مثال:

$V_m = 15\,V$, $C = 200\,\mu F$, $R_L = 200\,\Omega$, $f = 50\,Hz$

$V_\gamma = 0$, $I_{DC} = ?$, $V_{DC} = ?$, $V_r = ?$

$$\longrightarrow R_{eq} = \frac{1}{2fC} = 50\,\Omega \longrightarrow I_{DC} = \frac{V_m}{R_L + R_{eq}} = \frac{15}{200+50} = 60\,mA$$

$$\longrightarrow V_{DC} = R_L \cdot I_{DC} = 200 \times 60\,mA = 12\,V$$

$$\longrightarrow V_r = 2V_m - 2V_{DC} = 30 - 24 = 6\,V$$

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

تعریف:

$$\text{رگولاسیون} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

(V_{NL}: زمان بدون بار ، V_{FL}: زمان همراه با بار)

در مثال قبل:

$$\text{رگولاسیون} = \frac{15-12}{12} = \frac{1}{4} = 25\%$$

هرچه رگولاسیون کمتر باشد بهتر است. برای کم کردن رگولاسیون خوروش داریم:

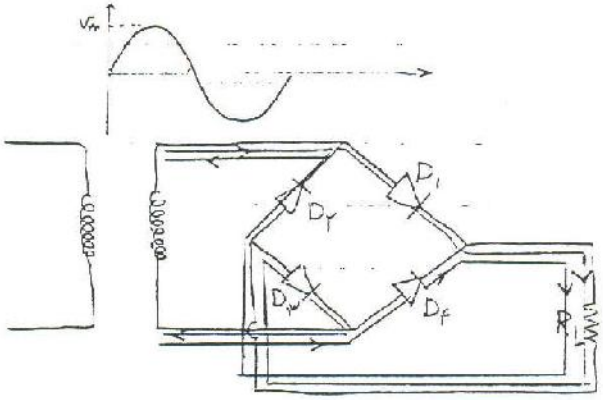
www.tmar.ir

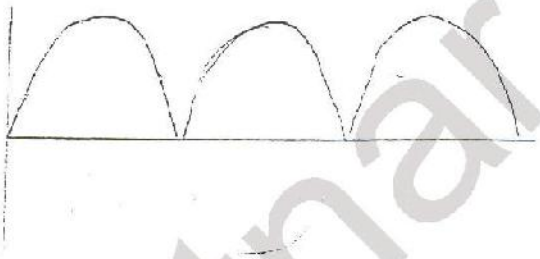
سه‌شنبه ۵ آبان

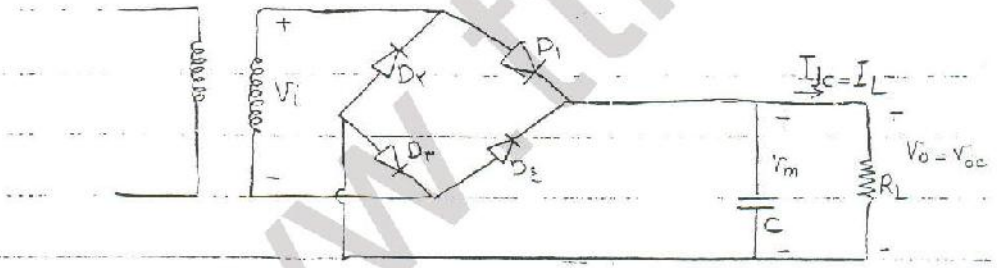
13

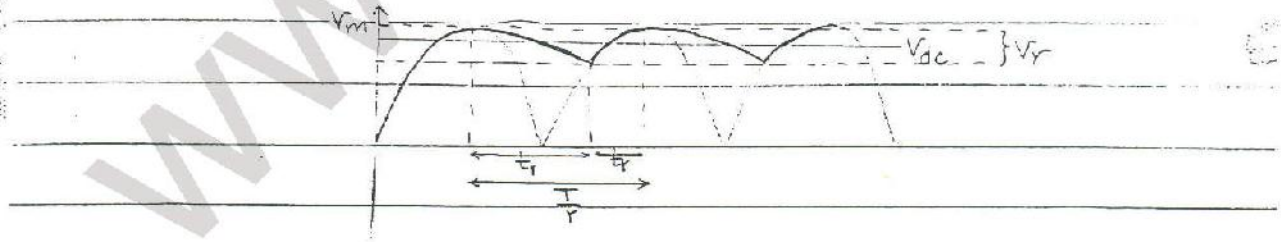
۲) یکسوسازی تمام موج :

۱- روش چهار دیودی (پل دیود)

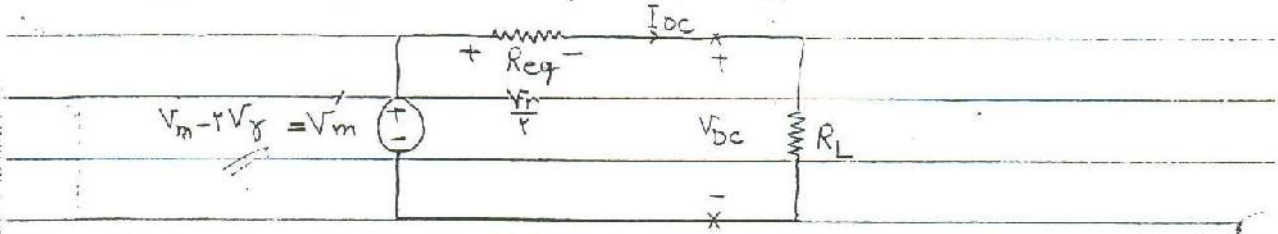








$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{2} \quad , \quad \frac{V_r}{2} = Req \times I_{DC}$$



۸

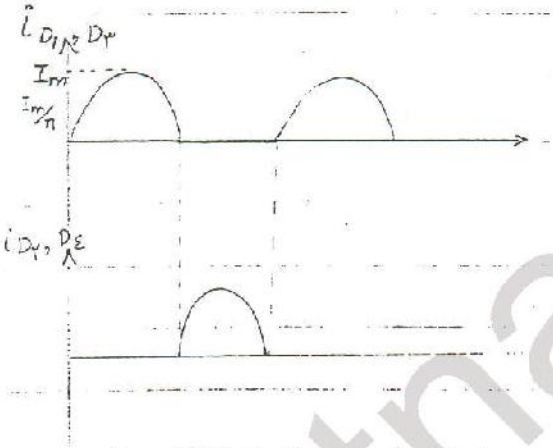
www.ttnar.ir

if $t_1 \gg t_2$: $t_1 \simeq \frac{T}{2}$

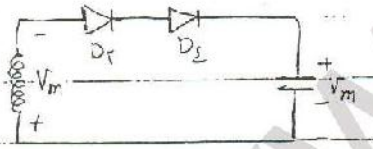
$$Q = C \times V_r = I_{DC} \times \frac{T}{2}$$

$$\longrightarrow V_r = \frac{I_{DC} \times T/2}{C} = \frac{I_{DC}}{2fC} \quad , \quad Req = \frac{1}{4fC}$$

$$I_{(D_1,D_2)av} = \frac{I_m}{\pi}$$



برای یافتن ماکزیمم ولتاژ معکوس دیودها مدار معادل را رسم می‌کنیم.



$$V_{R_{D_2,D_3}} = V_m$$

برای یافتن توان هم مانند یکسوسازی نیم موج عمل می‌کنیم.

مثال: $V_m = 15V$, $C = 200\mu F$, $R_L = 200\Omega$

چون V_γ داده نشده است پس دیودها ایده‌آل بوده و V'_m برابر V_m است.

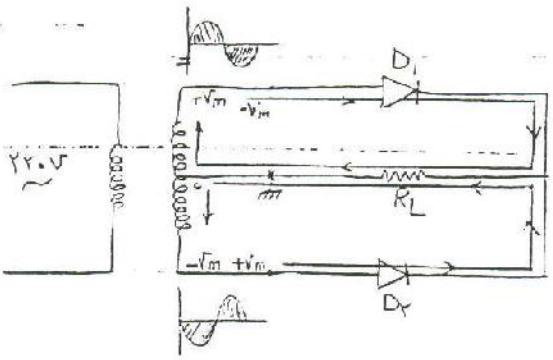
$$Req = \frac{1}{4fC} = \frac{1}{4 \times 50 \times 200 \times 10^{-6}} = 25\Omega \quad , \quad I_{DC} = \frac{V_m}{R_L + Req} = 77.mA$$

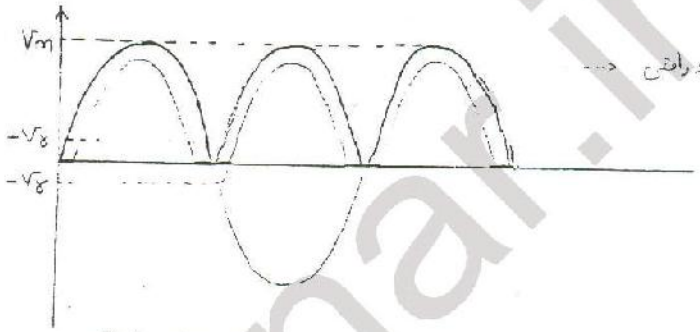
$$V_{DC} = R_L \cdot I_{DC} = 13,4\ V \quad , \quad \left.\begin{array}{l} V_r = 2(V_m - V_{DC}) \\ \text{یا} \quad V_r = \frac{I_{DC}}{4fC} \end{array}\right\} \longrightarrow V_r = 3,25 \ V_{PP}$$

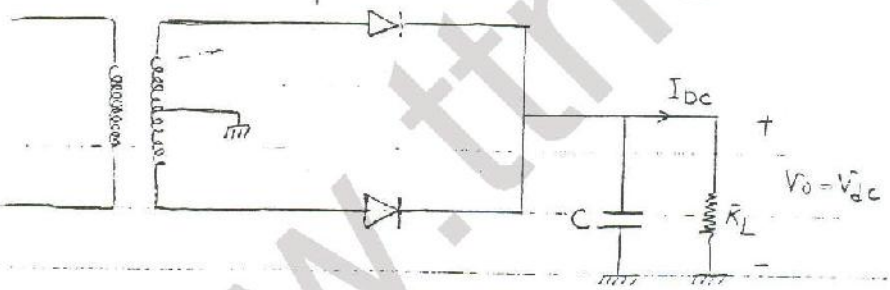
pick to pick

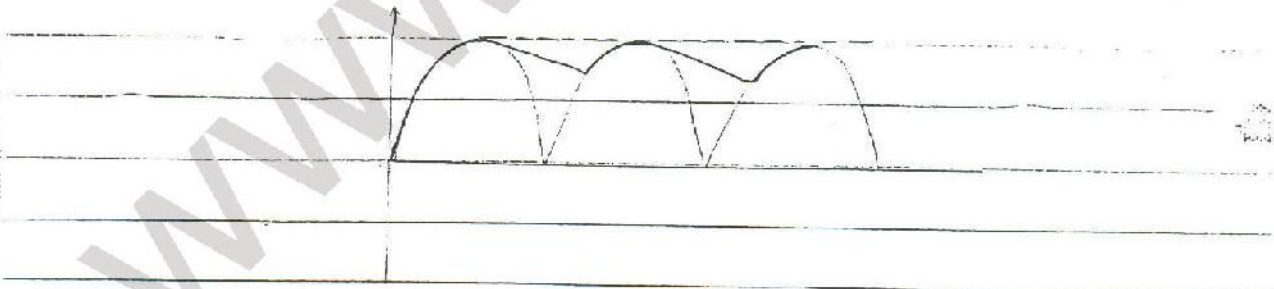
www.tnar.ir

۲- ترانس سروسط (سه سر)

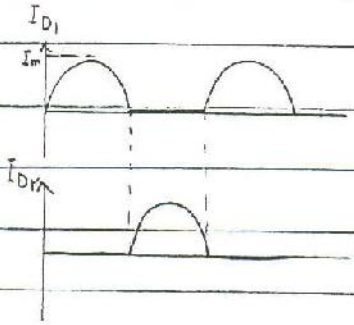








اگر فقط خازن باشد V_o طبق نقطه چین خواهد بود با اضافه شدن R_L ، V_o به صورت بالا تغییر می کند.



بحثهای مربوط به V_r در این روش همانند روش قبلی است. $I_{av} = \frac{I_m}{\pi}$

توان نیز مانند روش قبلی محاسبه می شود.

www.ttnar.ir

در این روش : $PIV = 2V_m$

با اینکه دور ثانویه ترانس در این روش دوبرابر دورها در روش پل دیودی است ولی حجم دو ترانس

در هر دو حالت برابر است دلیل این است که چون در این روش نصف ثانویه در یک آلترناس

خاموش است لذا سیم نازکتری نیاز داریم اما در پل دیودی تمام ترانس همواره روشن است و

باید سیم کلفت تری داشته باشیم .

در یکسوسازی تمام موج با ترانس سروسط Pick ها در repel با هم اختلاف دارند و یکی در

میان زیاد و کم می شوند . دلیل به خاطر درست انتخاب نشدن سروسط ثانویه است . لذا pick

آلترناس مثبت ممکن است متفاوت با Pick آلترناس منفی باشد .

گاهی اوقات ممکن است pick آلترناس منفی آن قدر پائین باشد که مانند یکسوسازی نیم

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

مثال :

در مدار یکسوساز شکل زیر ولتاژ DC بدون بار برابر ۶ ولت و با بار ۵۰Ω برابر ۵ ولت است

با فرض اینکه ولتاژ مستقیم دیودها ۰٫۷ و مقاومت دینامیک آنها ناچیز باشد باید $f=50Hz$ مطلوبست :

www.tmar.ir

حال شرایط بحرانی را در نظر می‌گیریم. در این حالت R_L قطع شده است و جریان تا بینهایت بالا می‌رود. در این صورت حد پائین R را محاسبه می‌کنیم. اگر R از این حد پائین‌تر باشد I_Z بیش از حد بالا می‌رود و زنر می‌سوزد. از طرفی حد بالای R را طوری انتخاب می‌کنیم که زنر تثبیت کنندگی خود را داشته باشد.

$$P_{Z_{max}} = V_Z \cdot I_{Z_{max}} \quad , \quad I_{Z_{min}} < I_Z < I_{Z_{max}}$$

$$I_{ZK}$$

$$R_{min} = \frac{V_{DC} - V_{ZK}}{I_{Z_{max}}} \quad , \quad R_{max} = \frac{V_{DC} - V_{ZK}}{I_{Z_{min}} + I_{L_{max}}}$$

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:

$$R_{min} = \frac{(V_{DC})^{V_{i_{max}}} - V_{ZK}}{I_{Z_{max}}} \qquad R_{max} = \frac{(V_{DC})^{V_{i_{min}}} - V_{ZK}}{I_{Z_{min}} + I_{L_{max}}}$$

اگر زنر ایده‌آل نباشد و مقاومت دینامیکی داشته باشد یک مقاومت r_Z با زنر سری می‌شود. در این صورت در روابط به جای V_{ZK} از V_Z استفاده می‌کنیم که: $V_Z = V_{ZK} + r_Z \cdot I_Z$

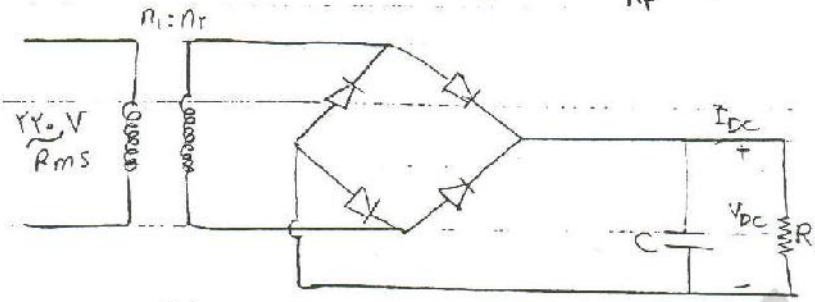
اگر بار را برداریم: $(V_{r_Z}) = (V_i)^{\text{ولتاژ ریپل ورودی}} \times \frac{r_Z}{r_Z + R}$ ولتاژ ریپل زنر

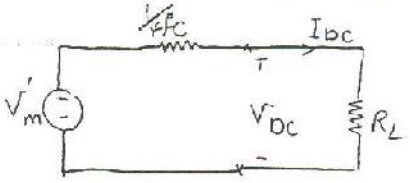
اگر بار هم وجود داشته باشد این ولتاژ ریپل تغییری نمی‌کند یعنی با تغییر R ولتاژ ریپل تقریباً ثابت خواهد بود.

www.tfnar.ir

۱۲

الف- V_m طرف ثانویه ب- $\frac{n_1}{n_2}$ ج- $C=?$





$V_{DC_{NL}} = 4\,V$

$R_L = 50 \longrightarrow V_{DC_{FL}} = 5\,V$

$V_\gamma = 0.7\,V$, $r_d = 0$

$V'_m = V_m - 2V_\gamma =$ $\longrightarrow$ $V_m = V'_m + 2V_\gamma$ $\longrightarrow$ $V_m = 5.4\,V$

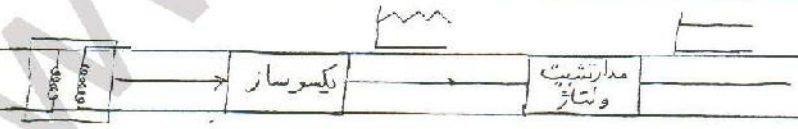
$V'_m = V_{DC_{NL}} = 4\,V$

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$

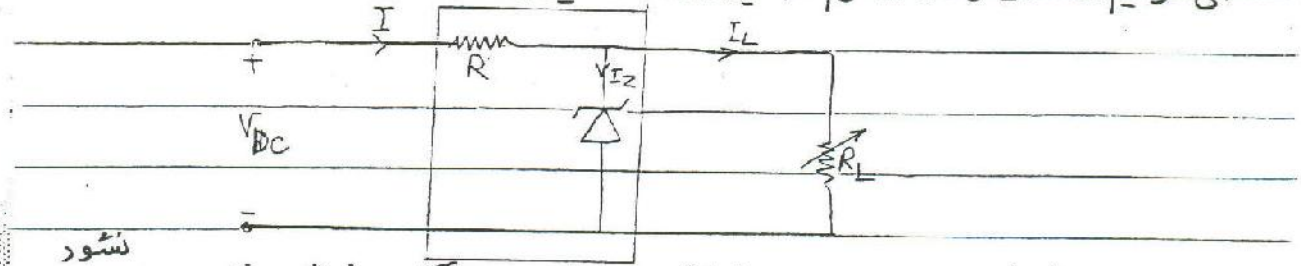
$V_2 = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ $\longrightarrow$ $\frac{n_1}{n_2} = \frac{220}{5.4/\sqrt{2}} \simeq 43.2$

$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = 1\,A$, $V_{DC_{FL}} = V'_m - I_{DC} \cdot R_{eq}$ $\longrightarrow$ $R_{eq} = \frac{1}{fFc}$

V_{DC} بار = V_{DC} بدون بار $- I_{DC} \cdot \frac{R_{eq}}{2}$, $C = 500\,\mu F$

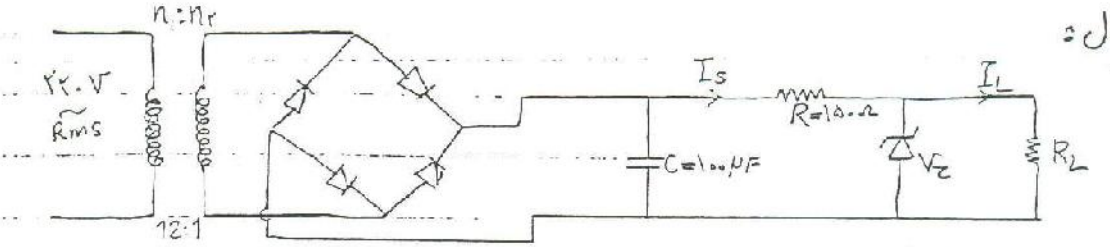


می خواهیم در مدار یکسوساز کاری کنیم که با تغییر R_L ، V_0 تغییر نکند



مقاومت R را به این دلیل قرار می دهیم تا ولتاژ بیش از حد تغییر نکند و باعث سوختن دیود زنر نشود

مثال:



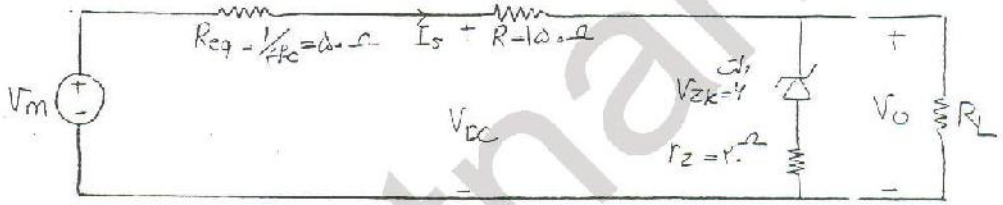
در مدار زنری تنظیم کننده شکل، با دیودها ایده‌آل بوده و $V_{Zk}=۹\,V$.

$I_{Zmax}=۴۰\,mA$

$I_{Zmin}=۵\,mA$

$r_Z=۲۰\,\Omega$ ، $۱۸۰^{V}<V_E<۲۴۰^{V}$

مطلوبست محاسبه حدود پارامتر R_L در صورتیکه:



$V_{e_{min}}=۱۸۰^{V} \longrightarrow \frac{V_2}{V_1}=\frac{V_{e2}}{۱۸۰}=\frac{۱}{۱۲}$

$\longrightarrow V_m=\sqrt{۲}\,V_{e2}=۲۱,۲۱$ ولت

بدون بار: $I_S=\frac{V_m-V_Z}{R_{eq}+R+r_Z}=۴۹,۱۵\,mA$

$I_{L_{max}}=I_S-I_{Z_{min}}=۴۴,۱۵\,mA$

$R_{L_{min}}=\frac{V_o}{I_{L_{max}}}=\frac{V_{Zk}+r_Z\times I_{Z_{min}}}{I_{L_{max}}}=۹۵,۰۹\,\Omega$

$V_{e_{max}}=۲۴۰^{V} \longrightarrow V_{e2} \longrightarrow V_m=۲۸,۲۸$ ولت

بدون بار: $I_S=\frac{V_m-V_{Zk}}{R_{eq}+R+r_Z}=۱۰۰,۲۹\,mA$

$\longrightarrow I_{L_{min}}=I_S-I_{Z_{max}}=۴۰,۲۹\,mA$

$\longrightarrow R_{L_{max}}=\frac{V_o}{I_{L_{min}}}=\frac{V_{Zk}+r_Z\cdot I_{Z_{max}}}{I_{L_{min}}}=۱۷۴,۳۸\,\Omega$

www.itnar.ir

ترانزیستور :

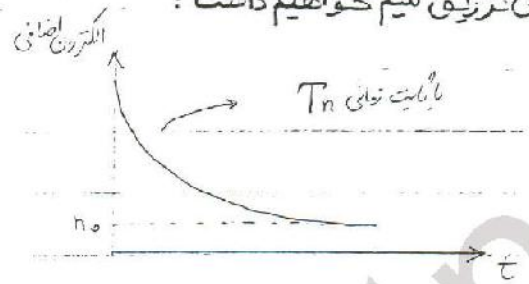
طول عمر ناقل . طول عمر الکترون آزاد :

می دانیم که در یک نیمه هادی از نوع P :

$$P = P_0 = N_a$$

$$n = n_0 = \frac{n_i^2}{N_a}$$

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



الکترون های اضافی تزریق شده با حفره ها ترکیب می شوند. این ترکیب در زمانهای 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.

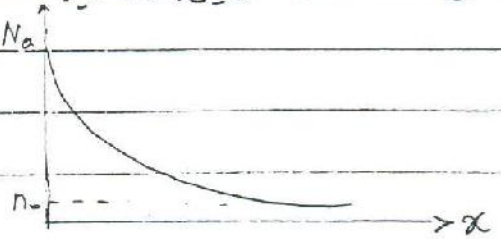
در نیمه هادی نوع n

$$N = N_0 = N_d$$

$$p = p_0 = \frac{n_i^2}{N_d}$$

T_n در نیمه هادی های مختلف در حدود میکروثانیه است.

طول نفوذ : منظور از طول نفوذ فاصله ای است که الکترون تزریقی بدون ترکیب شدن در نیمه هادی پیش رفته است.

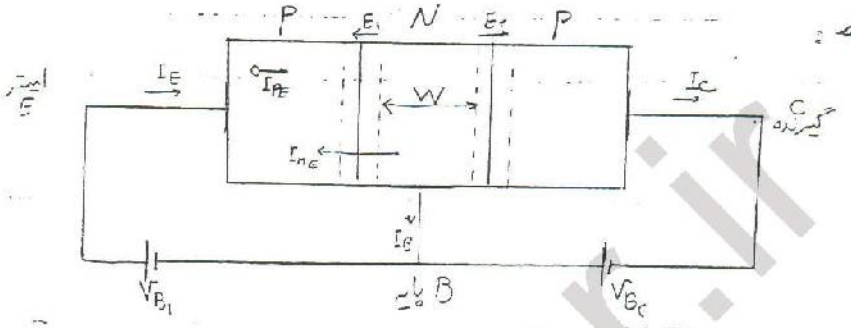


www.tnar.ir

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

با توجه به مفاهیم بالا به تعریف ترانزیستور می پردازیم :

ترانزیستور PNP :



اگر سیم سوم نباشد I_B و I_E برابر خواهند بود.

با وجود سیم سوم اگر حفره‌ای که از P به N وارد شده است پیش برود به میدان سوا شق E_2 می رسد و به جای اینکه از R_B برود به ناحیهٔ P رفته و I را تولید می کند. این به شرطی است که ناحیهٔ N باریک باشد و میدان E_2 قوی‌تر باشد. برای زیاد کردن E_2 باید ناحیهٔ تخلیه افزایش یابد لذا با طرف V_{BC} را در تماس سوم قرار می دهیم. در این صورت هم E_2 قوی‌تر می‌شود و هم ناحیهٔ تخلیه بزرگتر می‌شود. عریض‌تر شدن ناحیهٔ تخلیه همان باریک شدن ناحیهٔ N خواهد بود.

به پایه‌ای که حفره را تزریق می‌کند (I_E) امیتر گوئیم. به پایه‌ای که جمع کننده الکترون است (I_C) کلکتور یا گیرنده گوئیم و به پایه سوم (I_B)، پایه یا Base گوئیم.

جگالی الکترون در بیس ≪ جگالی حفره در امیتر

www.tmar.ir

ناخالصی دهنده در بیس ≪ ناخالصی گیرنده در امیتر
حفره

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

ضریب مقاومت بیس ≪ ضریب مقاومت امیتر

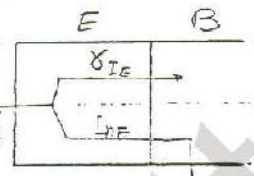
$$\rho_E \ll \rho_B$$

γ (راندمان امیتر) :

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

$$\gamma = \frac{I_{PE}}{I_{PE} + I_{nE}} \quad , \quad \gamma = 1 - \frac{W}{L_{nE}} \times \frac{\rho_E}{\rho_B}$$

طول موثر پایه



I_{nE} در پدیدهٔ ترانزیستوری هیچ دخالتی ندارد.

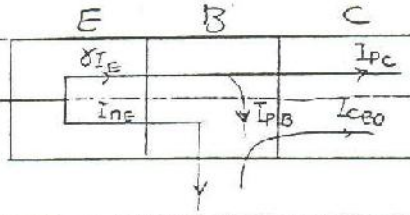
مثال عددی :

$W = 10\mu$, $L_{nE} = 50\mu$ $\longrightarrow$ $\gamma = .95$

$(N_d)_B = 10^{14}/cm^3$, $(N_a)_E = 10^{16}/cm^3$

فاکتور انتقال در Base : α^*

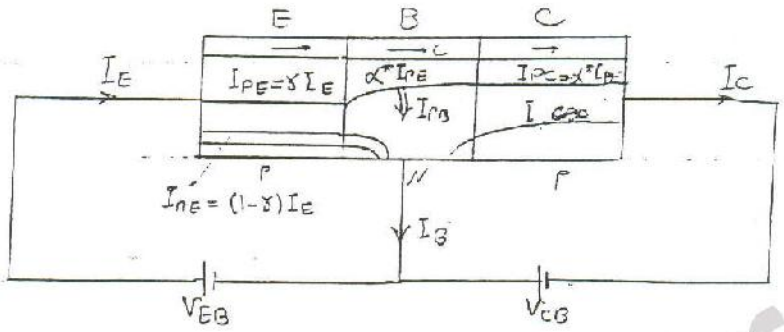
$$\alpha^* = \frac{\text{جریان حفره ای در انتهای Base}}{\text{جریان حفره ای در ابتدای Base}} = \frac{I_{PC}}{I_{PE}}$$



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

I_{CBO} $\longrightarrow$ Si : nA
Ge : μA

www.tnar.ir



$$I_E = I_B + I_C$$

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

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

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

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

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

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

در هر ترانزیستور:

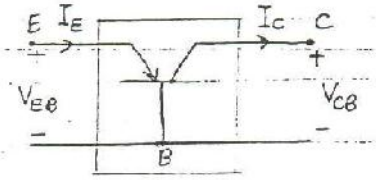
$$\begin{cases} I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \simeq \alpha I_E \simeq I_E \\ I_B = (1-\alpha) I_E - I_{CBO} \simeq (1-\alpha) I_E \end{cases}$$

پدیدهٔ ارلی یا پدیدهٔ مدولاسیون پهنای بیس: با زیاد شدن V_{CB} پهنای بیس (W) کم می‌شود

با کم شدن W، α^* زیاد شده و در نتیجه I_C بالا می‌رود. پدیدهٔ افزایش I_C را با افزایش V_{CB} پدیدهٔ ارلی گوئیم.

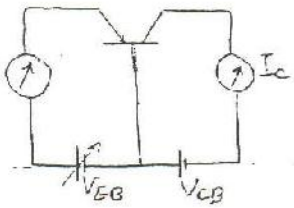
www.itnar.ir

نمایش ترانزیستور :

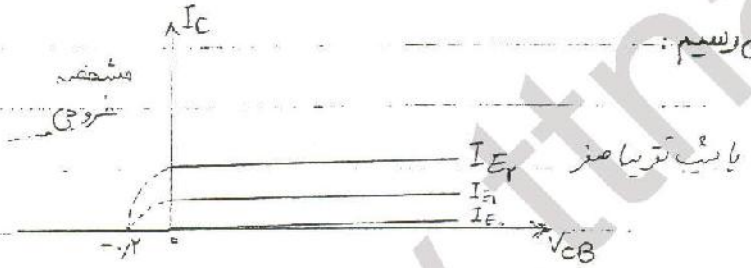


می خواهیم ببینیم در I_E ثابت با تغییر V_{CB} ، I_C چگونه تغییر می کند. به همین منظور مدار زیر را

ترتیب داده و آزمایش می کنیم.



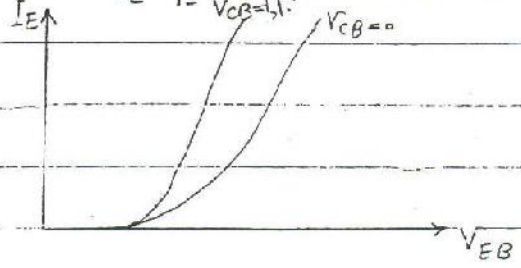
پس از آزمایش به نتیجهٔ زیر می رسیم :



اگر جهت باطری V_{CB} را عوض کنیم در حول و حوالی ۰/۲ ولتاژ سیدان E_2 بین B و C تقریباً خنثی می شود و جریان

صفر خواهد بود...

برای بررسی مشخصهٔ ورودی V_{CB} را ثابت نگه می داریم و تغییرات I_E و V_{EB} را بررسی می کنیم

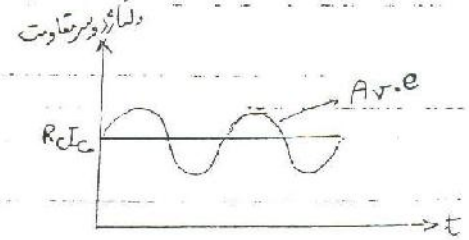


www.itnar.ir

$$\Delta I_C = I_{C_1} - I_{C_2} = i_C$$

$$\Delta I_E = I_{E_1} - I_{E_2} = i_e$$

$$\longrightarrow V_C = R_C i_C$$



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

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

$$i_C = \alpha i_e \longrightarrow i_C \simeq i_e$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{e}{r_d} = i_e \\ V_0 = V_C = R_C i_C \\ i_C = \alpha i_e \end{array}\right\} \longrightarrow V_0 = R_C \alpha \frac{e}{r_d}$$

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

$$r_d = \frac{\frac{mKT}{q}}{I} = \frac{\eta V_T}{I_E}$$

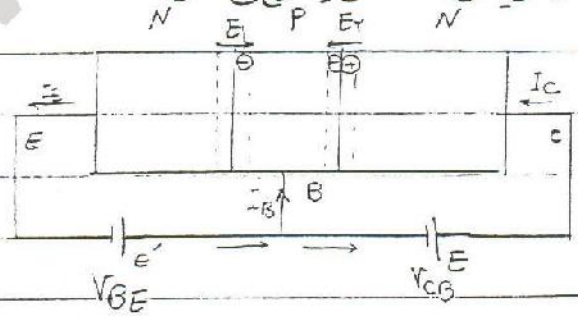
مثال عددی:

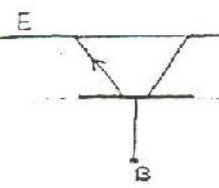
$V_{E'} = V_{EB} = 14$ ، $I_{E_2} = 2\,mA$ ، $E = 10\,V$

$R_C = 2.1\,k\Omega$ ، $I_C = 1.9\,mA$ ، $\alpha = 1$

$$\longrightarrow r_d = \frac{2 \times 24}{2} = 24\,\Omega \quad , \quad A_V = \frac{R_C}{r_d} = \frac{2.1\,k\Omega}{24} \simeq 81$$

تمام توجیهات بالا در مورد ترانزیستور NPN نیز مطرح می‌شود.





$$I_E = I_B + I_C$$

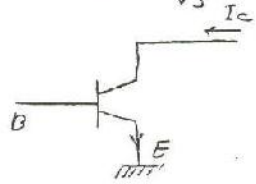
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

www.ttnar.ir

با توجه به اینکه ناقلهای اکثریت در این ترانزیستور الکترون ها هستند در نتیجه سرعت این ترانزیستور بیشتر از ترانزیستور PNP است.

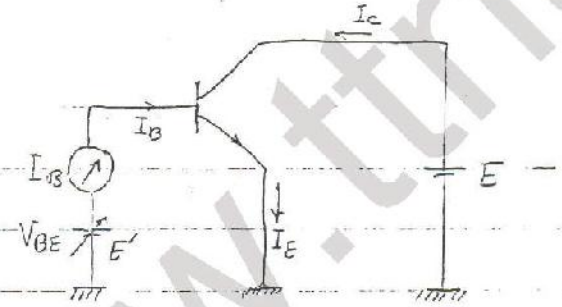
از لحاظ تقویت کنندگی، تقویت کننده های Base مشترک و امیتر مشترک کاملاً شبیه هم هستند.

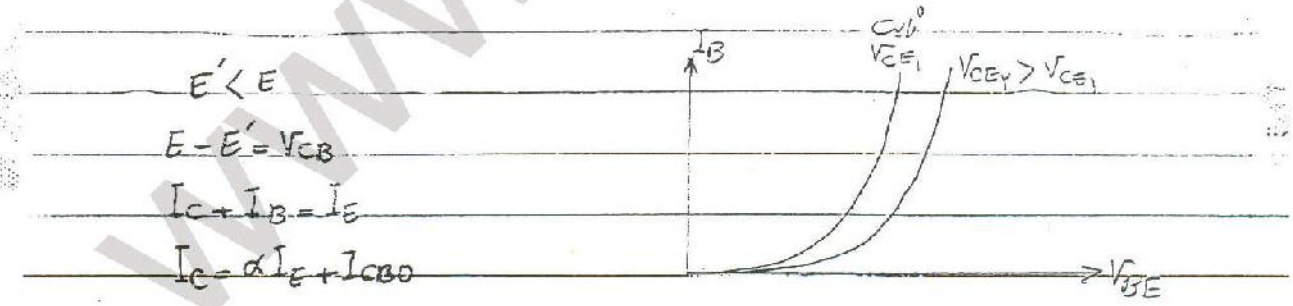
فقط تقویت کنندهٔ امیتر مشترک مزایایی نسبت به Base مشترک دارد.



تقویت کنندهٔ امیتر مشترک

تقویت کنندهٔ امیتر مشترک :





$E' < E$

$E - E' = V_{CB}$

$I_C + I_B = I_E$

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

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

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

if $\alpha \to 1 \longrightarrow I_C = \beta I_B + \beta I_{CBO}$

$\longrightarrow I_C \simeq \beta I_B$

www.ttnar.ir

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

مثال عددی : $\alpha = 0.99$ ، $I_{CBO} = 0.1\ \mu A$ $\longrightarrow$ $\beta = 99$

پارامتر β را با h_{FE} نیز نمایش می دهند.

از روابط بالا برای آنکه حسن تقویت کننده امیتر مشترک این است که در این حالت جریان نیز تقویت می شود.

$$r_{d_B} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$$ مقاومت دینامیکی بین بیس و امیتر

$$r'_{d_E} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

$r_{d_E} < (1+\beta)\, r_{d_B}$

$h_{ie} = (1+\beta) h_{rb}$ $\longrightarrow$ اسپیداس دیده می شود بین بیس و امیتر مشترک / اسپیداس دیده می شود امیتر مشترک

$$r_{d_E} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} \times F$$

از طرفی : $I_C \simeq I_E$

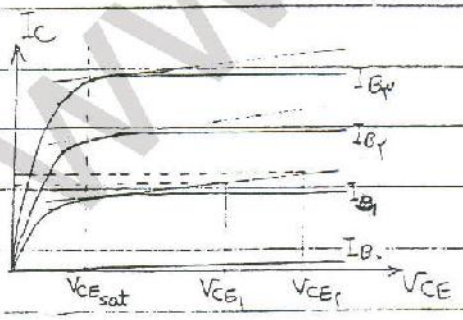
$I_C = I_C = \beta I_B$

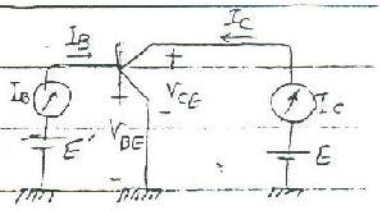
$\Delta I_E = \beta \Delta I_B$

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

r_{d_E} را با پارامترهای h_{ie} ، h_{11e} نیز نمایش می دهند.

مشخصهٔ خروجی :





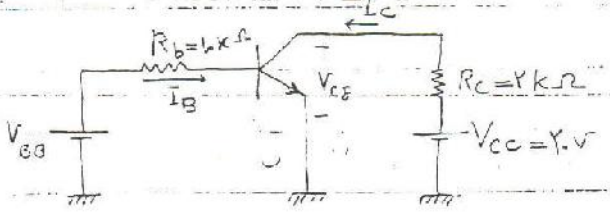
$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$

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

$$r_{o_B} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C} \qquad r_{o_E} = \frac{\Delta V_{CE}}{I_C}$$

www.tnar.ir

مثال:



$\beta = 100$

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

الف) اگر $V_{BB} = 1.2\ V$ آن‌گاه بیابید: I_C ، V_{CE} ب) اگر $V_{BB} = 2.7\ V$ بیابید V_{CE} ، I_C را.

ج) $V_{BE_{min}}$ را بیابید.

الف) $V_{BB} = R_b I_B + V_{BE(on)} \longrightarrow I_B = 5\ \mu A$

$I_C = 50 I_B = 250\ mA$

$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \longrightarrow V_{CE} = 10\ V$

ب) $V_{BB} = 2.7\ V \longrightarrow I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE(on)}}{R_b} = 200\ \mu A$

$I_C = \beta I_B = 20\ mA$

$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = -20\ V$

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

$I_{C\,max} = I_{C\,sat} = \dfrac{V_{CC} - V_{CE\,sat}}{R_C} = 9.9\ mA$

$\longrightarrow \begin{cases} I_C = 9.9\ mA \\ V_{CE} = 0.2\ V \end{cases}$

$I_{B\,sat} = \dfrac{V_{BB} - V_{BE\,sat}}{R_b} =$

$\dfrac{I_C}{I_{B\,sat}} < \beta$

www.tnar.ir

ج) $I_C = 9,9\ mA = I_{Csat}$

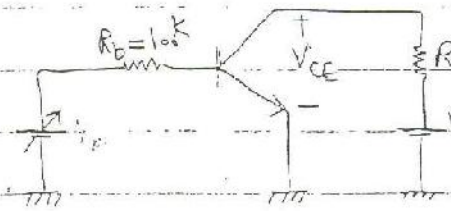
$$I_{Bmin} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{9,9\ mA}{100} = 99\ \mu A$$

یعنی جریانی مدل نزدیک به اندازه ۹۹ میکرو آمپر می خواهیم تا ترانزیستور به حالت اشباع برود.

$$V_{BB_{min}} = I_{B_{min}} \times R_b + V_{BE\,sat} \longrightarrow V_{BB_{min}} = 1,8\ V$$

مثال برای حالت سوئیچینگ:

مدار شکل زیر کلید ترانزیستوری را نشان می دهد.



الف) I_B تا ترانزیستور به اشباع برود.

ب) $V_{BB_{max}}$ تا ترانزیستور قطع بماند.

$100 < \beta < 200$

$V_{CE\,sat} = 0,2\ V$

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

الف) $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \longrightarrow I_{C\,sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE\,sat}}{R_C} = 4,8\ mA$

$$I_B = \frac{I_{Csat}}{\beta_{min}} = 48\ \mu A$$

$\beta_{100} \longrightarrow I_B = 48\ \mu A$

$\beta_{200} \longrightarrow I_B = 24\ \mu A$

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

$$V_{BB} = -R_b I_{CBO} + V_{BE} \longrightarrow V_{BB_{max}} = -1\ V$$

www.tmar.ir

ناحیه‌ای که بالای $I_B=0$ و در سمت راست $V_{CE_{sat}}$ قرار دارد را ناحیهٔ فعال (active) ترانزیستور گوییم.

ناحیهٔ سمت چپ $V_{CE_{sat}}$ را ناحیهٔ اشباع گوییم. در این ناحیه $I_C \ll \beta I_B$ است.

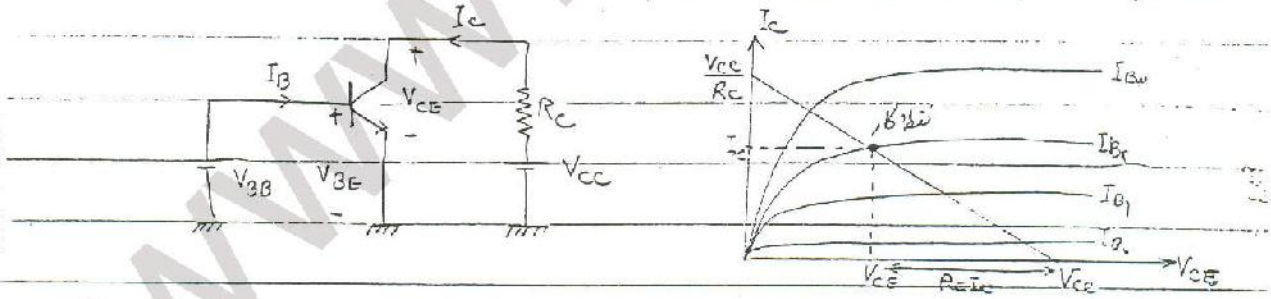
$V_{CE_{sat}}$ در حدود ۰٫۱ الی ۰٫۲ ولت است.

$$\text{if } I_B=0 \longrightarrow I_C=\overbrace{(1+\beta)I_{CBO}}^{I_{CEO}}$$

اگر Base را باز کنیم ترانزیستور قطع نمی‌شود

ناحیهٔ قطع ناحیه‌ای است که در آن $I_E=0$ ، $I_C=I_{CBO}$. لذا برای اینکه ترانزیستور قطع شود باید $V_{BE}=0$ بکنیم. این ناحیه زیر $I_B=0$ (در منحنی) قرار دارد.

به غیر از اینکه از ناحیهٔ فعال به عنوان تقویت کننده استفاده می‌کنیم، از ناحیهٔ اشباع و ناحیهٔ قطع نیز در کاربرد سوئیچی ترانزیستور نیز استفاده می‌شود.



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

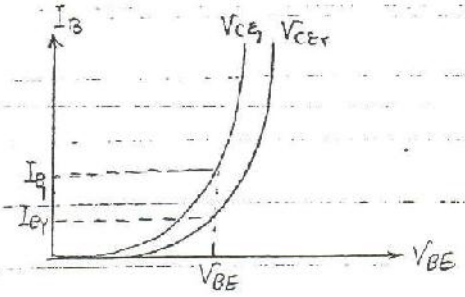
$$V_{CC}=R_C I_C+V_{CE}$$

معادلهٔ خط بار

$$I_{C_{max}}=I_{C_{sat}}=\frac{V_{CC}-V_{CE_{sat}}}{R_C}$$

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

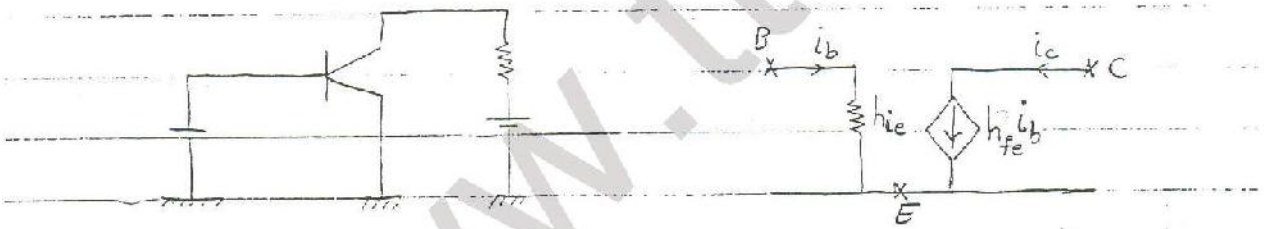
www.tmar.ir



تفاوت دیود بیس امیتر با دیود معمولی این است که محدوده جریان در دیود بیس امیتر بسیار کوچکتر از محدوده جریان در دیود معمولی است.

$$h_{ib} \times i_e = V_{ib} \longrightarrow V_o = R_c \times i_c \quad , \quad A_{V_b} = \frac{V_o}{V_{ib}}$$

$$h_{ie} \times i_b = V_{ibe} \longrightarrow V_o = R_c \times i_c \quad , \quad A_{V_e} = \frac{V_o}{V_{ie}}$$



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

$$I_C \simeq \beta I_B + I_{CBO}$$

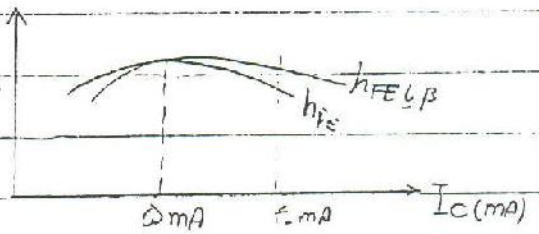
$$\Delta I_C = \Delta\beta I_B + \beta \Delta I_B + \Delta I_{CBO}$$

ضریب تقویت جریان دینامیک

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \beta + \Delta\beta \frac{I_B}{\Delta I_B}$$

ضریب تقویت استاتیک

$$h_{FE} = \beta$$

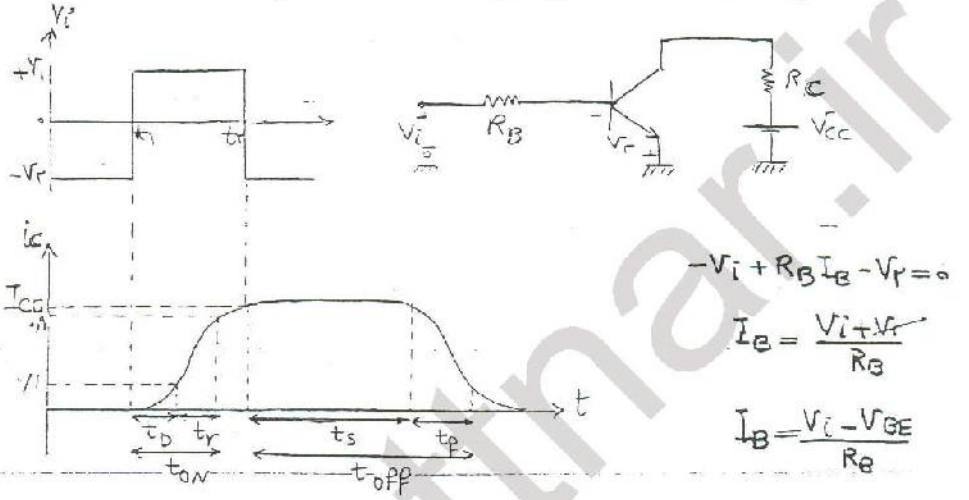


www.tnar.ir

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

f_T ، C_{be} ، C_{bc}

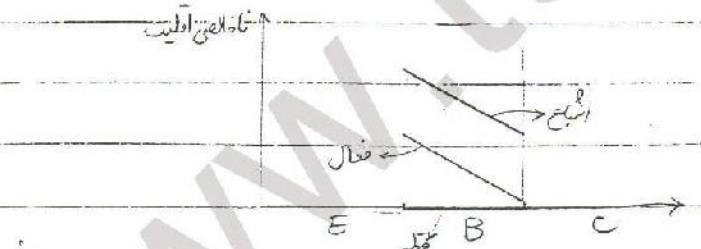
در ترانزیستورهای سوئیچینگ پارامترهای خاصی نیز وجود دارد که در زیر آمده است :



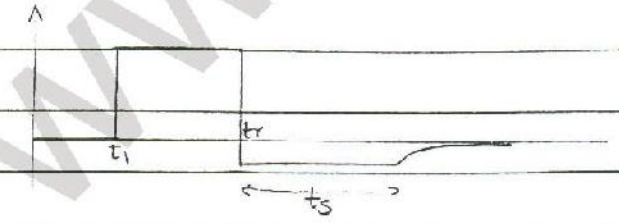
$$-V_i + R_B I_B - V_2 = 0$$

$$I_B = \frac{V_i + V_2}{R_B}$$

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



t_s : زمان رسیدن از ناحیه اشباع به فعال



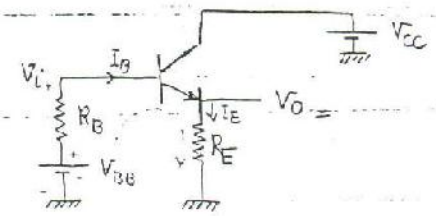
به عنوان مثال

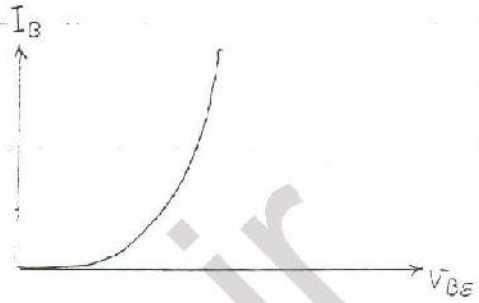
t_{ON} { $t_D = 10$ ns ، $t_r = 20$ ns }

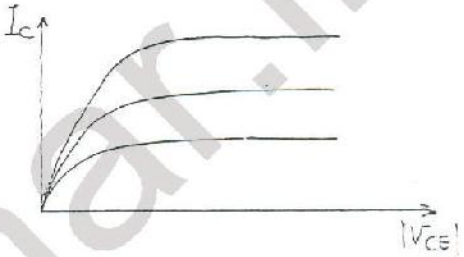
t_{OFF} { $t_s = 225$ ns ، $t_f = 40$ ns }

www.tnar.ir

مدار کلکتور مشترک:







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

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

$$I_C \simeq I_E$$

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

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

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

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

با گذاشتن بار در خارجی سیگنال افت پیدا می‌کند. 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 کار می‌رود چون امپدانس ورودی بالا و امپدانس خروجی کم دارد.

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

$$\begin{cases} A_{i_b} = \dfrac{i_c}{i_e} \simeq 1 \\ A_{V_b} > \end{cases} \quad \begin{cases} A_{i_e} = \dfrac{i_c}{i_b} \simeq h_{fe} \\ A_{V_e} > \end{cases} \quad \begin{cases} A_{i_c} = \dfrac{i_e}{i_b} = 1 + h_{fe} \\ A_{V_c} \simeq 1 \end{cases}$$

www.ttnar.ir

آزمایش ۲N ——

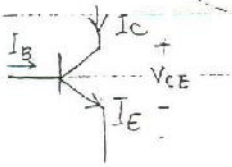
ژاپنی ۲S A —— B C D

اروپایی AB —— AC —— BC ——

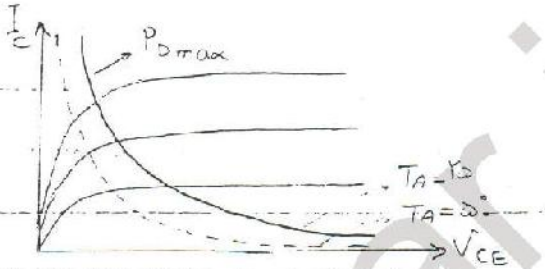
مشخصات اصلی یک ترانزیستور:

۱- $I_{C_{max}}$ (متوسط DC)

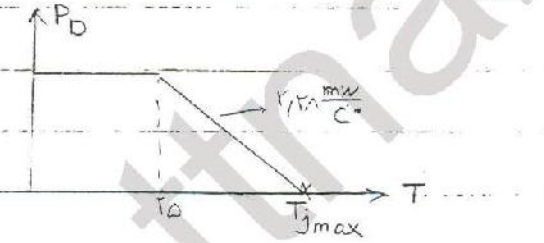
۲- $P_{D_{max}}$ یا $P_{C_{max}}$ ماکزیمم توان ورودی



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



۳- Derating ضریب

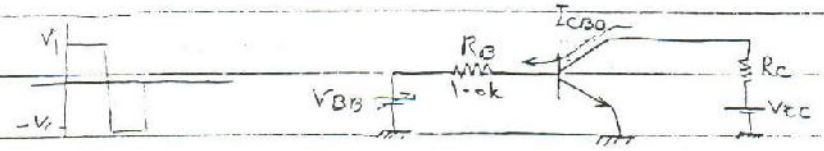


۴- $BV_{CE_0}(V_{CE_{sat}})$ حداکثر ولتاژ و مدجع تا شکست پیدا نکند

۵- BV_{CE_0} حداکثر ولتاژ مدجع تا شکست در دیود بین کلکتور رخ ندهد

۶- BV_{EB_0} حداکثر ولتاژ ورودی بین امیتر تا شکست رخ ندهد

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



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

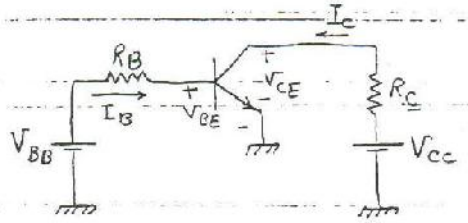
$V_{BB} = 1\cdot$

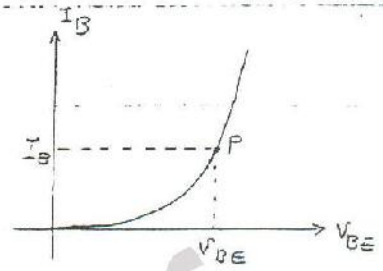
$I_{CBO} = ۰٫۱ \mu A$ (در بالاترین دما)

$\longrightarrow V_{BE} = -۹٫۹ = -1\cdot V$

www.tnar.ir

مدارهای بایاس :



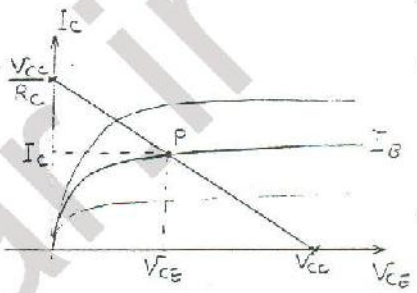


$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C \simeq \beta I_B$$

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

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



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 می‌شود و نقطهٔ کار P به ناحیهٔ اشباع نزدیک می‌شود. همچنین تغییرات منبع تغذیهٔ DC (V_{CC}) (کم شدن آن) باعث می‌شود که نقطهٔ کار به ناحیهٔ اشباع نزدیک شود.

مثال : $V_{BB} = 1{,}3\ V$ ، $R_C = 2K\Omega$ ، $V_{CC} = 10\ V$

$V_{CE(sat)} = 0{,}2\ V$ ، $V_{BE(on)} = 0{,}7\ V$ ، $\beta = 120$

الف) R_B را طوری پیدا کنید که نقطهٔ کار وسط خط بار DC شود. ب) اگر $V_{BB} = 2{,}6\ V$ شود نقطهٔ کار

جدید را بیابید.

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \longrightarrow \boxed{V_{CE} = 10 - 2I_C}$$ معادلهٔ خط بار

نقطهٔ کار وسط $\longrightarrow \begin{cases} I_C = 2{,}5\ mA \\ V_{CE} = 5\ V \end{cases}$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \longrightarrow R_B = 200\ K\Omega$$

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

www.tmar.ir

اگر بخواهیم R_B را به صورت تقریبی قرار دهیم باید بیشتر از $30\,k\Omega$ قرار دهیم. چون با توجه به اینکه

$V_{CE(sat)}$ برابر $0.2\,V$ است. نقطهٔ کار وسط دارای ولتاژ بیشتری از ۵ است (حدود $5.1\,V$)، درنتیجه R_B بیشتر

از $30\,k\Omega$ است.

$$V_{BB}=5.1\,V \longrightarrow I_B=\frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_B}=200\,\mu A$$

$$I_C=115\times 0.2\,mA=23\,mA$$

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

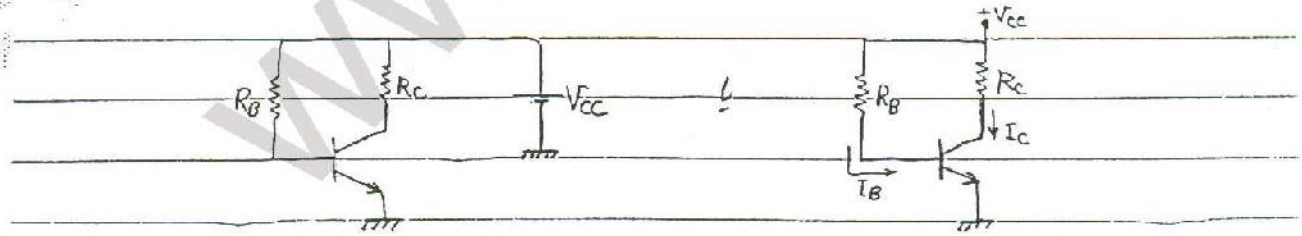
$$I_{C(sat)}=\frac{V_{CC}-V_{CE(sat)}}{R_C}=4.9\,mA \longrightarrow I_C=4.9\,mA$$

ترانزیستور در ناحیهٔ اشباع است.

$$\longrightarrow V_{BB}=5.1\,V \quad , \quad \text{نقطهٔ کار} \begin{cases} I_C=4.9\,mA \\ V_{CE}=0.2\,V \end{cases}$$

معمولاً مدار را طوری طراحی می‌کنند که از یک باطری استفاده شود، یعنی به جای V_{BB} از V_{CC} استفاده

می‌کنند و R_B را طوری انتخاب می‌کنند که I_B با حالت قبل تفاوت نکند



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

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

www.tmar.ir

در این نوع مدار:

۱- با فرض ثابت بودن I_B با توجه به اینکه دامنهٔ تغییرات β زیاد است در خروجی تغییرات I_C را خواهیم داشت و نقطهٔ کار تغییر می‌کند. درنتیجه β نقطهٔ کار را تغییر می‌دهد.

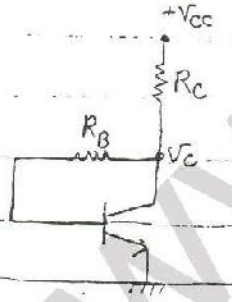
۲- با افزایش دما، I_{CEO} افزایش می‌یابد و افزایش I_C باعث افزایش توان تلفاتی است. تغییرات I_C همراه خواهد بود با تغییرات نقطهٔ کار.

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

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

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

(فیدبک ولتاژ - شنت):



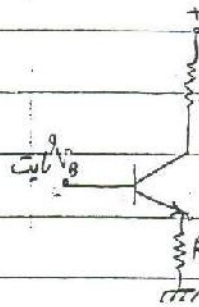
$$V_C = V_{CC} - \underbrace{I_C}_{\text{با تقریب خوب } I_C + I_B} R_C$$

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

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

به این ترتیب مشکل دما تا حدی توسط مدار با اتصال می‌شود.

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



$$V_E = I_E R_E \simeq I_C R_E$$

$$V_{BE} = \underbrace{V_B}_{\text{ثابت}} - V_E$$

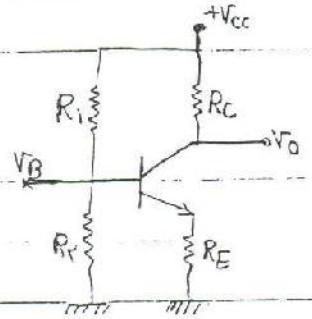
$$T \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \rightarrow V_E \uparrow \Rightarrow V_{BE} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C$$

۲۱

www.tmar.ir

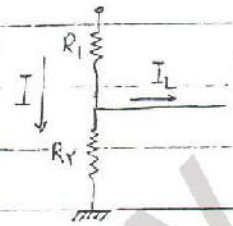
همچنین در این طرح مشکل β نیز حل می‌شود چون در رابطهٔ زیر وابستگی به β حذف شده است.

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

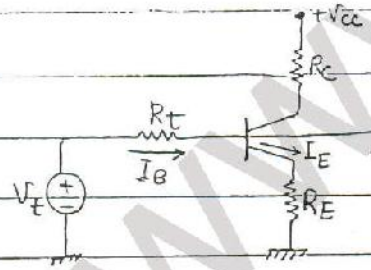


با گذاشتن دو مقاومت R_1 و R_2 وضعیت بهتری از نظر پایداری دمایی و استقلال از β بوجود می‌آید. (مدار خودبایاس (self Bias) و تنها مشکل، ثابت نگه داشتن V_B است.

نکته: در مدار زیر با ثابت بودن V_{cc} اگر بخواهیم با تغییرات I_L، V_i ثابت بماند باید نسبت $\frac{I}{I_L}$ بسیار بزرگ باشد.

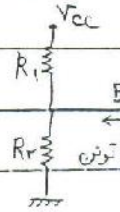


حال مدار معادل تونن را از بیس به بعد می‌گیریم:



$$R_t = R_1 \| R_2$$

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



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

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_B + I_C$$

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

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

اگر $R_E \gg \frac{R_t}{1+\beta}$ باشد آن گاه I_E مستقل از β خواهد بود و ترم $\frac{R_t}{1+\beta}$ را حذف می‌کنیم

www.tnar.ir

با توجه به اینکه β نیز تغییرات دارد درنتیجه دقیق‌ترین شرط به صورت زیر است :

$$R_E \gg \frac{R_t}{1+\beta_{min}} \longrightarrow R_t = \frac{R_E \times \beta_{min}}{10}$$

معمولاً ۱۰ برابر بزرگتر را می‌گیریم

$$\longrightarrow I_C \simeq I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

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

$V_{CC} = 10^V$ ، $R_C = 400^\Omega$

$V_{BE} = 0.7^V$ ، $40 \leqslant \beta \leqslant 120$

مقادیر R_1 و R_2 و R_E را طوری پیدا کنید که نقطهٔ کار نقطهٔ Q

Q باشد. $\begin{cases} I_C = 10\,mA \\ V_{CE} = 5^V \end{cases}$

$$\xrightarrow{KVL} V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E \underbrace{(I_E)}_{\simeq I_C}$$

$$\xrightarrow{I_C = I_E} R_E = 100\,\Omega \longrightarrow R_t = \frac{100 \times 40}{10} = 400\,\Omega$$

$$\begin{cases} R_1 = R_t \left(\frac{V_{CC}}{V_t}\right) \\ R_2 = \frac{R_t}{1 - \frac{V_t}{V_C}} \end{cases} \qquad I_E = \frac{V_t - V_{BE}}{R_E}$$

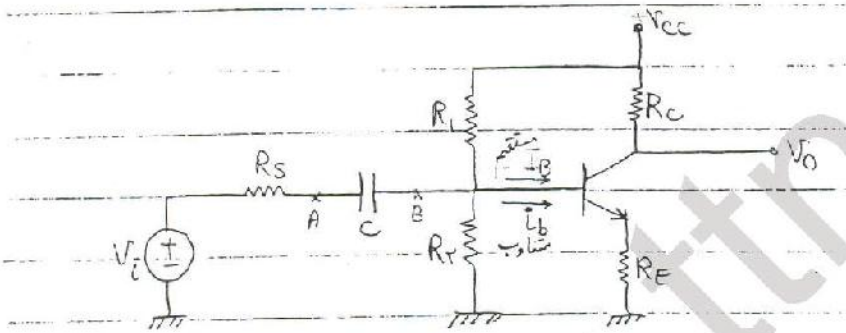
$$V_t = 1.7^V$$

$$\longrightarrow R_1 = 2.4\,K\Omega$$
$$R_2 = 481\,\Omega$$

خط بار ac : در مدار زیر از لحاظ dc، V_0 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_0 یک تقسیم ولتاژ دیگر خواهد بود.

www.tnar.ir

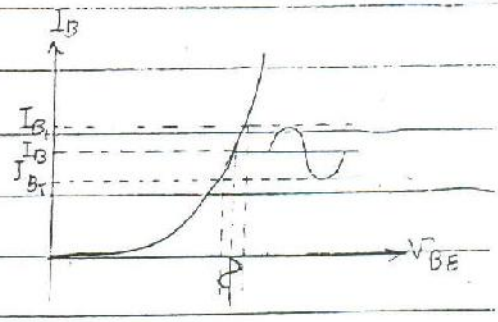
با قرار دادن یک خازن به صورت موازی با R_E در تقویت کننده، مدل خط بار ac آن با خط بار dc آن تفاوت می‌کند.



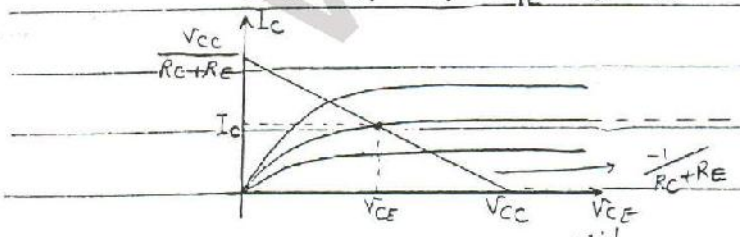
$$V_{CE} = V_{cc} - (R_C + R_E) I_C \quad (dc)$$

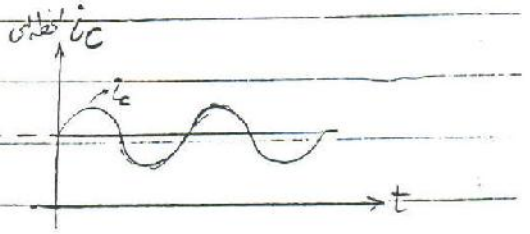
$$i_B = i_b + I_B \quad \text{لحظه‌ای} \quad \text{متغیر} \quad \text{ساکن}$$

$$i_C = I_C + i_c \quad \text{لحظه‌ای} \quad \text{ساکن} \quad \text{متغیر}$$



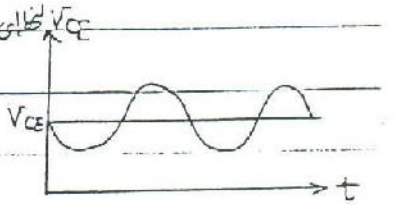
$$\Delta I_C = I_{C_1} - I_{C_2} = h_{fe} \Delta I_B = i_c$$





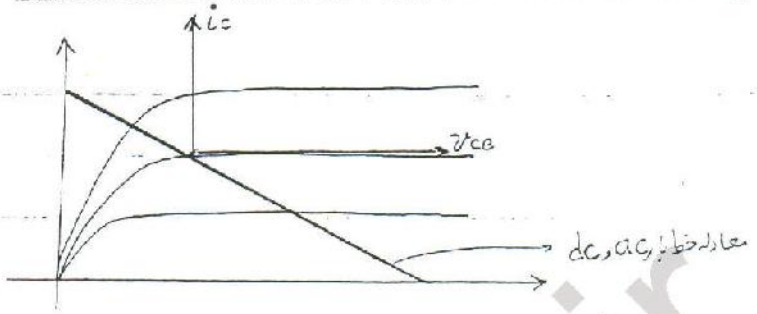
$$v_{CE} = V_{cc} - (R_C + R_E) i_C \quad \text{لحظه‌ای}$$

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



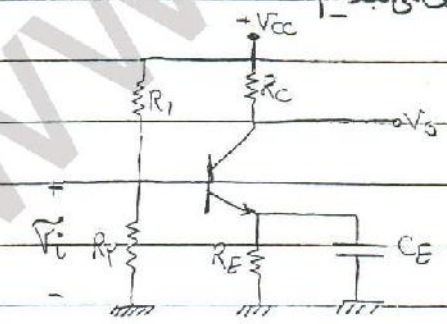
www.ttnar.ir

$$\longrightarrow v_{ce} = -(R_c + R_E)\, i_c$$ معادله خط بار ac



با توجه به شکل مدار علت قرار دادن خازن c این است که اتصال ac بین دو نقطه A, B برقرار شود و اتصال dc این دو نقطه قطع شود تا ولتاژ dc نقطه B مستقل از ولتاژ dc نقطه A (که صفر است) باشد. اگر خازن نبود و منبع ولتاژ ac را با مقاومت درونی 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.

حال خازن C_E را با مقاومت R_E به طوری موازی می‌بندیم.



در این حالت امپدانس C_E برابر $\frac{1}{j C_E \omega}$ 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

www.tmar.ir

خواهد بود و تمامی ولتاژ v_i 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 گوییم

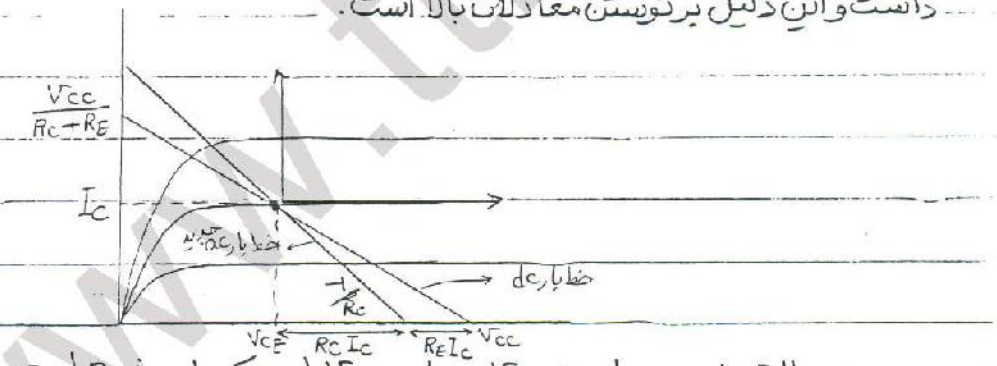
برای یافتن معادله خط بار ac به طریق زیر عمل می‌کنیم:

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

$$\longrightarrow \boxed{v_{ce} = -R_C i_c}$$

با توجه به اینکه $R_E \,||\, C_E$ (امپدانس) برابر صفر است در نتیجه از نظر ac افت ولتاژ در دو سر 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 $R_C i_c$ است.

$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C \\ V_{CE} = R_C I_C \circledast \end{cases} \longrightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E}$$

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

مفهوم معادله $\circledast$ این است که اگر بخواهیم ما کزیمم تغییرات دامنه را در ولتاژ V_{CE} داشته باشیم

www.tnar.ir

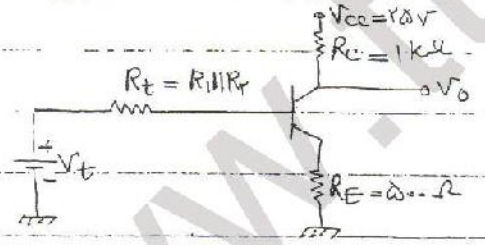
با یدنقطهٔ کار در وسط قرار داشته باشد و با توجه به نمودار صفحهٔ قبل برای اینکه نقطهٔ کار وسط باشد باید V_{CE} برابر $R_C I_C$ باشد. در این صورت دامنه خروجی نیز بیشترین تغییرات را خواهد داشت.

مثال: تقویت کنندهٔ امیتر مشترکی را طراحی خواهیم کرد به طوری که $\beta_{min}=100$ و $\beta_{max}=200$ و $V_{CE}=10V$ و $R_C=1k\Omega$ و $R_E=500\Omega$ و $V_{CC}=25V$

مولتینگ (تغییرات) خروجی ماکزیمم و پایداری نقطهٔ کار را داشته باشیم مقادیر R_1 و R_2 ؟

$$I_C=\frac{25}{2+10}=10\,mA \quad \text{(نقطهٔ کار)} \longrightarrow V_{CE}=R_C I_C=10V$$

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



چون از لحاظ dc بحث می‌کنیم می‌توانیم خازن C را بگذاریم

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

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

$$R_1=21.9\,k\Omega\simeq 22\,k\Omega$$

$$R_2=R_t\Big/\left(1-\frac{V_t}{V_{CC}}\right)$$

$$R_2=9.158\,k\Omega\simeq 9.1\,k\Omega$$

اگر شعبه R_E را تقریب

$$-V_t+R_t\underbrace{I_B}_{0}+V_{BE}+R_E\cdot I_E=0 \longrightarrow V_t=V_{BE}+R_E\cdot I_E=5.1V$$

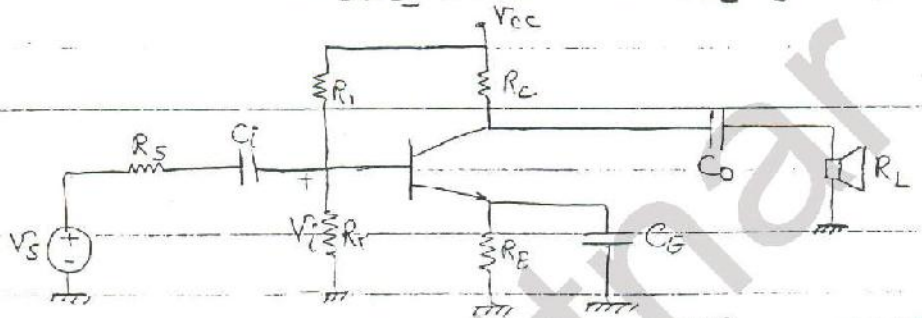
www.itnar.ir

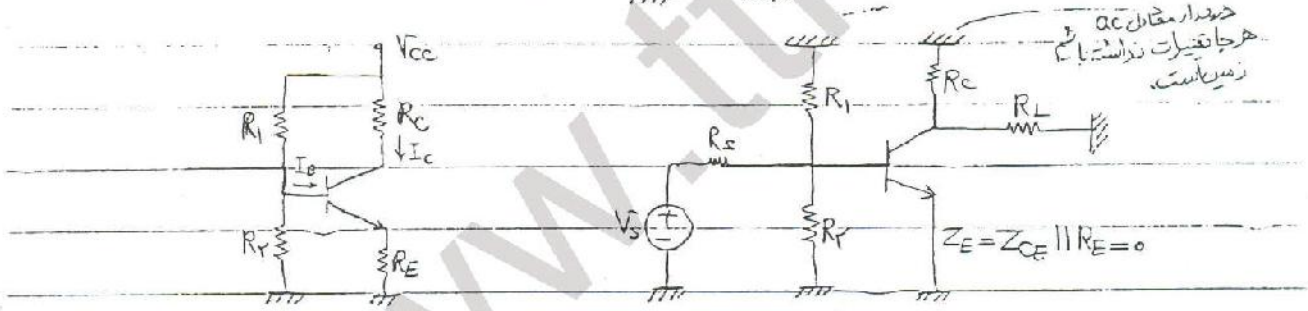
درعمل در این نوع تقویت کننده ها خروجی ما به طور مستقیم R_C نیست بلکه خازن C_o

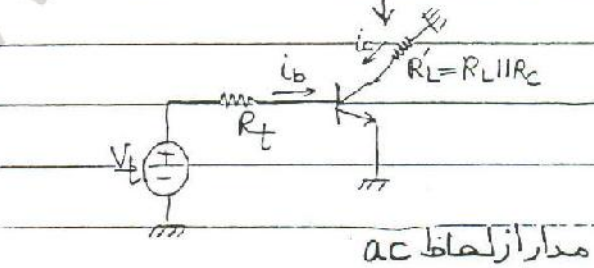
را همراه با مقاومت بار R_L در خروجی قرار می دهیم تا I_L به مقاومت بار وارد نشود و فقط

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.







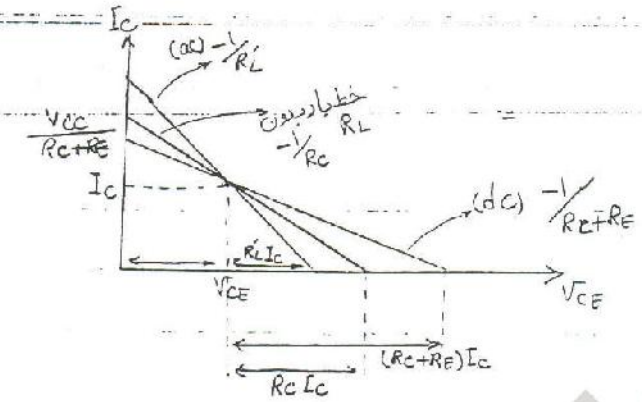
$$V_0 = v_{ce} = -i_c (R'_L)$$

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

مستقیم

$$\longrightarrow \quad v_{CE} = \underbrace{V_{cc} - R_C I_C - R_E I_C}_{V_{CE\ مستقیم}} \underbrace{- R'_L i_c}_{v_{ce}\ متناوب}$$

www.ftnar.ir



*درهرحالت ماکزیمم سوئینگ وقتی است که نقطهٔ کار وسط خط بار ac باشد.

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

$$\longrightarrow \quad I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)}$$

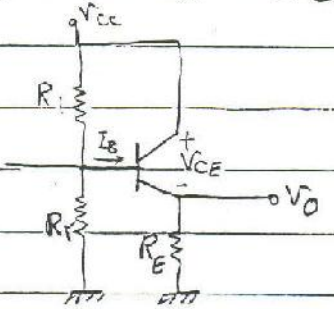
$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)} \times R'_L$$

اگرخازن C_o وجودنداشته باشد خط بار ac تفاوتی نخواهدکرد ولی نقطهٔ کار به هم می خورد.

تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک:

ازنظرتعادل حرارتی و استقلال نقطهٔ کار از β این تقویت کننده با امیتر مشترک هیچ تفاوتی ندارد

درکلکتورمی توان از R_E استفاده کرد و یا نکرد. امّا گاهی اوقات از R_E استفاده می کنیم و آن



وقتی است که I_C زیاد است. چون

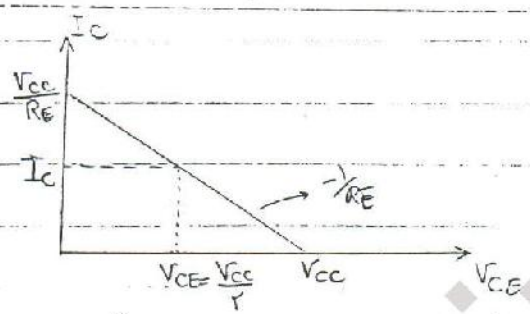
دررابطهٔ $P_d = V_{CE} \cdot I_C$ توان تلفاتی

www.ftnar.ir

ترانزیستور با V_{CE} نسبت مستقیم دارد و با قرار دادن R_C، V_{CE} کاهش می‌یابد.

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

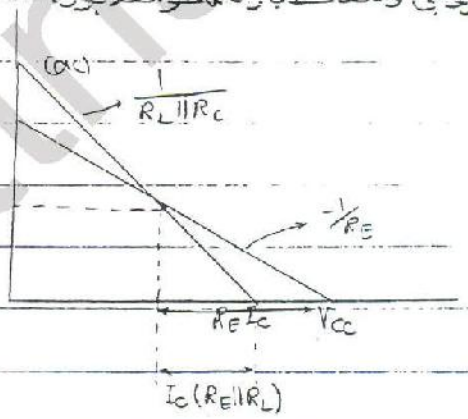
$$V_{CE} = R_E I_C$$



در این حالت نیز اگر $R_E I_C = V_{CE}$ باشد ماکزیمم سوئینگ خروجی را خواهیم داشت.

اگر خازن C_C و R_L را قرار دهیم خط بار ac متمایز از خط بار dc خواهد بود و به طبع سوئینگ ماکزیمم خروجی وسط خط بار ac خواهد بود.

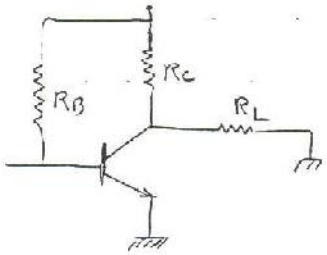
$$(R_E \| R_L) I_C = V_{CE}$$

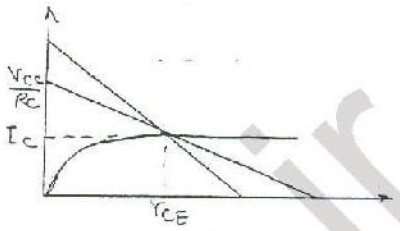


www.tmar.ir

بایاس در تقویت کننده :

+ تقویت کننده امیتر مشترک :

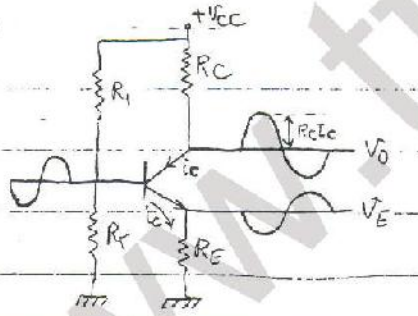


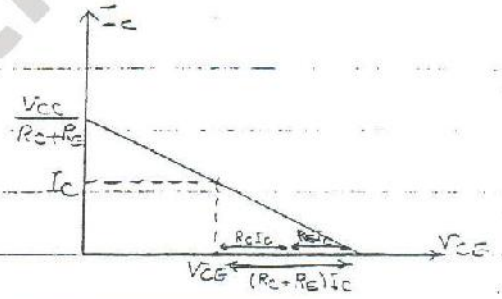


$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$R_C I_C = V_{CE}$ سوئینگ ماکزیمم

$(R_C \| R_L) I_C = V_{CE}$ سوئینگ ماکزیمم





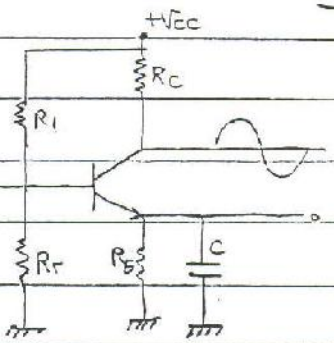
$V_0 = -R_C i_C$

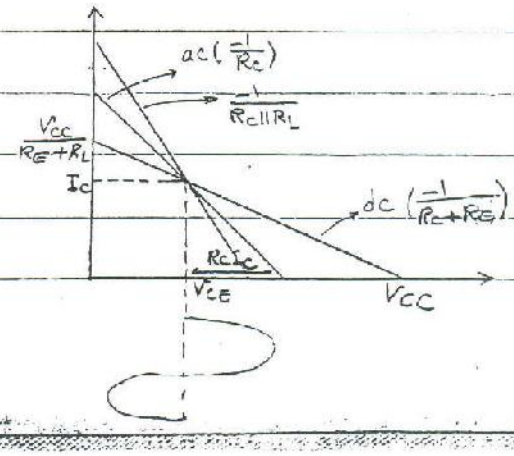
$V_E = R_E i_C$

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

$V_0^+ = V_0^- \longrightarrow R_C I_C = R_C I_x$

$\longrightarrow V_{CE} = R_E I_C + R_C I_C$ سوئینگ ماکزیمم

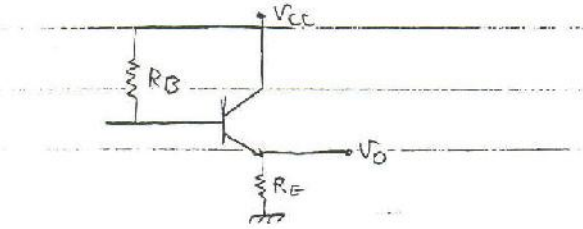


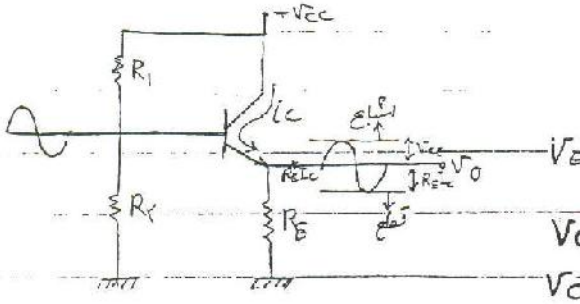


www.ttnar.ir

سوئینگ ماکزیمم با بار $V_{CE} = (R_C \| R_L) I_C$ — سوئینگ ماکزیمم بدون بار $V_{CE} = R_C I_C$

۲- تقویت‌کننده کلکتور مشترک:





$V_E = R_E (I_C + i_C)$

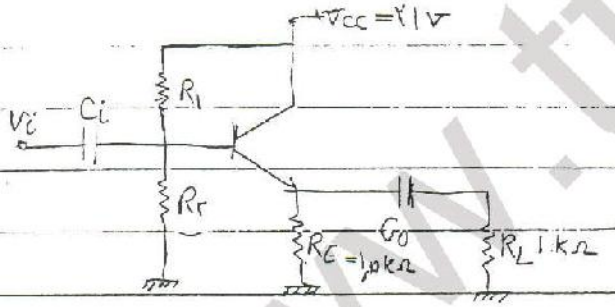
سوئینگ ماکزیمم:

بدون بار $V_{CE} = R_E I_C$

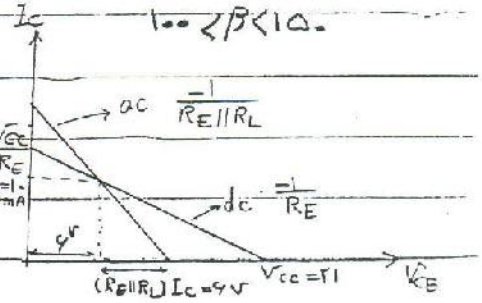
با بار $V_{CE} = (R_E \| R_L) I_C$

مثال: R_1، R_2 را طوری پیدا کنید که

سوئینگ متقارن داشته باشیم:



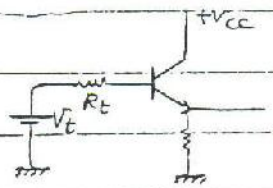
$100 < \beta < 150$



خط بار DC $V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C$

خط بار ac $V_{ce} = -(R_E \| R_L) i_e$

$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C \\ V_{CE} = (R_E \| R_L) I_C \end{cases} \longrightarrow I_C = 10\,mA \longrightarrow V_{CE} = 9\,V$$



$$R_t = \frac{\beta_{min} \times R_E}{10} = 15\,k\Omega$$

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

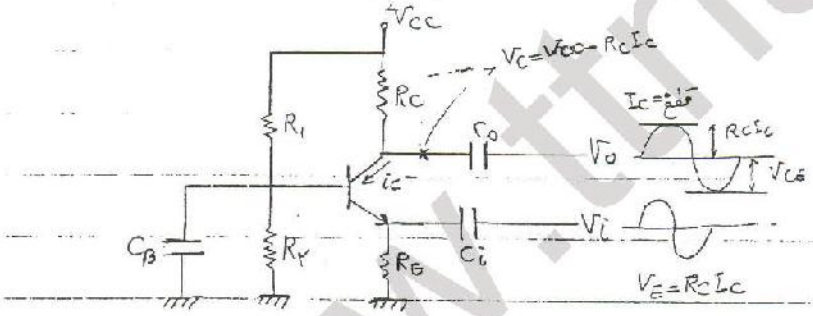
$$R_1 = R_t \frac{V_{CC}}{V_t} \Rightarrow 71.8\,k\Omega \quad , \quad R_2 = \frac{R_t}{1 - \frac{V_t}{V_{CC}}} = 18.9\,k\Omega$$

www.ttnar.ir

اگر در تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک مقاومت R_C در کلکتور داشته باشیم V_C و V_o به اندازهٔ ۱۸۰° اختلاف فاز خواهند داشت و برای تعیین سوئینگ ماکزیمم در این حالت مانند تقویت کنندهٔ امیتر مشترک عمل می کنیم.

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

۳- تقویت کنندهٔ بیس مشترک:



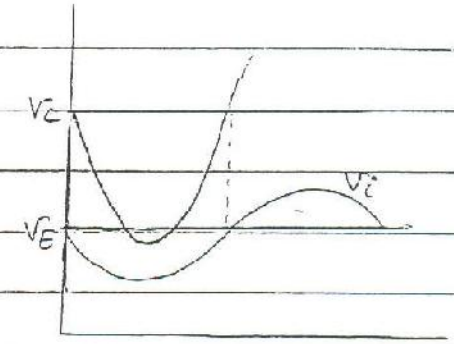
وجود خازن C_B برای افزایش تقویت کنندگی ترانزیستور است.

خازن C_B نقش خازن C_E در امیتر تقویت کنندهٔ امیتر مشترک را دارد.

$$R_C i_C = V_{CB}$$

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

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



www.ttnar.ir

پایداری نقطهٔ کار:

۱- I_{CBO} ← ۲برابرافزایش ← $10^{\circ}C$ ↗

۲- V_{BE} ↘ ۲٫۵۷ ← $1^{\circ}C$ ↗

۳- β

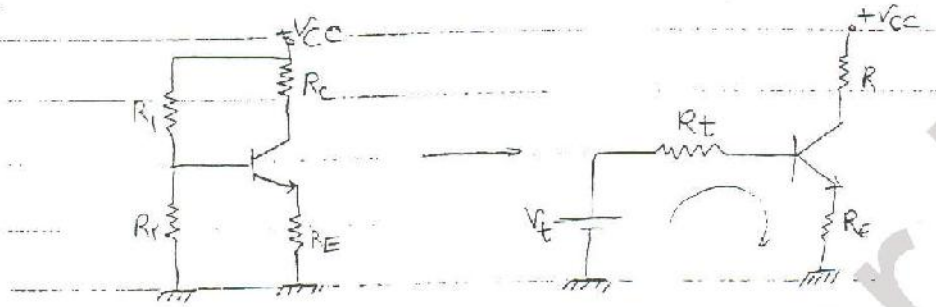
۴- ΔV_{CC}

۵- تلورانس المان‌های جانبی (لغلب مقاومت‌ها)

www.ttnar.ir

در تغییرات کم $S_I \simeq \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}}$ ، $S_V \simeq \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$

، $S_\beta \simeq \frac{\partial I_C}{\partial \beta}$



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

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

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

if $R_t \ll R_E \longrightarrow S_I = 1$

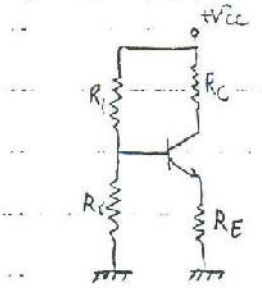
if $R_t \ll (1+\beta)R_E$ (شرط عملی) $\longrightarrow R_t = \frac{(1+\beta)R_E}{10}$

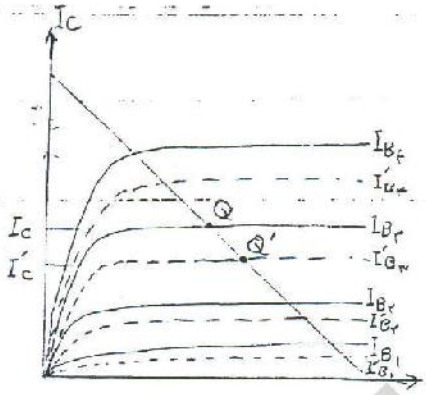
$$\longrightarrow S_I = 1 + \frac{R_t}{R_E}$$

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

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

www.itnar.ir



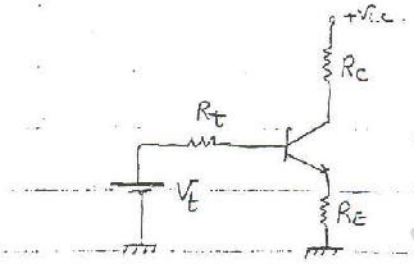


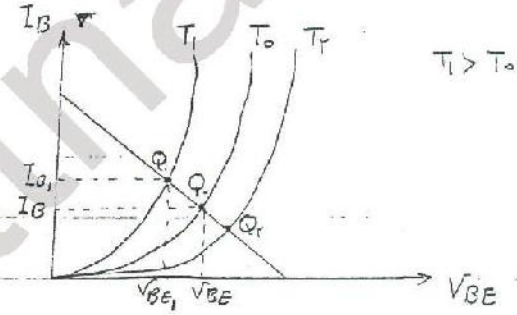
پایداری نقطهٔ کار

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

به ازای تغییرات β بین β_{min} و β_{max}، جریانهای I_{Bi} به I'_{Bi} تبدیل می‌شوند.

$$V_{CC} \simeq (R_C + R_E) I_C + V_{CE} \quad , \quad I_C = \beta I_B + I_{CEO}$$





$T_1 > T_0 > T_2$

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

ضرایب پایداری حرارتی

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

برای دنبال تغییرات I_C از dI_C یا $\Delta I_C = I_C - I'_C$ استفاده می‌کنیم که اگر تغییرات I_C کم باشد

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

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

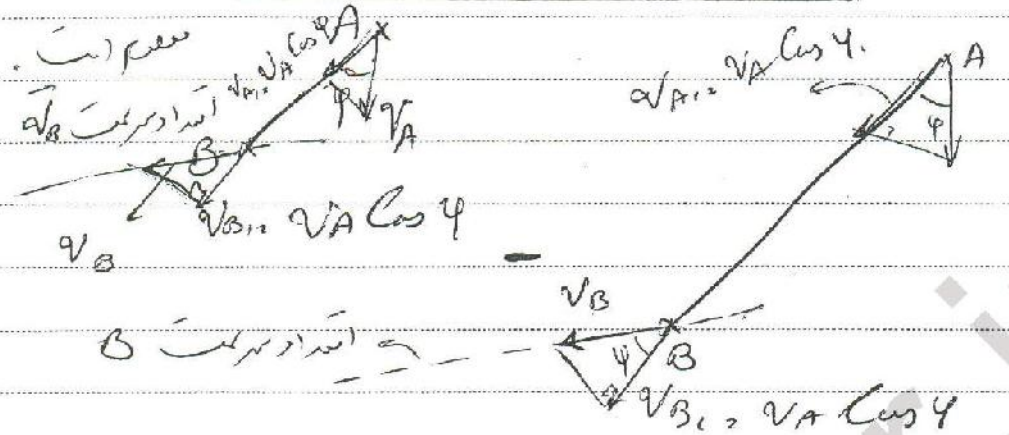
دسطح تغییرات وسیع : $S_{I_{CBO}} = S_I = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}}$, $S_{V_{BE}} = S_V = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}}$

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

www.ttnar.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$v_C = \vec{v_A} + \vec{\omega} \times \vec{r}_{C/A} \longrightarrow v_C = \tfrac{7}{8}\hat{i} - \tfrac{\sqrt{3}}{8}\hat{j} \ (m/s)$$

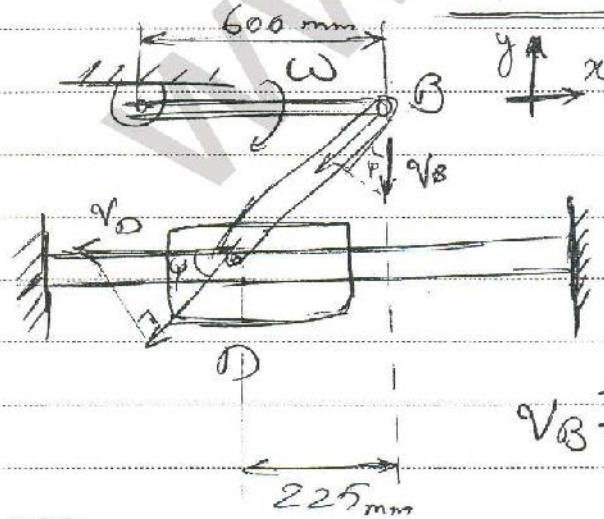


سرعت در امتداد میله در نقاط مختلف هر صلب ثابت است.

$$\hat{e} = \cos 30\, i - \sin 30\, j = \frac{\sqrt{3}}{2} i - \tfrac{1}{2} j$$

$$v_{A_1} = v_0 i \cdot \hat{e} = v_0 \sqrt{3}/2 = \sqrt{3}/2$$

$$v_C \cdot \hat{e} = \frac{3\sqrt{3}}{16} + \frac{7}{16} =$$



$$\omega = 3 \ rad/s \longrightarrow v_D = ?$$

$$v_B = \overline{OB} \cdot \omega_{OB} = \frac{600 \times 3}{1000} = 1.8$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

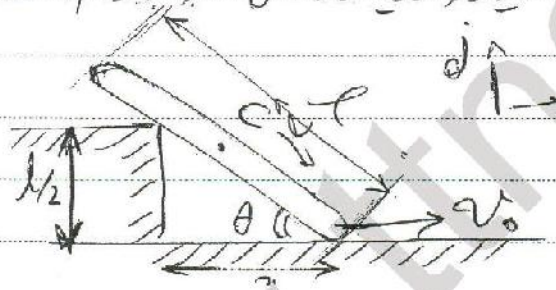
(2b)

$$(*) \rightarrow -9/5\, j + a_c^t \hat{i} = 6\hat{j} - 8\hat{i} - 1/4\,(8\hat{i} - 6\hat{j}) + \alpha \hat{k} \times (8\hat{i} - 6\hat{j})$$

$$a_c^t = -16.97 \ ft/sec^2$$

$$a_c = 17.12 \ ft/sec^2$$

تست انگلیسی ۸۵-۸۹) طول میله $l = 1m$ و جرم آن m است. میله با سرعت ثابت $v_0 = 1 m/s$ به سمت راست حرکت کرده و می‌لغزد. این میله روی گوشه‌ای با ارتفاع $0.5\ m$ می‌لغزد و با افق حرکت صفحه‌ای می‌کند. $30 < \theta < 90$ را در نظر بگیرید. سرعت لغزش B وقتی میله در زاویه $\theta = 30°$ است کدام است؟



$$\hat{j} \rightarrow \hat{i} \qquad l = 1m \qquad 30° < \theta < 90°$$

$$\underline{v_c} = \frac{3\sqrt{3}}{8}\hat{i} - \frac{7}{8}\hat{j}\ (m/s) \ (1 \qquad \underline{v_c} = \frac{\sqrt{3}}{8}\hat{i} - 1/8\,\hat{j}\ (m/s) \ (2$$

$$\underline{v_c} = 1/8\,\hat{i} - \frac{2\sqrt{3}}{8}\hat{j}\ m/s \ 3 \qquad \underline{v_c} = 7/8\,\hat{i} - \frac{\sqrt{3}}{8}\hat{j}\ (m/s) \ 4$$

$$v_B = v_A + \omega \times r_{B/A} \qquad \vec{v_0}$$

$$\tan\theta = \frac{l/2}{x}\ (A) \rightarrow x \tan\theta = l/2 \rightarrow \dot{x}\tan\theta + x\dot{\theta}(1+\tan^2\theta) = 0$$

(a) $\theta = 30°$

$$\dot{\theta} = -\frac{v_0 \tan\theta}{x(1+\tan^2\theta)} \qquad (\omega \rightarrow \text{زاویه‌ای})$$

$$\vec{\omega} = \frac{v_0 \tan\theta}{x(1+\tan^2\theta)}\hat{k}$$

$$(A) \xrightarrow{\theta = 30} x = \frac{l/2}{\tan 30} = \frac{0.5}{\sqrt{3}/3}$$

$$v_c = v_A + \omega \times r_{C/A}, \quad r_{C/A} = l/2\,(-\cos\theta\,\hat{i} + \sin\theta\,\hat{j})$$

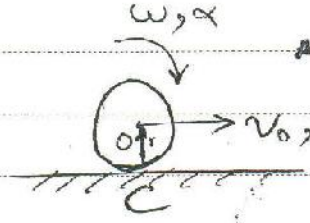
PqPCO

$V_B \cos\psi = V_B \sin\psi$

$V_O = \frac{V_B \cos\psi}{\cos\psi} = V_B \tan\psi = 2.4$

ب) حرکت خالص یک دیسک روی یک سطح :

ج) حرکت خالص هر روی یک سطح مستوی یا صاف :



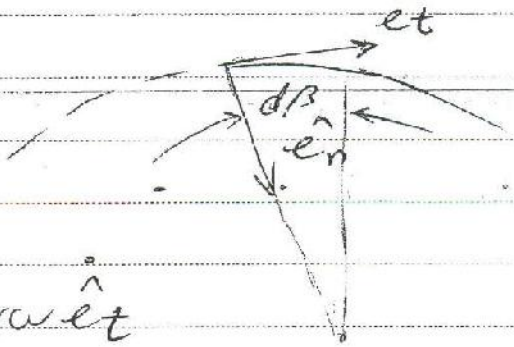
$V_O = r\omega$ ، $a_O = r\alpha$

$a_C = r\omega^2$ از C به طرف O

نقطه C ، لحظه‌ای سرعت صفر دارد

د) حرکت خالص هر روی یک سطح منحنی :

اندیشگاه سنجیات طبس صلب :



$\vec{V_O} = \rho\beta \hat{e}_t$ ، $V_O = r\omega \hat{e}_t$

$\vec{a_O} = r\alpha \hat{e}_t + r\omega \hat{e}_t$

$\dot{\hat{e}}_t = \dot{\beta} \hat{e}_n$

$\vec{a_O} = r\alpha \hat{e}_t + r\omega\dot{\beta} \hat{e}_n$

www.ttnar.ir
PqPCO

Subject:

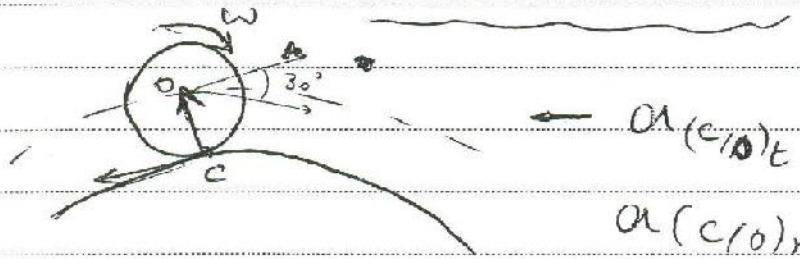
Year. Month. Date. ( )

$\alpha = \frac{(a_n)_t}{r}$ if $\rho \to \infty$

$a_n = \frac{r^2 w^2}{\rho}$

$\rho \dot{\beta} = r\omega \to \dot{\beta} = \frac{r}{\rho}\omega$

$$\boxed{\vec{a}_o = r\alpha \hat{e}_t + \frac{r^2}{\rho} w^2 \hat{e}_n}$$



$a_{(C/O)_t} = r\alpha$

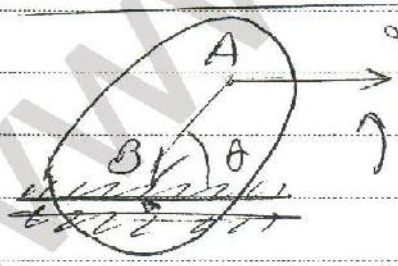
$a_{(C/O)_n} = r\omega^2$

$a_C = a_O + (\vec{a}_{C/O})_n + (\vec{a}_{C/O})_t$

$-(a_{C/O})_t = (a_O)_n$

$\vec{a}_C = \left(\frac{r^2\omega^2}{\rho} - r\omega^2\right)\hat{e}_n$

$\rho \to \infty \quad \vec{a}_C = -r\omega^2 \hat{e}_n$



$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$

$-v_B \hat{i} = v_A \hat{i} + \omega \hat{k} + \overline{AB}(-\cos\theta\, \hat{i} - \sin\theta\, \hat{j})$

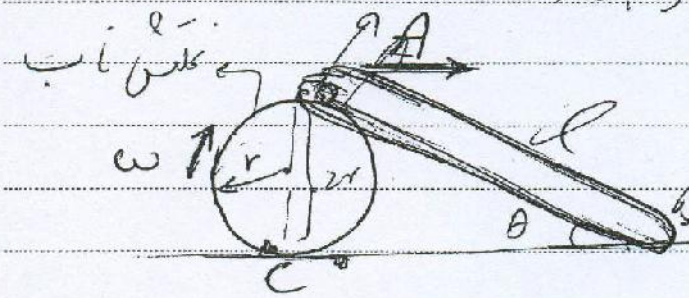
$v_B = v_A + \omega \cdot \overline{AB}$

$0 = \omega \overline{AB} \cos\theta \xrightarrow{\overline{AB} \neq 0}$ $\omega = 0$ OR $\cos\theta = 0 \to \theta = 90^\circ$

www.ttnar.ir

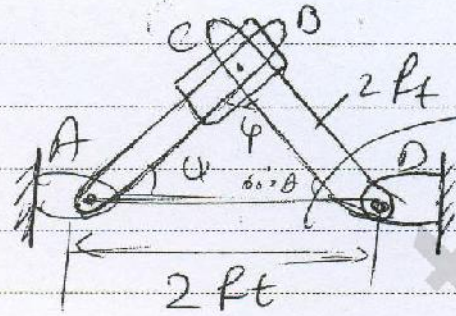
(68)

سرعت زاویه‌ای آن چرخ چند است، اگر آنی سرعت نقطه A برابر ۲ متر بر ثانیه و فاصله بین آن دو نقطه ۱۰ سانتی‌متر باشد؟



مکانیک ۸۴-۸۵

$A = 2r\omega \rightsquigarrow B = 2r\omega$

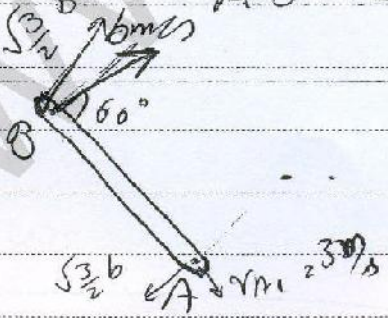


مکانیک ۸۴-۸۵

$\theta + 2\psi = \pi$

$\dot{\theta} + 2\dot{\psi} = 0 \rightarrow \dot{\psi} = -\dot{\theta}/2 \rightarrow \dot{\psi} = -2 rad/s$

AB → clockwise



مکانیک (۷۰-۹۹)

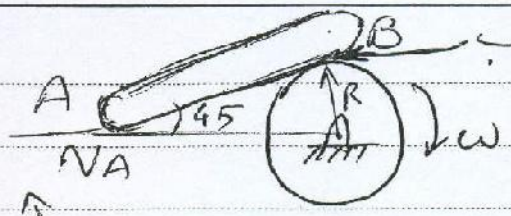
سرعت V_A چند است؟

$V_{A1} = V_B \cos 60 = \frac{V_B}{2} = 3 m/s$ به $8 m/s$ (۴ $3 m/s$ (۳ $6 m/s$ (۲

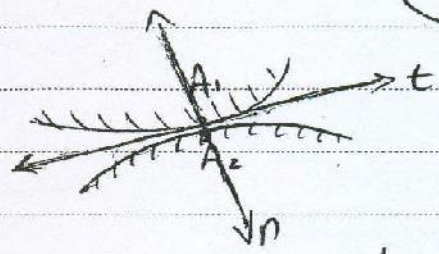
این سوال با استفاده از سرعت زاویه‌ای حل شده است.

www.tnar.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



مکانیک ۷۰_۴۹ (



شرط برخورد $(v_{A_1})_n = (v_{A_2})_n$

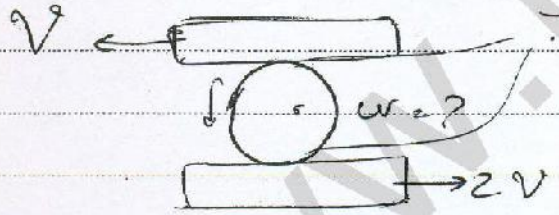
if $(v_A)_1\, t = (v_{A_2})_t$ ← عدم لغزش

$(v_{A_1})_t \neq (v_{A_2})_t$ ← لغزش

$$v_B = v_A \cos 45 = \frac{v_A}{\sqrt{2}}$$

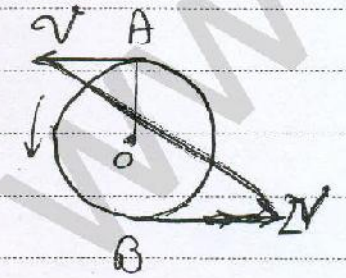
$$\omega = \frac{v_B}{R} = \frac{v_A}{\sqrt{2}R}$$

مکانیک ۷۵_۷۴



$\omega = \frac{2v}{r}$ (2 $\omega = v/r$ (1

4) اطلاعات کافی نیست. 3) $1.5\frac{v}{r}$

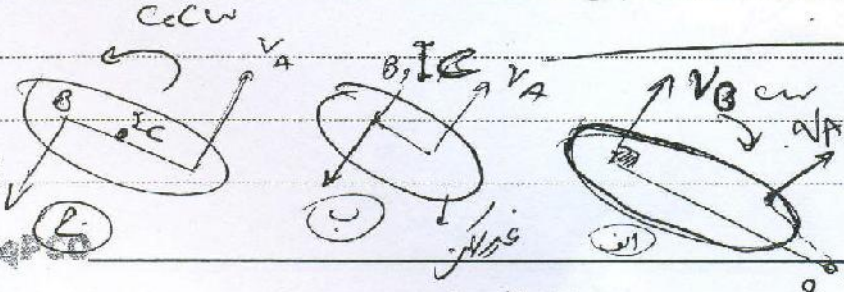


$$v_B = v_A + \omega \times r_{B/A}$$

$$2v\hat{i} = -v\hat{i} + \omega\hat{k} \times (-2r)\hat{j}$$

$$3r = 2r\omega \rightarrow \omega = \frac{3v}{2r}$$

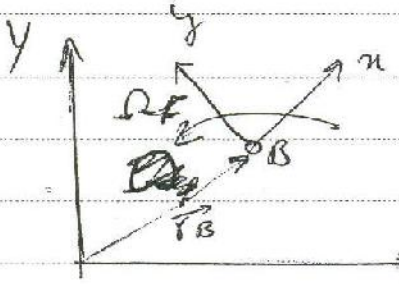
مکانیک ۷۷_۷۸



۲۷ نقطه برخورد ندارد.

www.tinari.ir

Subject:
Year. Month. Date.



$$\vec{\Omega}_F = \text{سرعت زاویه‌ای } B \text{ نسبت به}$$

$$\vec{r}_A = \vec{r}_B + \vec{r} = \vec{r}_B + (x\hat{i} + y\hat{j})$$

$$\vec{v}_A = \vec{r}_B + (\dot{x}\hat{i} + x\dot{\hat{i}} + \dot{y}\hat{j} + y\dot{\hat{j}})$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{i}} = \Omega_F \times \hat{i} \\ \dot{\hat{j}} = \Omega_F \times \hat{j} \end{cases} \quad 2D, 3D$$

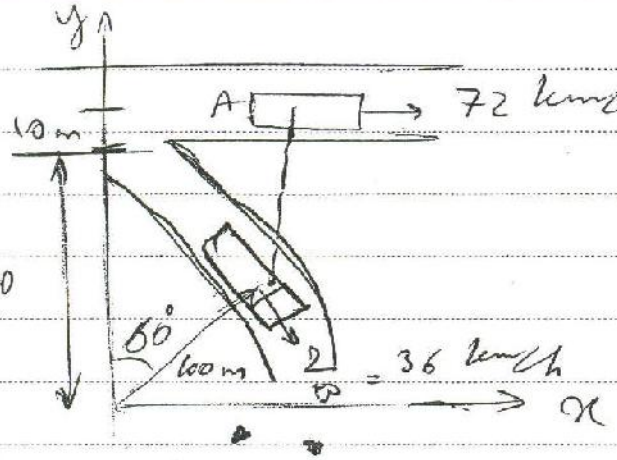
$$\vec{v}_A = \vec{v}_B + \{\vec{v}_{rel} + \vec{\Omega}_F \times \vec{r}_{A/B} \quad \dot{x}\hat{i} + \dot{y}\hat{j}$$

$$\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{\Omega}_F \times (\Omega_F \times r_{A/B}) + \alpha_F \times r_{A/B} + a_{rel} + a_{cor} \quad -2\Omega \times v_{rel}$$

Subject:

Year . Month . Date . ( )

(۸۵-۱۹ تا ۶



؟ B نسبت به A را در بازه زمانی

(1 $72\hat{i}\ \frac{km}{h}$ (2 — (3 $(72-48\sqrt{3})\hat{i}$ (4

$-48\sqrt{3}\hat{j}$ (km/h) $+48\hat{j}$ km/h

$$v_A = \frac{72}{3.6} = 20\ m/s\ \hat{i}$$

$$v_B = 10\ m/s\ (\cos 60\ \hat{i} - (\sin 60\ \hat{j}))$$

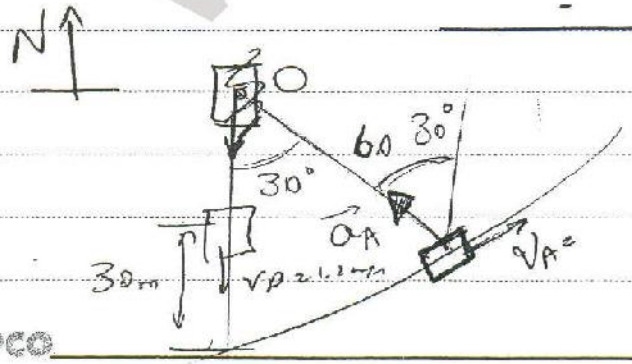
$$\Omega_F = \frac{10}{100} = \frac{1}{10}\ k\ rad/s$$

$$r_{A/B} = 110 - \frac{100\cos 60}{50} = 60\ m\ \hat{j}$$

$$\vec{v_A} = \vec{v_B} + \vec{v_{rel}} + \vec{\Omega_F} \times \vec{r_{A/B}} \rightarrow v_{rel} = 9\hat{i} + 5\sqrt{3}\hat{j}$$

A نسبت به B = $v_{rel} = \vec{v_B} - \vec{v_A} = -(\vec{v_{rel}} + \vec{\Omega} \times \vec{r_{A/B}})$

(۸۷-۱۹ تا ۶



؟ = B نسبت به A در لحظه‌ای که

www.tinar.ir

$$\vec{a}_B = 0 \quad , \quad \vec{a}_A = \frac{\left(\frac{50}{3.6}\right)^2}{50}\left(-\cos 30\, i + \sin 30\, j\right)$$

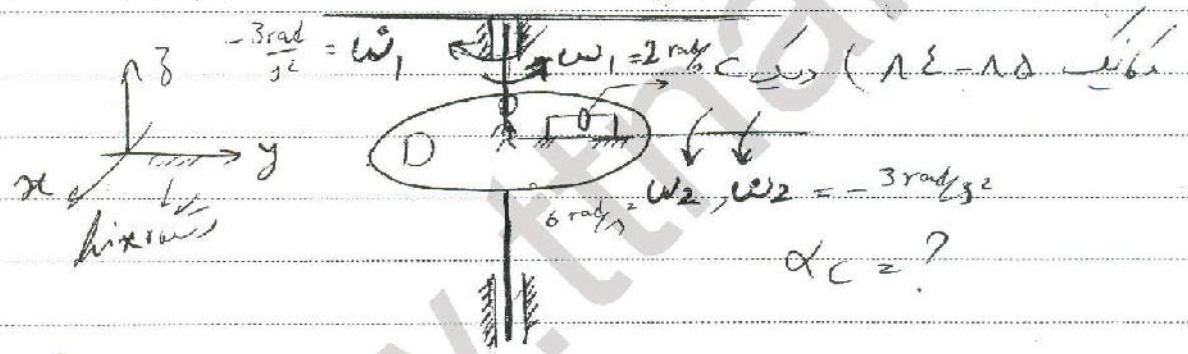
$$\vec{a}_{A/B} = \vec{a}_A - \vec{a}_B - \Omega_F \times \vec{r}_{A/B} = \vec{a}_A$$

$$\vec{a}_B = -1.2\, j \rightarrow a_{A/B} = ?$$

$$a_{A/B} = a_A - a_B = 3.21 \times \cos 30 - 3.98\, j$$

$$1.607\, i$$

$$\theta = \cot g^{-1}\frac{3.98}{1.607}$$



$$\omega = \omega_2$$

$$\omega_C = \omega_1 \hat{k} + \omega_2 \hat{j}$$

$$\vec{\alpha}_C = \dot{\omega}_1 \hat{k} + \omega_1 \dot{\hat{k}} + \dot{\omega}_2 \hat{j} + \omega_2 \dot{\hat{j}}$$

$$\dot{\hat{k}} = \Omega_F \times \hat{k} \qquad \dot{\hat{j}} = \Omega_F \times \hat{j}$$

$$\Omega_F = \omega_1 \hat{k}$$

$$\vec{\alpha}_C = -3\hat{k} - 3\hat{j} - (6 \times 2)\, i$$

$$\vec{\alpha}_C = -12\, i - 3\, j - 3\, k$$

www.tmar.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مکانیک ۷۷-۷۹) مشتق زمانی بردارهای یکه را بیابید. در ادامه $\frac{d}{dt}\hat{e}_R = \dot{\hat{e}}_R$

تحقیقات تکمیلی سال اول

(1 $\dot{\theta}\cos\varphi\,\hat{e}_\theta + \dot{\varphi}\,\hat{e}_\varphi$

(2 $\dot{\theta}\Omega\cdot\varphi\,\hat{e}_\varphi - \dot{\theta}\cos\varphi\,\hat{e}_R$

(3 $-\dot{\theta}\cos\varphi\,\hat{e}_\varphi - \dot{\varphi}\,\hat{e}_R$

(4 $\dot{\theta}\Omega\cdot\varphi\,\hat{e}_\theta - \dot{\varphi}\cos\varphi$

$\dot{\hat{e}}_R = \Omega_F \times \hat{e}_R$

آر θ زیاد شد

اگر φ زیاد شد.

$\Omega_F = -\dot{\varphi}\,\hat{e}_\theta + \dot{\theta}\,\hat{k}$

I: جهت عمود صفحه رو به

$\hat{k} = (\cos\varphi\,\hat{e}_\varphi + \Omega\cdot\varphi\,\hat{e}_R)$ از

عمود صفحه رو به خارج

$$\begin{cases} \dot{\hat{e}}_\theta = \vec{\Omega}_F \times \hat{e}_\theta \\ \dot{\hat{e}}_\varphi = \vec{\Omega}_F \times \hat{e}_\varphi \end{cases}$$

$\vec{\Omega}_F = -\dot{\varphi}\,e_\theta + \dot{\theta}\cos\varphi\,\hat{e}_\varphi + \dot{\theta}\,\Omega\cdot\varphi\,\hat{e}_R$

$\dot{\hat{e}}_R = (\dot{\theta}\sin\varphi\,\hat{e}_R - \dot{\varphi}\,\hat{e}_\theta + \dot{\theta}\cos\varphi\,\hat{e}_\varphi) \times \hat{e}_R$

$= \dot{\theta}\cos\cdot\hat{e}_\theta + \dot{\varphi}\,\hat{e}_\varphi$

www.ttnar.ir

PgPCO

برای محاسبهٔ S_β :

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

$$T_1 \longrightarrow I_{C_1}, \beta_1 \longrightarrow I_{C_1} = \frac{\beta_1}{R_E(1+\beta_1)+R_t}(V_t - V_{BE})$$

$$T_2 \longrightarrow I_{C_2}, \beta_2 \longrightarrow I_{C_2} = \frac{\beta_2}{R_E(1+\beta_2)+R_t}(V_t - V_{BE})$$

$$\Delta I_C = I_{C_2} - I_{C_1}, \quad \Delta\beta = \beta_2 - \beta_1, \quad \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} = \frac{\beta_1}{\beta_2} \times \frac{R_E(1+\beta_2)+R_t}{R_E(1+\beta_1)+R_t}$$

$$\longrightarrow \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{I_{C_2}} = \frac{\Delta I_C}{I_{C_1}} = \frac{\Delta\beta(R_t + R_E)}{\beta_1(R_t + (1+\beta_2)R_E)}$$

$$\longrightarrow S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta\beta} = \frac{I_{C_1}(R_t + R_E)}{\beta_1[R_t + (1+\beta_2)R_E]}$$

$$\Delta I_C = \left(1 + \frac{R_t}{R_E}\right)\Delta I_{CBO} - \frac{1}{R_E}\Delta V_{BE} + \frac{I_{C_1}}{\beta_1}\cdot\frac{R_E + R_t}{R_t + (1+\beta)R_E}\Delta\beta + \cdots$$

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

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

مثال: $\begin{cases} I_C = 2mA \\ V_{CE} = 10V \end{cases}$, $V_{CC} = 20^V$, $R_C = 4K\Omega$

R_1, R_2 , $1.75^{mA} < I_C < 2.25^{mA}$, $94 < \beta < 90$

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

$$S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta\beta} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{\beta_2 - \beta_1} = \frac{2.25 - 1.75}{90 - 94} = \frac{I_{C_1}(R_t + R_E)}{\beta_1[R_t + (1+\beta_2)R_E]}$$

www.tinar.ir

$\longrightarrow R_t = 20.1\ K\Omega$

$$\begin{cases} R_1 = \dfrac{V_t}{V_{cc}} R_t \\ R_2 = \dfrac{R_t}{1 - \frac{V_{cc}}{V_t}} \end{cases}$$

$$V_t = R_t \underbrace{I_B}_{I_C/\beta} + V_{BE} + R_E \underbrace{I_E}_{\frac{\beta+1}{\beta} I_C}$$

$$\longrightarrow \underbrace{1.75}_{mA} < I_C \simeq I_E = \frac{V_t - V_{BE}}{\frac{R_t}{\beta} + R_E} < \underbrace{2.12}_{mA}$$

$$\longrightarrow 1.75\left(\frac{R_t}{\beta} + R_E\right) < V_t - V_{BE} < 2.12\left(\frac{R_t}{\beta} + R_E\right)$$

(β_{min} ← left, β_{max} ← right)

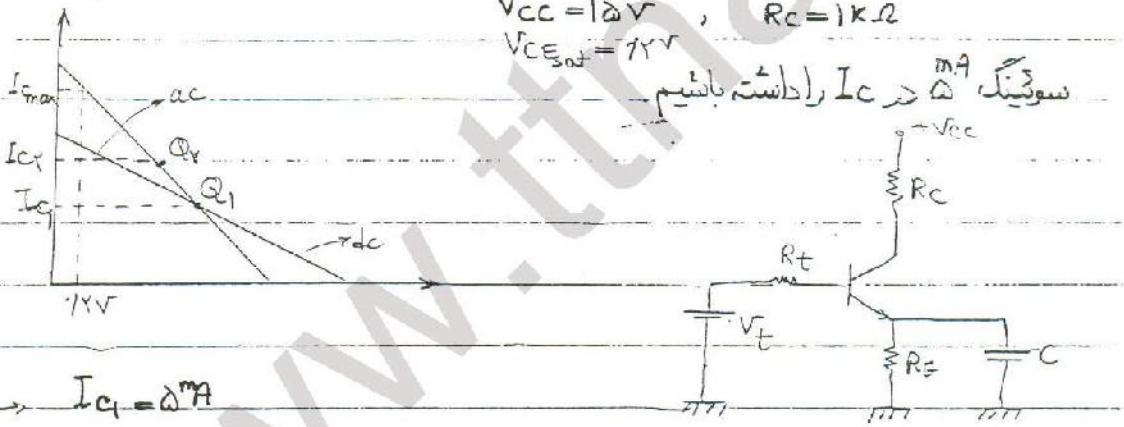
$$\longrightarrow 3.38 < V_t < 3.4 \longrightarrow \frac{R_1}{R_2}$$

مثال: اگر $0.7 < V_{BE} < 0.8$ ، $50 < \beta < 120$ باشد R_t, R_E, V_t را طوری پیدا کنید که

$V_{CC} = 15V$ ، $R_C = 1k\Omega$

$V_{CE_{sat}} = 0.2V$

سوئینگ $5\ mA$ در I_C را داشته باشیم.



$\longrightarrow I_{C_1} = 5\ mA$

$(ac)\ \Delta V_{CE} = -R_C\, \Delta i_C$ ac خط بار (شیب)

$\longrightarrow (V_{CE} - V_{CE}) = -R_C(i_C - I_C)$ ①

V_{CE} (لحظه‌ای) V_{CE} (dc)

① ، ② $\longrightarrow I_{C_2} = \frac{9.8}{1+R_E}$

$V_{CC} \simeq R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$ dc خط بار ②

$$\longrightarrow \underbrace{5\ mA}_{I_{C_1}} < I_{CQ} < \underbrace{\frac{9.8}{1+R_E}}_{I_{C_2}}$$

$V_{CE} = 0.2V$ ، $I_{Cm} = I_{C_2} + 5\ mA$

$$\Delta I_C = I_{C_2} - I_{C_1} = \frac{9.8}{1+R_E} = 5 \longrightarrow \boxed{\Delta I_C = \frac{4.8 - 5R_E}{1+R_E}}$$

I

www.ttnar.ir