

به نام خدا

دانشگاه فنی مراغه

جزوه ی مبانی الکترونیک عمومی

مهندس بخشی

کتاب مرجع : دکتر سید علی میر عشقی

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

الکترونیک

مباحث درسی

فصل اول: ساختمان نیمه‌هادی‌ها

فصل دوم: مدارهای دیودی

فصل سوم: ترانزیستور دو قطبی و BJT

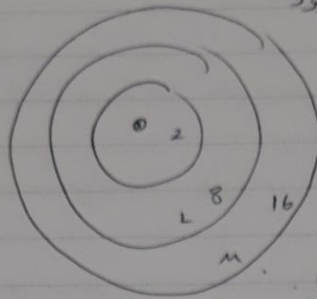
فصل چهارم: مدارهای پایه‌ای ترانزیستور BJT

فصل پنجم: تقویت کننده‌های BJT و تحلیل AC

فصل ششم: ترانزیستور اریمن FET و تقویت کننده‌های FET

فصل اول : ساختمان نیمه‌ها و دیود

ساختمان اتم :



$2n^2$ = مقدار الکترون کایه n ام
مقدار الکترون قابل حضور در کایه n ام

تعداد الکترونهای آخرین کایه هر اتم از طرفیت آن می‌توانیم دریافت کنیم و با توجه به عدد اتمی و عدد دوره

تعداد الکترون هر کایه از طرفیت آن می‌توانیم تعیین می‌شود.

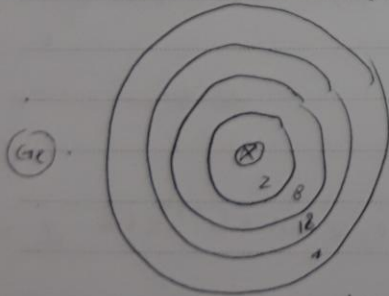
مواد فلزها هدایت الکتریکی سه دسته هادک - عایق - نیمه‌ها را تقسیم بندی می‌کنند بهترین

نیمه‌ها را سیلیسیم یا سیلیکان (Si) و ژرمانیوم (Ge) است

ساختمان اتمی Ge و Si

Ge عدد اتمی 32

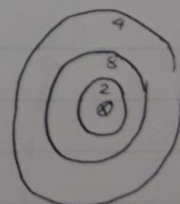
Si عدد اتمی 14



4 ظرفیتی

بنیادین

Si



4 ظرفیتی

باند های انرژی

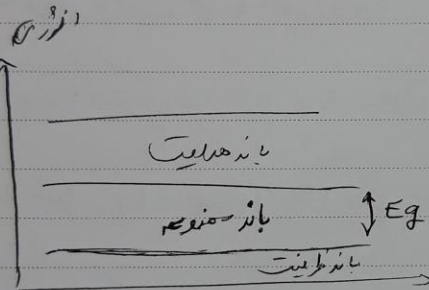
آخرین انرژی ها هم انرژی های فرکانس نامیده می شود و آخرین باند فرکانس هم نامیده می شود

در این حالت سطح انرژی که انرژی ها دارند باند فرکانس گفته می شود و در این حالت هم

انرژی ها مقدار انرژی باند بر می خیزد و بسته به آنکه چه می شود و از آنجا می شود و از آنجا می شود

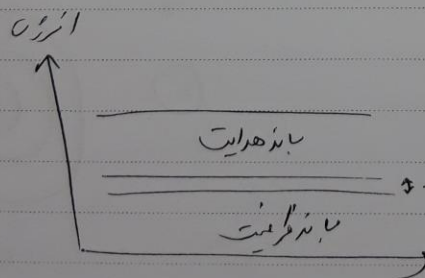
این حالت به مقدار انرژی که انرژی ها دارند می گویند و مقدار انرژی که انرژی ها دارند می گویند

تا که باند فرکانس به باند فرکانس می رود و باند فرکانس می رود



در حالی که E_g کم است

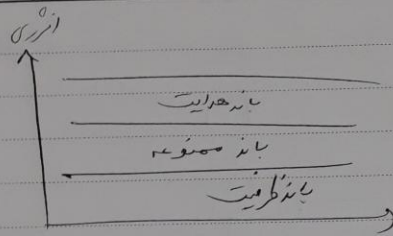
ماتریس به E_g می توان سوار از نظر رسانایی با یکدیگر مقایسه کرد یعنی هر چه E_g بزرگتر



باند رسانایی کمتر خواهد بود

هارد ها

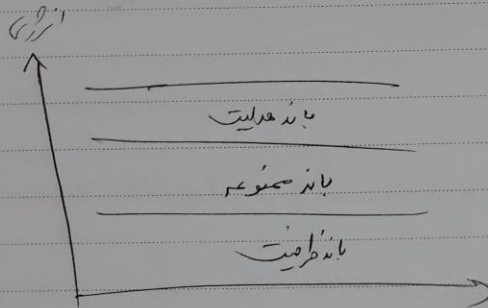
$$E_g < 0.01 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 0.01 \text{ eV}$$



نیم هادی ها

$$E_{g_{Si}} = 1.01 \text{ eV}$$

$$E_{g_{Ge}} = 0.67 \text{ eV}$$

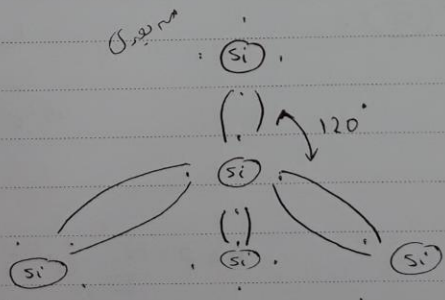


عایق ها

$$E_g > 5 \text{ eV}$$

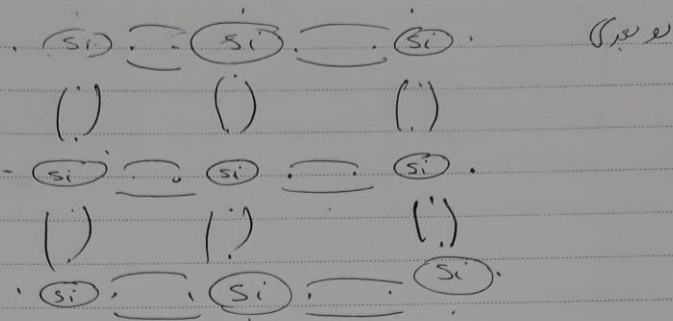
عایق ها

ساختار کریستال Ge, Si



به دلیل شکل بودن اتم

هو بعدی فرض کریستال

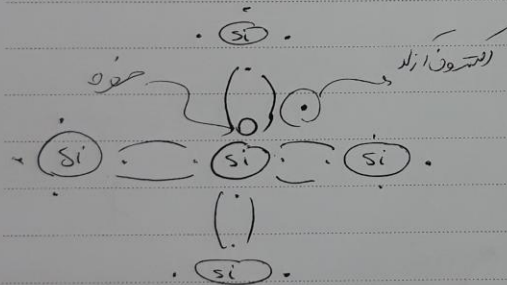


الکترون آزاد در صفحه:

الکترون به ما رفتن انرژی ندارند طریت به یاند هدایت وضعه باشد و انرژی کم جدا شود

الکترون آزاد نامیده می شود و جای خالی آن در پیوند به صفحه می مانند و الکترونها با رفتن

و لگتیه صفحه ها با رستیت ولرنند



$P (cm^{-3})$ چگالی صفحه ها

$n (cm^{-3})$ چگالی الکترونهای آزاد

دریغ نیمه های خالص $n = p = n_i$
 چگالی ذاتی

در دما اتفاق

$n_i (Si) = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$

$n_i (Ge) = 2.5 \times 10^{13} cm^{-3}$

ماتریه به E_g و Si و Ge و As و $E_{g_{Si}}$ و $E_{g_{Ge}}$ است هدایت در مایه نیم رسانا

میلنوم خواهد بود

$$n \times p = n_i^2$$

قانون ارجح

نیم رسانا N و P در اثر افرایش هدایت در نیم رسانا ها حاصل می شود به آنها افرایش

می گویند که تشکیل نیم رسانا نوع N و P در دهر

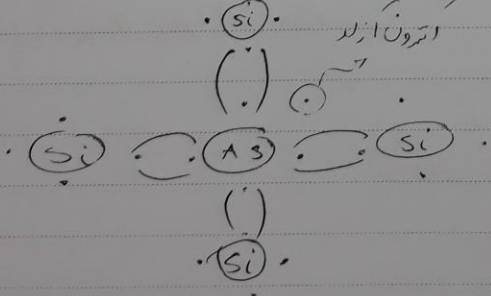
نیم رسانا نوع N : افرایش افرایش شده به نیم رسانا حاصل می شود که ظرفیت باید سازه افرایش

یا ضعیف این اتم با چهار اتم نیم رسانا ها پیوند تشکیل داده و یک الکترون افرایش یافته می ماند

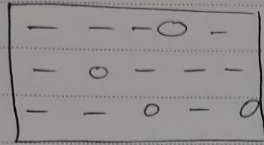
و می تواند الکترون آزاد تشکیل شود بدون اینکه حفره هر یک از اینها برابرین در این نیم رسانا

ها تعداد الکترون آزاد خیلی بیشتر از حفره ها خواهد بود و به الکترونها حاملان اکثریت و به

حفره ها حاملان اقلیت گفته می شود



برای غایب نیمه‌های نوع N



$n \approx N_D$ چاهای بخشنده
 $n = n_i + N_D$ اگر به نیمه‌های نوع N
 (نیمه‌های نوع P)

$N_D \gg p$ چون n_i خیلی کمتر از N_D است
 $p = \frac{n_i^2}{N_D}$ $n \approx N_D$

$np = n_i^2$

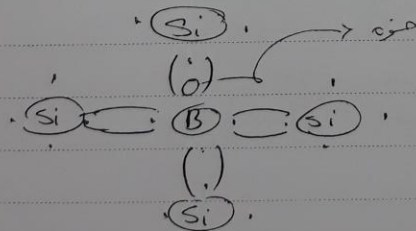
نیمه‌های نوع P، اگر به نیمه‌های خالص سولید پرمیسی حاشه‌های بور اضافه کنیم

به علت کمبود یک الکترون یک حفره ایجاد خواهد شد بدون اینکه الکترون از لایه به وجود آید

شاید این قند حفره‌ها خیلی بیشتر از الکترون آزاد بوده و حفره‌ها حامل الکتریسیته و الکترون‌ها

حامل الکتریسیته گردند در این نوع نیمه‌ها در به اتم‌های ناخالص (بور) نیز دیده نشده است

شاید این چاه‌ها N_A نشان خواهند داد



0	0	0	0	-
-	0	0	0	0
0	0	-	0	0

$$P = n_i + N_A \approx N_A$$

$$np = n_i^2$$

$$n = \frac{n_i^2}{N_A}$$

دیود (Diode): از اتصال دو نوع نیمه‌هادی P, N (ایزوشل) می‌شود و به علت ساختار

داخلی خاص خود جریان را فقط در یک جهت عبور می‌دهد و در جهت مخالف جریان عبور نمی‌دهد

ولت‌ها و قابل صرف نظر کردن است

P	N
0 0 0 0 0	- - - - -
- 0 0 0 0	- - - 0 0
- 0 0 -	0 - - - -
0 - 0 0	- - - 0

P	EVS	N
0 0 0	0 0 0 0	- - -
0 0 -	0 0 0 0	- 0 -
- 0 0	0 0 0 0	- - -
- 0 0	0 0 0 0	0 - -

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.7V \text{ Si} \\ 0.2V \text{ Ge} \end{array} \right.$$

یونهای مثبت
ناقصه‌ها
یونهای منفی

با توجه به شکل و قس در نیمه‌های P و N به هم دیر اتصال دارند می‌شوند حفره‌های ظرف

Subject:

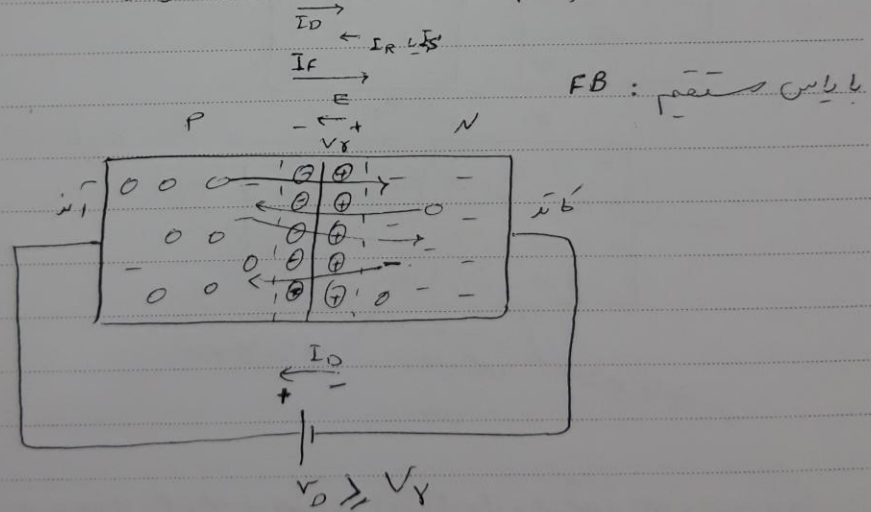
Year: Month: Date: ()

P به N تقوذ برده و ولت‌دهیهای طرف N به P تقوذ می‌شود و باعث ایجاد یونهای مثبت در طرف N و یونهای منفی در طرف P می‌شوند این یونها در مدار مستقیم بین یونیم‌ها در جمع شده و تسلیل میدان الکتریکی E و پتانسیل عدد V_d می‌شود با تسلیل این میدان چون بر بارها نیرو وارد می‌کنند که تقوذ حامل‌ها به طرفین متوقف می‌شود و در پیوند به حالت تعادل می‌رسد

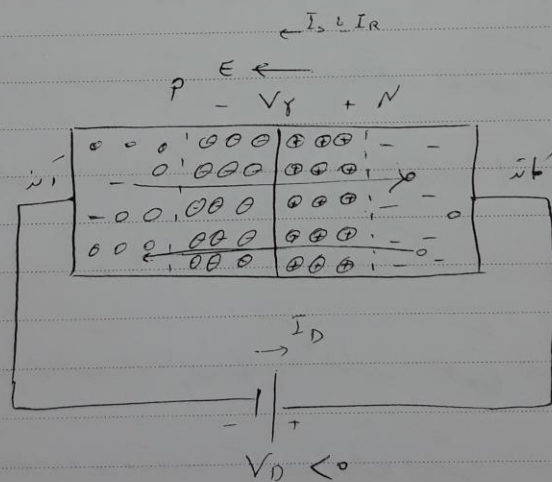
بایاس کردن دیود

بایاس کردن یعنی اعمال ولتاژ به دو سر دیود در نوع بایاس مستقیم و معکوس

وجود ولت که در هر کدام دیود رفتار متفاوتی را از خود نشان می‌دهد



ماتریس به شکل در مایین مستقیم قطب مثبت باطری حفره های P به N دارند و قطب منفی باطری استرونها N به طرف P دارند و فرمول این حالتها در زیر است
 مستقیم نیز بنام A به وجود آید و به علت وجود میدان الکتریکی حاصل از
 الکتریسیته به طرفین نفوذ کرده و تشکیل جریان بسیار کوچک می دهد
 به دفعه از سرانید این دو جریان هم بران A به وجود می آید که تقریباً با A برابر
 است باید توجه داشت که وقتی منبع تغذیه باید تا حدی باشد که بتواند به
 سرب پیاپی کار کند



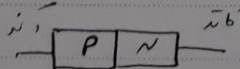
ماتریس به شکل از قطب منفی به آند و قطب مثبت به کاتد وصل شود به علت جذب

حاصل‌های انرژی توسط بارهای حامل‌های انرژی حرکت خواهند داشت و سازه
بایستی مستقیم وجود میدان الکتریکی باعث حرکت حامل‌های لایه شده و جریان
بسیار کوچک به جهت محلولس نزدیور عبور می‌نند و افزایش ولتاژ V_D تأثیری
در مقدار این جریان نخواهد داشت به همین علت به این جریان، جریان اشباع محلولس
دیور گفته می‌شود

پدیده شکست جهش

در بایس محلولس و تاناً محلولس با خفیف افزایش دهم ناحیه تهر خفیف پهن شده
و میدان الکتریکی نیز خفیف قوی تر می‌شود و حامل‌های لایه در حین حرکت سازه
بیشتری می‌گیرند و در برخورد با اتم‌های دیگر حامل‌های پهلوی با آزاد می‌نند و رفته
تعداد آنها بیشتر می‌شود در نتیجه جریان بسیار بزرگی به جهت عبور می‌نند
و باعث سوختن دیور می‌شود که به این پدیده شکست جهش گفته می‌شود
مقدار حد اکثر و تاناً محلولس در مشخصات دیور داده می‌شود

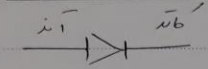
تفاوتی مدار دیور (شکل مدار دیور)
شکل ساختمانی



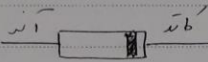
Subject:

Year: Month: Date: ()

6

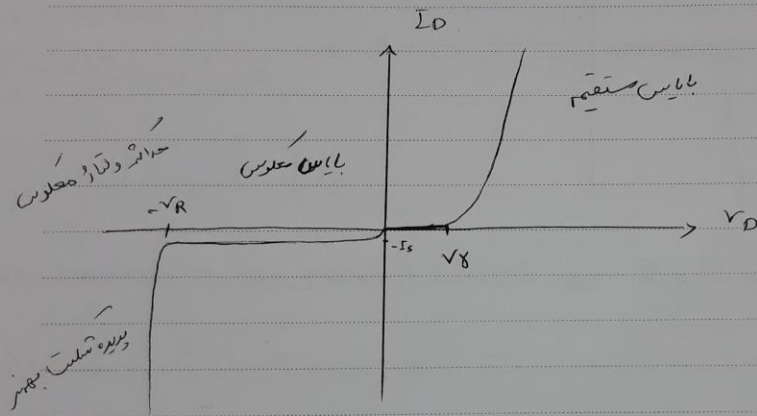


شکل مدار دایود



شکل ظاهر دایود

تصفیه ولت-آمپر (منحنی مشخصه) دایود:



$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

$$\eta_{Ge} = 1$$

$$V_T = \frac{kT}{q} = 26 \text{ mV} \text{ یا } 25 \text{ mV}$$

$$\eta_{Si} \approx 1.4$$

$$I_D = \underbrace{I_S e^{\frac{V_D}{V_T}}}_{I_F} - \underbrace{I_S}_{I_R}$$

if $V_D \gg V_T \Rightarrow I_D = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}}$

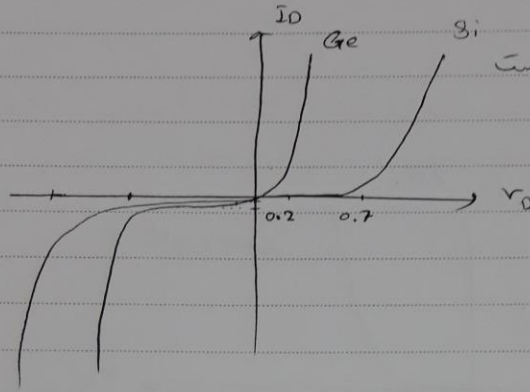
P4PCO

Subject :

Year : Month : Date : ()

$$\text{if } v_D \ll v_T \Rightarrow \bar{I}_D \approx -\bar{I}_S$$

مقایسه مشخصه های مشخصه دیودهای Si و Ge :
نیز Si و Ge



نشان می دهد که در ولتاژهای v_D کمتر است

مقاومت Ge در مقایسه با Si

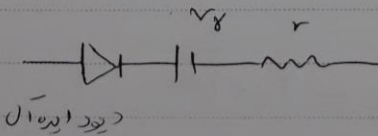
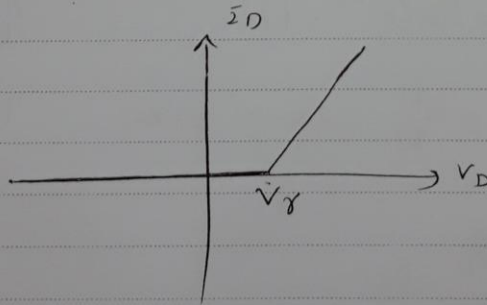
از لحاظ توان عبور می دهد

در سبب افزایش جریان اشباع است

با توجه به دو مشخصه در بالا این مشخصات دیود Si خوب بوده و در بالا این

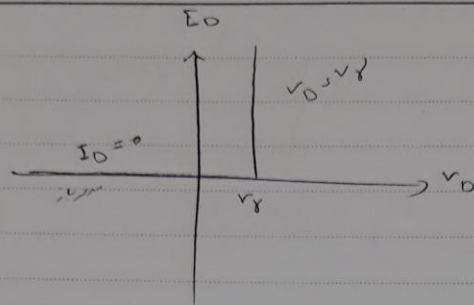
مستقیم مشخصات دیود در مایکرومتر بهتر است

مشخصه های مشخصه کاتفریبی دیود و مدل های معادل آن :

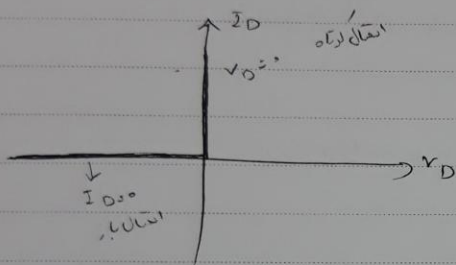


مدل معادل دیود

دیود ایده آل

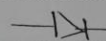


دیود ایده آل



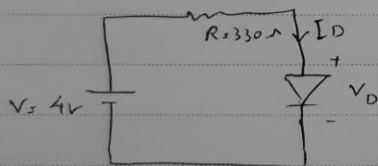
انتقال لایه

منحنی مشخصه ایده آل دیود

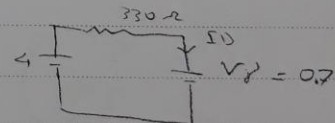


دیود ایده آل

مثال: در مدار شکل زیر اگر خنثی دیود I_D باشد جریان دیود را محاسبه کنید



چون دیود با این مشخصه است و دیود ایده آل انتقال لایه است



$$-4 + 330 I_D + 0.7 = 0$$

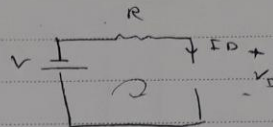
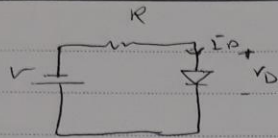
$$I_D = \frac{4 - 0.7}{330} \approx 10 \text{ mA}$$

اگر در مثال فوق جهت منبع عوض شود جریان و ولتاژ دیود را محاسبه کنید

Subject :

Year : Month : Date : ()

دیود و مقاومت



$$I_D = 0$$

$$V_D = -V$$

$$V_D = -4V$$

مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود

$$r_s = \frac{V_D}{I_D}$$

مقاومت استاتیکی DC

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{dV_D}{dI_D} \quad \text{مقاومت دینامیکی AC}$$

$$i_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

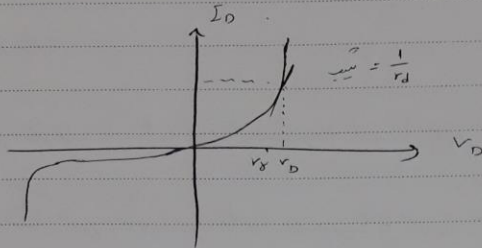
$$r_d = \left(\frac{dI_D}{dV_D} \right)^{-1} = \left(\frac{I_s}{\eta V_T} e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} \right)^{-1} \Rightarrow r_d = \frac{\eta V_T}{I_s e^{\frac{V_D}{\eta V_T}}}$$

$$\Rightarrow r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$$

مثال: در مثال قبل، مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود را محاسبه کنید.

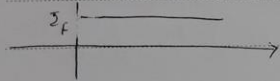
$$r_s = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.7}{10 \text{ mA}} \Rightarrow r_s = 70 \Omega$$

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D} = \frac{1.4 \times 26 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 3.6 \Omega$$

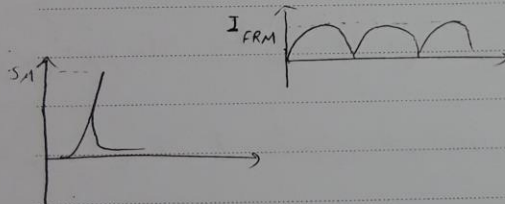


مقادیر محدودی در خروجی

1. حداکثر ولتاژ خروجی V_R



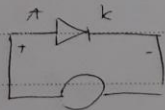
2. حداکثر جریان مستقیم (متوسط) I_f



3. حداکثر جریان لحظه‌ای I_{FRM}

4. حداکثر جریان لحظه‌ای I_{FSM}

تست دیود و تشخیص آن در کاتد



برای تشخیص سالم بودن دیود می‌توان مولتی‌متر

در حالت تست دیود قرار داد و آن را تست کرد. به این صورت که اگر میانه

صفت به آنکه و متغیر به کاتد وصل شود باید مولتی‌متر و تداوم نشان

Subject

Year

Month

Date

()

خواهد داد (بایس مستقیم) و در حالت معلوم یک عدد نامشخص

نشان خواهد داد

روش دوم برای تست دیور استفاده از اهمیت است در بایس مستقیم

دیور مقادیر کمی نشان داده و در بایس معلوم مقادیر بیشتری

نشان می دهد

اگر آنگاه که دیور مشخص نباشد می توان از مطالب فوق آنگاه که

آن مشخص کرد به این صورت که دیور نشان می دهد به سبب متر وصل

که نیم اگر و تار لا نشان می دهد می بینیم آنگاه مشخص می شود

وضعیت متغیر آنگاه که مشخص خواهد کرد

انواع دیور

۱* دیور یکپارچه یا همگن: (هنگام دیور است که در این محفل سیر می شود)

است

۲* دیور انتقال نقطه: این دیور در ناحیه تهی خود خازن بسیار کوچکی

Subject:

Year:

Month:

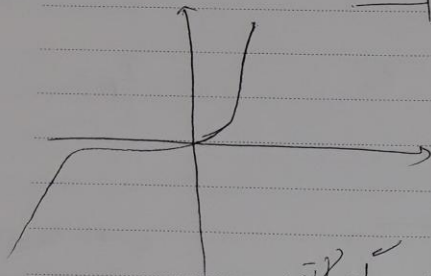
Date:

()

رشته و در مدارهای مخایراتی فرکانس بالا استفاده می شود



3* - دیود زنر (Zener)



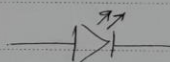
این دیود در بایاس معکوس استفاده

شده در این حالت یک ولتاژ ثابت

عاشد چرا که ولت ولتاژ این دیود در مدارهای رگولاتور

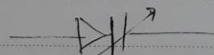
ولتاژ استفاده می شود

4* - دیود نور LED: این دیود با عبور جریان در ناحیه تهی نور می دهد



با نامرئی تولید می شود

5* - دیود خازنی (والتر): در این دیود لایه خازن ناحیه تهی استفاده می شود



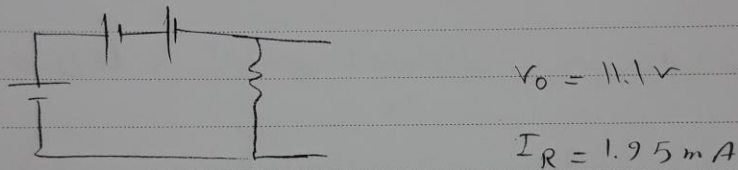
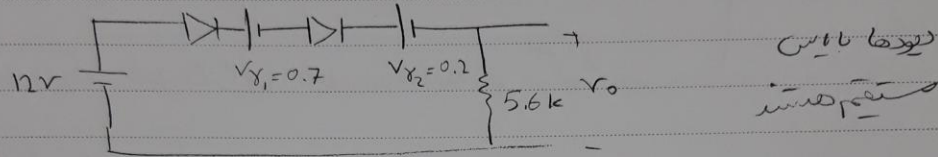
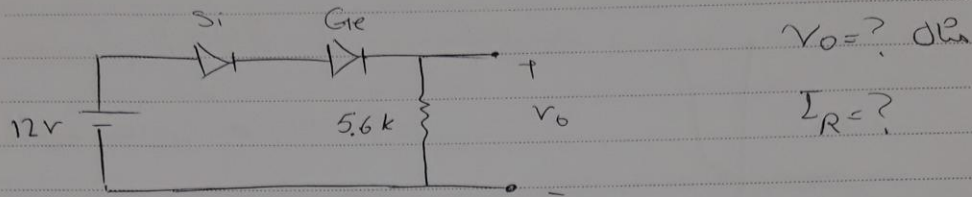
و در بایاس معکوس به هم می رسد

6* - فوتو دیود: این دیود در بایاس معکوس استفاده شده و نور به

جریان اثر می بیند و تبدیل می کند

Subject: _____
 Year: _____ Month: _____ Date: _____

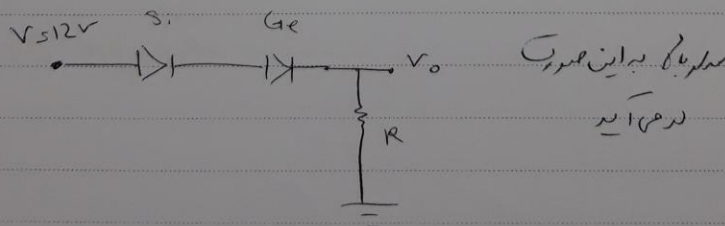
مفصل ریم: مدارهای دیودس و کاربرد های آن

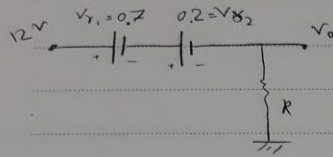


* در مدارات الکترونیک معمولاً منبع ولتاژ ریم ترانسفورماتور و ولتاژ منبع بار ریم

در مدار در نظر گرفته می شود در این نوع مدارات نحوه نوشتن kVl متفاوت

بوره و به صورت مسیری نوشته می شود



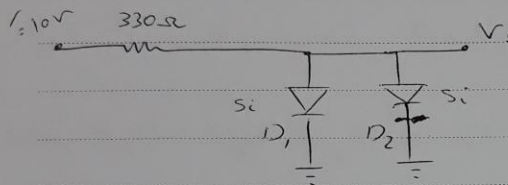


$$V - V_{f1} - V_{f2} = V_o$$

$$V_o = 11.1V$$

$$I_R = 1.95mA$$

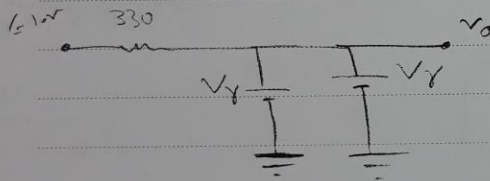
* در مدار به جای دو دیود، یک دیود و یک ترانزیستور می‌توانیم استفاده کنیم.
 اگر سوختن دیود را بخواهیم بررسی کنیم، باید به ولتاژ و جریان آن نگاه کنیم.



$$V_o = ?$$

$$I_{D1} = ?$$

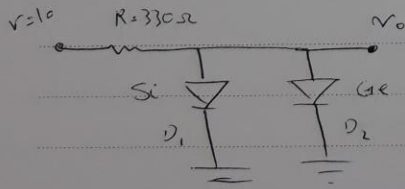
$$I_{D2} = ?$$



$$V_o = V_{f1} = V_{f2} = 0.7V$$

$$I_R = \frac{V - V_o}{R} = \frac{10 - 0.7}{330} = 28.18mA$$

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_R}{2} = 14.09mA$$



در این مدار هر دو دیود می‌توانند به هم وصل شوند.

روشن شدن هر یک از دیودها به ولتاژ و جریان آن بستگی دارد.

دیود Ge روشن شده و ولتاژ 0.2V آن روی D1 نیز افتاده و ولتاژ 0.7V

Subject :

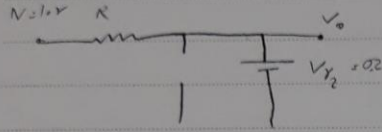
Year :

Month :

Date :

()

از V_1 این دیود کمتر است بنابراین آن را روشن نمی‌کنیم و در مدار معادل



به صورت زیر خواهد بود

$$V_0 = V_{\gamma} = 0.2$$

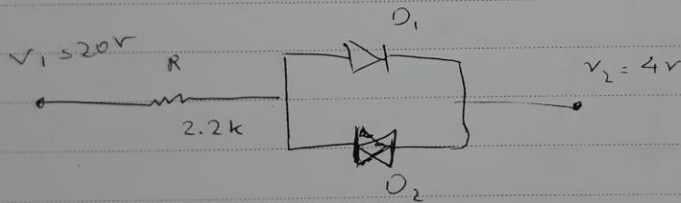
$$I_R = 29.2 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = 0 \quad I_{D2} = 29.2 \text{ mA}$$

وقتی دیودهای هم‌خمس را موازی می‌کنیم مدار جریان مدار

از مدار جریان دیود بیشتر باشد زیرا در این صورت جریان به مقدار دیود

ها تقسیم می‌شود



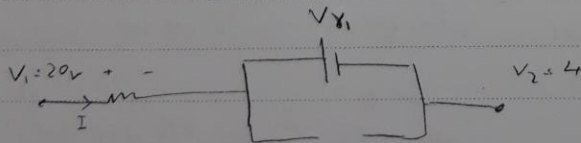
حال

$$I_R = ?$$

$$V_1 > V_2$$

$$D_1 = \text{on}$$

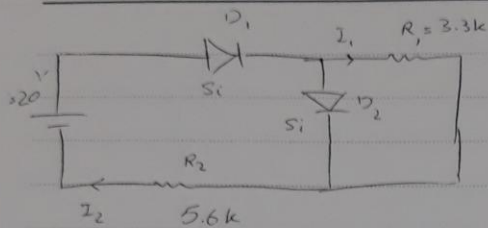
$$D_2 = \text{off}$$



$$V_1 - IR - V_{\gamma_1} = V_2$$

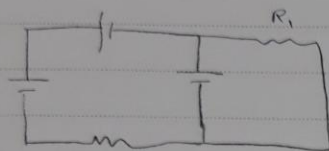
$$I = \frac{V_1 - V_2 - V_{\gamma_1}}{R} = \frac{20 - 4 - 0.7}{2200}$$

$$= 6.05 \text{ mA}$$



$I_1, I_2, I_{D_2} = ?$ find

دھندلایں ستیقم $D_1, D_2 \Rightarrow on$



$$I_1 = \frac{0.7}{3.3k} = 212 \mu A$$

$$-20 + 0.7 + 0.7 + 5600 I_2 = 0$$

$$I_2 = \frac{20 - 0.7 - 0.7}{5600} = 3.32 mA$$

$$I_{D_2} = I_2 - I_1 = 3.32 mA - 0.212 mA = 3.108 mA$$

Subject _____
Year _____ Month _____ Date _____ ()

P4PCO

کاربرهای دیود:

Rectifiers

۱- رکتیفایرها

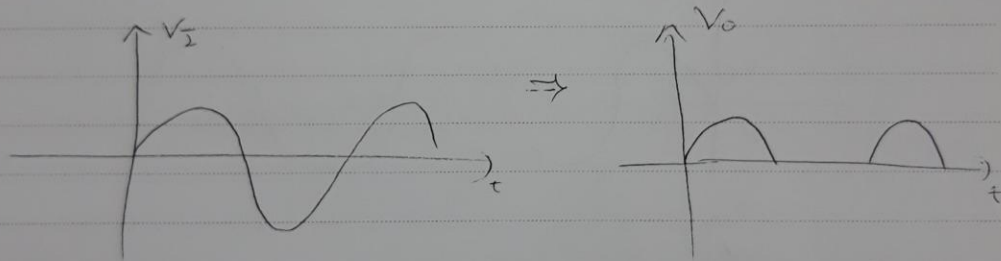
رکتیفایرها مدارهای هستند که ولتاژ متناوب (AC) را به ولتاژ مستقیم

مستقیم یا به ولتاژ DC (مستقیم) تبدیل می‌کنند

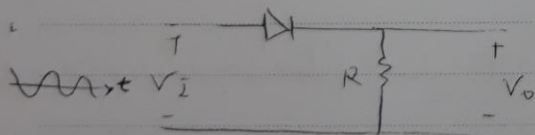
رکتیفایرها به دو دسته نیم موج و تمام موج تقسیم می‌شوند

رکتیفایر نیم موج: مدار است که فقط یک سیکل از هر دو سیکل

ورودی را حذف کرده و نسبت به آن به خروجی می‌دهد



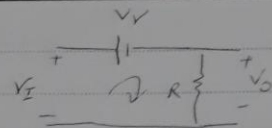
مدار رکتیفایر



در این مدار $V_i > V_D \Rightarrow D: on$

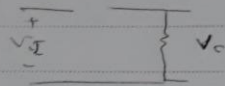
Subject, _____

Year, _____ Month, _____ Date, _____

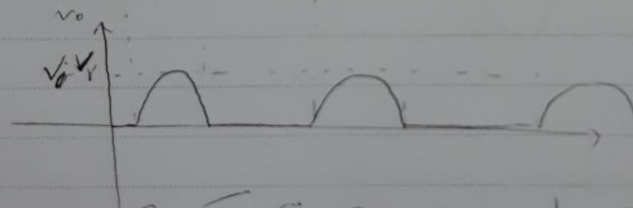
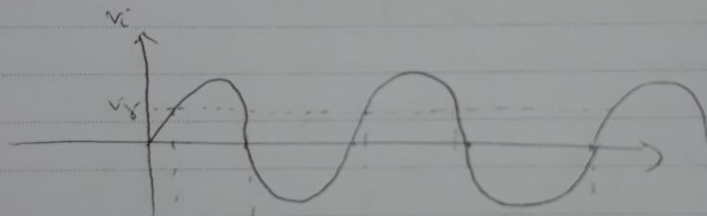
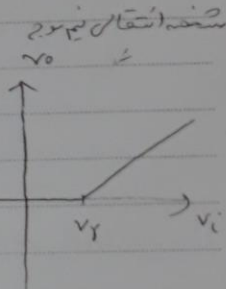


$$V_O = V_I - V_F$$

فرض کنیم: $V_I < V_F$ Diode off $\Rightarrow V_O = 0$



$$\begin{cases} V_I > V_F \Rightarrow V_O = V_I - V_F \\ V_I < V_F \Rightarrow V_O = 0 \end{cases}$$



این مدار یک مدار مستقیم کننده DC است.

فرض $V_F = 0$

$$V_{DC} = V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin(\omega t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin(\omega t) dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

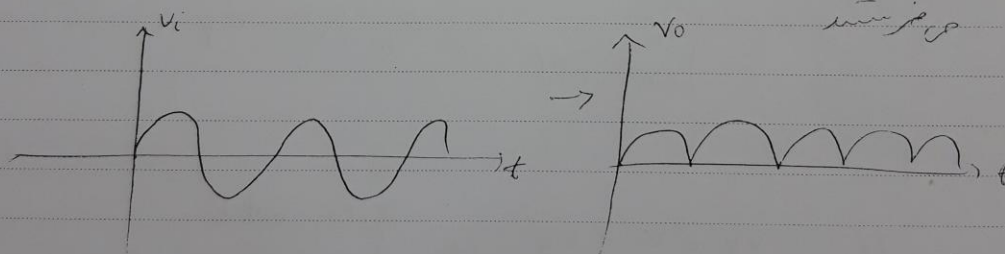
$$V_{av} = \frac{V_m - V_{DC}}{\pi} \quad \text{به نظر می آید}$$

در این مدار خازن و کپاسیتور به روی دیود ها افت V_m می باشد و خازن

و کپاسیتور دیود (PIV) باید بیشتر از این مقدار باشد $V_m > PIV$

پیکو شده تمام موج : مدار این است به نیم سیکل های مثبت و دردی به

خروج فرستاده و نیم سیکل های منفی و دردی به صورت معکوس به خروج



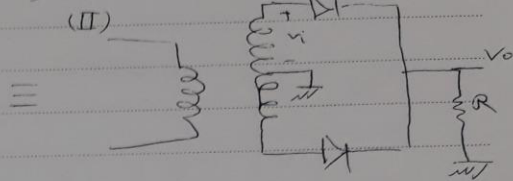
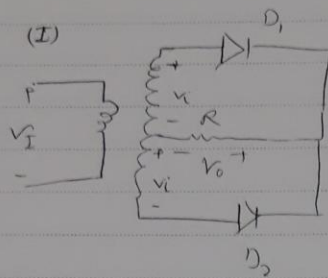
پیکو شده تمام موج به دو صورت تمام موج با ترانس به سر و تمام موج بدون

در مدار دیگر

$$PIV > V_m$$

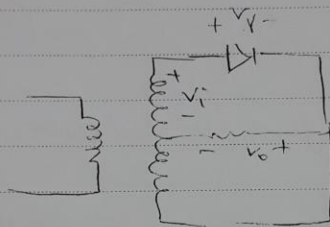
P4PCQ

این مدار یک سوچ با ترانزیستور است



(I)

1) $V_I > V_Y$



$$\Rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{on} \\ D_2 = \text{off} \end{cases} \Rightarrow V_O = V_I - V_Y$$

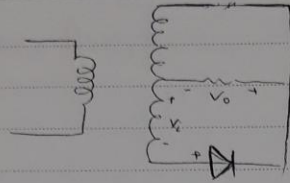
2) $-V_Y < V_I < V_Y \Rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{off} \\ D_2 = \text{off} \end{cases}$

3) $V_I < -V_Y \Rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{off} \\ D_2 = \text{on} \end{cases} \Rightarrow V_O = -V_I - V_Y$

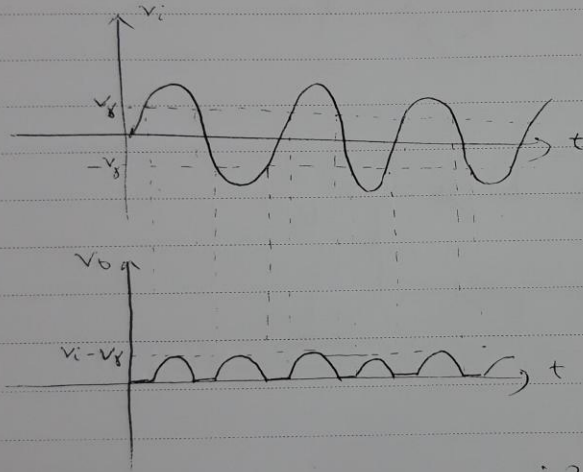
Subject:

Year: Month: Date: ()

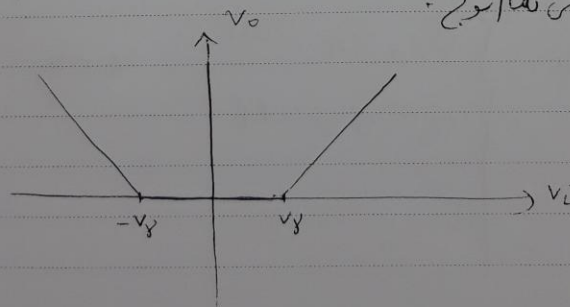
14



$$\begin{cases} v_i > V_Y \rightarrow v_o = v_i - V_Y \\ -V_Y < v_i < V_Y \Rightarrow v_o = 0 \\ v_i < -V_Y \Rightarrow v_o = -v_i - V_Y \end{cases}$$

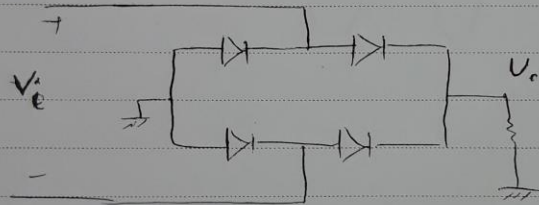
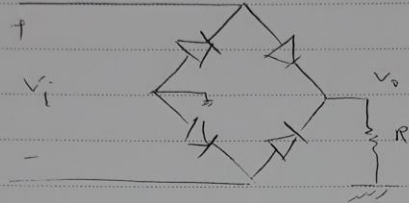
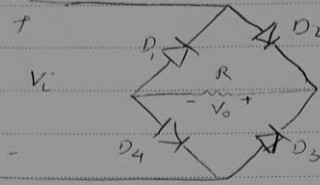


سحن سحنه انتقالي تها مروج :

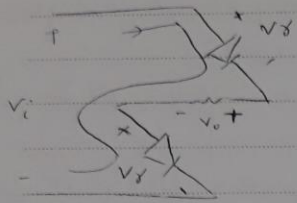


Subject, _____
 Year, _____ Month, _____ Date, _____

پیشرفتہ کا سرج مل :

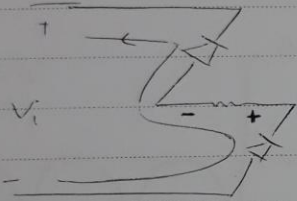


$$\text{If } V_i > 2V_f \quad \left\{ \begin{array}{l} D_2, D_4 = \text{on} \\ D_3, D_1 = \text{off} \end{array} \right. \quad V_o = V_i - 2V_f$$



$$2) \quad -2V_\gamma < V_i < 2V_\gamma \quad D_1, D_2, D_3, D_4 = \text{off} \Rightarrow V_o = 0$$

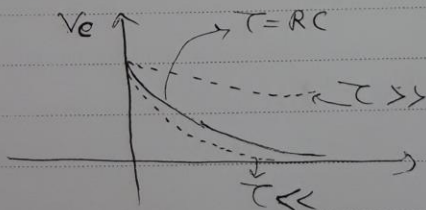
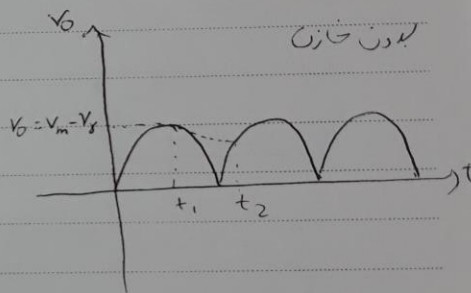
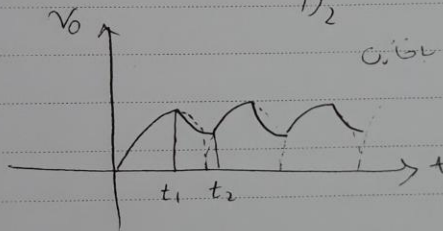
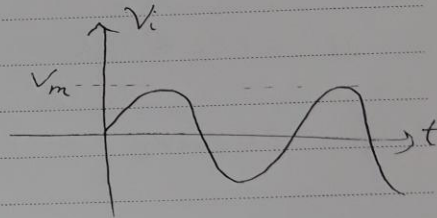
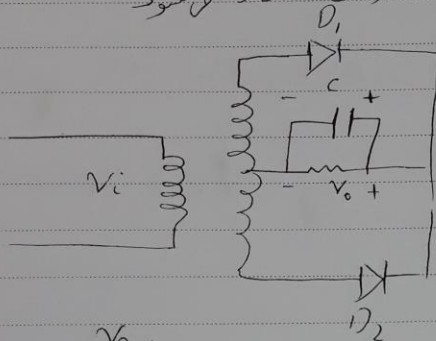
$$3) \quad V_i < -2V_\gamma \Rightarrow \begin{cases} D_1, D_3 = \text{on} \\ D_2, D_4 = \text{off} \end{cases} \Rightarrow V_o = -V_i - 2V_\gamma$$



$$\begin{cases} V_i > 2V_\gamma \Rightarrow V_o = V_i - 2V_\gamma \\ -2V_\gamma < V_i < 2V_\gamma \Rightarrow V_o = 0 \\ V_i < -2V_\gamma \Rightarrow V_o = -V_i - 2V_\gamma \end{cases}$$

Subject: _____
 Year: _____ Month: _____ Date: _____

استفاده از خازن صاف کننده. همان قدر که قبلاً دیدیم مدار بسوزاند
 ولتاژ 8m ورودی را به طرف خروجی برساند. این ولتاژ به طرف DC ولتاژ
 نزدیک شویم. خازن صاف به سلفات مقاومت استفاده می‌شود.



$$V_o(t) = V_o e^{-t/RC}$$

ماتریس به شکل هاین صفر تا t و ولتاژ ورودی افزایش پیدا کرده و خازن نیز شارژ
 می‌شود (از طریق D_1) تا آنکه ولتاژ آن به V_o برسد. برای لحظه ولتاژ ورودی

شروع به کاهش کرده و چون ولتاژ آند D_1 از کاتد آن کمتر می شود، D_1 خاموش

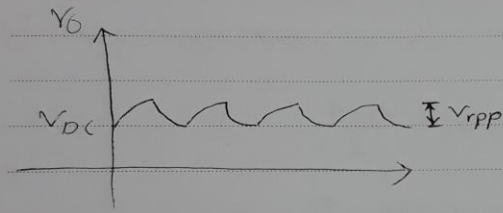
می شود (D_2 از ولت خاموش بود) بنابراین خروجی یک مدار RC دشارژ خواهیم

داشت که ولتاژ اولیه V_0 با ثابت زمانی RC از خازن به مدار دشارژ می شود تا اینکه

در لحظه t_2 ولتاژ ورودی از نظر انداز از ولتاژ خازن بیشتر نشود و D_2 روشن می شود

خازن دوباره شروع به شارژ شدن می کند تا دوباره ولتاژ آن به V_0 برسد و همین

چرخه تکرار خواهد شد



مقدار نوسانات ولتاژ خروجی V_rpp

مانند هر یک از ثابت زمانی بهر ترتیب منحنی های ولتاژ صافتر شده و مقدار این

ولتاژ کمتر خواهد شد و نتیجتاً ولتاژ این خروجی به DC نزدیک تر خواهد شد

$$V_C(t_2) = V_C(\min) = V_0 e^{-\frac{T}{2RC}} \quad \text{محاسبه ولتاژ } V_{DC} \text{ و } V_{rpp}$$

$$V_{rpp} = V_0 - V_C(\min) = V_0 - V_0 e^{-\frac{T}{2RC}}$$

$$e^{-x} \approx 1-x$$

Subject

Year Month Date ()

$$V_{rpp} = \frac{V_o T}{2RC}$$

$$\Rightarrow V_{rpp} = \frac{V_o}{2RCf}$$

$$V_{rpp} = \frac{I_{DC}}{2Cf}$$

$$V_{DC} = V_o - \frac{V_{rpp}}{2} \Rightarrow V_{DC} = V_o - \frac{V_o}{4RCf}$$

$$V_{DC} = V_o \left(1 - \frac{1}{4RCf}\right)$$

نکته: در کسوتها، اگر خروجی در روابط فوق به جای V_o ، $(V_{in} - V_{sat})$ قرار

می دهیم

در کسوتها، نیم موج در روابط فوق به جای $T/2$ ، T جایگزین شود

در روابط به صورت زیر خواهد بود

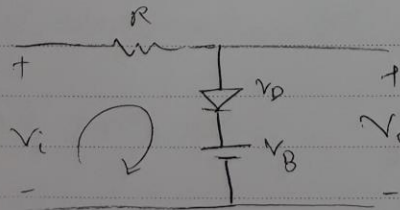
$$V_{rpp} = \frac{V_o}{RCf}$$

$$V_{DC} = V_o - \frac{V_{rpp}}{2}$$

$$V_{rpp} = \frac{I_{DC}}{Cf}$$

$$V_{DC} = V_o \left(1 - \frac{1}{2RCf}\right)$$

مدارهای برش گر Clipper، مدارهای هسند در زیر سطح و تار V_c به یاد



یا پایین را برش و دهند ①

$$-V_i + V_R + V_D + V_B = 0$$

$$\text{خرفی } D : \text{off} \rightarrow I_D = 0 \Rightarrow V_R = 0$$

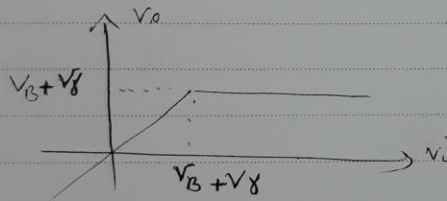
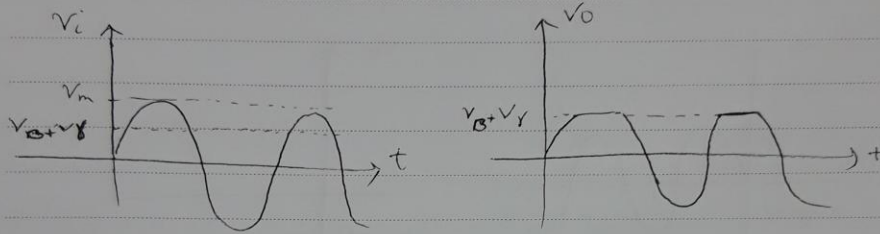
$$-V_i + V_D + V_B = 0$$

P4PCO

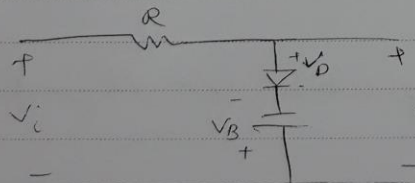
$$V_D = V_i - V_B$$

$$\text{if: } \begin{cases} V_D > V_Y \\ V_i - V_B > V_Y \end{cases} \Rightarrow D: \text{on} \quad V_o = V_D + V_B \Rightarrow V_o = V_B + V_Y$$

$$V_D < V_Y \left\{ \begin{array}{l} D: \text{off} \Rightarrow V_o = V_i \\ V_i - V_B < V_Y \Rightarrow V_i < V_B + V_Y \end{array} \right.$$



منحنی مشخصه انتقال:



(2)

$$-V_i + V_R + V_D - V_B = 0$$

فرض: $D: \text{off} \rightarrow I_D = 0 \rightarrow V_R = 0$

$$V_i + V_D - V_B = 0 \quad V_D = V_i + V_B$$

Subject:

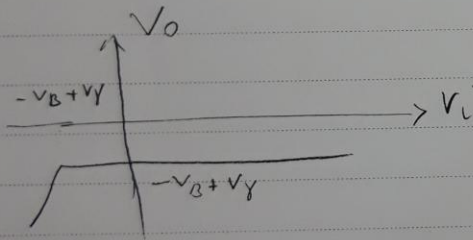
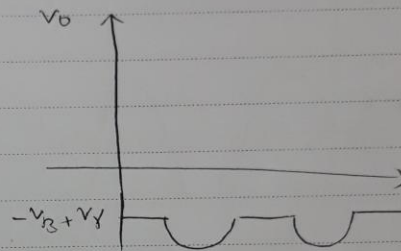
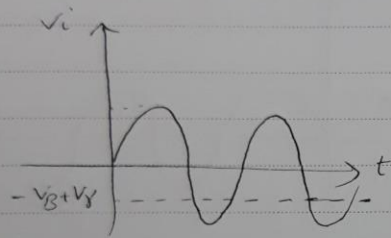
Year:

Month:

Date:

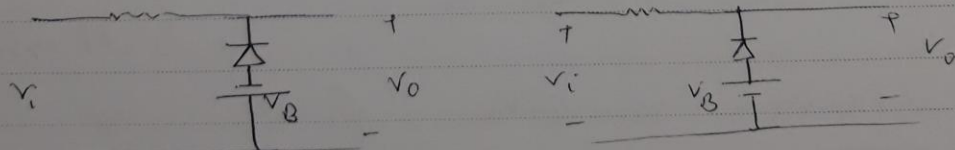
$$V_D > V_g = \begin{cases} D: \text{on} \Rightarrow V_O = V_B + V_g \\ V_i + V_B > V_g \Rightarrow V_i > -V_B + V_g \end{cases}$$

$$V_D < V_g \Rightarrow \begin{cases} D: \text{off} \Rightarrow V_O = V_i \\ V_i + V_B < V_g \Rightarrow V_i < -V_B + V_g \end{cases}$$

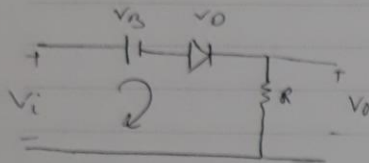


منحنی مشخصه انتقال :

تمرین: شکل موج بار خروجی مدارها را زیر بار بست آورید و منحنی ها را مشخص



چهار مدار به روش زیر ترسیم شده است. هر کدام را که می‌خواهید حل کنید و جواب را بنویسید.



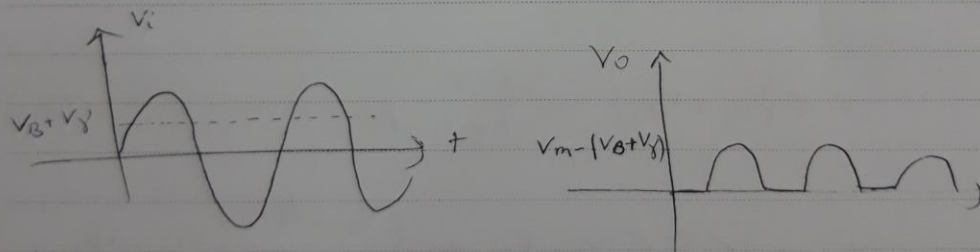
برای هر مدار به روش زیر وجود دارد

$$-V_i + V_B + V_D + V_R = 0$$

$$\text{If } D: \text{off} \Rightarrow V_R = 0 \Rightarrow V_i + V_B + V_D = 0 \Rightarrow V_D = -V_i - V_B$$

$$V_D > V_{\gamma} \Rightarrow \begin{cases} D: \text{on} \Rightarrow V_D = V_i - V_B - V_{\gamma} \\ V_i - V_B > V_{\gamma} \Rightarrow V_i > V_B + V_{\gamma} \end{cases}$$

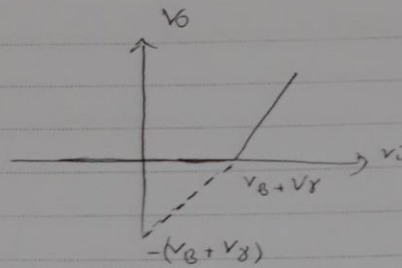
$$V_D < V_{\gamma} \Rightarrow \begin{cases} D: \text{off} \Rightarrow V_D = 0 \\ V_i - V_B < V_{\gamma} \Rightarrow V_i < V_B + V_{\gamma} \end{cases}$$



Subject: _____

Year: _____ Month: _____ Date: _____

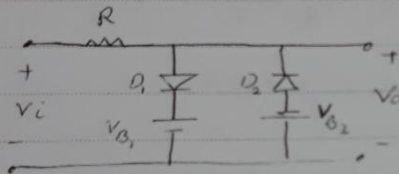
نخستین سطح انتقال:



تمرین: به حالت بعد از این نوع برش در حل کرده و شکل معادل خود را و مشخص

سطح انتقال آگاه را رسم کنید

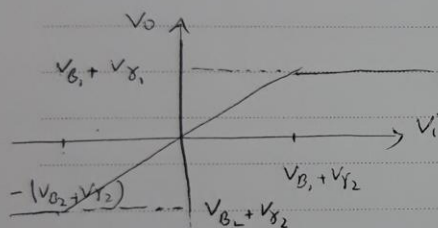
برش در لحظه



$$V_i > V_{B1} + V_{Y1} \Rightarrow \begin{cases} D_1 : on \\ D_2 : off \end{cases} \Rightarrow V_O = V_{B1} + V_{Y1}$$

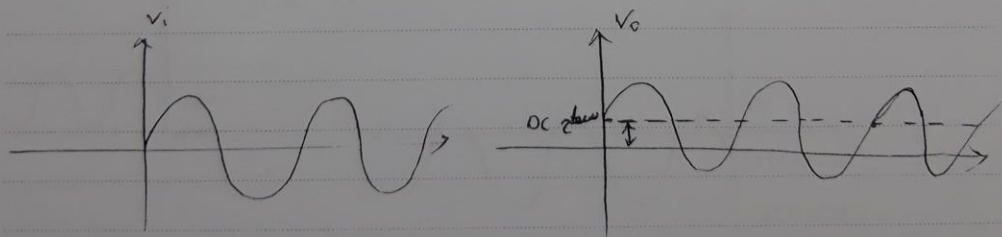
$$V_i < -(V_{B2} + V_{Y2}) \Rightarrow \begin{cases} D_2 : on \\ D_1 : off \end{cases} \Rightarrow V_O = -(V_{B2} + V_{Y2})$$

$$-(V_{B2} + V_{Y2}) < V_i < V_{B1} + V_{Y1} \Rightarrow \begin{cases} D_1 : off \\ D_2 : off \end{cases} \Rightarrow V_i = V_O$$



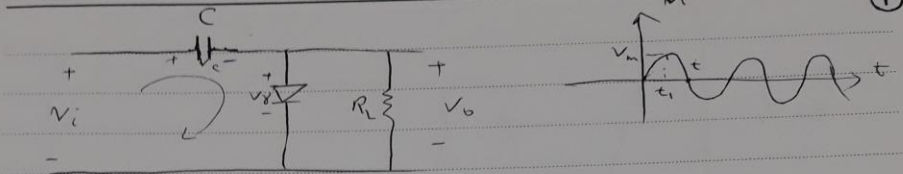
مدار دایره ای در این مدارها شکل موج ورودی را به باطن یا پائین حباب می کشد

سلف DC به و ولت اضافه می کند



Subject, _____

Year, _____ Month, _____ Date, _____



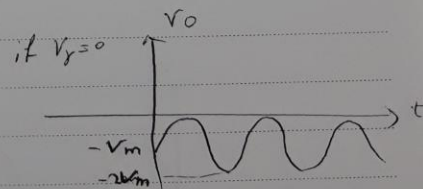
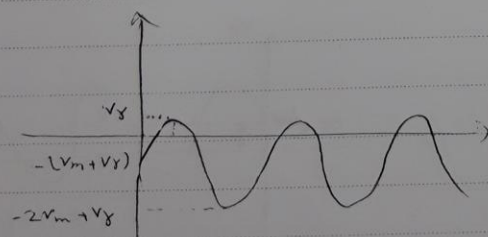
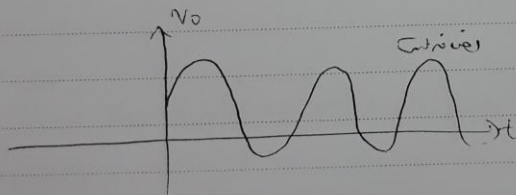
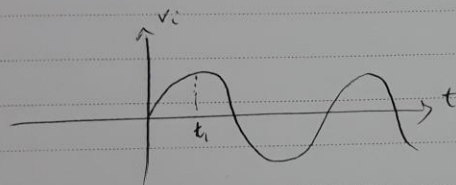
$$\text{KVL: } -v_i + v_C + V_\gamma = 0 \quad v_C = v_i - V_\gamma \Rightarrow v_C \geq V_m - V_\gamma$$

حالت شارژ تا مقدار $V_m - V_\gamma$ شارژ می شود

بعد از t_1 :

$$\text{KVL: } -v_i + v_{Cm} + v_o = 0$$

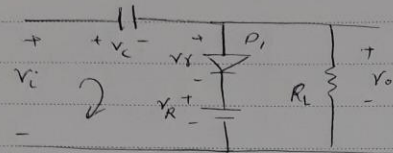
$$\Rightarrow v_o = v_i - v_{Cm} \Rightarrow v_o = v_i - (V_m - V_\gamma)$$



P4PCO

$$-V_m - (V_m + V_\gamma)$$

(2)



وقتی دیود هدایت می‌کند، خازن شارژ می‌شود و مقدار آن به صورت زیر است:

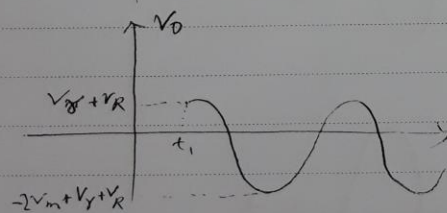
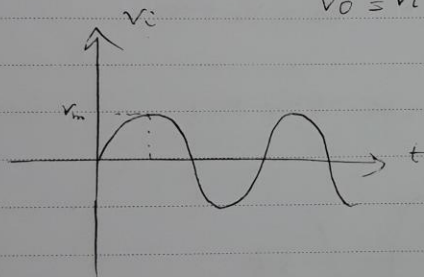
$$\text{KVL: } -v_i + v_C + v_D + v_R = 0 \rightarrow v_C = v_i - v_D - v_R$$

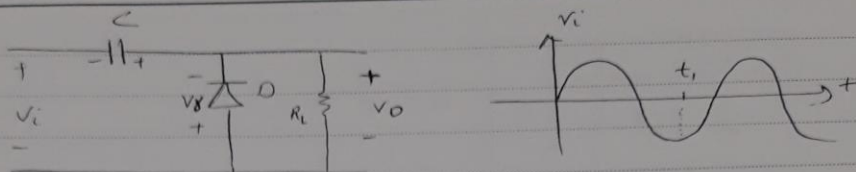
$$v_{Cm} = v_m - v_D - v_R$$

بعد از t_1

$$\text{KVL: } -v_i + v_{Cm} + v_D = 0 \rightarrow v_D = v_i - v_{Cm}$$

$$v_D = v_i - (v_m - v_D - v_R)$$





در t_1 خازن به مقدار حد اکثر خود شارژ شده است و مقدار آن به صورت زیر است

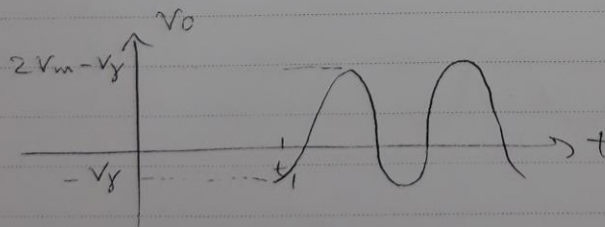
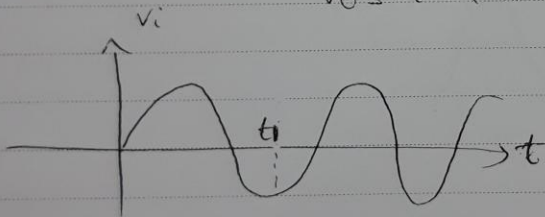
$$\text{KVL: } -v_i - v_c - v_Y = 0 \Rightarrow v_c = -v_i - v_Y$$

$$v_{cm} = v_m - v_Y$$

پس از t_1 ورود قطع بوده و v_o به صورت زیر خواهد بود

$$\text{KVL: } -v_i - v_{cm} + v_o = 0 \Rightarrow v_o = v_i + v_{cm}$$

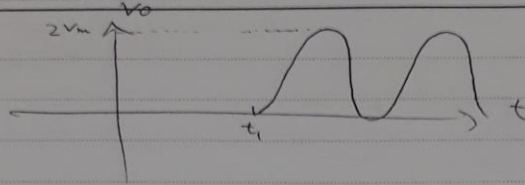
$$v_o = v_i + (v_m - v_Y)$$



Subject: _____

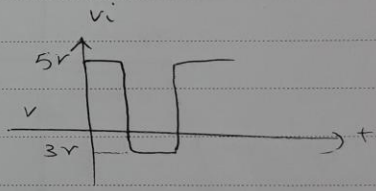
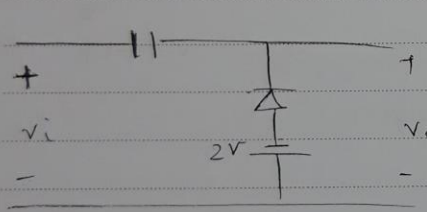
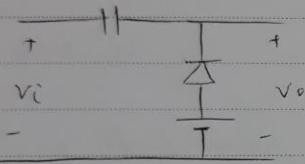
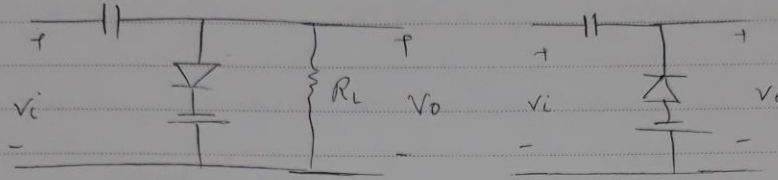
Year: _____ Month: _____ Date: _____

21

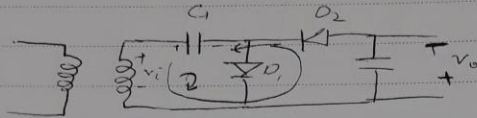


without V_s

قین



مدار دینامیک کننده ولتاژ:



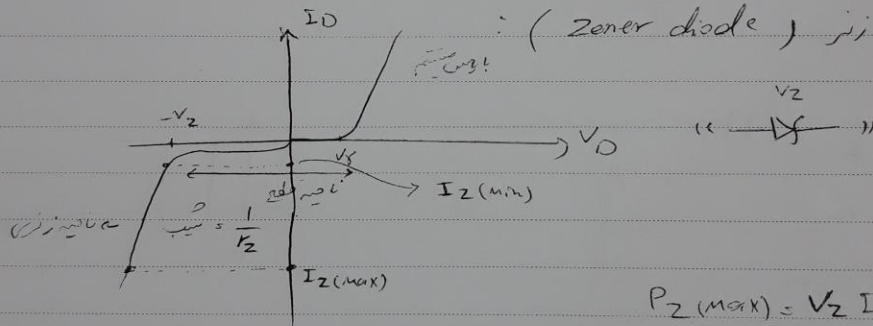
در نیم سیکل مثبت C_1 به ولتاژ V_m شارژ می‌شود (در هدایت D_1 نیست)

در نیم سیکل منفرجه C_2 به ولتاژ $2V_m$ شارژ می‌شود (در هدایت D_2 نیست قطع)

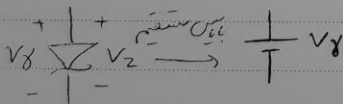
$$KVL: -v_i + v_{C1} - v_o = 0 \Rightarrow v_o = v_{C1} = -v_i + v_{C1}$$

$$v_o = V_m + V_m \Rightarrow v_o = 2V_m$$

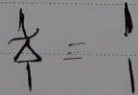
ویژگی (Zener diode):



$$P_{Z(max)} = V_Z I_{Z(max)}$$



$$\frac{1}{r_Z} V_Z = \frac{1}{r_Z} v$$



در نیم سیکل قطع مدار باز می‌باشد

در دیودهای زنر در بایاس معکوس وقتی ولتاژ زنر حدود ۷۰ تا ۸۰ ولت

پدید می آید و زنر اتفاق می افتد

تفاوت پدیده بهمن و زنر در این است که در پدیده بهمن زنر محدود حتما

های آلومینا با هم ها که در ناحیه تهر حاصل های جدیدی که در می شود و در

پدیده زنر مستقیماً میدان الکتریکی قوی ناحیه تهر برآمده ها می شود و در

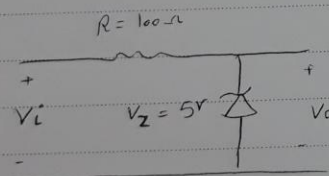
و حاصل های جدیدی که در می شود همچنین پدیده زنر در ولتاژهای زنر پایین

اتفاق افتاده (زنر ۶۷) و پدیده بهمن در ولتاژهای بالا اتفاق می افتد (بالای ۷۰)

مهمترین کاربرد دیود زنر در مدارات تنظیم کننده ولتاژ است

مثال: در مدار زیر ولتاژ خروجی و جریان دیود زنر در ولتاژهای ورودی ۶۷، ۳۷

و ۱۰۷ محاسبه کنید



۳۷: $V_i < V_Z$ $D: \text{off}$ $V_o = V_i = 37$

۵۷: $V_i > V_Z$ $D: \text{on}$ $V_o = V_Z = 5V \checkmark$

Subject

Year

Month

Date

$$I_2 = \frac{6-5}{100} = \frac{1}{100} = 10 \text{ mA} \checkmark$$

10V:

$$V_i > V_Z \Rightarrow D: \text{مفتوحة} \quad V_o = V_Z = 5 \text{ V}$$

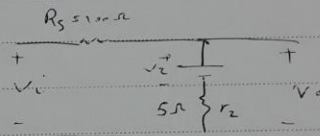
$$I_2 = \frac{10-5}{100} = \frac{5}{100} = 50 \text{ mA} \checkmark$$

مثال: مثال قبل بافرض r_z برابر 5 اهم داريم

3V:

$$D: \text{off} \Rightarrow V_o = V_i = 3 \text{ V}$$

6V: D: مفتوحة



$$\text{KVL: } -6 + R_s I_2 + V_Z + I_2 r_z = 0$$

$$I_2 = 9.52 \text{ mA} \checkmark$$

$$V_o = V_Z + r_z I_2 = 5 + 5 \times 9.52 \text{ m} \Rightarrow V_o = 5.0477 \text{ V}$$

10V => D: مفتوحة

$$-10 + R_s I_2 + 5 + 5 \times I_2 \Rightarrow I_2 = 47.6 \text{ mA} \checkmark$$

$$V_o = V_Z + r_z I_2 = 5 + 5 \times 47.6 \text{ mA} \Rightarrow V_o = 5.4 \text{ V} \checkmark$$

PAPCO

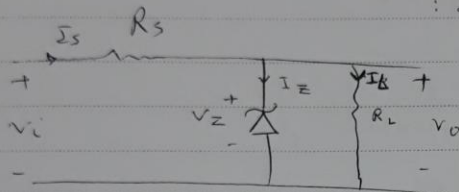
* ولتاژ خروجی دیود زنبر در ناحیه زنبر تقریباً ثابت است و با تغییر ولتاژ ورودی

تغییر نمی کند. توان خروجی دیود زنبر ولتاژ ثابتی نیست بنابراین توان بدست

ولتاژ AC به DC استفاده می شود به طوری که ولتاژ خروجی می شود شده بدین

مربوطه شده و دیود زنبر ولتاژ Ripple آن را کاهش می دهد

تنظیم کننده (رگوله تور) زنبر ساده :



$$I_S = \frac{V_i - V_o}{R_S} \approx \frac{V_i - V_Z}{R_S}$$

$$V_o = V_Z + I_Z R_Z = V_Z$$

$$I_S = I_Z + I_L \quad \Rightarrow \quad I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L}$$

حداقل: V_i تغییر و R_S و R_L ثابت

$$V_i(\max), V_i(\min) = ?$$

$$V_i = R_S I_S + V_Z$$

$$I_S = I_Z(\max) + I_L \quad \Rightarrow \quad V_i(\max) = R_S (I_Z(\max) + I_L) + V_Z$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

$$V_L(\min) = ?$$

$$V_L = R_S I_S + V_Z \rightarrow V_L(\min) = R_S (I_Z(\min) + I_L) + V_Z$$

$$I_S = I_Z(\min) + I_L$$

حالت دوم: تغییر R_L ، R_S و V_L ثابت

$$R_L(\min), R_L(\max) = ?$$

$$R_L = \frac{V_Z}{I_L}, \quad I_L = I_S - I_Z$$

$$\sqrt{R_L(\min)} = \frac{V_Z}{I_L(\max)} = \frac{V_Z}{I_S - I_Z(\min)}$$

$$\sqrt{R_L(\max)} = \frac{V_Z}{I_L(\min)} = \frac{V_Z}{I_S - I_Z(\max)}$$

حالت سوم: تغییر R_L ، V_L و R_S ثابت

$$R_L(\max), R_L(\min) = ?$$

$$R_L(\min) = \frac{V_Z}{I_L(\max)} = \left(\frac{V_Z}{I_S - I_Z(\min)} \right), \quad I_S = \frac{V_L(\min) - V_Z}{R_S}$$

$$R_L(\max) = \frac{V_Z}{I_L(\min)} = \left(\frac{V_Z}{I_S - I_Z(\max)} \right), \quad I_S = \frac{V_L(\max) - V_Z}{R_S}$$

$$I_L^{(\min)} = I_S - I_Z(\max)$$

$$P4PCO \quad I_L(\min) = \frac{V_L(\max) - V_Z}{R_S} - I_Z$$

حالت چهارم: V_i و R_L تغییر

$$R_S(\text{Max}), R_S(\text{Min}) = ?$$

$$R_S = \frac{V_i - V_Z}{I_S} = \frac{V_i - V_Z}{I_L + I_Z}$$

$$R_S(\text{Min}) = \frac{V_i(\text{Max}) - V_Z}{I_L(\text{Min}) + I_Z(\text{Max})}$$

$$R_S(\text{Max}) = \frac{V_i(\text{Min}) - V_Z}{I_L(\text{Max}) + I_Z(\text{Min})}$$

نکته: اگر یک مدار برای بار متغیر مقدار Min از Max بهتر است باشد

منبعی به مقادیر داده شده امکان خاص مدار وجود ندارد

نکته: در حالت خاص اگر مقدار Min و Max مساوی باشد نشان می دهد که فقط به

از این یک مقدار یعنی مدار درست خواهد بود و در عمل به خاطر خطای مقاوت ها

و V_Z و تغییرات در این حالت نیز عمل نخواهد بود

مثال: یک مدار تنظیم کننده ولتاژ زیر را در نظر بگیرید $V_Z = 4.8V$ و $I_{Z(\text{Min})} = 0.2mA$

استفاده می شود تا فرض $R_S = 1k\Omega$ و V_i حداقل و حداکثر R_L و $I_{Z(\text{Max})} = 8mA$

Subject: _____

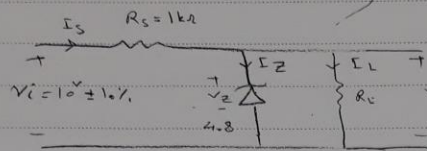
Year: _____

Month: _____

Date: _____

()

محدودیت تعیین کننده برای تغییرات V_i به اندازه 10٪ و توان خروجی برابر 4.8



$$V_i(\text{Min}) = 9\text{V}$$

$$V_i(\text{Max}) = 11\text{V}$$

$$R_L(\text{Min}) = \frac{V_Z}{I_{L\text{Max}}} = \frac{V_Z}{I_S - I_{Z(\text{Min})}}$$

$$I_S = \frac{V_i(\text{Min}) - V_Z}{R_S} = \frac{9 - 4.8}{1k} = 4.2\text{mA}$$

$$R_L(\text{Min}) = \frac{4.8}{(4.2 - 0.2)\text{mA}} \Rightarrow R_L(\text{Min}) = \frac{4.8}{4} = 1200\Omega$$

$$R_L(\text{Max}) = \frac{V_Z}{I_{L(\text{Min})}} = \frac{V_Z}{I_S - I_{Z(\text{Max})}} \Rightarrow I_S = \frac{V_i(\text{Max}) - V_Z}{R_S} = \frac{11 - 4.8}{1k} = 6.2\text{mA}$$

$$R_L(\text{Max}) = \frac{4.8}{6.2 - 5} = 4k\Omega$$

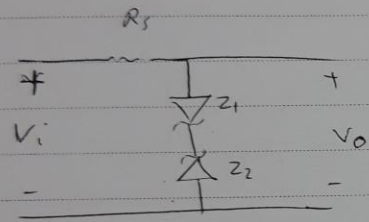
$$1.2k\Omega < R_L < 4k\Omega$$

if $R_L > 4k\Omega$ دیودس سوزد

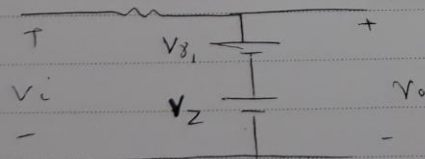
if $R_L < 1.2k\Omega$ محدودیت توان

با فرض اینکه $I_2(\text{max}) = 6.2\text{mA}$ (که در مدار به هم وصل است) $I_5(\text{max})$ است مقدار $R_1(\text{max})$ به نهایت دست فراتر از این نشان می دهد که اگر مقاومت R_1 از مدار خارج کنیم دیود زنر نخواهد سوخت و همه جریان I_5 می تواند از زنر عبور کند چون با $I_2(\text{max}) = 6.2\text{mA}$ از هم اسباب سوختن است (به علت حفاظت قطعات و تغییرات دما) بهترین است $I_2(\text{max})$ بهترین زنر 6.2mA انتخاب شود

مدار زیر در طرفه بار دیود زنر:



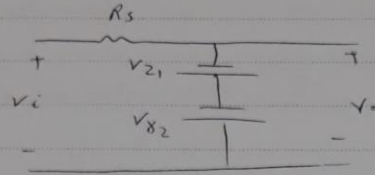
$$V_i > V_{Z1} + V_{Z2} \quad \left\{ \begin{array}{l} Z_1: \text{دیود مقبوض} \\ Z_2: \text{فایده زنر} \end{array} \right. \Rightarrow V_o = V_{Z1} + V_{Z2}$$



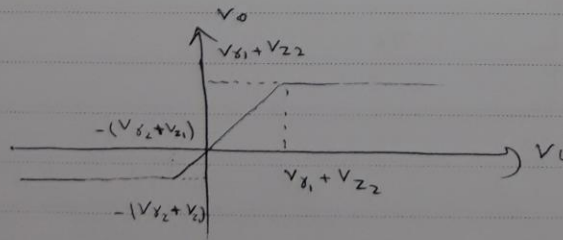
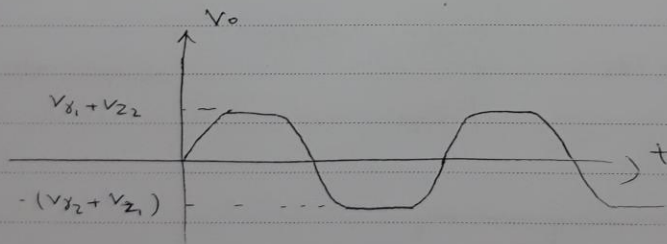
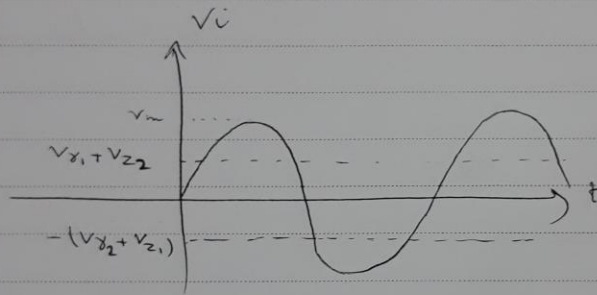
Subject:

Year: Month: Date:)

$$V_i < -(V_{Z2} + V_{Z1}) \Rightarrow \begin{cases} Z_2: \text{off} \\ Z_1: \text{on} \end{cases} \Rightarrow V_o = -(V_{Z2} + V_{Z1})$$

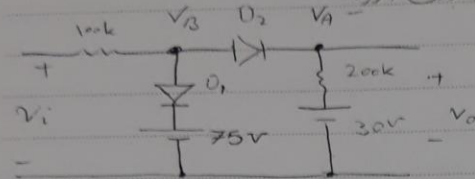


$$-(V_{Z2} + V_{Z1}) < V_i < V_{Z1} + V_{Z2} \quad \begin{cases} Z_1: \text{off} \\ Z_2: \text{off} \end{cases} \Rightarrow V_o = V_i$$



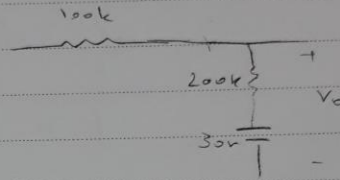
مثال: در ضمن مشخصه ی انتقالی مدار زیر به دست آورید

نموده های آال



$$V_i < 30 \Rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{off} \\ D_2 = \text{off} \end{cases} \Rightarrow V_o = 30$$

$$* \quad V_i > 30 \Rightarrow \begin{cases} D_2 = \text{on} \\ D_1 = \text{off} \end{cases}$$



$$V_o = \frac{V_i - 30}{300k} \times 200k + 30 = \frac{2}{3} V_i + 10$$

چون $V_A = V_B$ است پس

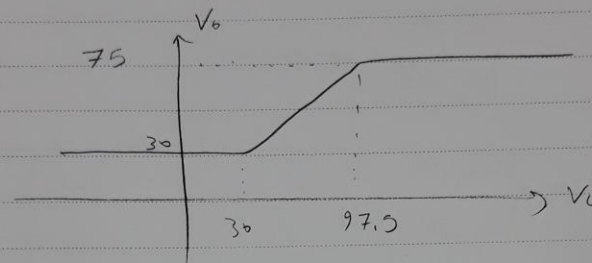
D_1 تا وقتی که روشن است که $V_o = 75$ باشد

$$V_o = 75 \quad \frac{2}{3} V_i + 10 = 75 \Rightarrow V_i = 97.5^*$$

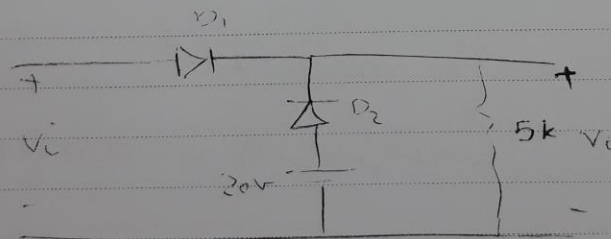
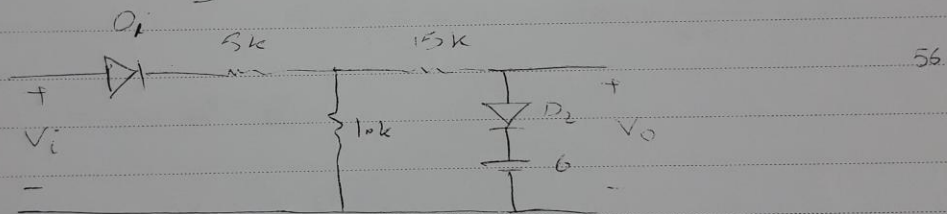
وقتی V_i به 97.5 برسد D_1 نیز روشن خواهد شد

$$V_i > 97.5 \Rightarrow \begin{cases} D_1 = \text{on} \\ D_2 = \text{on} \end{cases} \quad V_o = 75V$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_i < 30 \Rightarrow V_o = 30 \\ 30 < V_i < 97.5 \Rightarrow V_o = \frac{2}{3} V_i + 10 \\ V_i > 97.5 \Rightarrow V_o = 75 \end{array} \right.$$



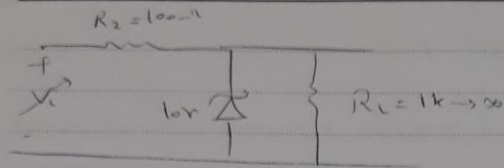
تمرین: مشخصات انتقال ولتاژ برای مدار زیر را بدست آورید.



Subject: _____

Year: _____ Month: _____ Date: _____

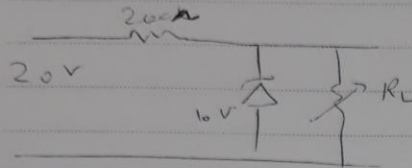
27



$$I_Z(\max) = 20 \text{ mA}$$

-2

$$V_o(\min) \text{ and } V_o(\max) = ?$$

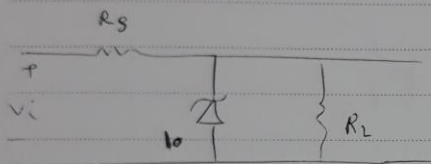


$$P_Z(\max) = 1 \text{ W}$$

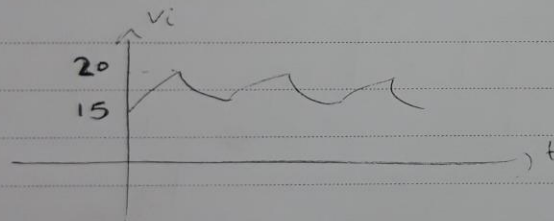
-3

$$I_Z(\min) = 2 \text{ mA}$$

$$R_L(\min), R_L(\max) = ?$$



$$I_L = 20 \text{ mA} \rightarrow 100 \text{ mA}$$



$$I_Z(\max) = 230 \text{ mA}$$

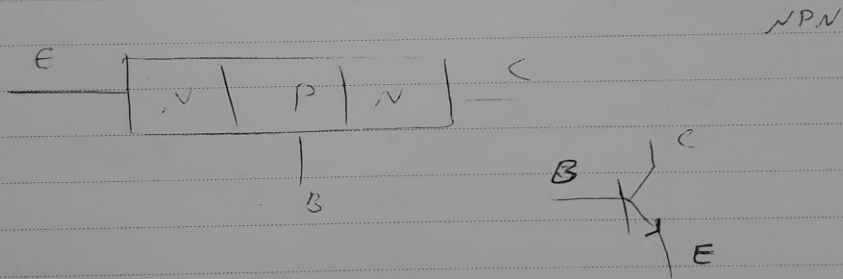
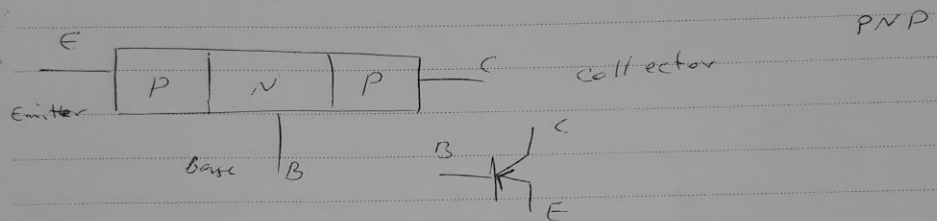
$$R_S(\min), R_S(\max)$$

فصل سوم: ترانزیستور دو قطبی بیونیس (BJT)

ترانزیستور دو قطبی بیونیس (BJT) یک قطعه نیمه هادی است

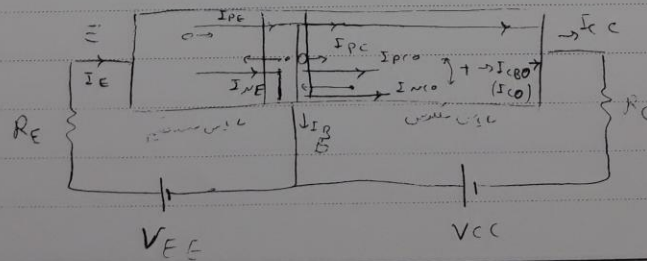
که از سه لایه نیمه هادی تشکیل می شود و برحسب قطب های الکتریکی

به دو دسته npn و pnp تقسیم می شود



تفاوت

در ترانزیستور PNP و NPN



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

$$I_E \geq I_{PE}$$

$$I_{NE} \ll I_{PE}$$

$$I_{PC} \leq I_{PE}$$

$$I_{CBO} = I_{PCO} + I_{NCO}$$

↓

جری / خروج

$$I_C = I_{PC} + I_{CBO}$$

مغروس C-B

$$I_{CBO} \ll I_{PC}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

* با توجه به شکل فرض بر این باشد که ورودی ورودی B-E ایست مستقیم

B-C

ایست و ورودی B-C ایست مستقیم است بنابراین خروجی

آنتی فیلد E به طرف B رانده می شود و آنتی فیلد B

به طرف E رانده می شود و آنتی فیلد A رانده می شود و آنتی فیلد B

آنتی فیلد E به طرف B رانده می شود و آنتی فیلد B

آنتی فیلد E به طرف B رانده می شود و آنتی فیلد B

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

آرایش در لایه و به سمت بالا در صورتی که در آن به سمت راست حرکت

می‌شود و فقط تعداد جفت‌ها که از آن به سمت راست در آن حرکت

خوب B در شود

همچنین به سمت بالا در صورتی که در آن به سمت راست حرکت

بین B و C جفت‌ها را می‌شمارد. کوچک I_{PC} و I_{BC} ایجاد می‌شود که در مجموع

جفت‌های مستقیم I_{BC} و I_{PC} در آن هستند. در این

حالت C مجموع I_{PC} و I_{BC} خواهد بود که I_{BC} قابل

مصرف خواهد بود

$$\gamma = \frac{I_{PE}}{I_E} \quad \text{بازده مصرف انرژی}$$

$$\alpha^* = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \leq 1 \quad \text{میزان اشتغال}$$

$$\alpha = \frac{I_{PC}}{I_E} \quad \text{میزان اشتغال}$$

$$\rightarrow I_{PC} = \alpha I_E \quad \alpha = \frac{I_{PC}}{I_E} = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \times \frac{I_{PE}}{I_E} = \alpha^* \gamma$$

Subject: _____

Year: _____

Month: _____

Date: _____

()

27

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

حقيق

$$I_C = \alpha I_E$$

تقريب

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$I_C \leq I_E$$

$$I_C = \alpha (I_C + I_B) + I_{CB0}$$

$$\Rightarrow I_C = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) I_B + \left(\frac{1}{1-\alpha} \right) I_{CB0}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

تقريب
 $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$

 $\beta \gg 1$ $\beta \approx 100$

$$1 + \beta = \frac{1}{1-\alpha}$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CB0}$$

$$\text{if } I_{CB0} = (1 + \beta) I_{CB0}$$

$$(I_C = \beta I_B + I_{CE0})$$

$$\Rightarrow (I_C = \beta I_B)$$

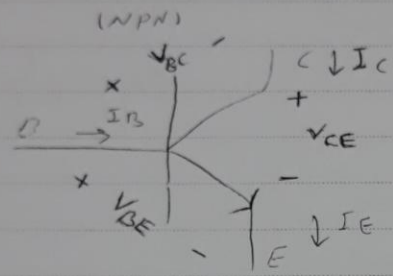
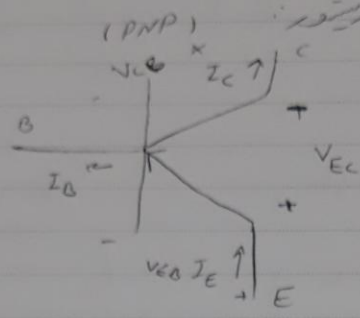
$$I_E = I_C + I_B = \beta I_B + I_B = (\beta + 1) I_B$$

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

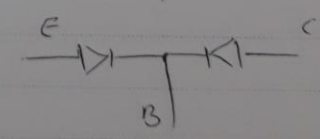
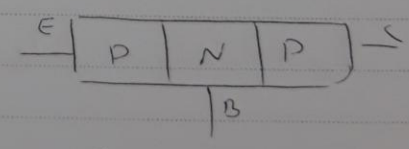
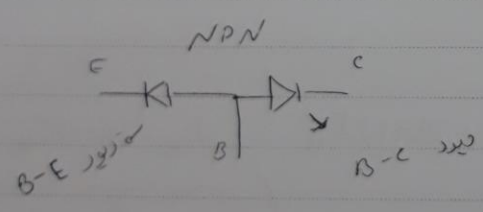
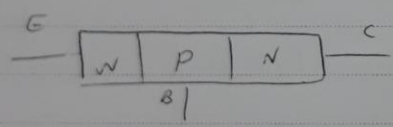
$$(I_E \approx I_B)$$

$$\left(\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \right)$$

جریانهای و ولتاژهای ترانزیستور:



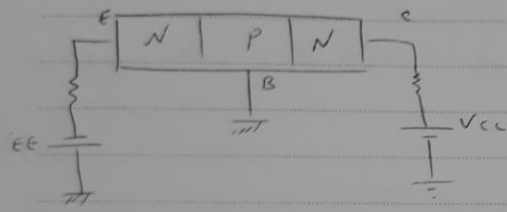
مدل معادل دیودی ترانزیستور



حالت های کاری ترانزیستور

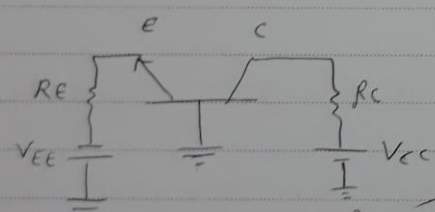
چون ترانزیستور سهان 2 دیود است پس بسته باینکه مستقیم یا معکوس بودن آنها چهار حالت مختلف برای ترانزیستور وجود دارد که لوازم چهار حالت فقط 3 حالت کاربرد دارد

1- حالت فعال



آر دیود B-E باین مستقیم

دریود B-C باین معکوس



شود ترانزیستور در حالت فعال

ترانزیستور در این حالت می تواند عمل تقویت کننده را انجام دهد
 (این حالت بهترین حالت نیز نامیده می شود)

* روابط مهم ترانزیستور در حالت فعال به صورت زیر است *

$$I_E = I_C + I_B \quad I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \approx \alpha I_E = I_E$$

Subject

Year

Month

Date

$$I_C = I_E$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO} \Rightarrow$$

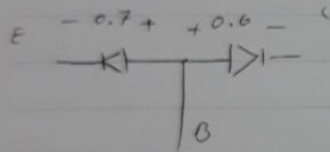
$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{BE} \approx 0.7 \text{ NPN}$$

$$(I_E = (1 + \beta) I_B) \Rightarrow \beta I_B \approx I_C$$

2. حالت اشباع Saturation

اگر هر دو دیود B-E و B-C بایک مستقیم شوند ترانزیستور در حالت اشباع قرار می‌گیرد.



$$V_{CE} \approx 0.1 \text{ V}$$

در حالت اشباع با توجه به شکل و تراز B-E و B-C به اندازه 0.7 ولت هستند.

ولت معکوس و تراز B-E حدود $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{2}$ ولت از تراز B-C بیشتر است.

به علت اختلاف پتانسیل بارها و ترازها (در حالت اشباع $V_{CE} = 0.2$ ولت هر دو دیود به

این تراز و تراز اشباع C-E گویند. $(V_{CE(sat)})$ در حالت اشباع

چون C-E تقریباً اتصال کوتاه است ترانزیستور مانند یک کلید بسته عمل می‌کند.

در مدارها، سوئیچینگ لزایم حالت ترانزیستور استفاده می‌شود.

رابط ترانزیستور در حالت اشباع

$$I_E \approx I_C + I_B, \quad I_E \approx I_C$$

$$V_{CE} \approx V_{CE(sat)} \approx 0.2 \text{ V}$$

$$V_{BE(sat)} \approx 0.3 \text{ V}$$

$$V_{BE(on)} \approx 0.7 \text{ V}$$

$$I_C \leq \beta I_B$$

3- حالت قطع

اگر هر دو دیود B-E و B-C بایک یکدیگر شوند ترانزیستور در حالت قطع

خواهد بود و تقریباً همه جریانهای ترانزیستور صفر خواهد بود (عقل جری)

اشباع یکدیگر I_{CB0} وجود دارند پس در این حالت ترانزیستور مانند یک دیود باز عمل

نمایند و در مدارهای سوئیچینگ استفاده می شود

4- حالت فعال یکدیگر

اگر دیود B-E بایک یکدیگر و یک کلکتور بایک مستقیم شود ترانزیستور در حالت

فعال یکدیگر می باشد و به علت افت مقادیر α و β نمی توان از محل تقویت

۱. انجام دهد و بنابراین این حالت ترانزیستور کاربرد دارد

نمونه‌های صفحه ترانزیستور

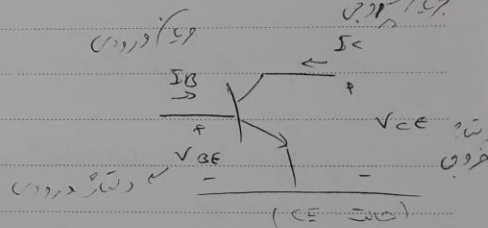
ترانزیستور در حالت هر سه حالت B مشترک (CB) ، E مشترک (CE) ،

(CC) C مشترک دارد و برای هر کدام از این حالتها به نوع نمونه صفحه

تعریف می‌شود که بهترین لین نمونه‌ها حالت E مشترک است

نمونه‌های صفحه ترانزیستور در حالت E مشترک
 Common Emitter

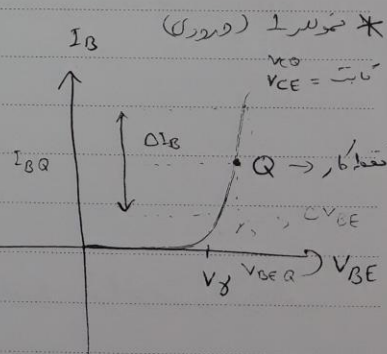
۱. نمونه صفحه ورودی
 ۲. ~ ~ ~ ~ ~
 ۳. ~ ~ ~ ~ ~



① $I_B = F(V_{BE}, V_{CE})$

② $I_C = F(I_B, V_{CE})$

③ $I_C = F(V_{CE}, I_B)$



مقاومت (سلفی) ورودی B-E $r_s = \frac{V_{BEQ}}{I_{BQ}}$

PAPCO

B-E مقاومت (نیاز) $r_{\alpha} \approx r_{\pi} \approx h_{ie} \approx \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \approx \frac{V_{BE}}{I_{BQ}}$

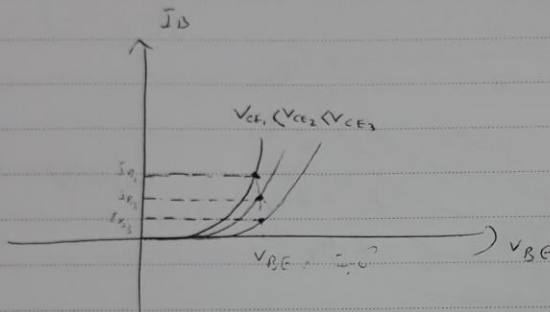
$$r_n = \eta \frac{V_T}{I_{BQ}} = \frac{V_T}{I_{BQ}} \Rightarrow$$

$$r_n = \beta \frac{V_T}{I_{CQ}}$$

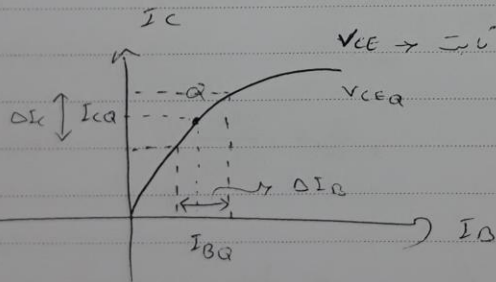
مختص مشخصه ورودی به صورت بار V_{CE} ثابت رسم می شود و در V_{CE} تغییر نمی یابد

مختص نیز تا حدی جابجایی می شود و با افزایش V_{CE} I_B کمتر می شود که به این اثر

در I_B اثر گفته می شود



مورد 2: انتقال



$$\beta_{dc} = h_{FE} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} \bigg|_{V_{CE} \rightarrow \text{ثابت}}$$

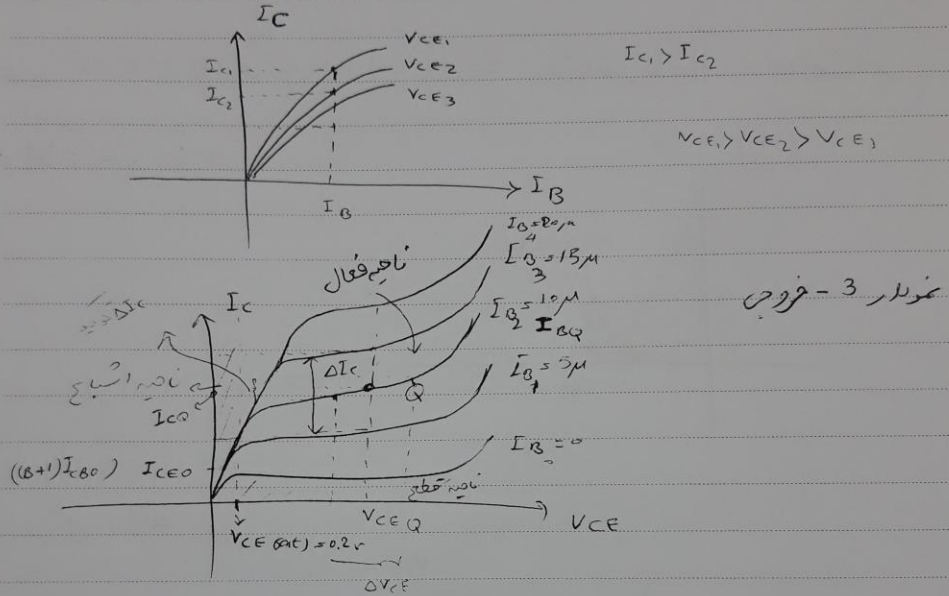
در I_B تغییر

$$\beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{dI_C}{dI_B}$$

$$(\beta_{dc} = \beta_{ac})$$

منحنی مشخصه انتقالی سهگانه برای V_{CE} ثابت رسم می شود زیرا با تغییرات

V_{CE} ثابت منحنی مشخصه ورودی این منحنی نیز تغییرات زیادی ندارد



نمودار 3 - خروجی

$$\beta_{DC} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}, \quad \beta_{AC} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \bigg|_{V_{CE} = \text{const}}, \quad \Delta I_B = I_{B3} - I_{B1}$$

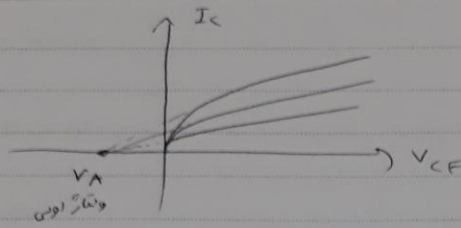
$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \bigg|_{I_B = \text{const}} = \frac{1}{m} \quad \text{شیب}$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

Subject:

Year: Month: Date: ()

33



P4PCO

Subject .

Year .

Month .

Date .

()

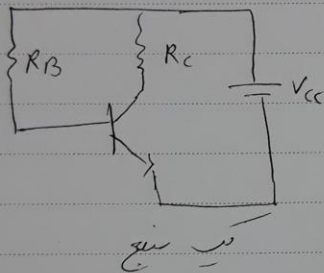
بایاس ترانزیستور

مدلر بایاس مدار است که ترانزیستور را در یک حالت خاص فعال - اشباع - قطع

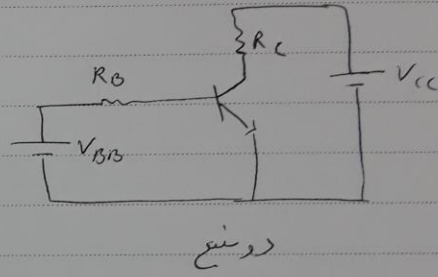
حرار می دهد

در این قسمت ابتدا مدلرهای بایاس فعال بررسی می شود

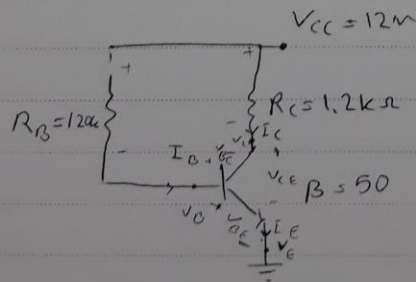
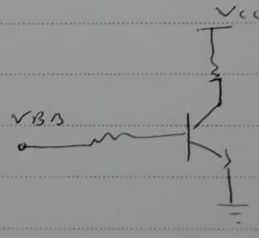
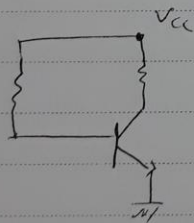
۱- مدلر بایاس مستقیم (تقریب ثابت)



تقریب



دو منبع



مثال:

 I_B, I_C, I_E, V_{CE}
 $V_C, V_B, V_E, V_{BE}?$

Subject:

Year. Month. Date. ()

34

$$\text{KVL } 1: V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{12 - 0.7}{120k} \Rightarrow I_B = 94 \mu A \quad \checkmark$$

$$I_C = \beta I_B \Rightarrow I_C = 50 \times 94 \mu A \Rightarrow I_C = 4.7 \text{ mA} \quad \checkmark$$

$$I_E = I_C \Rightarrow I_E = 4.7 \text{ mA} \quad \text{تقريباً}$$

$$I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = 4.794 \text{ mA} \quad \text{(دقيق)}$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B \Rightarrow I_E = 4.794 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = ?$$

$$\text{KVL } 2: V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} = 0$$

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

$$V_{CE} = 12 - 1.2k \times 4.7 \text{ mA} \Rightarrow V_{CE} = 6.36 \text{ V} \quad \checkmark$$

$$V_C = ?$$

$$\text{KVL } 1: V_{CC} - R_C I_C = V_C$$

$$V_C = 12 - 1.2k \times 4.7 \text{ mA} \Rightarrow V_C = 6.36 \text{ V} \quad \checkmark$$

$$V_B = ?$$

or we

$$\text{KVL } V_{CC} - R_B I_B = V_B$$

P4PCO

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

$$V_B = 12 - 120k \times 9.4\mu A \rightarrow \boxed{V_B = 0.7V}$$

$$\text{روشن و} \uparrow kV: 0 + V_{BE} = V_B \rightarrow V_B = V_{BE} \rightarrow \boxed{V_B = 0.7V}$$

$$V_E = 0$$

$$V_{BC} = ?$$

$$\text{روشن و} V_{BC} = V_B - V_C$$

$$V_{BC} = 0.7 - 6.36 \rightarrow V_{BC} = -5.66V$$

حالت نشی یعنی دیود B-C بایس می‌شود

روشن و

$$kV(2) \quad R_C I_C - V_{BC} - R_B I_B = 0$$

$$V_{BC} = R_C I_C - R_B I_B$$

$$V_{BC} = 1.2k \times 4.7mA - 120k \times 9.4\mu A$$

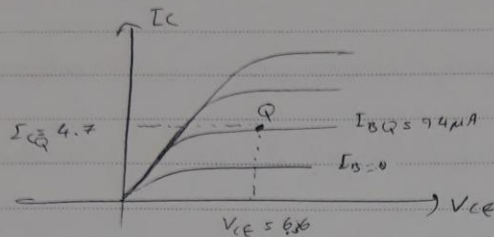
$$\boxed{V_{BC} = -5.66V} \quad \checkmark$$

به مقادیر α ، V_{CE} ، I_C ، I_B و V_{BE} نقطه کاری کوئید را برای این اعداد

یک نقطه ابر روی منحنی‌های سطح ترانزیستور تعیین کنند این

نقطه را C با Q نشان داده و هر یک مواقع مقادیر α ، V_{CE} ، I_C ، I_B و V_{BE}

مسئله: نمودار V_{CEQ} ، I_{BQ} ، I_{CQ} و V_{BEQ} نسبت به دما



* بررسی نقطه کار مدار بایک فوق (مستقیم) به β

$$I_C \uparrow = \beta I_B \quad V_{CE} \downarrow = V_{CC} - I_C R_C$$

با توجه به روابط فوق نقطه کار این مدار کاملاً وابسته به β است به همین علت

مدار بایک مذکور نسبت زیاد ممکن است با تغییرات β ترانزیستور، در حالت

مکان خارج شود یا بسوزد.

* وکتور Q به دما (T)

$$I_C \approx \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$

$$T \uparrow \Rightarrow \uparrow \text{ حتمی تغییر } \rightarrow I_{CBO} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow V_{CE} \downarrow$$

Subject :

Year :

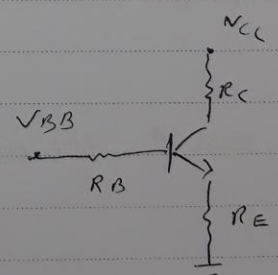
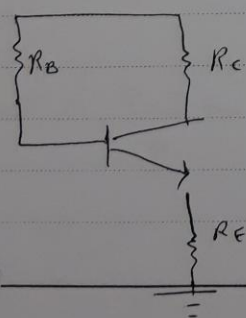
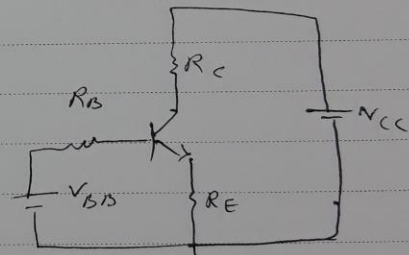
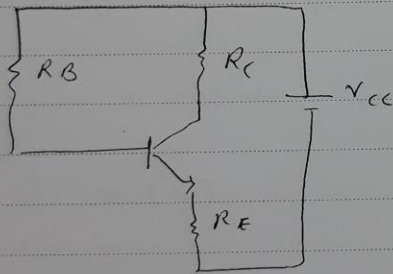
Month :

Date :

()

باتوجه به روابط نقطه کار کاملاً وابسته به دما است و یک حالت فیدبک مثبت ایجاد می شود یعنی با افزایش دما در اثر افزایش حامل های اقلیت که نیز زیاد شده و افزایش دما باعث افزایش دما می شود و در نتیجه ممکن است ترانزیستور به سوزن منابرین می یونیم نقطه کار این مدار نسبت به هر دلت با دیگر نیست باتوجه به وابستگی نقطه کار این مدار به β و دما از این مدار کمتر استفاده می شود

2- مدار بایاس مستقیم با سلف ویت ایست:



Subject, _____

Year, _____

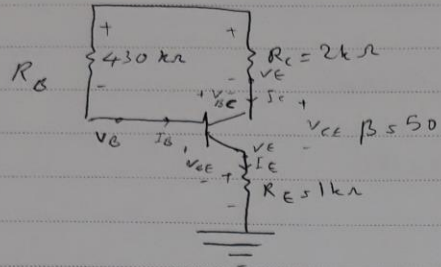
Month, _____

Date, _____

()

36

$$V_{CC} = 20V$$



$$I_B = ?$$

$$KVL: V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$$

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

$$V_{CC} - V_{BE} = R_B I_B + (1 + \beta) I_B R_E$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} \rightarrow I_B = \frac{20 - 0.7}{430k + (1 + 50)1k} \Rightarrow I_B = 40 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 40 \mu A \Rightarrow I_C = 2 mA$$

$$I_E \approx I_C \Rightarrow I_E = 2 mA$$

$$V_{CE} = ?$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

 I_C

$$\text{KVL: } V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} - R_E I_E \stackrel{I_C}{=} 0$$

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

$$V_{CE} = 20 - 2\text{m}(2\text{k} + 1\text{k})$$

$$V_{CE} = 14\text{V}$$

$$V_C = ?$$

$$\text{KVL: } V_{CC} - R_C I_C = V_C$$

$$V_C = 20 - 2\text{k} \times 2\text{m} \Rightarrow V_C = 16\text{V}$$

$$V_B = ?$$

$$\text{KVL: } V_{CC} - R_B I_B = V_B$$

$$V_B = 20 - 430\text{k} \times 40\mu \Rightarrow V_B = 2.7\text{V}$$

$$V_E = ?$$

$$\text{KVL: } 0 + V_E = R_E I_E = 2\text{V}$$

$$V_E = 2\text{V}$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = 2.7 - 16 \Rightarrow$$

$$V_{BC} = -13.3\text{V}$$

* بررسی ولت‌های نقطه کار مدار فوق به β و R_E

* ولت‌های Q به β

$$I_C = \beta I_B = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} \right)$$

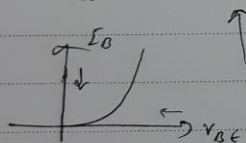
با توجه به رابطه فوق چون به رابطه I_C هم در صورت و هم در مخرج

فاکتور β است پس I_C یا β رابطه مستقیمی نخواهد داشت زیرا تا حدود

کمتر مدارها حساس هستند و ولتین مدار مثل مدار قبلی به β زیاد وابسته نیست

* ولت‌های به ها

$$T \uparrow \rightarrow I_{CO} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow V_E \uparrow \rightarrow V_{BE} \downarrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$$



feedback (-)

پس وجود مقاومت R_E در لاین مدار باعث ایجاد فیدبک منفی شده و نقطه کار مدار

بسیار نسبت به حرارت پایدارتر می‌شود

پس وجود R_E لاین مدار را ضد تغییر ولت‌ها به β و دما می‌کند و در تقویت

کننده ها از لاین مدار استفاده می‌شود

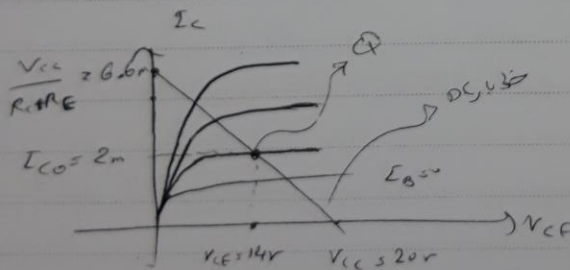
خط بار DC :

خط بار DC معادله‌ای است که نقطه کار روی آن مشخص می‌شود و ثابت است.
 V_{CC} ، R_C یا R_E این خط نیز ثابت می‌ماند و با تغییر R_B این خط ثابت بوده
 و فقط نقطه کار که محل تلاقی این خط با منحنی I_B است تغییر خواهد کرد.
 برای بدست آوردن معادله خط بار DC یک KVL در خروجی مدار می‌نویسیم و برای
 رسم آن لزوم مشخص کردن خروجی استفاده می‌کنیم.

معادله خط بار DC را قبل

$$KVL: V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} - R_E I_E = 0$$

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

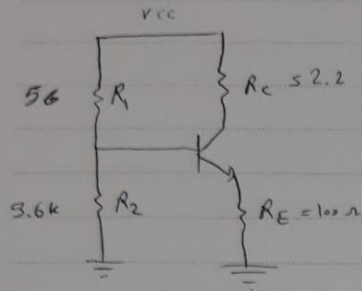


$$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

مدلر بائیل خود تقزیه (خود بائیل) self

نقشه :



$$\beta = 100$$

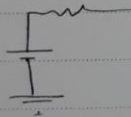
نقشه تقزیه :



$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 \approx 5.1k$$

$$V_{th} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_1$$

مدلر بائیل خود :



$$KVL: V_{th} - R_{th} \cdot I_B - V_{BE} - R_E \cdot I_E = 0$$

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

$$V_{th} - V_{BE} = I_B [R_{th} + (1 + \beta) R_E]$$

$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta) R_E} = \frac{1 - 0.7}{5.1 + (1 + 100) 0.1} \approx 2 \mu A$$

Subject: _____

Year: _____

Month: _____

Date: _____

* اگر R_{th} از $(1+\beta)R_E$ خیلی کوچکتر باشد از R_{th} صرف نظر کرد

$$I_C = \beta I_B = 0$$

$$I_C = 100 \times 20 \mu A = 2 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1+\beta)R_E}$$

* اگر $R_{th} \ll (1+\beta)R_E$ ، $B+1 \approx B$ پس I_C مستقل از B خواهد بود

$$R_{th} \leq \frac{1}{10} (1+\beta) R_E$$

$$R_2 \leq \frac{1}{10} \beta R_E$$

$$V_{CE} = ?$$

$$I_C$$

$$KVL: V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} - R_E I_E = 0$$

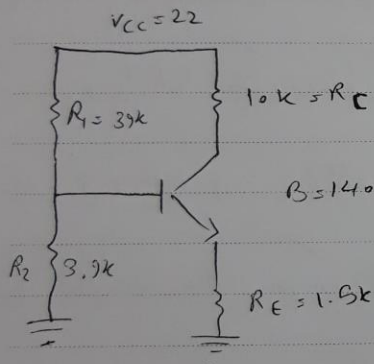
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_C = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 11 - 2 \text{ m} (2.2 \text{ k} + 0.1 \text{ k}) \Rightarrow V_{CE} = 6.4 \text{ V}$$

* روش تقریبی:

آرثری مستقل از β بودن در این مدار برقرار باشد مقدار این است که جریان
 بین در برابر جریان I_2 قابل صرف نظر است و می توان بین مدار باز و مجاز
 در نظر گرفت در این صورت R_1 و R_2 سری خواهند و می توان به راحتی با
 استفاده از تقسیم ولتاژ V_B را محاسبه کرد و ولتژی آن بقیه پارامترها را

محاسبه کرد



بررسی شرط مستقل از β یا شرط تقریب

$$R_2 \leq \frac{1}{10} \beta R_E$$

$$3.9k \leq \frac{1}{10} \times 140 \times 1.5k$$

بین شرط برقرار است

$$V_{R_2} = V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = 22 \frac{3.9k}{(3.9 + 39)k} \Rightarrow V_B = 2V$$

$$V_{BE} = V_B - V_E \Rightarrow V_E = V_B - V_{BE} \Rightarrow V_E = 2 - 0.7 = 1.3V$$

$$I_E \approx \frac{V_E}{R_E} \Rightarrow I_E = \frac{1.3}{1.5k} \Rightarrow I_E = 0.87mA$$

Subject:

Year: Month: Date: ()

$$I_C = 0.87 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 22 - 0.87 \text{ mA}(10 \text{ k} + 1.5 \text{ k})$$

$$V_{CE} = 12.2 \text{ V}$$

تمرین: در مدار قبلی (2) تغییرات نقطه کار برای $\beta = 100$ نسبت به $\beta = 150$ حل کرد
و بررسی کنید که نقطه کار به β وابسته است یا نه.

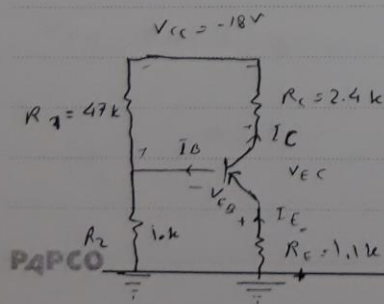
تمرین: مثال فوق را با β نامعلوم تقریباً حل کنید. مقادیر دقیق $\beta = 140$ و $\beta = 200$
حل: کرده و نشان دهید که نقطه کار به β وابسته نیست.

* پس لین مدار بایس (self β) در صورت برقراری شرط مستقل از β می باشد

معمولاً مقاومت R_E خازن یک سلفی عمل کرده و نقطه کار نسبت به درامایدار

مکان و مقاومت حرارتی نامیده می شود

$$T \uparrow \rightarrow I_{CO} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow V_E \uparrow \rightarrow V_{BE} \downarrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow \rightarrow T \downarrow$$



مثال: مدار بایس مستقل از β با ترانزیستور PNP

$$\beta = 120$$

$$I_C \text{ و } V_{CE} \text{ ؟}$$

$$R_{th} \leq \frac{1}{10} \beta R_E \Rightarrow 47k \parallel 10k \leq \frac{1}{10} \times 120 \times 10k$$

$$8.24k \leq 13.2k \quad \text{پس شرط برقرار است}$$

$$V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_B = -18 \frac{10k}{10k + 47k} \Rightarrow V_B = -3.16$$

NPN بائین کترز باه

PNP بائین کترز باه

$$V_{EB} = V_E - V_B \Rightarrow V_E = V_{EB} + V_B = -3.16 + 0.7 = -2.46$$

$$I_E = ?$$

$$0 - R_E I_E = V_E \Rightarrow I_E = \frac{-V_E}{R_E} \Rightarrow I_E = \frac{2.46}{1.1k} = 2.23 \text{ mA}$$

$$I_C = 2.23 \text{ mA}$$

$$V_{EC} = ?$$

$$\uparrow \text{ kvl: } 0 - R_E I_E - V_{EC} - I_C R_C = V_{CC}$$

↓

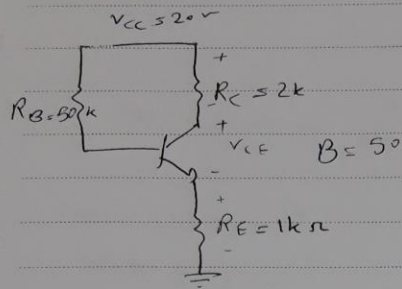
$$\downarrow \text{ kvl: } V_{CC} + R_C I_C + V_{EC} + R_E I_E = 0$$

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

Subject:

Year: Month: Date: ()

$$V_{EC} = 18 - 2.23m(1.1k + 2.4k) \rightarrow V_{EC} = 10.2v$$



اسباع ترانزیستور:

$$I_E = I_C + I_B$$

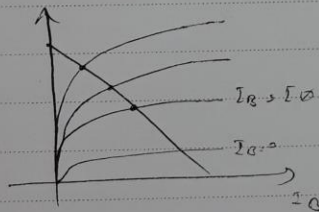
$$V_{BE} = 0.7$$

روابط اسبغ:

$$I_C \approx \beta I_B$$

$$I_E = I_C$$

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2v$$



$$I_C(sat) = ?$$

$$I_C(sat)$$

?

$$V_{CC} - R_C I_C(sat) - V_{CE(sat)} - R_E I_E(sat) = 0$$

$$I_C(sat) = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C + R_E} = \frac{20 - 0.2}{2k + 1k} = 6.6m$$

P4PCO

$$I_B = ?$$

$$KVL: V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_{E(sat)} = 0$$

$$I_B = 250 \mu A$$

* بررسی مقدار اشباع

$$I_C \leq \beta I_B$$

$$6.6 \text{ mA} \leq 50 \times 250 \mu A$$

$$6.6 \text{ mA} \leq 12.5 \text{ mA}$$

مکانی که مقدار فوق حدی مقدار R_B را تعیین کند. مقدار در حالت اشباع

$$I_C(sat) = 6.6 \text{ mA}$$

کانه

$$I_C = \beta I_B$$

(فقط در مرز بین منطقه اشباع و منطقه فعال است) در مرز فعال و اشباع

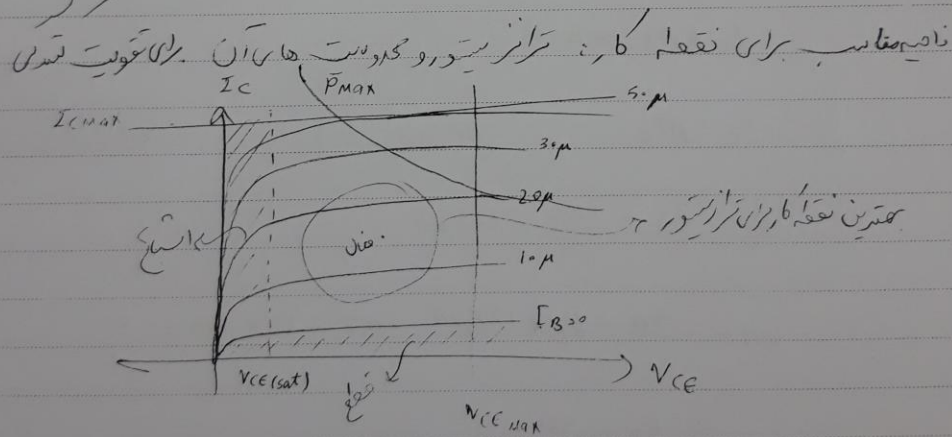
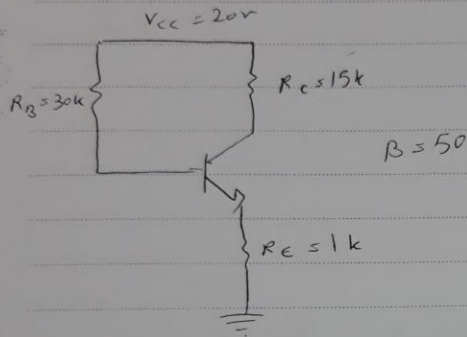
$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{6.6 \text{ mA}}{50} = 132 \mu A$$

$$KVL = 20 - R_B \times 132 \mu A - 0.7 - 1 \text{ k} \times 6.6 \text{ mA} = 0$$

$$\Rightarrow R_{B_{MAX}} = 96 \text{ k}$$

96k منجر به اشباع و فعال است از 96k بیشتر اشباع می شود

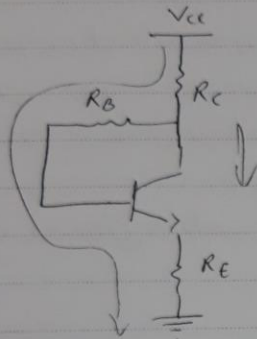
* اگر در مدارک فعال یا اشباع بودن معلوم نباشد مدلول ما فرض فعال می‌کنیم و
 V_{CE} و محاسبه می‌کنیم اگر مقدار آن منفی بدست آید فرض فعال نیست بوده
 و باید بارش اشباع آن را حل کنیم



محاسبه توان ترانزیستور: $P_{max} = V_{CE} I_C + V_{BE} I_B$

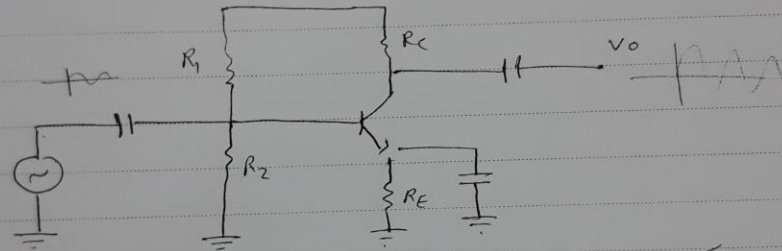
$$\Rightarrow P_{Cmax} = V_{CE} I_C \Rightarrow I_C = \frac{P_{Cmax}}{V_{CE}}$$

مدیر بایک اتوماتیک (فیدبک، سنسور):



تقویت کننده های ترانزیستور BJT و تحلیس DC

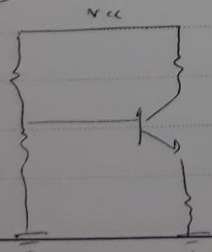
همان طور که در فصل قبل دیدیم ترانزیستور در حالت فعال محل تقویت کننده می باشد و در خروجی آن ولتاژ و جریان بزرگتری نسبت به ورودی دارد. این ولتاژ و جریان بزرگتر با استفاده از بارهای خروجی ترانزیستور در حالت فعال قرار می دهند. حال اگر سیگنال از طریق یک خازن به مدار داده شود مدار می تواند آن را تقویت کرده و سیگنالی با دامنه بزرگتر در خروجی تولید کرده به این مدارات تقویت کننده گفته می شود.



برای تحلیل تقویت کننده حوضه تحلیس وجود دارد تحلیس DC و تحلیس AC

تحلیس DC تقویت کننده ها:

برای تحلیس DC یک تقویت کننده خازن ها را مدار باز کرده و منابع AC



مدار فعال DC
 تقویت کننده

صفحه ششم

در تحلیل DC بیشتر دنبال نقطه کار بوده و می خواهیم لزوماً آن را با مدارها

AC تقویت شده را محاسبه کنیم

کل AC تقویت شده:

برای تحلیل AC یک تقویت شده مدار مدار AC آن را بدست می آوریم

که برای این کار، خازن ها را اتصال کوتاه کرد و منابع DC را حذف کنیم.

(منابع و تبار اتصال کوتاه و منابع جریان مدلی را) بدست آوردن مدار مدار

AC یک تقویت شده به جای ترانزیستور، نیز مدار مدار AC آن را قرار

می دهیم

در تحلیل AC تقویت شده ها بیشتر دنبال بهره و تبار $A_v = \frac{v_o}{v_i}$

و بهره و جریان $A_i = \frac{I_o}{I_i}$ و امپدانس ورودی $Z_{in} R_i = \frac{v_i}{I_i}$

امپدانس خروجی $Z_o R_o = \frac{v_o}{I_o}$ هستیم.

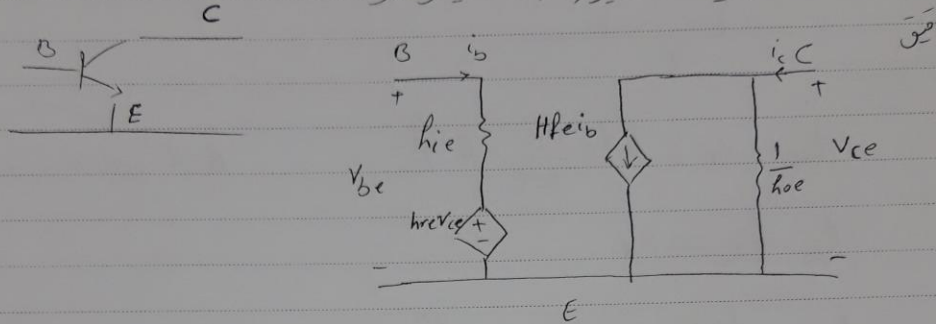
Subject, _____

Year, _____ Month, _____ Date, _____ ()

PAPCO

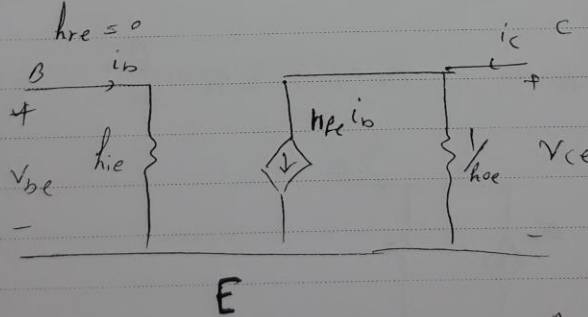
در حالت AC رانده شود:

* در مدار هیبرید ترانزیستور در حالت آمپتر میزن:

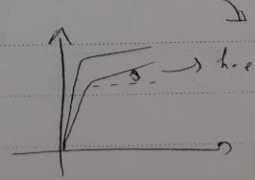


$$\begin{cases} V_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} V_{ce} \\ i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} V_{ce} \end{cases} \quad \begin{bmatrix} V_{be} \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{ie} & h_{re} \\ h_{fe} & h_{oe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_b \\ V_{ce} \end{bmatrix}$$

در حالت تقریب:



$$h_{oe} = \frac{1}{r_o} \Rightarrow \frac{1}{h_{oe}} = \infty$$



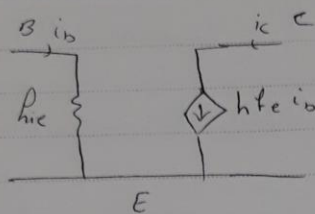
Subject:

Year:

Month:

Date:

()



$$h_{ie} = r_{\pi} = h_{fe} \frac{V_T}{I_{CQ}} = \beta \frac{V_T}{I_{CQ}}$$

مقاومت دینامیک B-E

$$h_{fe} = \beta_{ac} = \beta_{dc}$$

$$h_{oe} = \frac{I_{CQ}}{V_A} \Rightarrow \frac{1}{h_{oe}} = r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}}$$

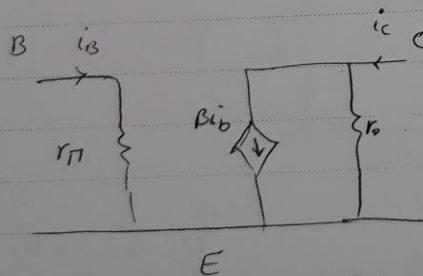
$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \quad \text{مقاومت انتقال}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_{CQ}} \quad \text{مقاومت اِمیتر}$$

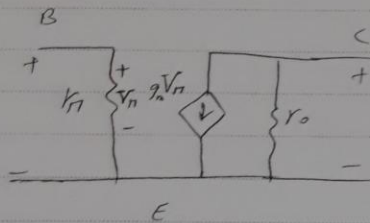
$$h_{ie} = h_{fe} \cdot r_e \quad r_{\pi} = \beta r_e \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_e = \frac{1}{g_m}$$

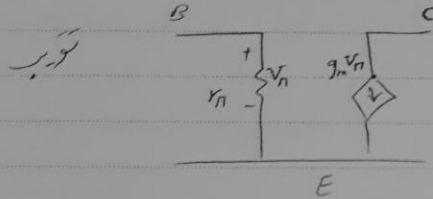
$$r_e = \frac{r_{\pi}}{\beta}$$



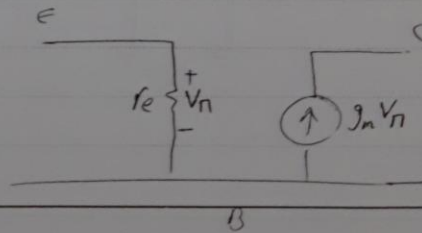
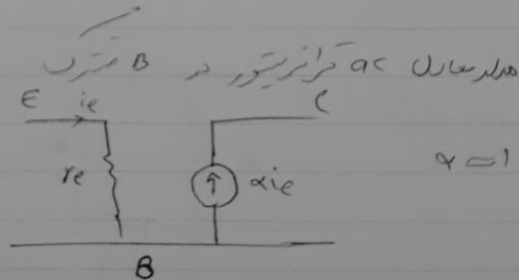
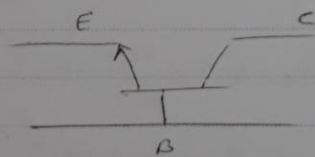
مدل معادل هیبرید:



$$g_m V_n = g_m i_b r_n = \beta i_b$$



* مدل معادل هیبرید ترانزیستور در تقویت کننده های C مترن نیز قابل استفاده است. (در برای بی مترن کاربرد معادل تقریبی شکل زیر استفاده می شود):

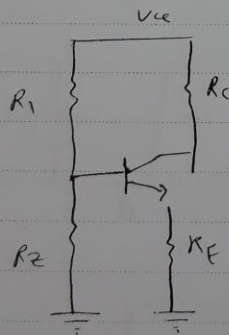
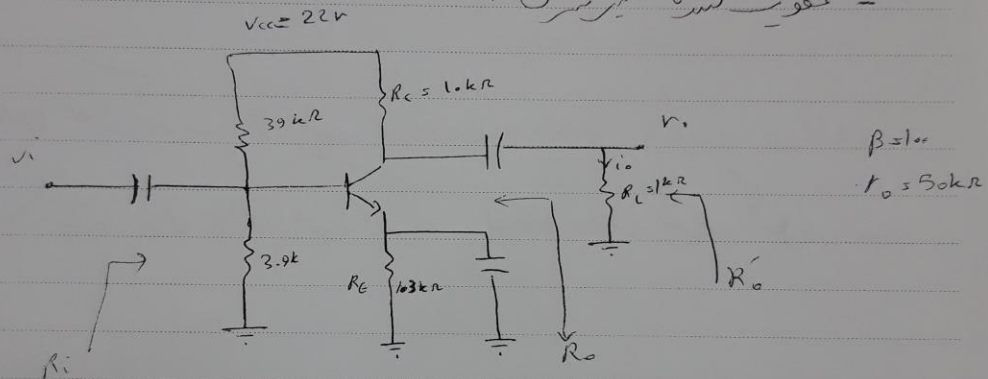


انواع تقویت کننده ها:

(CE) مشترک
 (CB) مشترک
 (CC) مشترک

حفظ

- تقویت کننده امپدانس:



فیلد

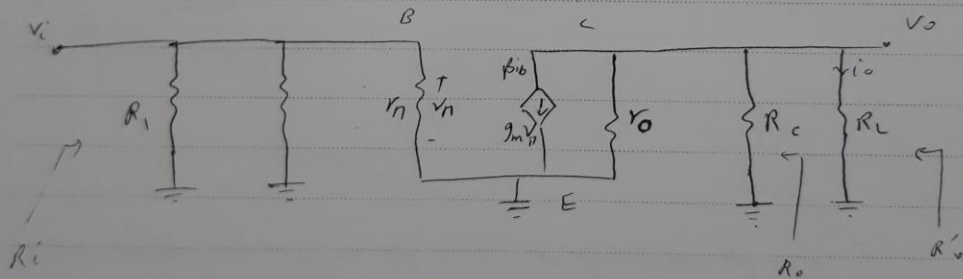
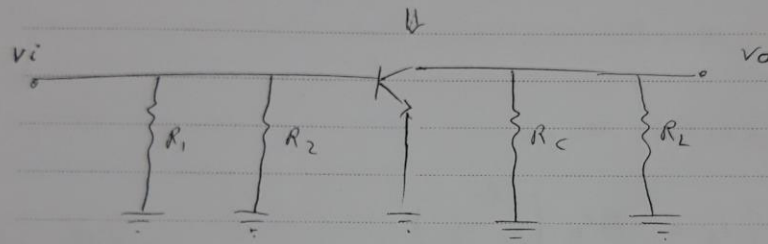
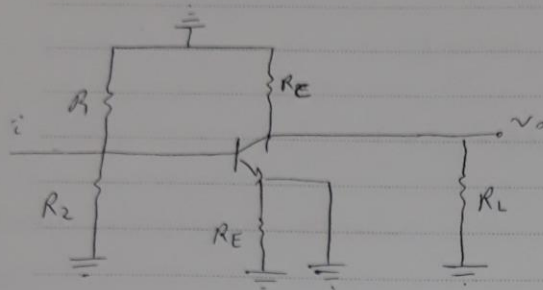
$$h_{ie} \approx r_{\pi} = \beta \frac{V_T}{I_C} = 100 \times \frac{25}{1m} \approx 2.5k\Omega$$

$I_C = 1mA \Rightarrow r_{\pi} = 2.5k\Omega$

$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} \Rightarrow g_m = 40mS$

AC MS

ac circuit



sp. A.V. $A_V = \frac{v_o}{v_i}$

$$v_o = -g_m v_{\pi} (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

$$v_i = v_{\pi}$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

$$A_v = -g_m (r_o \parallel R_c \parallel R_L)$$

$$r_o \gg A_v = -g_m (R_c \parallel R_L)$$

$$= -40 \text{ m} (1.0 \text{ k} \parallel 1 \text{ k}) = -36.36$$

اختلاف فاز در ورودی و خروجی 180° است

$$\text{تقویت منفی: } A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

$$r_o = \infty$$

$$\begin{cases} i_o = -\beta i_b \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right) \\ i_b = i_i \left(\frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_{\pi}} \right) \end{cases}$$

$$\Rightarrow i_o = -\beta i_i \left(\frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_{\pi}} \right) \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$A_i = -\beta \left(\frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + r_{\pi}} \right) \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$= -50.36$$

* پس تقویت کننده E سرب هم داشته تقویت کننده هم جی

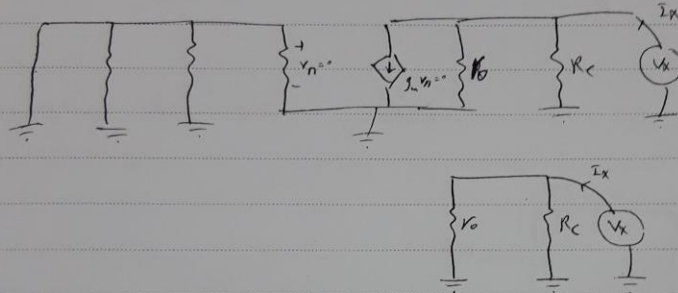
$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_i (R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi})}{i_i}$$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi}$$

$$\text{if } R_2 \gg r_o \Rightarrow R_i = R_2 \parallel r_o$$

$$R_i = 1.38 \text{ k}\Omega$$

$$\text{for } R_o = \frac{V_X}{I_X} \Big|_{V_{in}=0}$$



$$V_X = I_X (r_o \parallel R_c)$$

$$R_o = r_o \parallel R_c$$

$$\Rightarrow r_o \gg R_c$$

$$R_o \approx R_c$$

$$\Rightarrow R_o = 10 \text{ k}\Omega$$

این در تقویت کننده آمپلی فایر (میدانهای ورودی و خروجی مقدار متوسط دارند) (در هر چند لایه ۱۵۰)

$$R_o' = R_o \parallel R$$

$$R_o' = r_o \parallel R_c \parallel R_L$$

$$\Rightarrow r_o \gg R_c$$

$$R_o' \approx R_c \parallel R_L$$

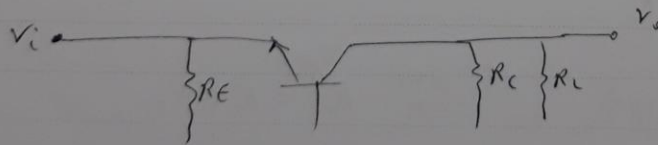
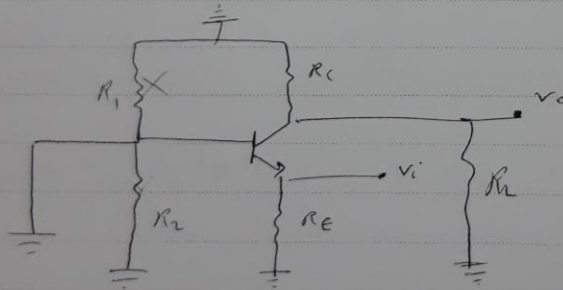
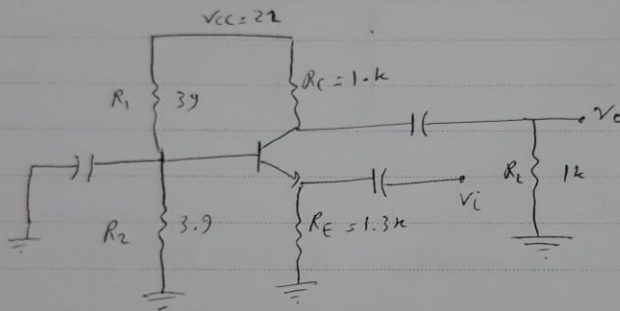
* سوالات در کلاس *

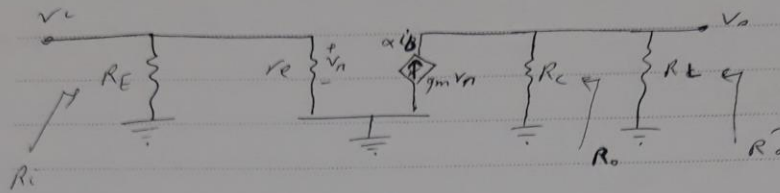
$$A_i = \frac{z_o}{z_i} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_i}{R_i}} = \frac{V_o}{V_i} \frac{R_i}{R_L}$$

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

$$A_i = -36.36 \times \frac{1.38k}{1k} = -50.17$$

توی سطر B سطر : (CB)





$$r_e = \frac{V_T}{I_C} = \frac{25\text{mV}}{1\text{mA}} \Rightarrow r_e = 25\Omega$$

$$g_m = 40\text{mS}$$

حالت ac

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m V_n (R_c \parallel R_L)}{V_n} \Rightarrow A_v = -g_m (R_c \parallel R_L) \Rightarrow A_v = -36.36 \checkmark$$

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_i (R_E \parallel r_e)}{i_i} \Rightarrow R_i = R_E \parallel r_e \xrightarrow{r_e \ll R_E} R_i = r_e$$

(B) $\Rightarrow R_i \approx 25\Omega$ ✓
امپدانس ورودی بین مشترک و زمین

$$R_o = R_c \Rightarrow R_o = 10\text{k}\Omega$$

امپدانس خروجی بین مشترک و زمین

$$R_o' = R_c \parallel R_L \Rightarrow R_o' = 909\Omega \checkmark$$

$$A_i = A_v \frac{R_i}{R_L} \Rightarrow A_i = -36.36 \times \frac{25}{1\text{k}} \Rightarrow A_i \approx -0.9 \checkmark$$

بهره جریان بین مشترک و زمین کوچکتر از 1 است یعنی جریان را تقویت نمی‌کند

* این مدار یک Common Emitter است *

$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

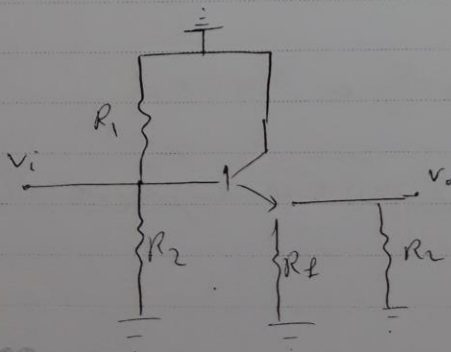
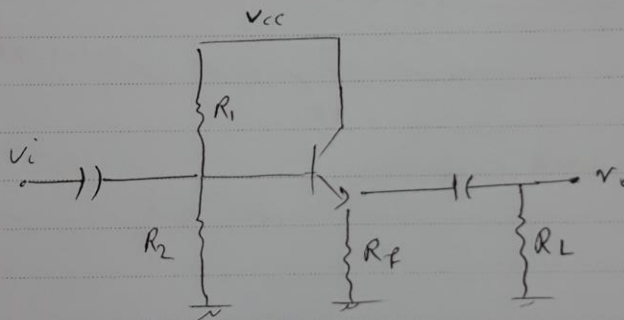
$$I_o = \alpha I_e \frac{R_c}{R_c + R_L}$$

$$I_e = I_i \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

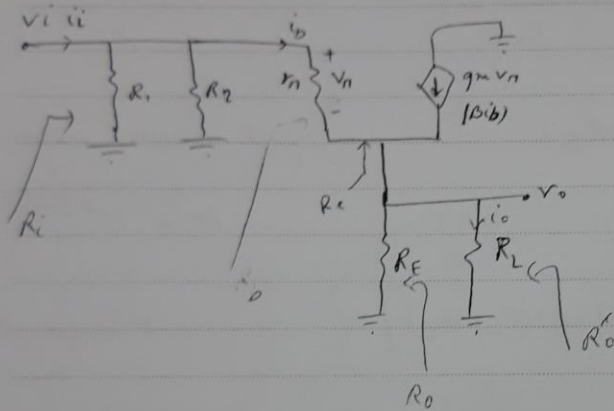
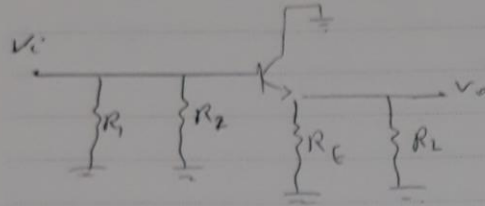
$$I_o = \alpha I_i \left(\frac{R_E}{R_E + r_e} \right) \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right)$$

$$= A_i = \alpha \left(\frac{R_E}{R_E + r_e} \right) \left(\frac{R_c}{R_c + R_L} \right) < 1$$

تقریباً شده $\alpha \approx 1$ (CC) (ایسترسور) (ایسترسور)



CC



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(i_b + \beta i_b)(R_L \parallel R_E)}{r_{\pi} i_b + (i_b + \beta i_b)(R_L \parallel R_E)}$$

$$A_v = \frac{(1 + \beta)(R_L \parallel R_E)}{r_{\pi} + (1 + \beta)(R_L \parallel R_E)} < 1 \quad \checkmark$$

ہیں CC کو تقویت نہیں دیتا

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(g_m V_{\pi} + \frac{V_{\pi}}{r_{\pi}})(R_L \parallel R_E)}{V_{\pi} + (g_m V_{\pi} + \frac{V_{\pi}}{r_{\pi}})(R_L \parallel R_E)}$$

* درست جواب :

Subject:

Year:

Month:

Date:

()

$$A_v \approx \frac{(g_m + \frac{1}{r_{\pi}})(R_L \parallel R_E)}{1 + (g_m + \frac{1}{r_{\pi}})(R_L \parallel R_E)} \quad \checkmark$$

$$* R_i \approx ? \quad R_1 \parallel R_2 \parallel R_b$$

$$R_b \approx \frac{v_i}{i_b} \approx \frac{r_{\pi} i_b + (i_b + \beta i_b)(R_L \parallel R_E)}{i_b}$$

$$R_b = r_{\pi} + (1 + \beta)(R_L \parallel R_E)$$

ب
پس مقاومت های امپدانس نزدیک به

نمر (H.B) قریب می شود

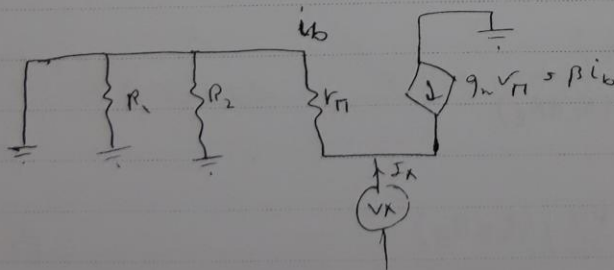
$$R_i \approx R_1 \parallel R_2 \parallel [r_{\pi} + (1 + \beta)(R_L \parallel R_E)]$$

معادلش ورودی را

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2 \approx R_2$$

در حالت تقریب

$$* R_o \approx ? \quad R_E \parallel R_E$$



$$V_X = -i_b r_n$$

$$I_X = -(i_b + \beta i_b)$$

$$R_{e_s} = \frac{V_X}{I_X} = \frac{-i_b r_n}{-(i_b + \beta i_b)} \Rightarrow R_{e_s} = \frac{r_n}{1 + \beta} = \frac{r_n}{\beta} = \frac{1}{g_m} = r_e$$

$$R_o = R_e \parallel R_E = r_e \parallel R_E \quad \text{دقیق}$$

$$\text{if } r_e \ll R_E \Rightarrow R_o = r_e \quad \text{تقریب}$$

پس « در این مدارش خروجی کم در ورودی زیاد است »

پس مقاومت ها موجود در بین نزدیک است به $1 + \beta$ تقسیم شود

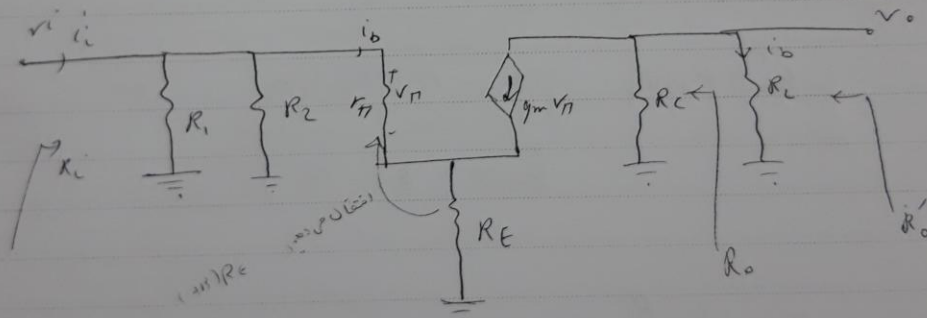
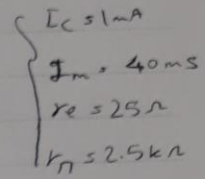
$$R_o' = R_o \parallel R_L \Rightarrow R_o' = r_e \parallel R_E \parallel R_L \quad \text{دقیق}$$

$$r_e \ll R_o' \Rightarrow R_o' = r_e \quad \text{تقریب}$$

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

پس « فقط جریان تقویت کنند »

✓ 11.22



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m V_{DS} (R_L \parallel R_D) = v_o$$

$$V_{\pi} = r_i \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (1+\beta)R_E} = i_b r_{\pi} \approx \frac{r_i}{r_{\pi} + (1+\beta)R_E}$$

$$V_o = -g_m V_o \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (1+\beta)R_E} (R_C \parallel R_L)$$

$$A_v = -\frac{g_m}{\left(1 + \frac{1+\beta}{r_{\pi}}\right)R_E} (R_C \parallel R_L)$$

$$A_v = \frac{-g_m}{1 + g_m R_E} (R_C \parallel R_L)$$

$$\frac{1+\beta}{r_{\pi}} = \frac{\beta}{r_{\pi}} = g_m$$

$$A_v = -0.68$$

* رابطه خروجی و ورودی نیست آمده با رابطه خروجی و ورودی E نسبت به زمین است
 پس در ضریب $1 + g_m R_E$ مقاومت است یعنی با حذف خازن C_E خروجی
 و ورودی با ضریب $1 + g_m R_E$ نسبت می‌دهند پس می‌توان نتیجه گرفت مقاومت R_E
 که در D باعث پایداری حرارتی می‌شود در ac باعث افت خروجی و ورودی
 می‌شود برای جلوگیری از این کار با آن خازن C_E سری می‌زنند تا نسبت ac با انتقال
 کمتره شدن خازن مقاومت R_E حذف شود تا خروجی و ورودی افت نکند

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel [r_{\pi} + (1+\beta)R_E]$$

$$1+\beta = \beta = g_m r_{\pi}$$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel [r_{\pi} + g_m r_{\pi} R_E] \quad (R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi} (1 + g_m R_E))$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \approx R_2$$

بهمین خازن CE اندازه ورودی که افزایش پیدا می کند

$$R_i = 3.5 \text{ k}\Omega$$

دقیقاً

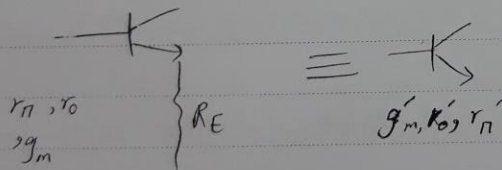
$$R_o = R_c \rightarrow R_o = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_o' = R_c \parallel R_L \rightarrow R_o' = 202 \Omega$$

$$A_i = A_v \frac{R_i}{R_L} = 0.68 \times \frac{3.5 \text{ k}}{1 \text{ k}} \rightarrow A_i = 2.38$$

همین خازن CE به خروجی نیز اضافه می شود

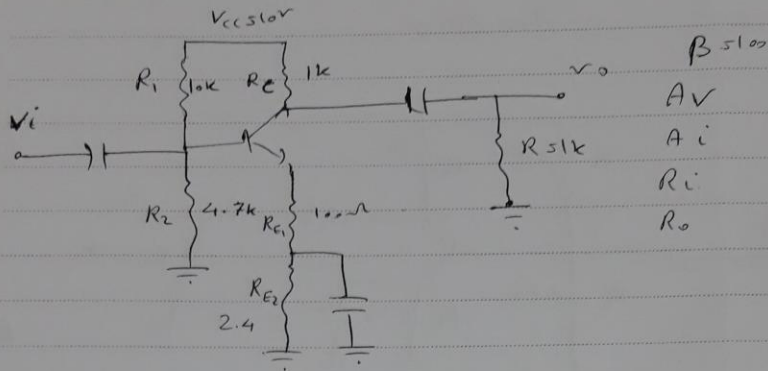
تیمار



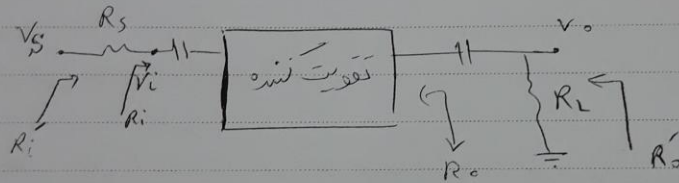
$$r_{\pi}' = r_{\pi} (1 + g_m R_E)$$

$$g_m' = \frac{g_m}{1 + g_m R_E}$$

$$r_o' = r_o \left[\frac{1 + g_m R_E}{1 + \frac{g_m R_E}{\beta}} \right]$$



تویت قسمه باقی است سر R_S



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

$$A_{V_S} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_S} = A_V \times \frac{V_i}{V_S}$$

$$\text{تویت} : V_i = V_S \frac{R_i}{R_i + R_S} \Rightarrow \frac{V_i}{V_S} = \frac{R_i}{R_i + R_S}$$

$$A_{V_S} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_S} = A_V \frac{R_i}{R_i'}$$

Subject:

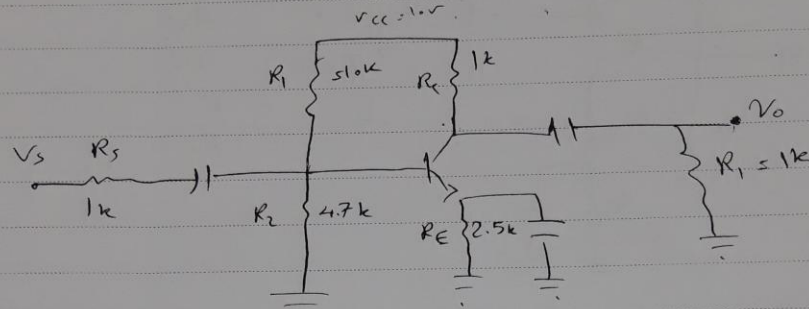
Year:

Month:

Date:

$$R_i' = R_s + R_i$$

$$A_{V_s} < A_v$$



$$A_{V_s}, A_v, A_i, R_i, R_o ?$$

تقویت کننده های چند طبقه :

عمده هدف این است که در تقویت کننده ها بهره و پهنای باند زیاد و

امپدانس ورودی زیاد بوده و امپدانس خروجی کم باشد و کار با بار

دریغ هیچ کدام از تقویت کننده های یک طبقه همه این چهار شرط

را به طور هم زمان ندارند به همین خاطر تقویت کننده های باهم وصل

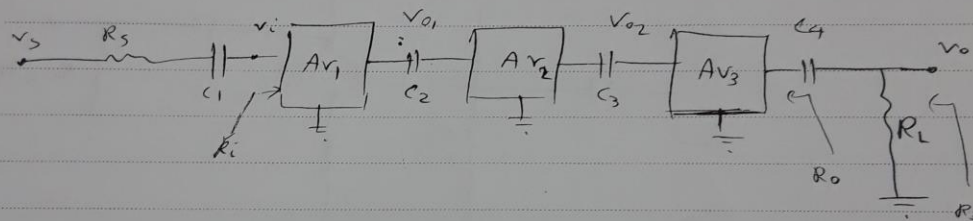
شده اند که تقویت کننده های چند طبقه شکل می گیرد

امتنال تقویت کننده های کوپلر می باشد و به سه صورت انجام می گیرد

1- مستقیم 2- خازن 3- ترانسفورماتوری

از کوپلر ترانسفورماتوری در تقویت کننده های قدرت استفاده می شود و در آن بی های تقویت کننده و تقویت کننده های کم توان از کوپلر مستقیم یا خازن استفاده می شود

کوپلر خازن C_1, C_2, C_3 خازنهای کوپلر



$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{V_O}{V_{O2}} \times \frac{V_{O2}}{V_{O1}} \times \frac{V_{O1}}{V_i}$$

$$A_V = A_{V3} \times A_{V2} \times A_{V1}$$

$$A_{V3} = A_V \frac{R_i}{R_i + R_S} \quad A_{V2} = A_V \frac{R_i}{R_L}$$

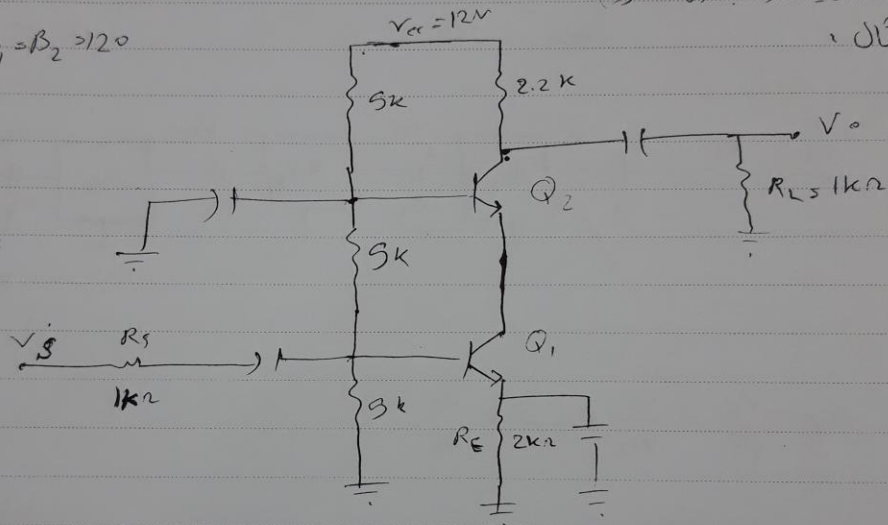
در کلی AC تقویت کننده ها چند طبقه آمپلیفایر و در هر طبقه یک بار

طبقه قبل به عنوان بار عمل می کنند که این اثر بار را می توانیم محاسبه

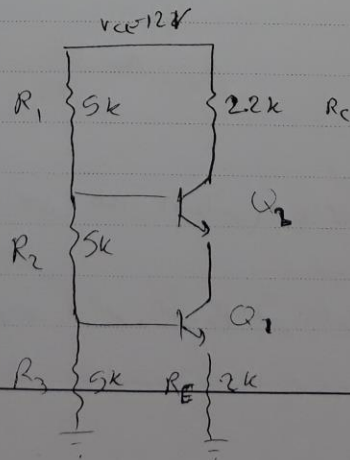
یعنی نمی‌توان تقویت کننده‌ها را جدا کرده و تحلیل کرد فقط وقتی می‌توان
 این کار را انجام داد که اثر بارگذاری را حذف می‌کنیم
 اثر بارگذاری را می‌توان در روابط بهره و تئوری یک طبقه با در نظر گرفتن امپدانس

درودی طبقه بعد به عنوان R_L اعمال کرد
 تقویت کننده آتش را کانتور

$\beta_1 = \beta_2 > 120$



کلید dc



$$V_{B_1} = V_{CC} \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 12 \times \frac{5k}{15k}$$

$$V_{B_1} = 4V$$

$$V_{E_1} = V_{B_1} - V_{BE_1} = 4 - 0.7 = 3.3V$$

$$I_{E_1} = \frac{V_{E_1}}{R_{E_1}} = \frac{3.3}{2k} \Rightarrow I_{E_1} = 1.65mA$$

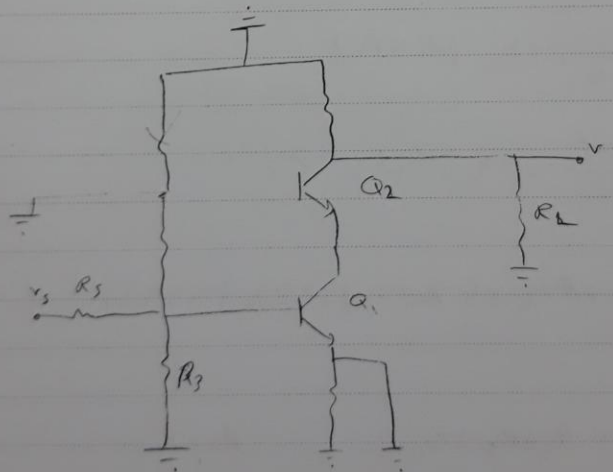
$$I_{C_1} = I_{C_2} = 1.65mA$$

$$r_{\pi} = \beta \frac{V_T}{I_C} = 12 \times \frac{25m}{1.65mA} = 1.81k$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = 1.81k$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.65mA}{25m} = 66mS$$

$$g_{m_1} = g_{m_2} = 66mS$$

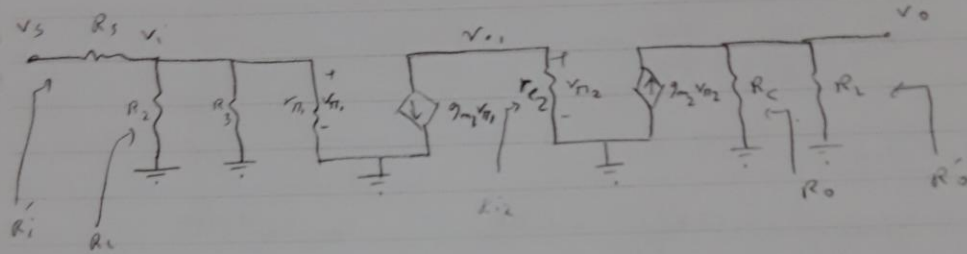
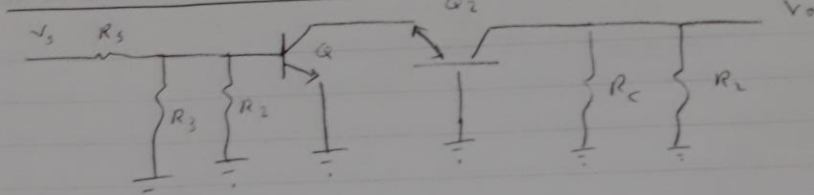


Subject:

Year:

Month:

Date:



$$r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{25 \text{ mV}}{1.5 \text{ mA}} = 16.67 \Omega$$

$$A_{V2} = \frac{V_o}{V_{o1}} = +g_{m2} (R_C \parallel R_L)$$

$$A_{V1} = \frac{V_{o1}}{V_i} = -g_{m1} (R_{i2}) = -g_{m1} r_{\pi 2}$$

$$A_V = A_{V1} \times A_{V2} = (-g_{m1} r_{\pi 2}) (+g_{m2} (R_C \parallel R_L))$$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel r_{\pi 1}$$

$$R_o = R_C$$

$$R_i' = R_S + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel r_{\pi 1})$$

$$R_o' = R_C \parallel R_L$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

(12)

55

$$A_{v_s} = A_v \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

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

