

منابع تغذیه تثبیت شده :

منابع تغذیه  $\swarrow$  خطی  
 $\searrow$  غیر خطی (سوئیچینگ)

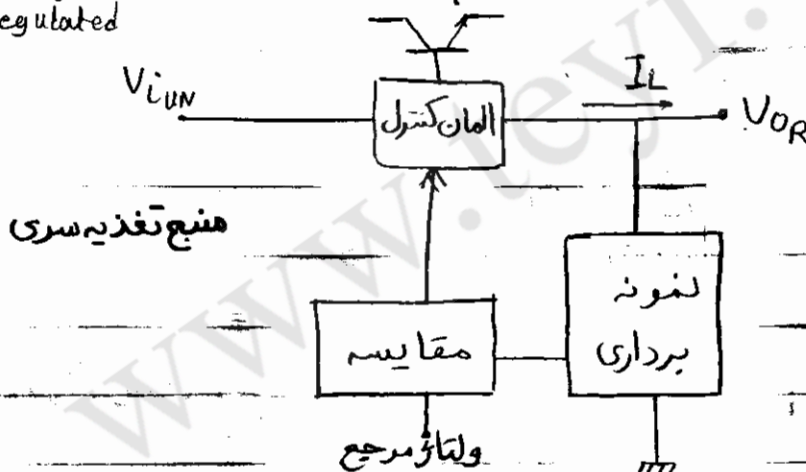
منبع تغذیه خطی :  
 وقتی می‌گوییم یک OP-Amp خطی کاری کند منظور این است که المان‌های داخلی آن

در ناحیه خطی کاری کنند و المان‌های بیرونی OP-Amp نیز المان‌های در ناحیه خطی

هستند.

$UN = \text{Unregulated}$   
 $R = \text{Regulated}$

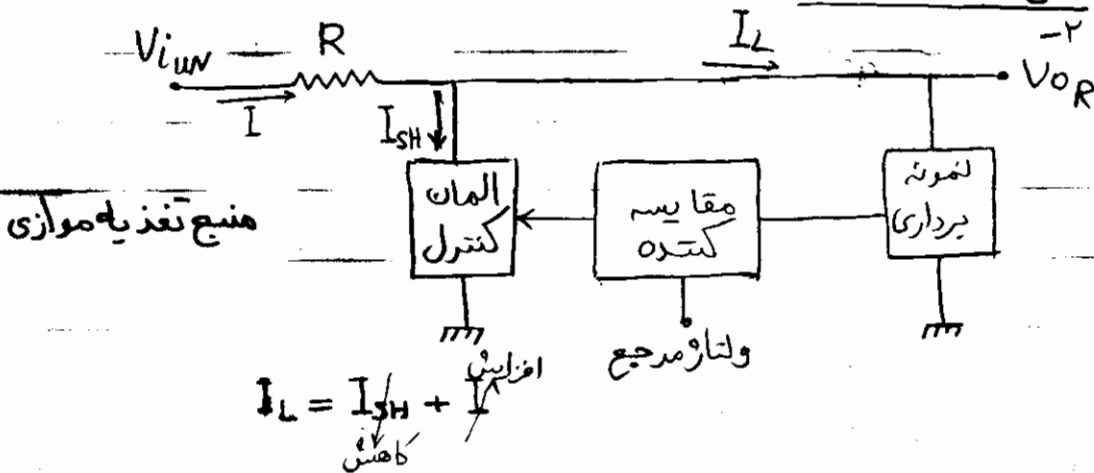
در منبع تغذیه غیر خطی المان‌های غیر خطی داریم (مانند دیود)



بسته به اینکه المان کنترل در شاخه سری باشد منبع تغذیه سری و اگر در شاخه موازی

-۱

باشد منبع تغذیه موازی خواهد بود.



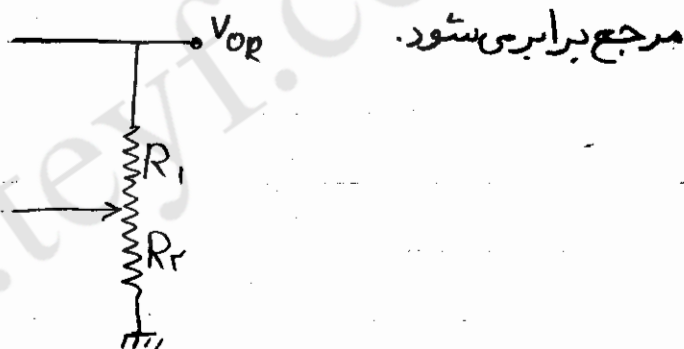
تذکره: معمولاً جریان شلخه نمونه برداری قابل مقایسه با جریان خروجی نیست.

یک رگولاتور سری خوب باید مصرف آن کم باشد و تفاوت ولتاژ ورودی و خروجی آن زیاد نباشد. در رگولاتور سری:

$$\text{تلفات ترانزیستور} = V_{CE} \cdot I_C = (V_i - V_o) I_L$$

در رگولاتور سری تلاش بر این است که ولتاژ نمونه برداری برابر ولتاژ مرجع شود

المان نمونه برداری یک پتانسیومتر است که با تنظیم آن ولتاژ نمونه برداری با ولتاژ



$$\frac{R_r}{R_1 + R_r} V_o = V_R \longrightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_r}\right) \underbrace{V_R}_{\text{مرجع}}$$

معمولاً استفاده از رگولاتور سری وقتی مناسب است که Range ولتاژ دریافتی کم باشد

چون مثلاً در Range ۰ تا ۳۰ ولت که زیاد است چون  $V_i$  حدود ۳۰ است اگر  $V_o$

کم بگیریم و جریان زیاد بکشیم تلفات ترانزیستور زیاد بوده و گرم می شود.

اگر بخواهیم جریان بالا داشته باشیم از رگولاتور موازی استفاده می کنیم:

به عنوان مثال اگر  $I_L = 100$  و  $I = 105$  باشد با تغییرات  $I_L$ ، دامنه تغییرات  $I_{SH}$

حدود  $10^A$  است و نتیجه جریان کمی از المان کنترل عبور کرده و تلفات کمی داریم در

صورتیکه اگر از رگولاتور سری استفاده کردیم تمام  $10^A$  از المان کنترل می گذشت.

البته در رگولاتور موازی هم تلفات در خروجی خواهیم داشت یعنی در هر دو نوع رگولاتور

تلفات کلی برابر است، اما مهم این است که تلفات المان کنترل کم باشد.

در نتیجه کاربرد رگولاتور موازی واقعی است که جریان خروجی بالایی می خواهیم، اما

دامنه تغییرات جریان خروجی کم است.

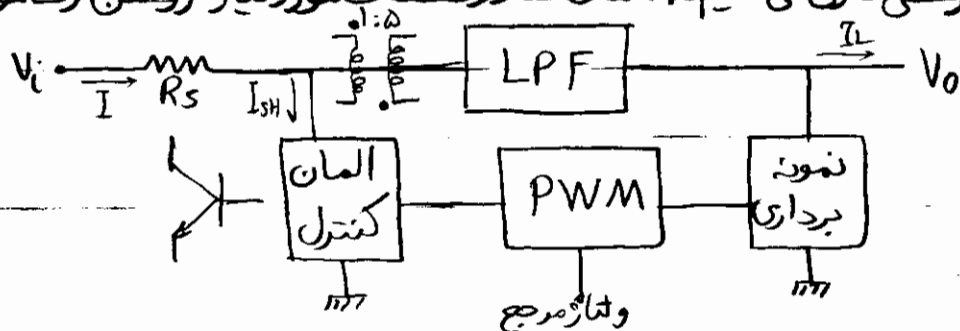
رگولاتور غیر خطی :

در رگولاتور خطی راندمان از رابطه  $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_i - P_d}{P_i}$  بدست می آید که بسته

به انتخاب لامی توان  $\eta$  را ماکزیم کرده اما در نهایت در این رگولاتور راندمان

بالایی نمی توانیم بگیریم چون تمام المان های مدار همواره روشن هستند. در

رگولاتور غیر خطی کاری می کنیم که المان ها در لحظات مورد نیاز روشن و خاموش شوند.



LPF = Low Pass Filter.

در این رگولاتور آلمان کنترل به صورت  $on$  و  $off$  کاری کند که فرمان روشن و خاموش شدن آن توسط PWM صادر می شود. با انتخاب مناسب آلمان ها مدار می توان تا ۹۰٪ راندمان گرفت. آلمان PWM با توجه به دامنه ولتاژ نمونه برداری مقدار Duration جریان عبوری از آلمان کنترل را تعیین می کند. میزان مزایای بالا بودن راندمان از مزیت های مهم رگولاتور غیر خطی این است که می توان خروجی منفی گرفت. در رگولاتور خطی اگر می خواستیم خروجی منفی داشته باشیم باید جریان در جهت عکس عبوری کرد که غیر ممکن بود (به علت عبور از ترانزیستور) (فقط به عنوان ایده) (روش های دیگری هم وجود دارد)

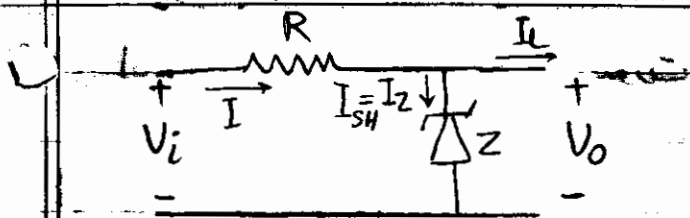
اما در رگولاتور غیر خطی می توان با ایده قرار دادن یک ترانس قبل از LFC می توان هم ولتاژ را منفی کرد هم می توان با دامنه مناسبی ولتاژ خروجی را زیاد کرد.

در رگولاتور خطی سه نوع ضریب تثبیت تعریف می شود.

$$S_V = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \right|_{\substack{\Delta T=0 \\ \Delta I_L=0}}, \quad S_I = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} \right|_{\substack{\Delta T=0 \\ \Delta V_i=0}}$$

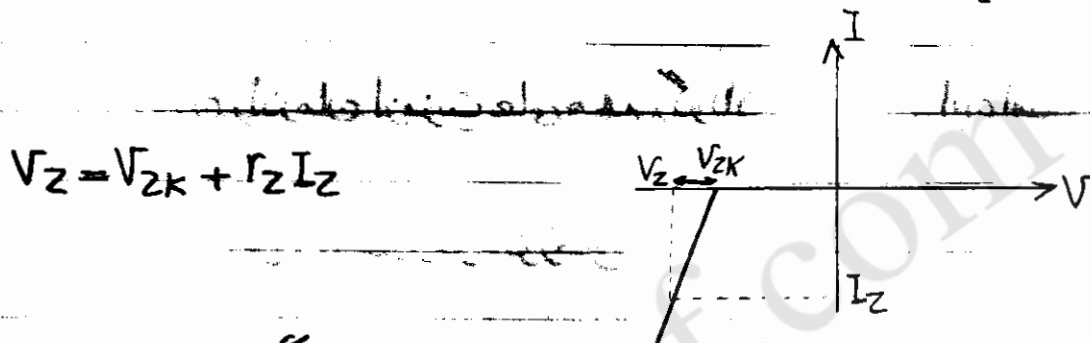
مقاومت خروجی را نشان می دهد

$$S_T = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta T} \right|_{\substack{\Delta I_L=0 \\ \Delta V_i=0}}$$



مثال \*

اگر زنر ایده آل باشد هیچ چیز ایده آل بوده و  $V_Z$  و  $I_Z$  که ... صفر می شوند که نهایی ما را به جایی نمی رساند. لذا از زنی با مشخصه زیر استفاده می کنیم:



در مشخصه با  $I_{Zmin}$  برابر صفر است که گاهی اوقات اینگونه نخواهد بود و

$$I_{Zmin} = I_{ZK}$$

در مثال بالا:  $V_o = V_i - RI = V_i - R(I_L + I_Z)$  \*

$$V_o = V_Z = V_{ZK} + r_Z I_Z$$

اگر پارامترهای  $V_i$ ،  $V_o$ ،  $I_L$ ،  $R$ ،  $r_Z$  و  $V_{ZK}$  معلوم باشند:

با جایگزینی رابطه  $\frac{V_o - V_{ZK}}{r_Z} = I_Z$  در رابطه \* خواهیم داشت:

$$\rightarrow V_o = \frac{r_Z}{R + r_Z} V_i \text{ (1)} - \frac{R \cdot r_Z}{r_Z + R} \frac{I_L}{\text{ (2)}} + \frac{R}{R + r_Z} V_{ZK} \text{ (3)}$$

رابطه بالا نشان می دهد که اگر  $V_i$  زیاد شود،  $V_o$  زیاد خواهد شد. اگر جریان خروجی زیاد

بکشیم،  $V_o$  کاهش می یابد و تغییرات  $V_{ZK}$  باعث تغییر  $V_o$  خواهد شد.

$$\rightarrow S_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{r_z}{R+r_z} = \frac{10^{-1}}{1+10^{-1}} \approx 10^{-1}$$

$$S_I = \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} = \frac{-R \cdot r_z}{r_z + R} = -r_z \parallel R \approx 10^{-1}$$

$$S_T = \frac{\Delta V_o}{\Delta T} = \frac{R}{R+r_z} \cdot \frac{\Delta V_{zk}}{\Delta T} \approx \frac{\Delta V_{zk}}{\Delta T}$$

در کاتالوگ ذکر می شود  
کالانیا

$S_I = 10^{-1}$  بیان می کند که تغییرات ولتاژ با تغییرات امپدانس  $10^{-1}$  منتقل می شود.

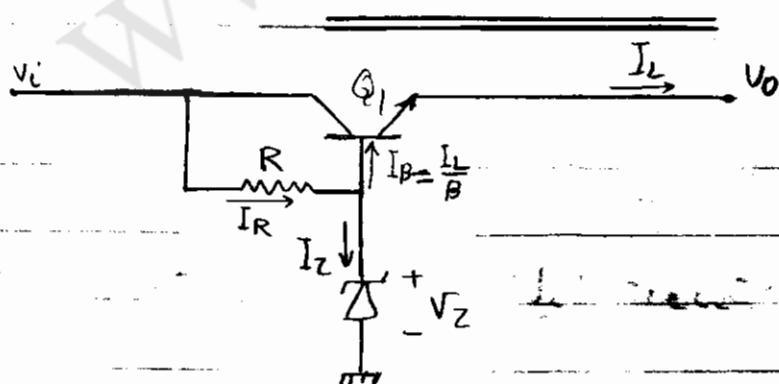
در این مدار می بینیم که مقادیر خوبی بدست نمی آید. دلیل این است که همه بلوک های

رگولاتور سری را زنجیره می دهد و در نتیجه ضریب تثبیت خوبی نخواهیم داشت.

$$P_d = RI^2 + V_Z I_Z$$

نکته: چه در رگولاتور سری و چه در رگولاتور شنت المانی که در شاخه سری قرار می گیرد

تعیین کننده تلفات کلی مدار خواهد بود



در طرح بالا نمونه ای از ولتاژ  $V_o$  با  $1/\beta$  کمتر در دو سر زینر ظاهر می شود:

$$V_Z = V_{zk} + r_z I_Z, \quad V_o = V_Z - V_{BE}$$



$$I_Z = I_R - I_B = I_R - \frac{I_L}{\beta} = \frac{V_L - (V_0 + V_{BE})}{R} + \frac{I_L}{\beta}$$

$$\rightarrow V_0 = \frac{r_Z}{R+r_Z} V_L + \frac{R}{r_Z+R} V_{ZK} - \frac{\frac{R \cdot r_Z}{\beta}}{R+r_Z} I_L - V_{BE}$$

$$\rightarrow S_V = \left. \frac{\Delta V_0}{\Delta V_L} \right| = \frac{r_Z}{R+r_Z} \approx \frac{r_Z}{R}$$

در حالت قبل هم که یک مقاومت و نیز داشتیم نیز همان رابطه بالا بدست آمده بود. اما

یک تفاوت وجود دارد. در حالت اول جریانی که از مقاومت می گذشت  $I_L + I_Z$  بود ولی

در این حالت جریان کمتری برابر با  $I_Z + \frac{I_L}{\beta}$  از مقاومت می گذرد. لذا مقاومتی در حد

کیلو اهم خواهیم داشت و در نتیجه  $S_V$  در حدود  $10^{-4}$  خواهد بود:

$$S_V = \frac{r_Z}{R} = \frac{10^{-1}}{10^3} = 10^{-4}$$

$$S_I = \left. \frac{\Delta V_0}{\Delta I_L} \right| = - \frac{R \parallel r_Z}{\beta} \approx - \frac{r_Z}{\beta} \approx - \frac{10^{-1}}{10^4 \cdot 10^0} \approx -10^{-3} \text{ تا } -10^{-2}$$

$$S_T = \left. \frac{\Delta V_0}{\Delta T} \right|_{\substack{\Delta I_L=0 \\ \Delta V_L=0}} = \frac{R}{R+r_Z} \cdot \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} + \frac{(R \parallel r_Z) I_L}{\beta^2} \frac{\Delta \beta}{\Delta T}$$

در رابطه بالا چون تغییرات  $\beta$  با دما خیلی زیاد نیست و درترم آخر ضریب  $\frac{1}{\beta^2}$  وجود

دارد نهایتاً با اعمال تقریب مناسب خواهیم داشت:

$$S_T \approx \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$$

اگر زنی با تغییرات حرارتی مثبت انتخاب کنیم،  $R_T$  مقدار کمی خواهد بود.

$$P_D = R I_R^2 + \frac{V_{CE} - I_C}{(V_i - V_o) I_L} + V_Z I_Z = \underbrace{R I_R^2}_{\text{mW}} + \underbrace{(V_i - V_o) I_L}_W + \underbrace{V_Z I_Z}_{\text{mW}}$$

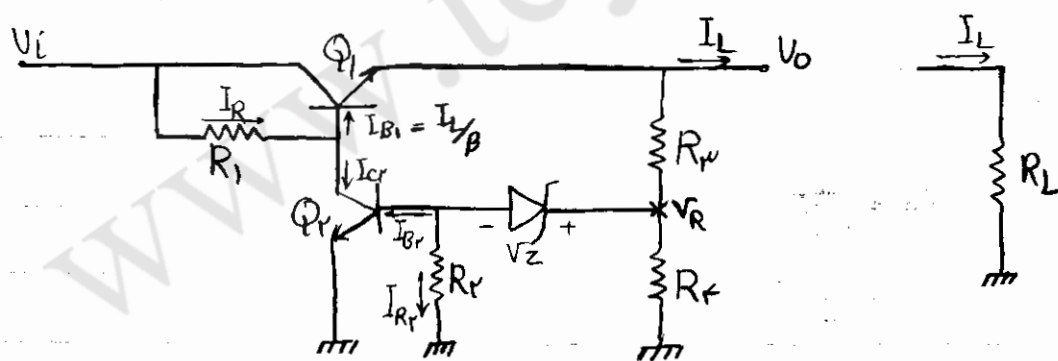
همانطور که گفته بودیم در رگولاتور سری آلمانی که در شافه سری قرار دارد بیشترین تلفات

را ایجاد می کند که در رابطه بالانیزی ببینیم.

در طرح بالا دیدیم که با اضافه کردن یک آلمان کنترل مجزا نسبت به رگولاتور قبلی ضرایب

ثبات را با بهبودی مناسبی بدست آوردیم.

این بار واحد نمونه بردار مدار رانیز مجزا می کنیم و زنود دیگر نمونه بردار نخواهد بود:



در طرح بالا نیز هم نقش مقایسه کننده دارد و هم نقش ولتاژ مرجع را دارد. ولتاژ مرجع

همان  $V_{ZK}$  خواهد بود که با ولتاژ دوسر  $R_4$  مقایسه خواهد شد.

با فرض ثبات شدن ولتاژ  $V_o$  می توانیم فرض کنیم که  $I_{R1}$  ثابت است ( البته تغییرات خیلی

کمی با تغییرات  $V_o$  خواهد داشت ) حال اگر  $V_o$  کم شود،  $V_{R4}$  کاهش خواهد یافت.



زیر با مقایسه کردن ولتاژها فرمان کاهش ولتاژ بیس  $Q_2$  را می‌دهد. در نتیجه  $I_{C1}$  کم

می‌شود. چون  $I_R$  تقریباً ثابت است لذا  $I_{B1}$  و در نتیجه  $I_{L1}$  زیاد شده و  $V_{O1}$  زیاد می‌شود.

وجود مقاومت  $R_2$ ، مسیری برای بایاس زتر خواهد بود. چون اگر  $R_2$  وجود نداشته باشد

با صفر شدن  $I_{C1}$ ،  $I_{B1}$  به سمت صفر رفته و دیود را خاموش می‌کند که مطلوب نیست.

با فرض صرف نظر کردن جریان زتر در مقابل جریان  $R_2$  و  $R_3$  خواهیم داشت:

$$V_R = \frac{R_F}{R_F + R_F} V_O \rightarrow V_O = \left( \frac{R_F}{R_F} + 1 \right) V_R$$

$$V_R = V_Z + V_{BEr} \quad , \quad V_Z = V_{ZK} + r_Z I_Z$$

$$I_Z = I_{Rr} + I_{Br} = \frac{V_{BEr}}{R_r} + \frac{I_{Cr}}{\beta_r}$$

$$I_R = I_{Cr} + \frac{I_L}{\beta_1} \rightarrow I_{Cr} = I_R - \frac{I_L}{\beta_1}$$

$$, \quad I_R = \frac{V_{i1} - (V_O + V_{BE1})}{R_1}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow V_O = & \frac{1}{1 + \frac{\beta_r R_1}{r_Z} \cdot \frac{R_F}{R_F + R_F}} V_{i1} - \frac{\frac{R_1}{\beta_1}}{1 + \frac{\beta_r R_1}{r_Z} \cdot \frac{R_F}{R_F + R_F}} I_L \\ & + \frac{\beta_r \frac{R_1}{r_Z}}{1 + \frac{\beta_r R_1}{r_Z} \cdot \frac{R_F}{R_F + R_F}} V_{ZK} - \frac{\beta_r \frac{R_1}{r_Z \parallel R_r}}{1 + \frac{\beta_r R_1}{r_Z} \cdot \frac{R_F}{R_F + R_F}} V_{BEr} \\ & + \frac{V_{BE1}}{1 + \frac{\beta_r R_1}{r_Z} \cdot \frac{R_F}{R_F + R_F}} \end{aligned}$$

$$S_V = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta V_i} \right|_{\substack{\Delta T=0 \\ \Delta I_L=0}} = \frac{1}{1 + \frac{\beta_2 R_1}{r_2} \cdot \frac{R_F}{R_3 + R_4}} \approx \frac{1}{\frac{10^2 \times 10^3}{10^1}} = 10^{-6}$$

ترانزیستور  $Q_1$  چون جریان آمپری از آن می‌گذرد باید  $\beta$  پایین داشته باشد اما  $Q_2$

ترانزیستور با توان کم خواهد بود چون جریان میلی آمپری از آن می‌گذرد و در نتیجه  $\beta$

آن حدود ۱۰۰ خواهد بود.

با توجه به اعداد بالا می‌بینیم که  $S_V$  بهبودی بهتری یافته است که به علت وجود  $\beta_2$

یا همان  $Q_2$  خواهد بود. به المان فرمان می‌گوئیم.

$$S_I = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} \right|_{\substack{\Delta T=0 \\ \Delta V_i=0}} = - \frac{R_1 / \beta_1}{\left( \right)} \approx \frac{10^1 \times 10^2}{10^6} \approx 10^{-5} \sim 10^{-6}$$

در نتیجه اینجانب تأثیر  $Q_2$  را در بهبودی  $S_I$  می‌بینیم.

$$S_T = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta T} \right|_{\substack{\Delta I_L=0 \\ \Delta V_i=0}} = \left( \frac{\beta_2 R_1 / r_2}{\left( \right)} \right) \cdot \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} - \left( \frac{\beta_2 R_1 / r_2 \parallel R_1}{\left( \right)} \right) \cdot \frac{\Delta V_{BE2}}{\Delta T} + \left( \frac{1}{\left( \right)} \right) \cdot \frac{\Delta V_{BE1}}{\Delta T}$$

با توجه به رابطه بالا می‌بینیم که ضرایب صورت  $\frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T}$  و  $\frac{\Delta V_{BE2}}{\Delta T}$  تقریباً برابر بوده و

همدیگر را می‌توانند خنثی کنند. با توجه به اعداد خواهیم دید که تغییرات حرارتی  $Q_1$

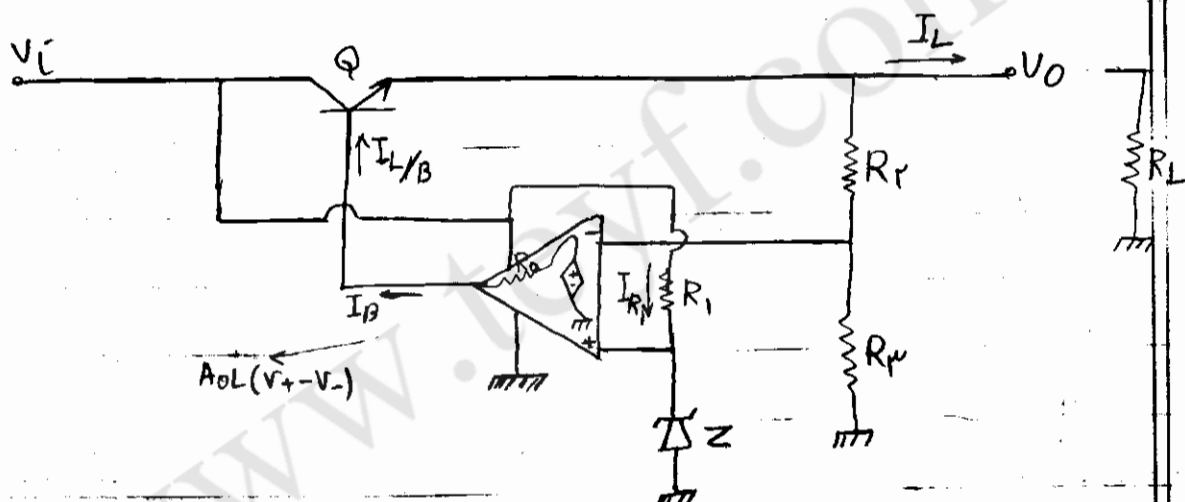
تقریباً بی‌تأثیر بوده و  $S_T$  توسط دو ترم اول تعیین می‌شود که با نزدیک کردن آنها

به یکدیگر می‌توان  $S_T$  را کاهش داد. در طرح بالا  $Q_1$  گرمای بیشتری تولید خواهد

در طرح بالا دیدیم که با اضافه شدن یک المان کنترل اضافی نیز بهبودی بهتری در

ضرایب تسبیب بوجود می آید. حال طرح نهایی را ارائه می کنیم که در آن نمونه برداری با

گویی بالا بکار رفته و است که یک Op-Amp خواهد بود:



چون افت ولتاژ  $V_R$  باید معادل با افزایش  $I_E$  باشد با توجه به  $A_{OL}(V_+ - V_-)$

می فهمیم که  $R_s$  باید به ترمینال منفی Op-Amp متصل شود.

پارامترهای معلوم مدار عبارتند از:  $A_{OL} - R_0 - V_{ZK} - r_z - V_{BE} - \beta$

همانند موارد قبل برای نوشتن روابط از خروجی شروع می کنیم:

$$V_- = \frac{R_F}{R_F + R_{F2}} V_0, \quad V_+ = V_2 = V_{2K} + r_2 I_2 \quad (1)$$

$$I_2 = I_{R_1} = \frac{V_i - V_2}{R_1} \quad (2)$$

$$(1), (2) \rightarrow V_+ = V_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{2K} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

$$V_{O_{op-Amp}} = A_{OL}(V_+ - V_-) \approx -R_O \cdot \frac{I_L}{\beta}, \quad V_O = V_{O_{op-Amp}} - V_{BE}$$

$$\rightarrow V_O = \frac{R_2 + R_3}{R_2 + (1 + A_{OL})R_3} \times \frac{A_{OL} \cdot R_1}{R_1 + R_2} V_{2K} + \frac{R_2 + R_3}{R_2 + (1 + A_{OL})R_3} \times \frac{A_{OL} \cdot R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

$$\approx - \frac{R_2 + R_3}{R_2 + (1 + A_{OL})R_3} V_{BE} - \frac{R_2 + R_3}{R_2 + (1 + A_{OL})R_3} \cdot \frac{R_O}{\beta} \cdot I_L$$

$$\rightarrow S_V = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta V_i} \right|_{\substack{\Delta T = 0 \\ \Delta I_L = 0}} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 + (1 + A_{OL})R_3} \cdot \frac{A_{OL} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \approx \frac{R_2 (R_2 + R_3)}{R_3 R_1}$$

برای تقسیم ولتاژ کردن مقادیر کیلواهی برای  $R_2$  و  $R_3$  مناسب است. برای بایاس کردن

$$\rightarrow S_V \approx \frac{R_2 (R_2 + R_3)}{R_3 \cdot R_1} \quad \text{زیر نیز مقدار کیلواهی برای } R \text{ مطلوب است:}$$

انتظار داشتیم نسبت به حالت قبلی  $V_{BE}$  بهتری داشته باشیم که می بینیم بهبودی چندانی

بدست نیآورده ایم. چون می خواستیم با افزایش گین نمونه برداری  $V_{BE}$  که با بهبودی

بهتری داشت باشیم. دلیل: حتی اگر گین نمونه برداری  $\infty$  باشد، ایده آل این است که

نهایتاً  $V_{R_3}$  و  $V_2$  که باهم مقایسه می شوند باهم برابر شوند در این حالت  $V_O$  مقداری

از  $V_2$  خواهد بود که مثل همان مدار اولیه است.

برای حل این مشکل سر  $R_1$  راه  $V_0$  وصل می‌کنیم. اما در این حالت ایرادی وجود

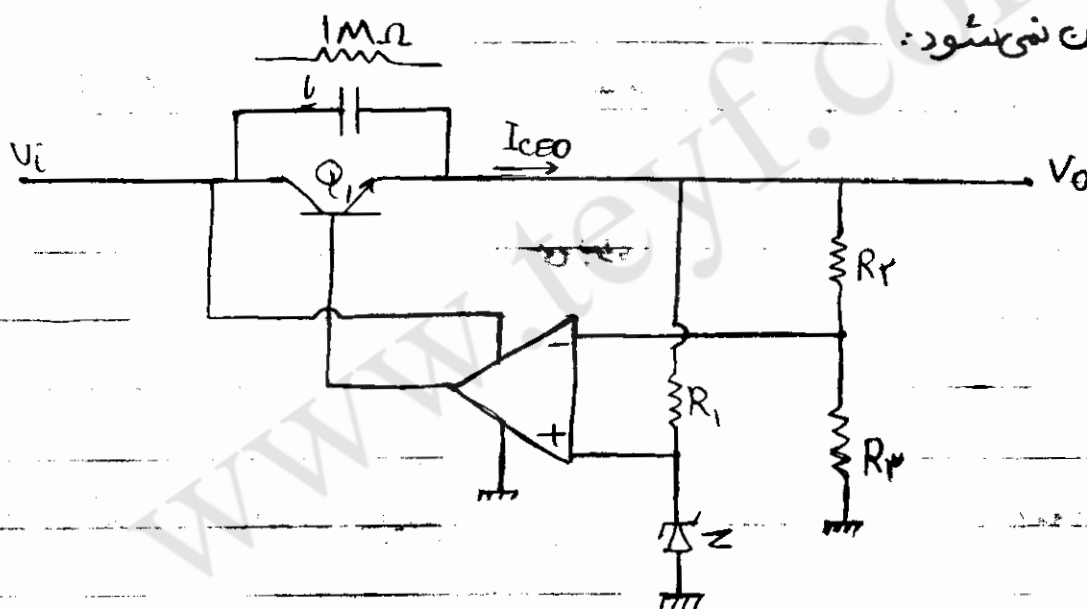
دارد که در لحظه اول زener روشن نخواهد شد و نیاز به یک راه انداز دارد. لذا از یک

مقاومت یا یک خازن برای راه اندازی زener استفاده می‌کنیم. البته در عمل در سواردی

که جریان بالا داریم، جریان  $I_{CEO}$  ترانزیستور کافی خواهد بود که زener را راه اندازی

کند و نیازی به مقاومت و خازن نخواهیم داشت. در لحظه اول چون  $V_0$  صفر است

زener روشن نمی‌شود.



در همان مدار قبل بقیه ضرایب تثبیت را بدست می‌آوریم:

$$S_I = \frac{\Delta V_0}{\Delta I_L} = - \frac{R_f + R_z}{R_f + (1 + A_{OL}) R_f} \cdot \frac{R}{\beta} \approx - \frac{10^3}{1.5 \times 10^3} \times \frac{10}{10^2} = -10^{-2}$$

در این مورد نیز اگر از ترانزیستور فرمان استفاده می‌کردیم بهبودی بهتری در  $S_I$  داشتیم.

$$S_T = \frac{\Delta V_0}{\Delta T} = \frac{R_f + R_z}{R_f + (1 + A_{OL}) R_f} \cdot \frac{A_{OL} \cdot R_1}{R_z + R_1} \cdot \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} - \frac{R_f + R_z}{R_f + (1 + A_{OL}) R_f} \cdot \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$$



$$\rightarrow S_T \approx \frac{R_1 + R_3}{R_3} \cdot \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} - \frac{R_1 + R_3}{\underbrace{A_{OL}}_{\text{خیلی بزرگ}} R_3} \cdot \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$$

در مقایسه با مدلی که یک ترانزیستور داشت در اینجا  $S_T$  بهبودی بهتری یافته است.

در مدار با یک ترانزیستور تأثیرات حرارتی ترانزیستور هر دو موثر بوده و در مقابل هم

قراری گرفتند اما در اینجا با استفاده از Op-Amp، فقط تأثیرات حرارتی زیر موثر است

با محاسبه  $P_d$  خواهیم دید که در اینجا فیزیک بیشترین تلفات حرارتی را ترانزیستور یا

همان المان شاخصی دارد.

مدار فوق کاملترین تثبیت کننده ولتاژ است که تمام المان‌های یک رگولاتور ولتاژ

در آن به صورت مجزا بکار رفته است. اما محدودیت‌هایی را هم دارد. مانند محدودیت

$$I_{Omax \text{ Op-Amp}} \times \underbrace{\beta_1 \beta_2}_{\text{در اینجا}} = I_L$$

$10 \times 50 = 1A$

جریان  $I_L$  که از رابطه مقابل

بدست می‌آید می‌توان برای بالا بردن  $I_L$  از ترکیب دارلینگتون استفاده کرد (به جای  $Q_1$ ).

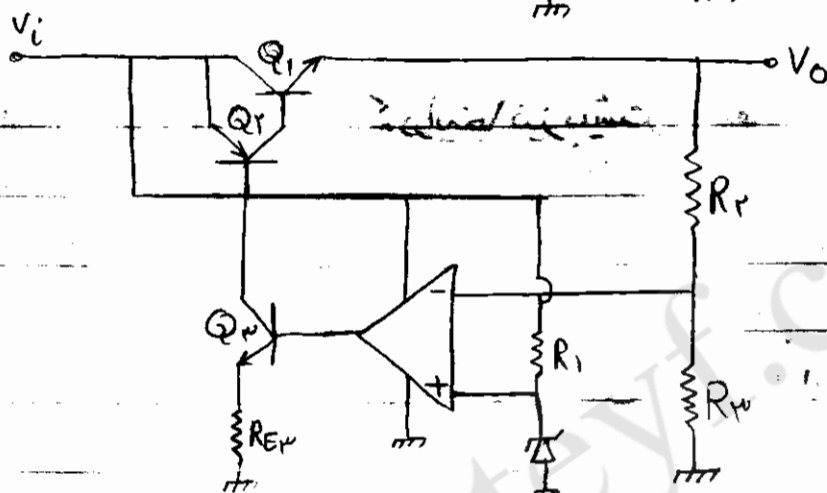
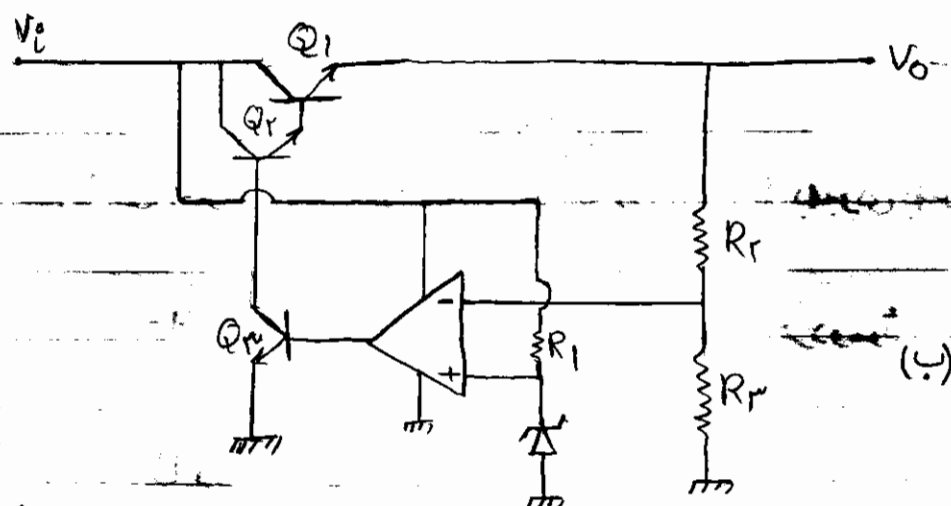
به هر حال با بالا بردن  $gain \ loop$  مقدار  $I_L$  افزایش می‌یابد. یکی از راه‌های افزایش

$gain \ loop$  قرار دادن یک ترانزیستور ( $Q_3$ ) در خروجی Op-Amp است. اما چون جریان

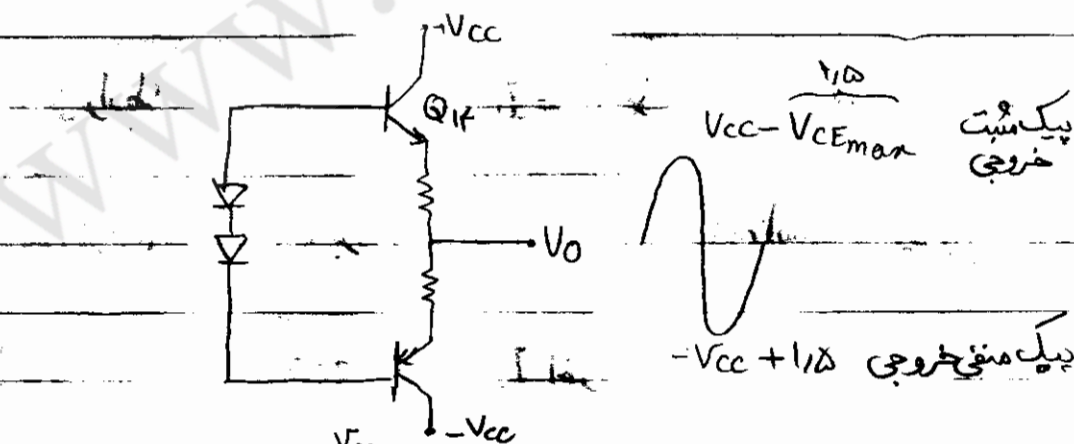
بیس  $Q_2$  بالا و کلکتور  $Q_3$  رویه پائین است لذا ترکیب دارلینگتون را به شکل دیگری

می‌بندیم:





اما مدار شکل (ب) اشکالی در  $Q_3$  دارد. باتوجه به مدار داخلی Op-Amp :



لذا امیتر  $Q_3$  تا  $V_{CEmax}$  و کلکتور آن تا  $V_{CEmin}$  می تواند بالا می رود. در این حالت

اتفاقی که برای  $Q_1$  می افتد این است که بیس آن جریان بسیار زیادی از کلکتورش

خواهد داشت و در ترانزیستوری که در آن رابطه  $I_B \neq \frac{1}{\beta} I_C$  برقرار نباشد

$V_{CE}$  آن صفر بوده و اشباع می‌شود. لذا به محض وصل کردن مدار  $Q_1$  اشباع

می‌شود برای حل این مشکل جریان  $Q_3$  را باید پائین بیاوریم به طوری که  $\frac{1}{\beta}$  جریان

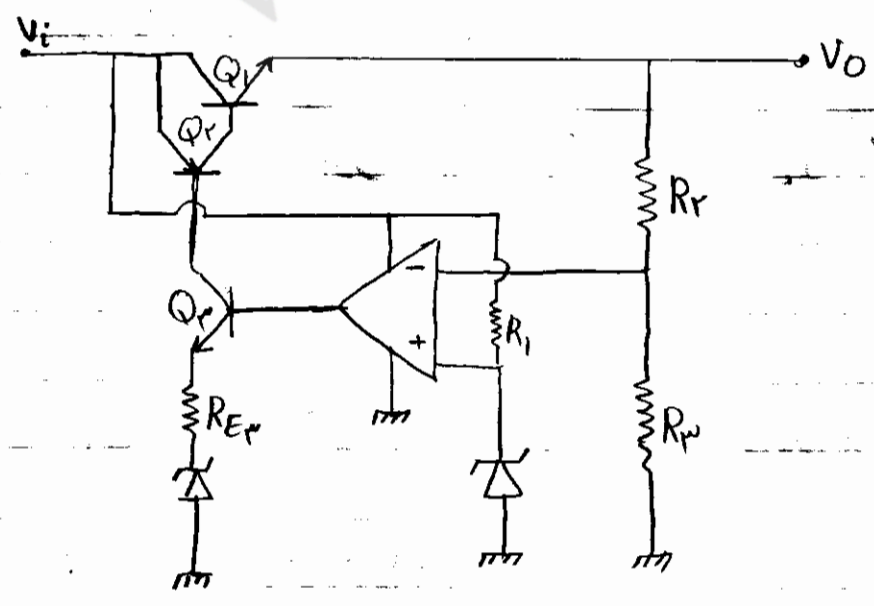
کلکتور  $Q_1$  شود. لذا از یک مقاومت در امیتر  $Q_3$  استفاده می‌کنیم، در این حالت

$$V_{O_{Op-Amp}} = R_{E3} \underbrace{I_{C3}}_{I_L / \beta_1 \beta_2} + V_{BE}$$

با انتخاب مناسب  $R_{E3}$  می‌توان خروجی  $Op-Amp$  ولتاژ را در جایی تنظیم کنیم که بیشترین سوئینگ را داشته باشد.

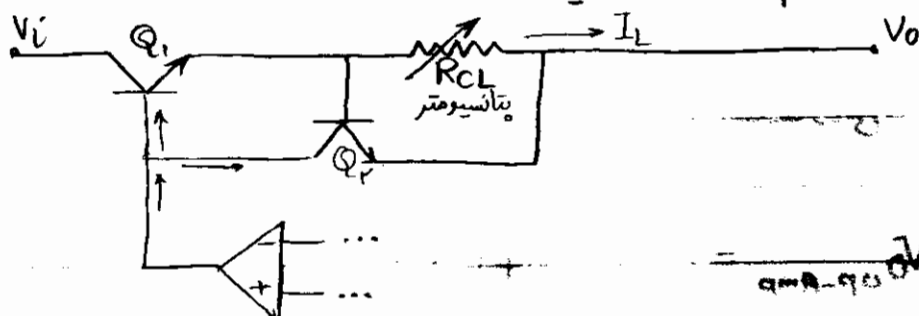
در مدار فوق  $Q_3$  نقش یک تقویت کننده امیتر مشترک را بازی می‌کند البته می‌توان

برای اینکه حساسیت  $Q_3$  را بسیار بالا ببریم از یک ترانزیستور استفاده می‌کنیم که در این حالت نیازی به  $R_{E3}$  زیاد نداریم.



می‌خواهیم در مدار فوق بتوانیم جریان خروجی  $I_L$  را کنترل کنیم. لذا باید یک

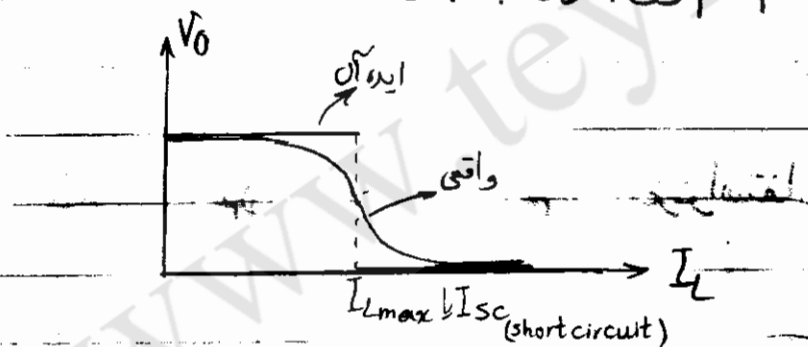
نمونه بردار استفاده کنیم که در شکل زیر نشان داده شده است:



در محدود کننده جریان بالا تا زمانی که  $I_L \cdot R_{CL} < V_{BE}$  است  $Q_2$  خاموش است اما

وقتی که  $R_{CL} = V_{BE_{on}} / I_{L_{max}}$  روشن شده و جریان را محدود می‌کند. مقاومت

$R_{CL}$  باید یک مقاومت کم اهم ولی بتوان بالا باشد.



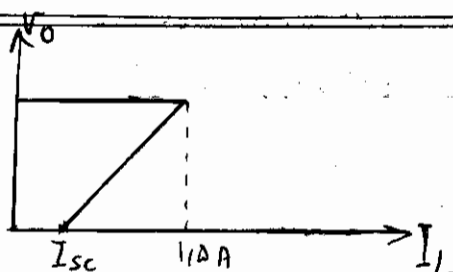
به مدار بالا، مدار محدود کننده جریان می‌گوییم.

به فرض مدار بالا را در  $1.5^A$  تنظیم کنیم حال اگر  $I_L$  بیشتر از  $1.5^A$  شود حتماً در

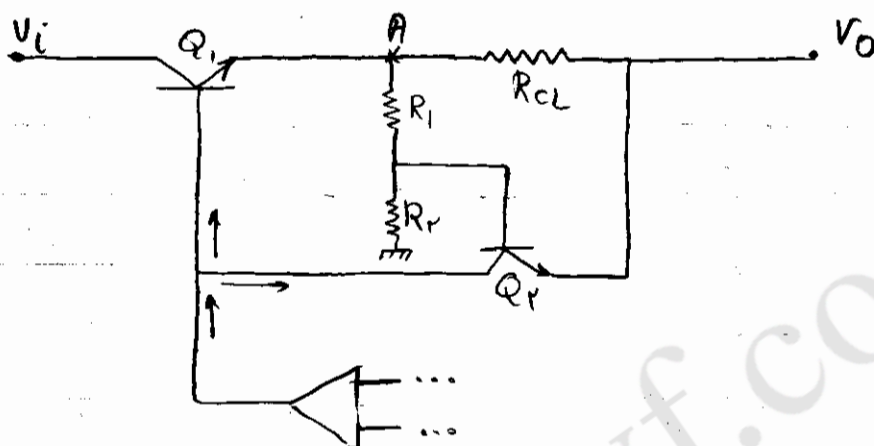
خروجی (در بار) مشکلی بوجود آمده است. حال می‌خواهیم در این حالت جریان به

جای اینکه ثابت بماند کم شود تا به بار آسیبی نرسد و از آن محافظت کرده باشیم

لذا مداری با مشخصه زیر می‌خواهیم:



به چنین مداری Fold back می‌گویند که در شکل زیر نشان داده شده است:



$$V_{BEr} = V_{BEON}$$

$$V_{Br} - V_{Er} = V_A \cdot \frac{R_r}{R_1 + R_r} - V_O = (V_O + R_{CL} I_L) \frac{R_r}{R_1 + R_r} - V_O = V_{BE}$$

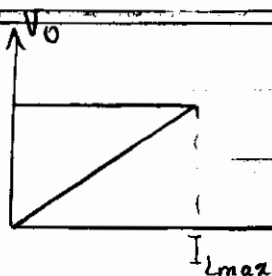
$$\rightarrow V_O \left( \frac{R_r}{R_1 + R_r} - 1 \right) + R_{CL} I_L \cdot \frac{R_r}{R_1 + R_r} = V_{BEr}$$

$$\rightarrow I_L = \frac{V_{BE} - V_O \left( \frac{R_r}{R_1 + R_r} - 1 \right)}{R_{CL} \cdot \frac{R_r}{R_1 + R_r}}$$

$$\rightarrow I_{L_{max}} = \frac{(R_1 + R_r) V_{BEON} + \overset{12V}{V_O} \cdot R_1}{R_{CL} \cdot R_r}$$

$$\text{if } V_O = 0 \rightarrow I_L = I_{sc} < I_{L_{max}}$$

نوع دیگری از محدودکننده‌ها وجود دارند که به مدار قطع‌کننده موسوم هستند

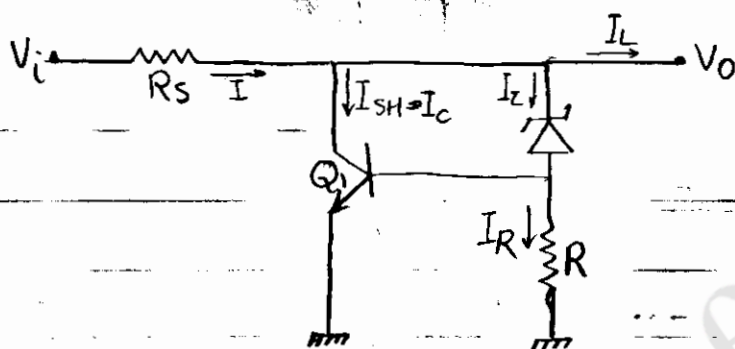


که مشخصه  $V_O - I_L$  در آنها بصورت مقابل است:

برای ساخت چنین مدلی نیاز به المان‌های غیر خطی  $I_L$  داریم.

خواهیم داشت که خواهیم دید با  $BJT$  می‌توانیم چنین مدلی بسازیم.

رگولاتور شنت :



$$V_O = V_i - R_s I, \quad I = I_L + I_Z + I_{SH}$$

$$V_Z = V_{ZK} + R_Z I_Z = V_O - V_{BE} \rightarrow I_Z = \frac{V_O - V_{BE} - V_{ZK}}{R_Z}$$

$$I_B = I_Z - I_R = I_Z - \frac{V_{BE}}{R}, \quad I_{SH} = \beta I_B$$

بعد از جایگزینی 
$$V_O = \frac{r_Z}{r_Z + \beta R_s} V_i - \frac{R_s r_Z}{r_Z + \beta R_s} I_L + \frac{\beta R_s}{r_Z + \beta R_s} (V_{ZK} + V_{BE})$$

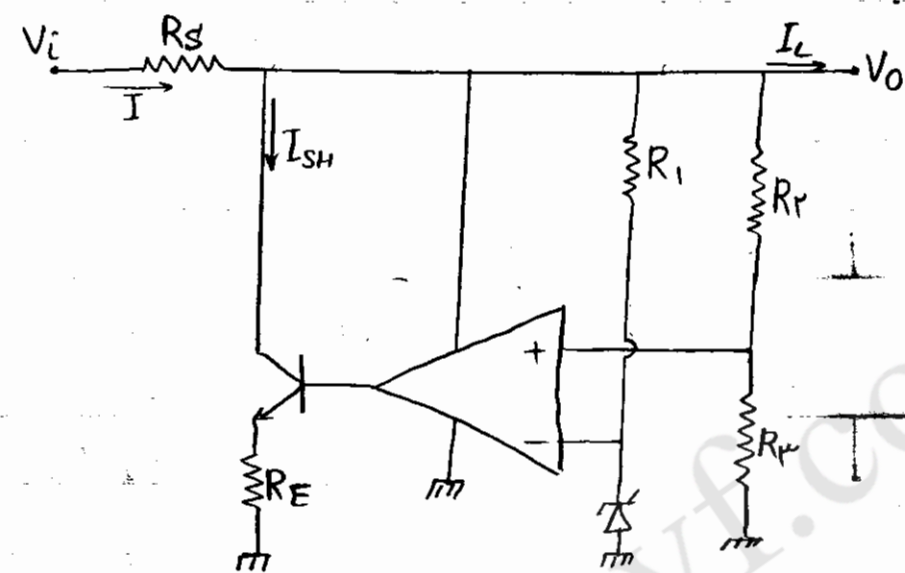
$$\rightarrow S_V = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta V_i} \right| = \frac{r_Z}{r_Z + \beta R_s} \approx \frac{r_Z}{\beta R_s}$$

$$S_I = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} \right| = - \frac{R_s r_Z}{r_Z + \beta R_s} \approx - \frac{r_Z}{\beta}$$

$$S_T = \left. \frac{\Delta V_O}{\Delta T} \right| = \frac{\beta R_s}{r_Z + \beta R_s} \left( \frac{\Delta V_{ZK}}{\Delta T} + \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \right)$$

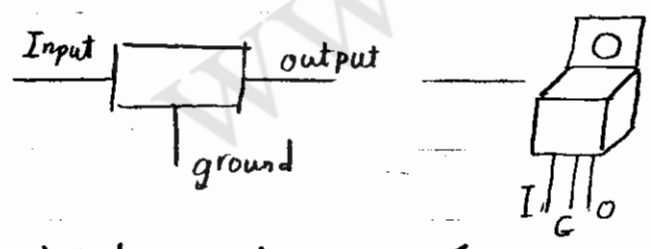
که ضرایب ثبات بالا در مقایسه با اولین مدار که شامل زنر و مقاومت بود بهبودی

یافته اند. البته در این مدار فقط المان کنترل به صورت مجزا بکار رفته است. اگر تمام المان های یک رگولاتور را به طور مجزا به کار ببریم بالطبع، کاملترین رگولاتور است را خواهیم داشت:



تمرین: ضرایب  $S_V$ ،  $S_I$  و  $S_T$  را برای مدار بالا بدست آورید.

رگولاتورهای ذکر شده عموماً به صورت مدارهای مجتمع ساخته می شوند که دارای

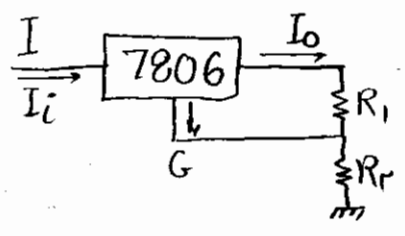


سه پایه هستند:

چنین IC هایی با نام LM78XX هستند که XX نشان دهنده ولتاژ خروجی

خواهد بود که مقادیر استاندارد آن ۰۵، ۰۶، ۰۸، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴

است. عدد ۷۸ نشان دهنده رگولاتور مثبت است یعنی ورودی مثبت، خروجی مثبت.

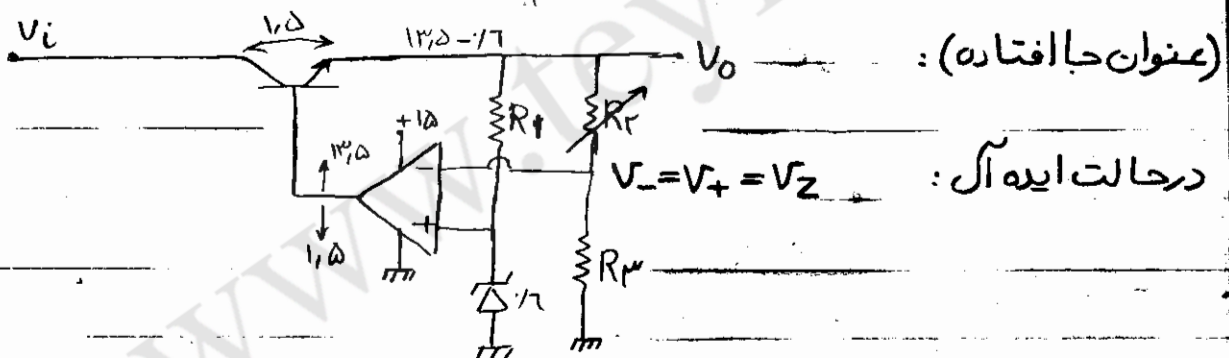
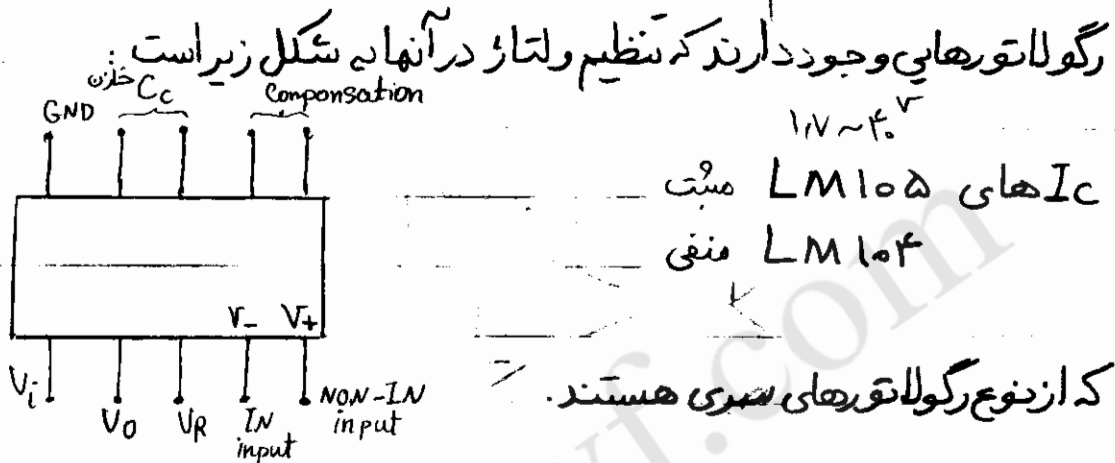




نوع دیگر رگولاتورها، IC های بانام LM79 هستند که به عنوان رگولاتورهای

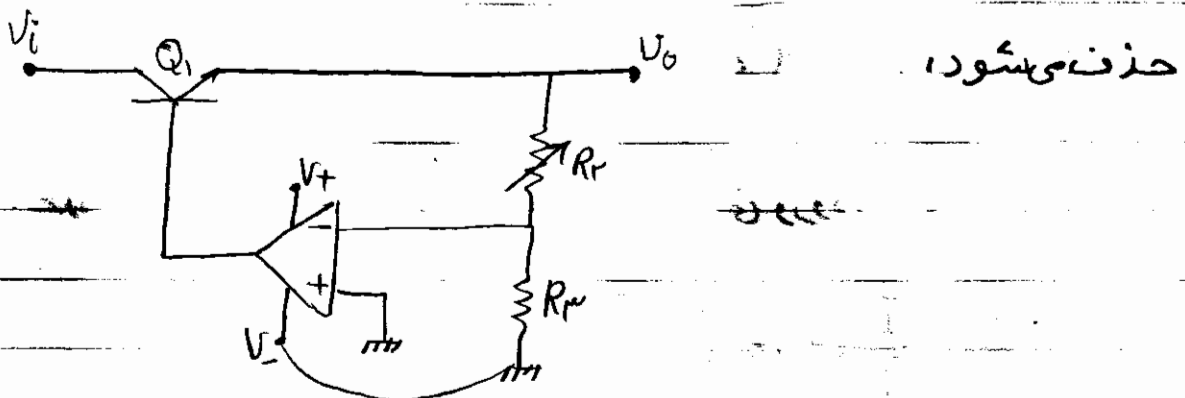
منفی به کار می روند. یعنی ورودی منفی، خروجی منفی.

مداری که در صفحه قبل دیده می شود برای تنظیم خروجی به کاری روژ.



$$V_2 = V_- = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_0 \rightarrow V_0 = V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

برای اینکه  $V_0$  صفر نشود،  $R_2$  را صفر می کنیم و زئیر را بهی داریم که در این صورت  $R_1$  نیز



در این صورت ناچاراً باید تغذیه منفی نیز داشته باشیم. چون Op-Amp ایده آل

است و  $V_+ = V_-$  و برابر صفر هستند با توجه به اینکه  $V_0$  مقدار دارد جریانی از  $R_2$  بوبه پائین سر از زیر می شود برای اینکه این جریان وارد Op-Amp نشود و آن را به حالت غیر خطی نبرد باید  $R_3$  را به  $V_-$  وصل کنیم. تا جریانی به  $R_3$  وارد شود

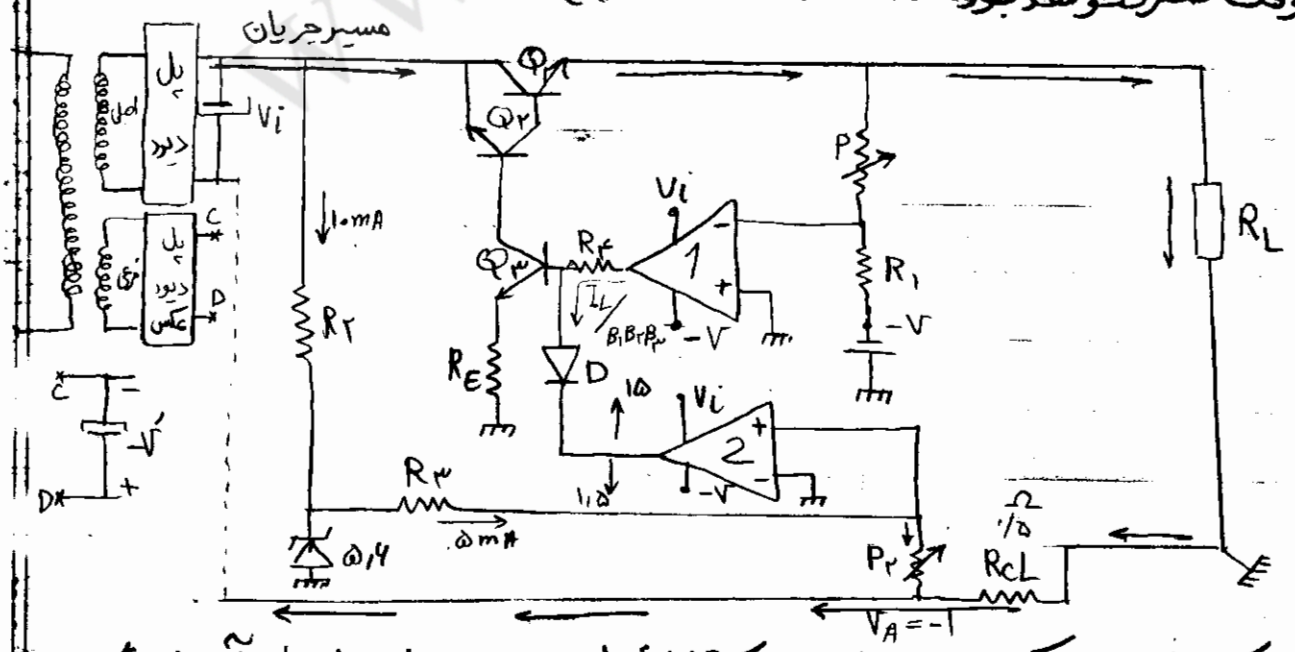
در این حالت :

$$I_{R_2} = I_{R_3}$$

$$\frac{V_0}{R_2} = \frac{V}{R_3} \rightarrow V_0 = V \cdot \frac{R_2}{R_3}$$

لذا برای اینکه در خروجی ولتاژ صفر داشته باشیم باید تغذیه منفی داشته باشیم. در نتیجه در خروجی  $I_C$  های LM105 و LM104 مقدار خروجی می بینیم هیچ

وقت صفر نخواهد بود.



در شکل بالا محدود کننده جریانی رای بینیم که قابل تنظیم بوده و جریان مدار وارد آن نمی شود.

مقاومت  $R_{CL}$  نمونه برداری جریان می‌کند. چون سرست چپ  $R_{CL}$  منفی است و باید وارد

ترمینال منفی Op-Amp شده و با ترمینال مثبت مقایسه شود لذا طراحی باید به گونه ای باشد که

وقتی  $I_L$  از مقدار ماکزیم بیشتر شود  $V_+$  هم از  $V_-$  بیشتر شود. ( $V_-$  اهم که صفر است).

پس باید  $I_{Lmax}$  ولتاژ را به صفر برسانیم. برای این کار از یک پتانسیومتر  $P_p$  و دیود زنر

$V_+$

استفاده کنیم.

وقتی که  $I_L$  از  $I_{Lmax}$  کمتر است Op-Amp 2 به اشباع مثبت می‌رود و دیود D هم خاموش خواهد

بود و جریان مسیر خود را طی می‌کند. زمانی که  $I_L$  کمی از  $I_{Lmax}$  بیشتر شود  $V_+$  از صفر به

طرف منفی رفته و Op-Amp به اشباع منفی می‌رود. در نتیجه دیود D روشن می‌شود و جریانی

از Op-Amp 1 به Op-Amp 2 سرایت می‌شود. جریان  $I_Q$  در این حالت مینیمم می‌شود

ولی صفر نخواهد شد چون در این صورت جریان شاخه اصلی مدار صفر خواهد شد. وجود

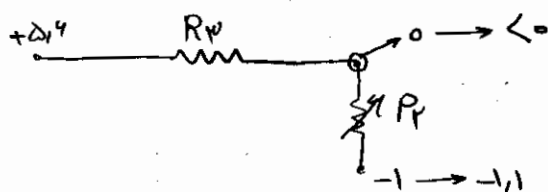
مقاومت  $R_F$  بین دو Op-Amp برای این است که اگر از Op-Amp 1 بیش از حد جریان بکشیم ولتاژ

آن افت پیدا نکند. جریانی که از  $P_p$  می‌گذرد در حد میلی آمپر است.

نکته: زمینی که مدار دارد باز می‌نویس که  $V_i$  دارد متفاوت است.

$V_A$  را نسبت به صفر مدار ۱- ولت انتخاب کردیم که در این حالت  $V_+$  صفر است. حال اگر  $I_L$

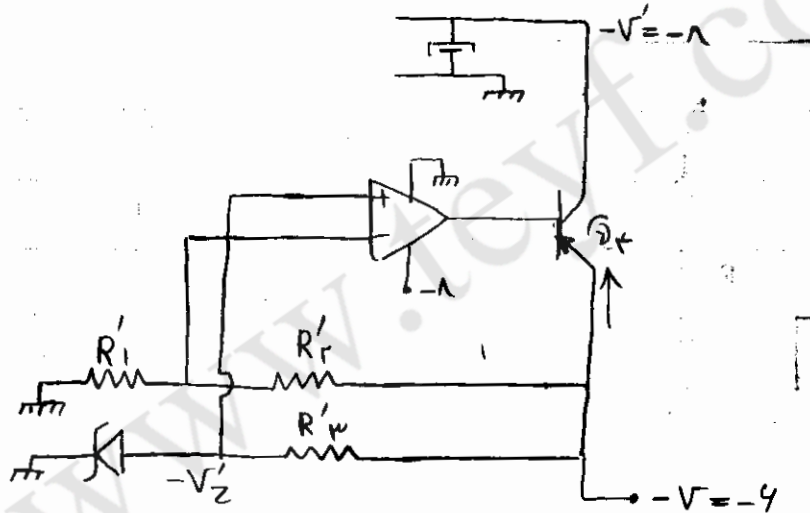
از  $I_{max}$  بیشتر شود  $V_A$  مثلاً ۱٫۱- شده و  $V_+$  کوچکتر از صفر می شود.



برای اینکه ولتاژ  $V_-$  (تغذیه منفی و ولتاژ مرجع) را تولید کنیم از قسمت پل دیود فرعی استفاده

می کنیم که  $V_-$  تولید می کند.  $V'_-$  کمی بیشتر از  $V_-$  است. مثلاً اگر  $V_-$  برابر ۶- باشد آن

گاه  $V'_-$  برابر ۸- است.  $V_-$  را مطابق شکل زیر به یک رگولاتور دیگری دهیم تا  $V_-$  را بگیریم:



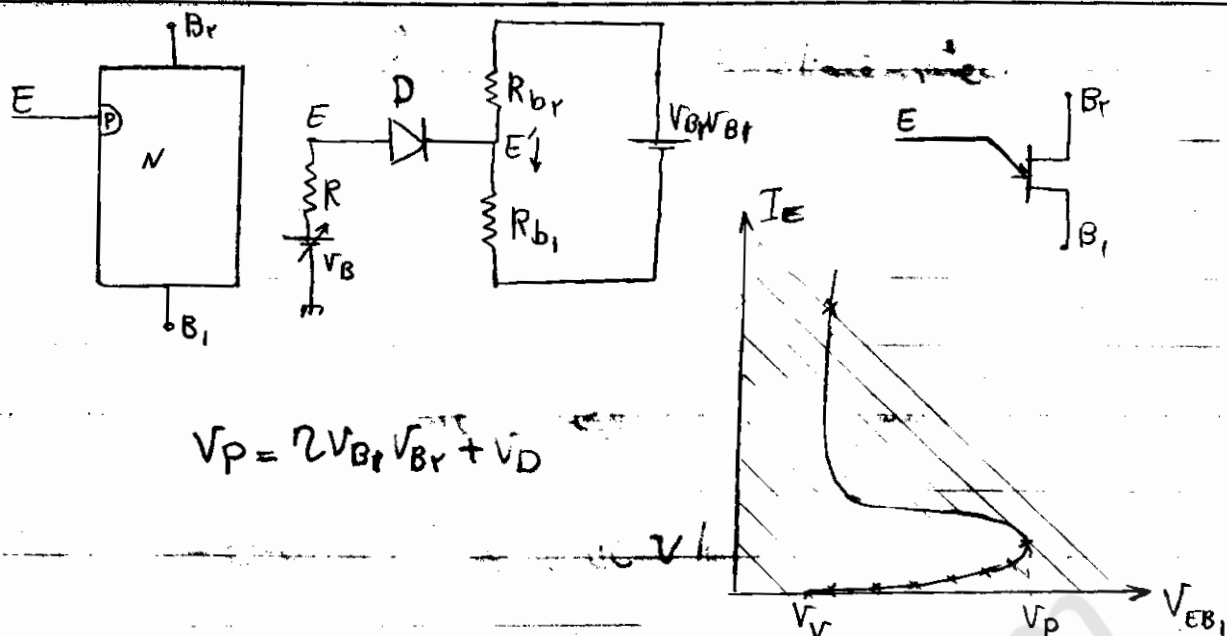
لذا باطری مدار را برداشته و آن را به  $V_-$  بالا وصل می کنیم.

مقاومت های  $R_2$  و  $R_3$  در مدار اصلی برای بایاس کردن دیود زنر مدار اصلی است.

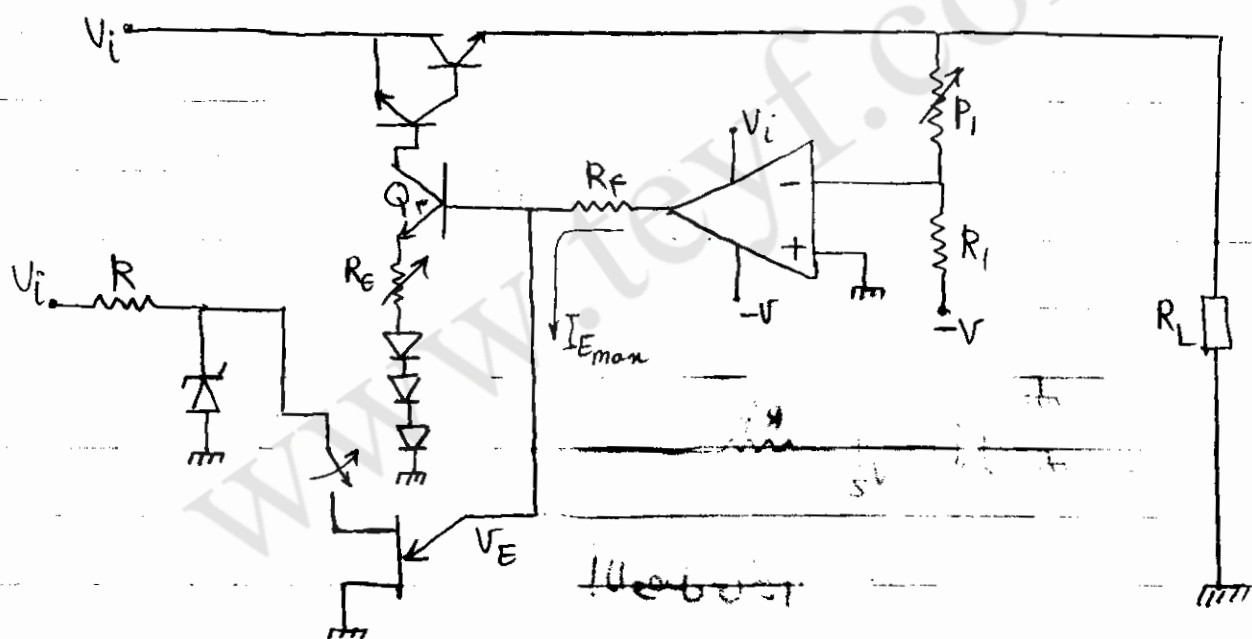
قطع کننده جریان:

(این شاء ... که UJT را خاموش نکرده اید.

یادآوری UJT از الکترودیک I:



قطع کننده جریان : باز هم فرمان قطع کنندگی را در خروجی op-Amp قرار می دهیم.



فرض می کنیم وقتی جریان  $I^A$  شد باید قطع شود. با توجه به شکل و لتاژ روشن شدن آدا

رابطه است می آوریم:

$$V_{Br} = R_E I_{Er} + V_{BEr}$$

$$\rightarrow \begin{cases} V_{Br} = R_E \frac{I_{Lmax}}{\beta_1 \beta_r} + V_{BEr} \\ V_p = 2V_i + V_D \end{cases}$$

بعد از روشن شدن  $\mu\text{JT}$  می خواهیم جریان مدار صفر شود. (برخلاف محدود کننده جریان)

لذا جریان  $I_E$  باید صفر شود. برای این کار از سه دیود در امیتر  $Q_3$  استفاده می کنیم.

حال جریان صفر شد مقدار  $R_E$  را انتخاب می کنیم به این ترتیب که جریان  $R_E$  باید از

$I_{E_{max}}$  المان  $\mu\text{JT}$  تجاوز نکند تا  $\mu\text{JT}$  نسوزد.

چون دیودها را در امیتر  $Q_3$  قرار دادیم لذا ولتاژ روشن شدن  $\mu\text{JT}$  به صورت زیر

$$V_{B_3} = R_E \cdot I_{E_3} + V_{BE_3} + 3V_D \quad \text{تغییری کند:}$$

وقتی که جریان  $I_{L_{max}}$  بیشتری شود  $V_-$  از  $V_+$  بیشتر شده و  $Op-Amp$  به اشباع مثبت

می رود و  $\mu\text{JT}$  روشن خواهد ماند. حال بار را از خروجی برداشتیم و می خواهیم دوباره

مدار کار کند. در این حالت باز هم  $Op-Amp$  در اشباع مثبت خواهد ماند، (بالینکه  $I_L$

صفر است). برای اینکه مدار کار کند باید  $I_L$  به نحوی خاموش شود که راههای

متفاوتی برای خاموش کردن آن وجود دارد:

یک راه این است که یک کلید در امیتر  $\mu\text{JT}$  قرار دهیم و آن را باز کنیم که این راه

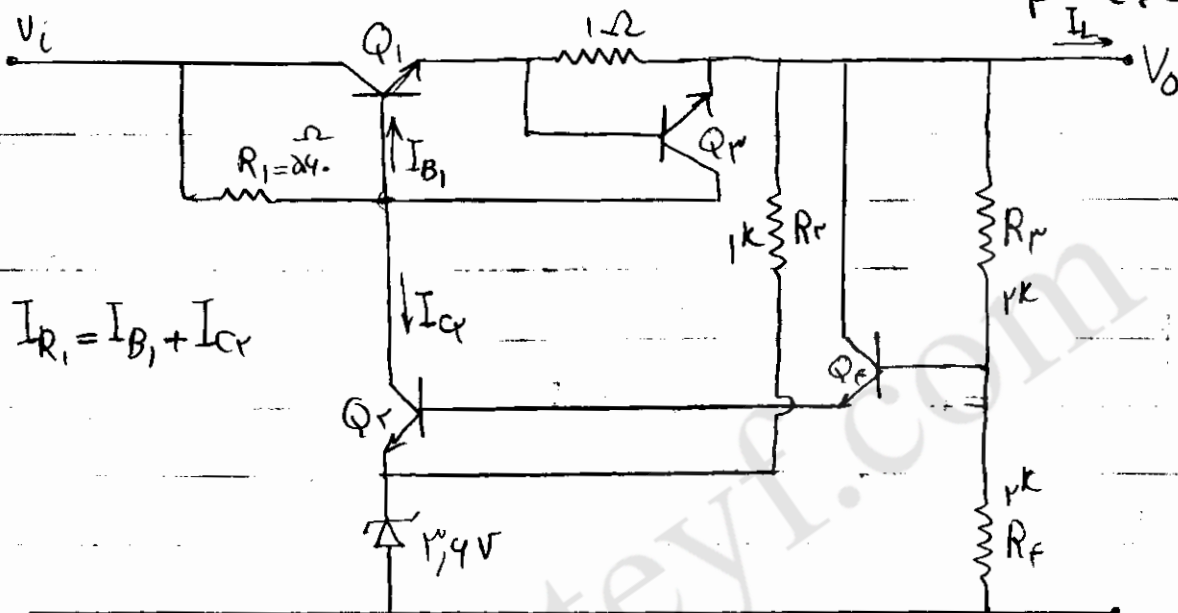
مرسوم نیست. راه دیگر این است که  $\mu\text{JT}$  را قطع کنیم.

برای تنظیم کردن مقدر  $I_{L_{max}}$  (مثلاً به جای  $2^A$ ،  $3^A$ ) باید  $R_E$  را تغییر دهیم و برای اینکه  $\mu\text{JT}$



هم در  $I_L$  جدید مثلاً  $3^A$  قطع کنند از ترکیب زنر و مقاومت استفاده می‌کنیم.  
برای تولید  $V_i$  و  $V_o$  - هم همانند محدود کننده جریان از ترانس و... استفاده می‌کنیم.

سوال پایان ترم :-



$$I_{R_1} = I_{B_1} + I_{C_2}$$

الف لحز کار مدار - ب - ولتاژ  $V_o$  - ج - جریان خروجی ماکزیم  $I_{Lmax}$

$$\beta = h_{fe} = 100, \quad V_{BE} = 1V, \quad V_{CEsat} = 1V, \quad I_{Lmax} \leftarrow V_{i_{min}} \rightarrow$$

وقتی می‌گوییم طرز کار مدار را توضیح دهید یعنی عاملی ولتاژ را از تثبیت خارج کند حال

توضیح می‌دهید که مدار چگونه ولتاژ را تثبیت می‌کند.  $R_2$  و  $R_3$  نمونه بردار و ولتاژ مرجع

زنر و  $Q_2$  و  $Q_3$  مقایسه کننده هستند. برای بایاس زنر است. چون وقتی  $I_{C_2}$

صفر می‌شود برای اینکه زنر روشن بماند از بایاس  $R_2$  استفاده می‌کنیم. وقتی  $V_o$  کاهش

می‌یابد،  $V_{BE_3}$  کاهش می‌یابد و در نتیجه  $I_{B_3}$  کاهش خواهد یافت. کاهش  $I_{B_3}$  باعث کاهش

$I_{C1}$  می شود. با فرض ثابت بودن  $I_{R1}$  در نتیجه  $I_{B1}$  افزایش می یابد و نهایتاً  $I_L$

افزایش و  $V_0$  زیاد می شود. 
$$V_{BE} = V_0 \cdot \frac{R_F}{R_F + R_E} \rightarrow V_0 = 1.7$$

جریان خروجی ماکزیمم وقتی است که  $I_{C1}$  صفر شود. اگر  $V_i$  را داده بود باید  $I_{R1}$  را محاسبه

و  $I_{B1}$  را بدست می آوردیم. در اینجا محدود کننده جریان وجود دارد ( $Q_3$ ) و لذا ماکزیمم

جریان خروجی را  $Q_3$  تعیین می کند. اگر به فرض  $V_{BE3}$  برابر  $0.7V$  باشد:

$$V_{BE3} = I_{Lmax} \times 1^2 \rightarrow I_{Lmax} = 1.7A$$

$$V_{E1} = V_0 + 0.7V = 1.017$$

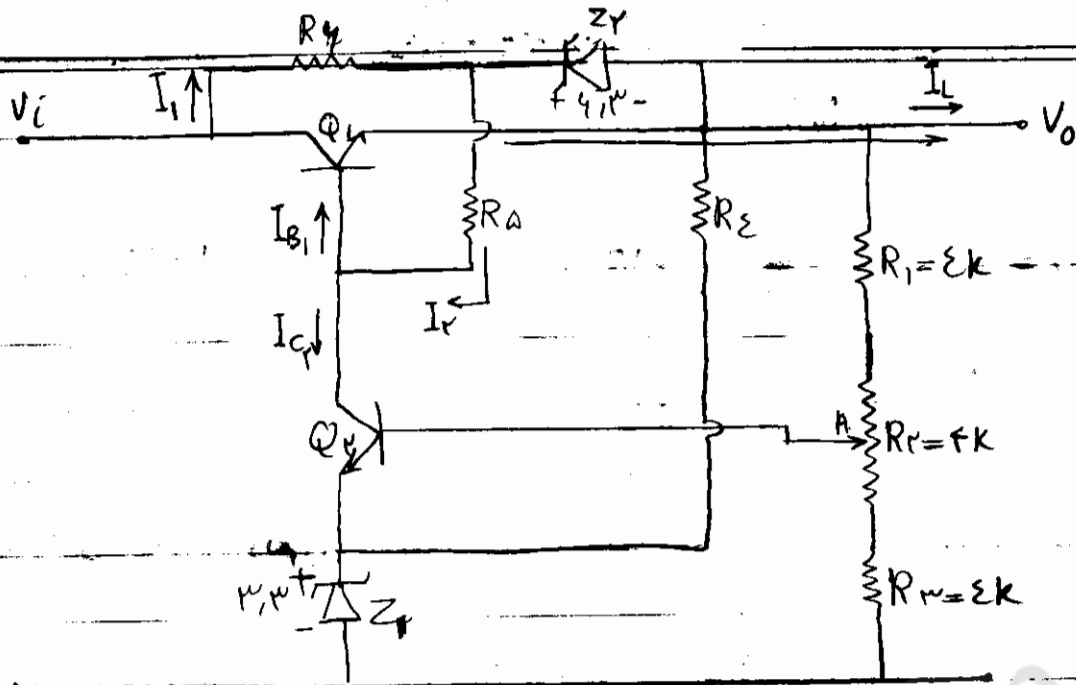
برای اینکه  $Q_3$  وارد اشباع نشود پس  $V_i$  باید حداقل  $\frac{11}{10.4 + 0.3}$  باشد. (۱)

$$V_i = R_1 I_{R1} + V_{BE1} + 1.017$$

وقتی که  $I_{Lmax}$  از مدار می گذرد با فرض اینکه  $Q_2$  عمل کرده و  $I_{C1}$  صفر شده:

$$V_{i_{min}} = R_1 \cdot \frac{I_{Lmax}}{\beta_1} + V_{BE1} + 1.017 = 15.32V \quad (2)$$

از (۱) و (۲) نتیجه می گیریم که:  $V_{i_{min}} = 15.32V$



الف) ثابت کنید مقدار  $I_2$  ثابت است. با تغییرات ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی ثابت است.

ب) با فرض  $I_2$  ثابت طرز کار مدار را تعیین کنید. ج) محدوده تغییرات  $V_o$  را تعیین کنید.

$$2.5 < V_i < 3, \quad R_5 = 5.1k, \quad I_{2min} = 5mA, \quad I_{2max} = 10mA$$

؟  $R_1, R_2, R_3$  ؟

$$I_2 = \frac{V_{R5}}{R_5} = \frac{(V_o + V_{Zr}) - (V_o + V_{BE1})}{R_5} = \frac{V_{Zr} - V_{BE1}}{R_5} = cte$$

اگر فرض کنیم که جریان شاخه های  $R_1, R_2, R_3$  ناچیز هستند. اگر  $V_o$  کاهش یابد

نتیجه می گیریم که  $I_L$  کاهش یافته است. کاهش  $V_o$  باعث کاهش  $V_{BE1}$  و در نتیجه

کاهش  $I_{C1}$  می شود. چون  $I_2$  ثابت است، در نتیجه  $I_{B1}$  افزایش می یابد. افزایش

$I_{B1}$  افزایش  $I_L$  را به همراه خواهد داشت و در نتیجه  $V_o$  افزایش می یابد.

برای تعیین محدوده  $V_o$ ، پتانسیومتر را از صفر تا مقدار ماکزیم آن تغییر می دهیم

در این صورت تغییرات ناچیزی در  $V_{B_r}$  اعمال می شود که قابل صرف نظر کردن است و

علا  $V_{B_r}$  را ثابت می گیریم.  $V_{B_r} = V_{Z_r} + V_{BE_r} = 4 \text{ V}$

if  $R_r \rightarrow \max$  :  $V_A = \frac{R_r + R_w}{R_1 + R_r + R_w} V_0$

$\rightarrow V_0 = 4 \text{ V}$

if  $R_r \rightarrow \min$  :  $V_A = \frac{R_w}{R_1 + R_r + R_w} V_0 \rightarrow V_0 = 12 \text{ V}$

(د) در شرایط بحرانی باید حداقل جریان از  $R_4$  گذشته و زنر بار روشن نگه دارد :

$\rightarrow \begin{cases} I_{l \min} = I_r + I_{Zr \min} \end{cases}$

$\rightarrow \begin{cases} V_{R_4 \min} = V_{i \min} - (V_{0 \max} + V_{Z_r}) \end{cases}$

$I_r = \frac{V_{Z_r} - V_{BE_r}}{R_A} = 1 \text{ mA} \rightarrow I_{l \min} = 4 \text{ mA}$

دلیل اینکه در رابطه بالا  $V_{0 \max}$  قرار می دهیم این است که : برای اینکه  $I_l$  مینیم

شود باید  $V_{R_4}$  مینیمم شود یعنی ولتاژ سر است آن ماکزیمم و ولتاژ سرچپ

$\rightarrow R_{4 \max} = \frac{V_{R_4 \min}}{I_{l \min}} = 1,117 \text{ K}$  آن می نیمم شود.

$\begin{cases} I_{l \max} = I_r + I_{Zr \max} = 21 \text{ mA} \end{cases}$

$\begin{cases} V_{R_4 \max} = V_{i \max} - (V_{0 \min} + V_{Z_r}) \end{cases}$

$\rightarrow R_{4 \min} = \frac{V_{R_4 \max}}{I_{R_4 \max}} = 143 \text{ } \Omega \rightarrow 143 \text{ } \Omega < R_4 < 1117 \text{ } \Omega$

شرایط بحرانی برای  $R_f$  وقتی است که مجموع جریان  $R_f$  و  $I_{C2}$  به حد روشن

شدن زنجیر برسد. لذا اگر  $I_{C2}$  را صفر بگیریم می‌توانیم  $I_{Rf}$  بدستی آید:

$$\text{For } R_{f \max} : \begin{cases} V_{Rf \min} = V_{O \min} - V_{Z1} \\ I_{Z1 \min} = I_{C2} + I_{Rf \min} = 5 \text{ mA} \end{cases}$$

$$\rightarrow R_{f \max} = \frac{V_{Rf \min}}{I_{Rf \min}} = 540 \Omega$$

for  $R_{f \min}$ :

می‌توانیم  $R_f$  وقتی است که بیشترین جریان از زنجیر بگذرد. شرایط بحرانی وقتی است که

$$\begin{cases} V_{Rf \max} = V_{O \max} - V_{Z1} \\ I_{Z1 \max} = I_{C2 \max} + I_{Rf \max} \end{cases}$$

هم  $I_{C2}$  و هم  $I_{Rf}$  ماکزیم باشند:

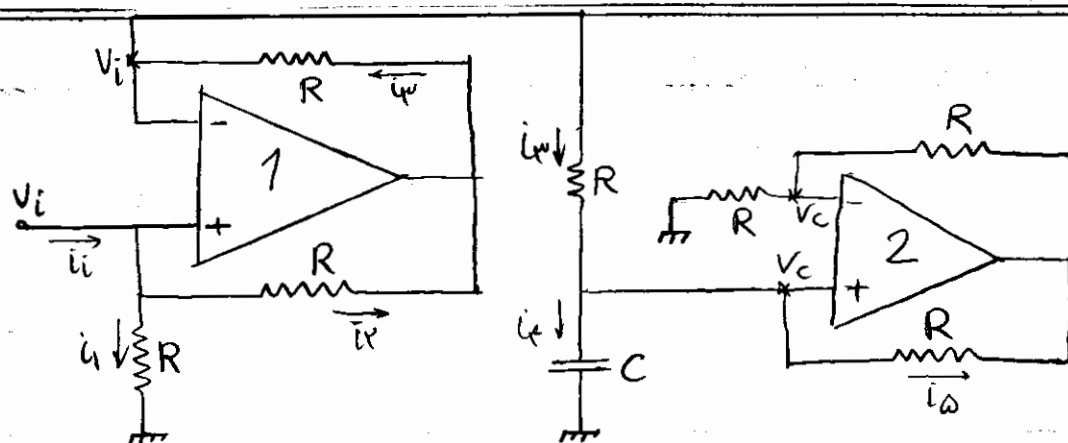
اگر  $\beta$  ترانزیستورها را داشتیم باید  $I_{R1}$  و  $I_{Rf}$  را جمع زده و برابر تقسیم می‌کردیم.

در این حالت  $I_{C2}$  ماکزیم بدستی آمد. اما در اینجا با صرف نظر کردن از  $I_{R1}$  و  $I_{Rf}$

فرض می‌کنیم ماکزیم  $I_{C2}$  با صرف شدن  $I_L$  اتفاق می‌افتد.

$$R_{f \min} = \frac{V_{Rf \max}}{I_{Rf \max}} = 451 \Omega$$

$$\rightarrow 451 \Omega < R_f < 540 \Omega$$



Zi را بدست آورده و ثابت کنید مدار به عنوان یک زیراتر عمل می کند .

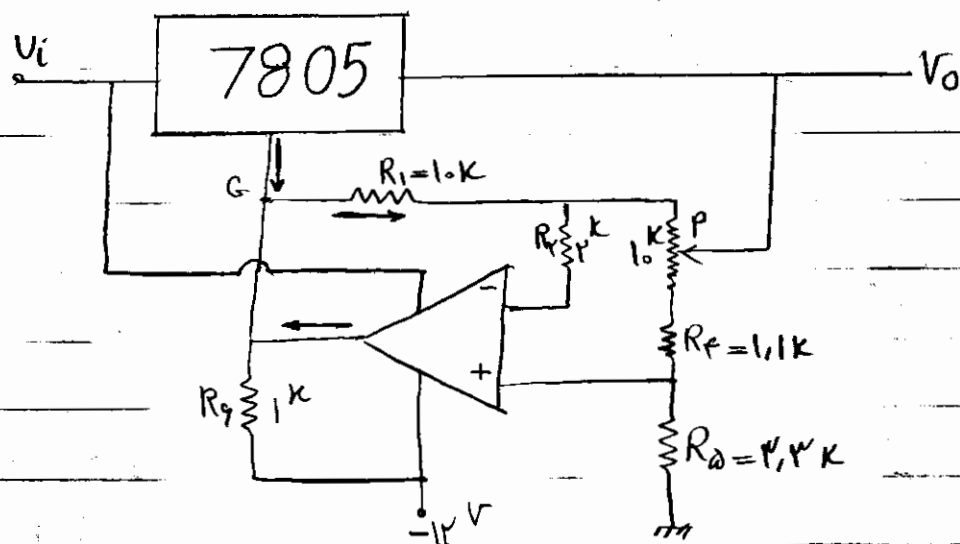
$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{I_i + I_R} \quad \therefore \quad V_{OR} = (1 + \frac{R}{R}) V_C = 2V_C$$

$$i_{\psi} = i_f + i_{\Delta} \quad , \quad \frac{V_i - V_c}{R} = i_{\psi} = \frac{V_c}{\frac{1}{\mu S}} + \frac{V_c - \gamma V_c}{R}$$

$$\rightarrow V_c = \frac{V_i}{RCs}, \quad i_v = \frac{V_i - V_c}{R} = \frac{V_i - \frac{V_i}{RCs}}{R}$$

$$V_{O1} = R i_r + V_i, \quad i_r = \frac{V_i - V_{O1}}{R}, \quad i_1 = \frac{V_i}{R}$$

$$\rightarrow Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R \quad \rightarrow L = R C$$





در مدار رگولاتور شکل بالا، مینیمم و ماکزیمم  $V_0$  را به ازاء تغییرات  $P$  بدست آورید.  
(تمام المان های مدار دماصی خطی کاری کنند)

اگر  $P$  در وضعیت مینیمم باشد:

$$V_0 = V_G + \Delta V$$

$$V_G = V_0 \left( -\frac{R_1}{P} \right) + V_+ \left( 1 + \frac{R_1}{P} \right)$$

$$V_+ = V_0 \left( \frac{R_5}{R_4 + R_5} \right)$$

$$V_G = V_0 - \Delta$$

$$\rightarrow V_0 = 1.0175 V$$

اگر  $P$  در وضعیت ماکزیمم باشد:

المان ها در  
ناصیه خطی هستند

$$V_- = V_+$$

$$\rightarrow V_0 = V_0 \frac{R_5}{R_5 + R_4 + P}$$

$$\rightarrow V_0 = 0$$

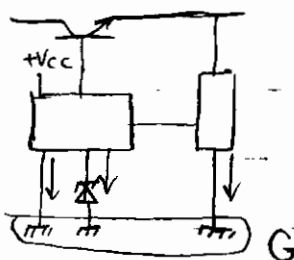
$$V_G = -\Delta V$$

$$\rightarrow 0 \leq V_0 \leq 1.0175$$

برای اینکه  $V_0$  صفر نشود باید  $V_G$  برابر  $-\Delta$  باشد. لذا وجود تغذیه منفی ضروری

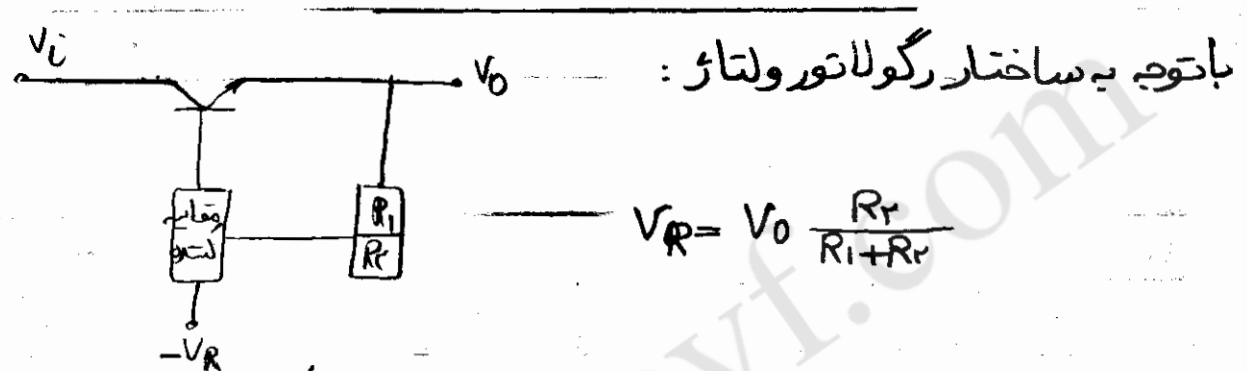
است. سوال: مقاومت  $R_4$  چرا حتماً نیاز است؟

باتوجه به ساختار داخلی 7805:



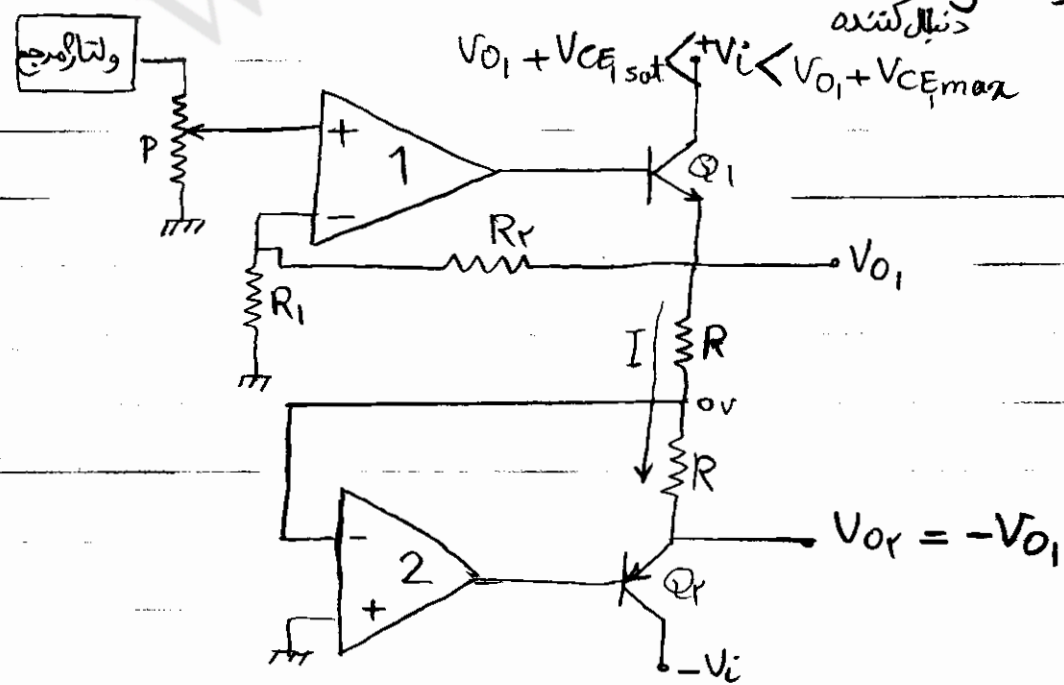
باتوجه به اینکه سه جریان همواره وارد  $G$  می شوند پس همیشه جریانی از  $G$

رو به پائین سرانبره شود. از طرفی یک جریان هم از خروجی Op-Amp به سمت خارج می آید. جریانی که با اینکه به سمت راست است ولی ثابت و تعیین شده است. لذا نیاز به یک مسیر جریان داریم که توسط  $R_6$  بوجود می آید. لذا برای بایاس کردن مدار ضرورت دارد.



با تغییر  $R_1$  یا  $V_R$  می توان  $V_o$  را تنظیم کرد. در مدارهایی که تاکنون دیدیم  $R_1$  را تغییر می دادیم حال با تغییر  $V_R$  خروجی را تنظیم می کنیم.

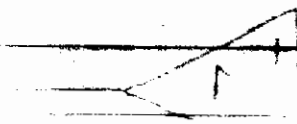
رگولاتور Tracking  
دنبال کننده



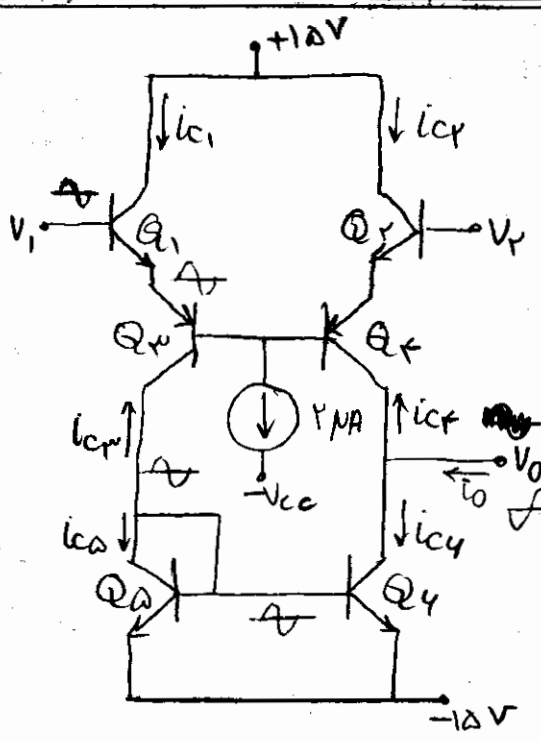
if  $R_1 = R_2$  ,  $V_R = 5V$

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_f} \times V_0 = \Delta \quad \begin{cases} V_i > V_{01} \\ |1 - V_i| > |V_{01}| \end{cases}$$

$$R_{id} = r_{hie} + R_{Br}$$



پایان تمام سال ۷۲ :



NPN :  $\beta = h_{fe} = 200$   
 $2V_T = 20 \text{ mV}$   
 $h_{oe} = \frac{I_C}{V_{ce}}$

PNP :  $h_{fe} = \beta = 100$   
 $2V_T = 20 \text{ mV}$   
 $h_{oe} = \frac{I_C}{100}$

$$A_d = \frac{V_o}{V_i - V_r} = ?$$

if  $V_i = -V_r = V$  :

$$\rightarrow I_{Br} = I_{Bf} = 1 \mu A \rightarrow I_{Cw} \approx I_{C1} \approx I_{C3} = 200 \mu A$$

$$\rightarrow h_{ie1} = \frac{2V_T \beta_1}{I_{C1}}, \quad h_{iew} = \frac{2V_T \beta_r}{I_{Cw}}$$

$$i_o = i_{cf} + i_{cy} \quad , \quad i_{C1} = -i_{Cw} = i_{C3} = i_{cy}$$

$$\rightarrow i_o = i_{cf} + i_{C1} \quad ; \quad i_{cf} = -i_{cy}$$

$$\rightarrow i_o = i_{C1} - i_{cy}$$

$$A_d = \frac{V_o}{V_i - V_r} = \frac{V_o}{2V} \quad , \quad i_{b1} = \frac{V}{h_{ie1} + h_{iew1}}$$

$$\rightarrow i_{C1} = \frac{h_{fe1} \cdot V}{h_{ie1} + h_{iew}} = \frac{h_{fe1} \cdot V}{2h_{ie1}}$$

$$R_{ib1} = (h_{ie1} + \frac{h_{iew}}{\beta_r} \cdot \beta_1) = (h_{ie1} + \frac{2V_T \beta_r}{I_{Cw} \beta_r} \cdot \beta_1) = h_{ie1}$$

$$R_{ib_r} = R_{ib_1} \rightarrow i_{b_r} = \frac{-v}{r_{ib_1}}$$

$$\rightarrow i_{c_r} = -\frac{h_{fe_1} v}{r_{ib_1}}$$

$$\rightarrow i_o = \frac{h_{fe_1} v}{r_{ib_1}} + \frac{h_{fe_1} v}{r_{ib_1}}$$

$$\rightarrow i_o = \frac{g_m}{r_{ib_1}} v$$

$$V_o = -R_o i_o = -R_o g_m v$$

$$A_d = \frac{V_o}{v} = \frac{-R_o g_m v}{v} = -R_o g_m$$

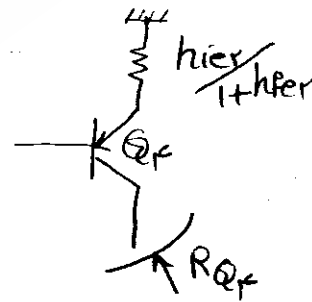
$$\boxed{A_d = -\frac{R_o g_m}{r}}$$

با تست کردن فاز سیگنالها (با توجه به مشکل) به درستی علامت منفی در  $A_d$  پی می بریم

$$R_o = R_{Q_4} \parallel R_{Q_5}$$

با فرض  $r_{ib_1} = 0$  : صفر

$$R_{Q_4} = \frac{1}{\frac{1}{r_{ib_1}} + \frac{h_{ie_1} \cdot \frac{h_{ie_2}}{1+h_{fe_2}}}{h_{ie_1} + \frac{h_{ie_2}}{1+h_{fe_2}} + 0}}$$



$$R_{Q_4} = \frac{1}{\frac{1}{r_{ib_1}} + \frac{h_{ie_1} \cdot \frac{h_{ie_2}}{1+h_{fe_2}}}{h_{ie_1} + \frac{h_{ie_2}}{1+h_{fe_2}} + 0}}$$