۷۷

۸۱/۲/۲۵

۸۱/۲/۲۴

الکترونیک (۳)

مهندس لطیفی

جبران سازی فیدبکی (فرکانسی) Frequency compensation

مثل سری 741 ، 351 ، که از داخل جبران سازی کاملی روی آنها انجام شده است.

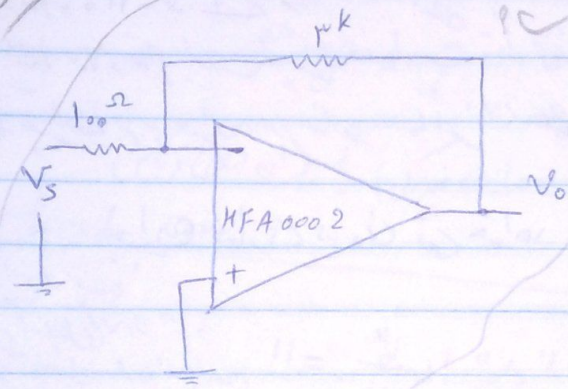
به ازای بهره dB پایدار هستند منتها دارای اورشوت هستند.

دسته‌ای از تقویت کننده‌ها اصلاً جبران سازی نشده‌اند.

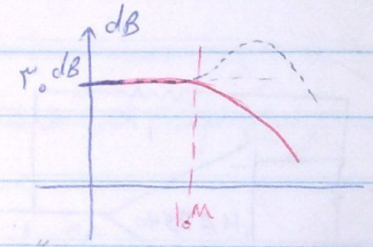
جبران سازی عبارتست از ایجاد پاسخ مناسب از یک تقویت کننده با فیدبک.

مثال

مسئله / فرکانس کار پاسخ سیستم چگونه است؟ آیا نیاز به جبران سازی دارد؟



$$\frac{V_o}{V_s} \simeq \frac{3k}{100} \simeq 30 \Rightarrow 30\,dB$$



جبران سازی لازم نیست

$V_{s_{max}} = 10\,mV$

این دستگاه احتیاجی به جبران سازی ندارد اصلاً داره به صورت یک تقویت کننده کار می‌کند

$1^M \gtrsim f_s \gtrsim 10^M$

آخر فرکانس کار قبل از تقویت کننده کار می‌کند

در فرکانس کار پاسخ سیستم چگونه است؟

از اینجا بیاید

$V_o = V_m \sin(\omega t - \phi)$

از منحنی حلقه باز در $f = 10^{MHz}$ منحنی $A = 60\,dB$

از منحنی نیکولز

$60\,dB - 30\,dB = 10\,dB$

جبران لازم نیست

$|T(j\omega)| \simeq 10\,dB$

$f = 10\,MHz$

$f = 10\,MHz$

$\left|\frac{T}{1+T}\right| = \%5\,dB$

ستوکرا است

$PM = \angle T - (-180°)$

$\angle T = PM - 180°$

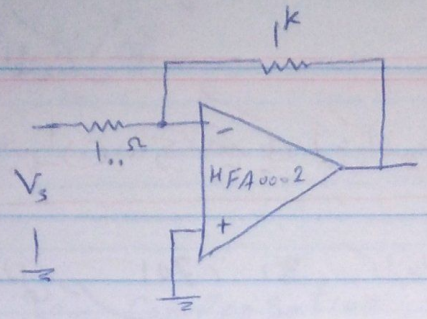
$\angle T(j\omega)$ $\quad PM = 90°$

$\Downarrow 90° - 180° = -90°$

$f = 10\,MHz \rightarrow \angle T(j\omega)_{10\,MHz} = -90°$

$\angle \frac{T}{1+T} = -\cancel{10°}$ $-17°$

خودم سه چون PM بالای ۷۰ است سیستم کمی قضایی است و پایدار است و نیازی به جبران سازی نیست



مثال دیگر $1^M < f_s < 100^M$

$\frac{V_o}{V_s} = 20\,dB \rightarrow A_f = 20\,dB$

از نیکولز

$\left|\frac{T}{1+T}\right| = -\cancel{7}\,dB$ $-1\,dB$

$\angle\frac{T}{1+T} = -\cancel{70}^\circ$ -55°

از منحنی حلقه باز

$V_{s_{max}} = 10\,mV$

(HFA-0002) منحنی باز

$A = 20\,dB \leftarrow f = 100^M$

$1^M \cancel{<} f \cancel{<} 100\,MHz$

$A - A_f \rightarrow T = 0\,dB$

$20 - 20$

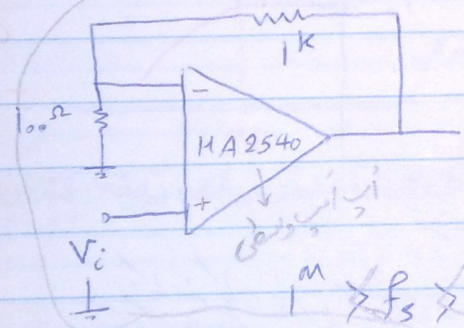
$\angle T = PM - 180^\circ$

$f = 100\,MHz \xrightarrow{\text{منحنی}} PM = 70^\circ \Rightarrow \angle T = -110^\circ = PM - 180^\circ$

اینجا $PM = 70^\circ$ است پس یک نقطه است و قله نمی‌زند و برای هیچ فرکانسی هم قله نمی‌زند

پس احتیاج به جبران سازی ندارد اما اگر $PM < 70^\circ$ شد آنگاه دیگر یک نقطه نیست و می‌دانیم

جبران سازی بیرونی نمی‌خواهد.



$1 + \frac{1^k}{100\Omega} = 11$

$\frac{V_o}{V_i} = 11 \Rightarrow \simeq 20\,dB \rightarrow A_f$

$1^M \cancel{<} f_s \cancel{<} 40^M$

$f = 40\,MHz \Rightarrow A = \cancel{10}\,dB$ 11

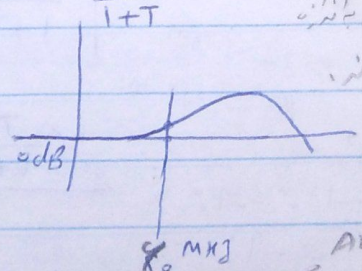
$T = A - A_f = \cancel{10} - 20 = -\cancel{7}\,dB$ -3

$|T| = -\cancel{7}\,dB$ $-3\,dB$

$\angle T = -\cancel{140}^\circ$ -150°

$\left|\frac{T}{1+T}\right| = 2\,dB$

$\angle\frac{T}{1+T} = -\cancel{70}^\circ$ -110°



خط مرجع 0dB بوده و در فرکانس 40MHz به اندازه 2dB قله زده پس در این فرکانس قله می‌زند.

احتیاج به جبران سازی فرکانسی دارد.

$\frac{V_o}{V_i}\Big|_{f=40^M} = 20\,dB + 2\,dB = 22\,dB \Rightarrow 13$ antilog

ما انتظار داشتیم که بهره بشود 11 مقابل

در فرکانس 40^M بیشتر از 11 مقابل (13، 14، یا 15 مقابل) بهره شده است.

۷۸

۸۱/۲/۱۵

پایان ترم خواهد شد ۸۱/۳/۳۰

الکترونیک (III)

انواع جبران سازی:

۱- جبران سازی دامنه (کاهش بهره حلقه باز) gain compensation

۲- جبران سازی قطب غالب (کاهش فرکانس قطب غالب)

Dominant pole compensation

۳- جبران سازی پس فاز Lag comp.

۴- جبران سازی پیش فاز (جبران سازی فیدبکی) یا جبران سازی فرکانس

Lead comp.

جبران سازی یعنی کم کردن اورشوت یا افزایش PM.

برای جبران سازی اگر PM زیاد شود. البته آنچه که بدست می‌آید MPF کم می‌شود. MPT کم می‌شود

MPF ↓

MPT ↓

ζ ↑

Q ↓

f_{hi} ↓

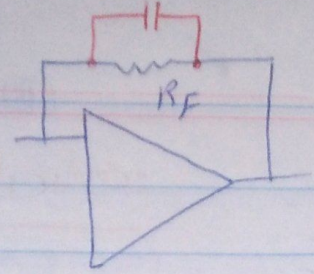
t_r ↑

slew rate ↓ ← بسبب تغییرات دیگر کردیم جبران سازی یعنی هوست را گرفتیم

IC AD 553 جبران نشده است.

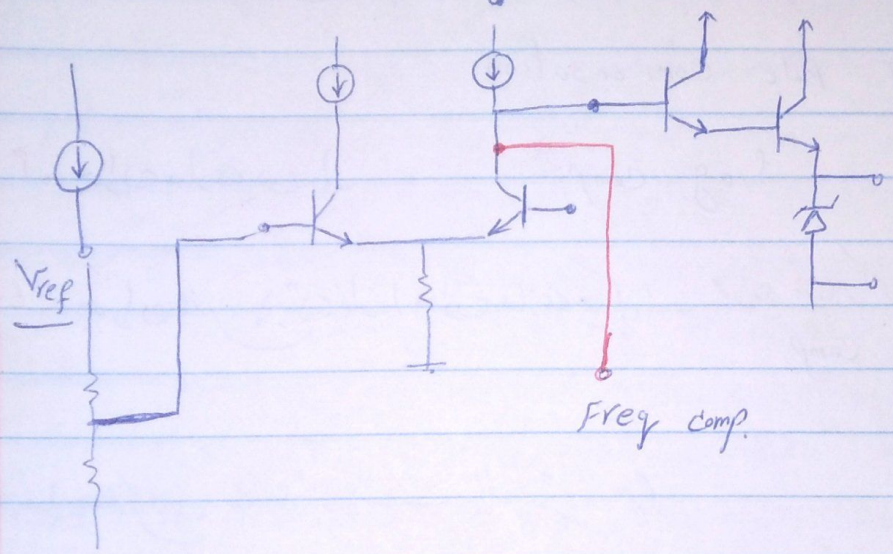
پایه ۱۲ ← نوشته Frequency Compen — آنجا اگر یک خازن نوشته شده به کلکتور مشترک ببریم

می‌توانیم با یک خازن جبران سازی را انجام دهیم.



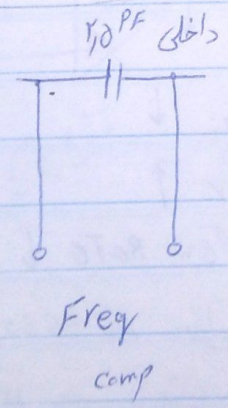
یا می‌توانیم از یک خازن بین مواج Compe استفاده کنیم اگر نخواهیم که از همان خازن استفاده کنیم می‌توانیم از چیزهای دیگری استفاده کنیم

LM 723 Regulator (Voltages)



در ناحیه قطب غالب خازن نصب کنیم برای جبران سازی،
اگر جبران سازی نخواهید، خازن داخل کنید یا پایه Compensation.

LF 357



⇒ این IC نیمه جبران شده است، اگر لازم شد است یک خازن از بیرون پایه خازن موازی کنیم.

۸۱/۲/۵

بنشین و توضیح بده

الکترونیک (III)

IC HA 2540 ، در بخش ورودی پایه ورودی آمده به دیفرانسیل ، نقش مقاومت بهره امیتر دیفرانسیل کیو را کم می‌کند ، در قسمت ورودی کل کیو را کم کرده است بهره حلقه باز شده ۹۰ dB شاید اگر آن مقاومت نبود کیو بیشتر از ۹۰ dB بود

یک تکه خازن است که جبران ساز قطب غالب است

جبران سازی lag هم به آن اضافه کرده

سر به انتهای کیو ۵۰ dB نمی‌توانه کم کند ، ۵۰ dB ، PM صفحه است

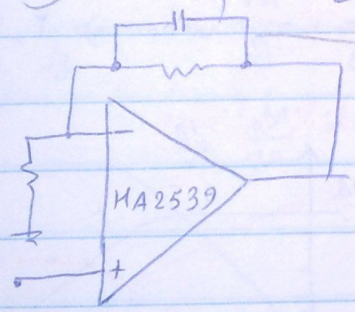
تنها گزینه‌ای که می‌ماند جبران سازی فیدبکی است ، خودش پایه‌ی دیگری ندارد که بخواهیم جبران کنیم . ① جبران ساز داخله در بخش دیفرانسیل ② جبران ساز بیرونی قطب غالب

دو نوع جبران سازی از داخل خودش دارد (HA 2539) و ما سر یکی دیگر از بیرون اضافه کردیم . می‌بینیم که به ازای IC بعدی را ببینید

روی امیتر مقاومت نصب است این جبران ساز داخله

آخرین خازن که روی منبع جریان و دیفرانسیل است ، قطب غالب است (منبع جریان و دیفرانسیل) سر جبران ساز قطب غالب انجام داده است

آن درگیری قله می‌زنه تنها گزینه‌ای که می‌ماند نوع چهارم جبران سازی که فیدبک است می‌ماند

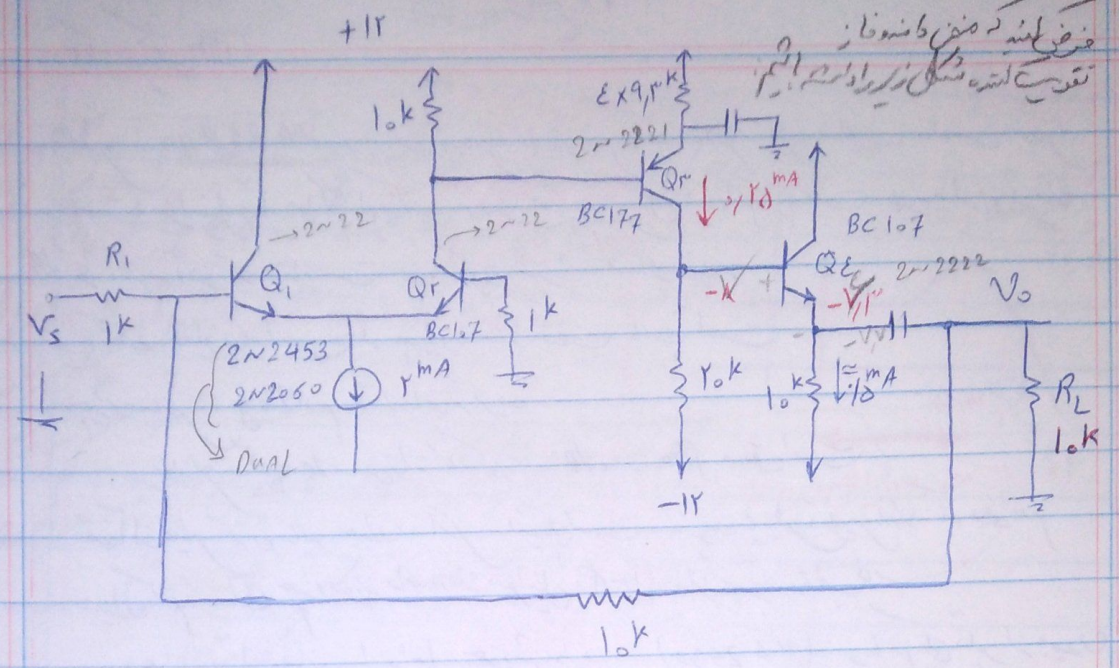


جبران سازی چهارم (فیدبک)

بیایید با هم یک مدار تقویت کننده که دیفرانسیل به آن اعمال شده است در نظر بگیریم :

در مسیر فیدبک می‌گذاریم آن را ، ابتدا

فرض کنید که منبع دامنه فاز
تقویت کننده شکل زیر را داشته باشیم



$\beta \simeq 100$

$A =$ حلقه باز $\frac{V_o}{V_i} = A_4 \cdot A_3 \cdot A_d$

$r_{e_1} = r_{e_2} = 25\,\Omega$

$\simeq (1)\left(-\frac{20k}{100\,\Omega}\right)\left(\frac{5k}{50\,\Omega}\right)$

$r_{e_3} \simeq 100\,\Omega$

$\simeq (1)(200)(100) \simeq 20000 \Rightarrow \simeq 86\,dB$

$r_{e_4} \simeq 50\,\Omega$

$R'_{L4} \simeq \frac{10k}{3} \simeq 3.3k$

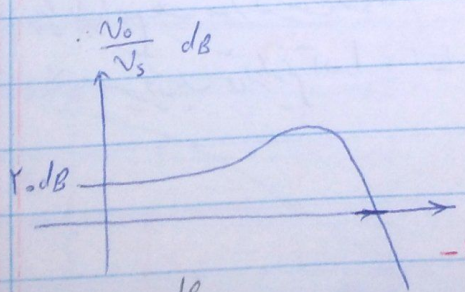
$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_2}{R_1} = 10 \Rightarrow 20\,dB$

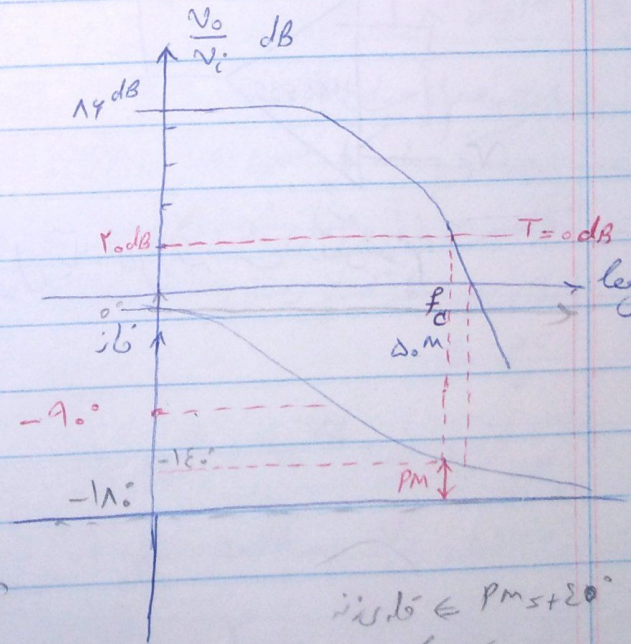
$R_{in\,4} \simeq 330k$

$R'_{L3} = 20k \parallel 330k \simeq 20k$

$R_{in\,3} \simeq 10k$

$R'_{L2} \simeq 5k$





۱۸۰ $MPF = 4^{dB} \Leftarrow 3.25 \Leftarrow 40°$

$PM = +40° \Leftarrow$ قابل زنه

این دارد قابل زنه، فرکانس تشدید

کنترل کننده، دارد قابل زنه.

$1^m \; 4f_s \; 70^{MHz}$

۸۰

۸۱/۱/۲۵

الکترونیک (III)

اگر $PM=0$ بود باید پس مشروط

بعد از تقریب از جدول ۲ $PM \simeq 40^\circ \rightarrow \zeta = 0.25$

پیش از جبران سازی

چون PM_{min} $\left(\frac{f_p}{f_c}\right)_{min}$ $f_p \simeq 50^M \leftarrow f_p/f_c = 1 \leftarrow \zeta = 0.25$

$1.6 f_p = f_{hi}$ $\left(\frac{f_{hi}}{f_c}\right)$ $f_{hi} \simeq 50^M \times 1.6 \simeq 80^M$

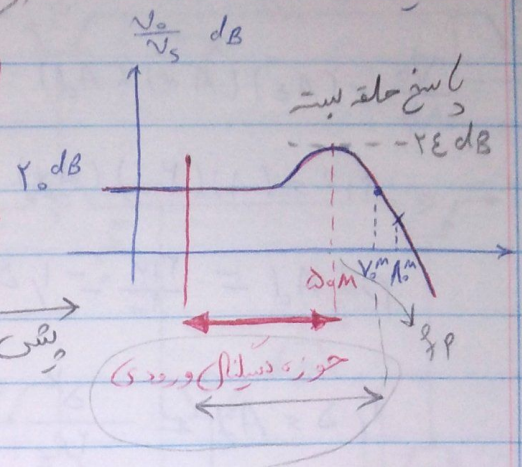
$\zeta \simeq 0.25$

$MPF \simeq 4\ dB$

پیش از جبران سازی

$1^M \lesssim f_s \lesssim 10^{MHz}$

فرکانس نمونه‌برداری



PM بین ۰ تا ۴۰° ← درجه ۲

PM بین ۷۰ تا ۸۰ (برای راز ۷۰) ← درجه ۱

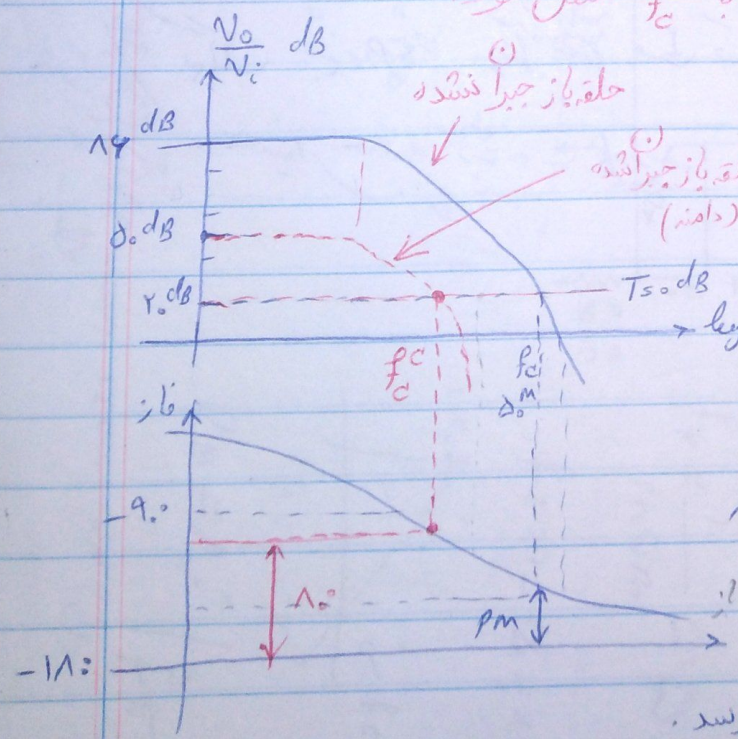
PM^C ← پسوند C در بالای PM یعنی جبران شده (Compensated)

$PM^C \overset{\text{مورد نظر}}{=} 80^\circ$ → یعنی باید تابع انتقال در منحنی قبل را زوم کنیم به سمت پایین.

در تقریب اول بفرض ثابت بودن منحنی فاز.

f_c باید به f_c^C منتقل شود.

مثلاً فرض کنید اگر منحنی را ۳۶ dB بیاوریم پایین، PM می‌شود ۸۰°



اگر بخواهیم از جبران سازی دامنه استفاده کنیم باید کل منحنی حلقه باز به سمت پایین منتقل شود تا محل تلاقی بهره حلقه بسته و منحنی حلقه باز f_c^C شود.

بهره حلقه باز باید از 86^{dB} به 50^{dB} برسد

$\frac{V_o}{V_i}$ حلقه باز $= 50\ dB \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} \simeq 316$

بهره حلقه باز از ۲۰۰۰۰ به ۳۱۶ برسد.

نصب مقاومت روی امیتر مشکل را حل می‌کند. ضمناً بهره اپ امپ‌ها خلل وارد می‌کند

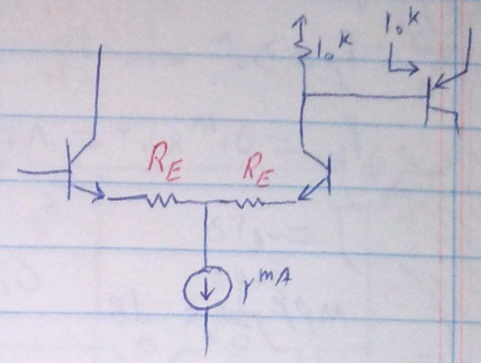
$$\frac{V_o}{V_i} = (A_E)(A_3)(A_d)$$

$$316 = (1)(200)(A_d)$$

لازم $A_d \simeq \frac{316}{200} \simeq 1.5$

$$1.5 = A_d \simeq \frac{5k}{2R_E + 50\Omega}$$

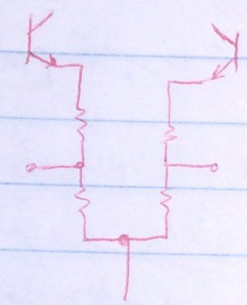
$$R_E \simeq 1.7\ k\Omega$$



$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{\frac{dA}{A}}{1+AB}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB}$$

733



بهتر است که جبران‌سازی را دور کردن PM نسازیم. بهتر است که مثلاً PM=30° بگیریم

PM=50° دیدیم بعد از افزودن آن مقاومت‌ها

تمرین/ با PM=50° ← مقدار R_E=? حدود چند اهم می‌شود.
280Ω

تمرین/ به کمک PSPICE در بگزینه سوم ۲ فیدبک را با تغییر مقدار R_2 رسم و جواب بگیرید و ضخامت‌های حلقه‌ها را به دست بیاورید.

$$C_{b'} = \frac{C_\mu}{1+\frac{R_E}{r_e}} = \frac{5\,pF}{1+\frac{243}{0.758}} = 1.57\times10^{-2}\,pF \simeq 0$$

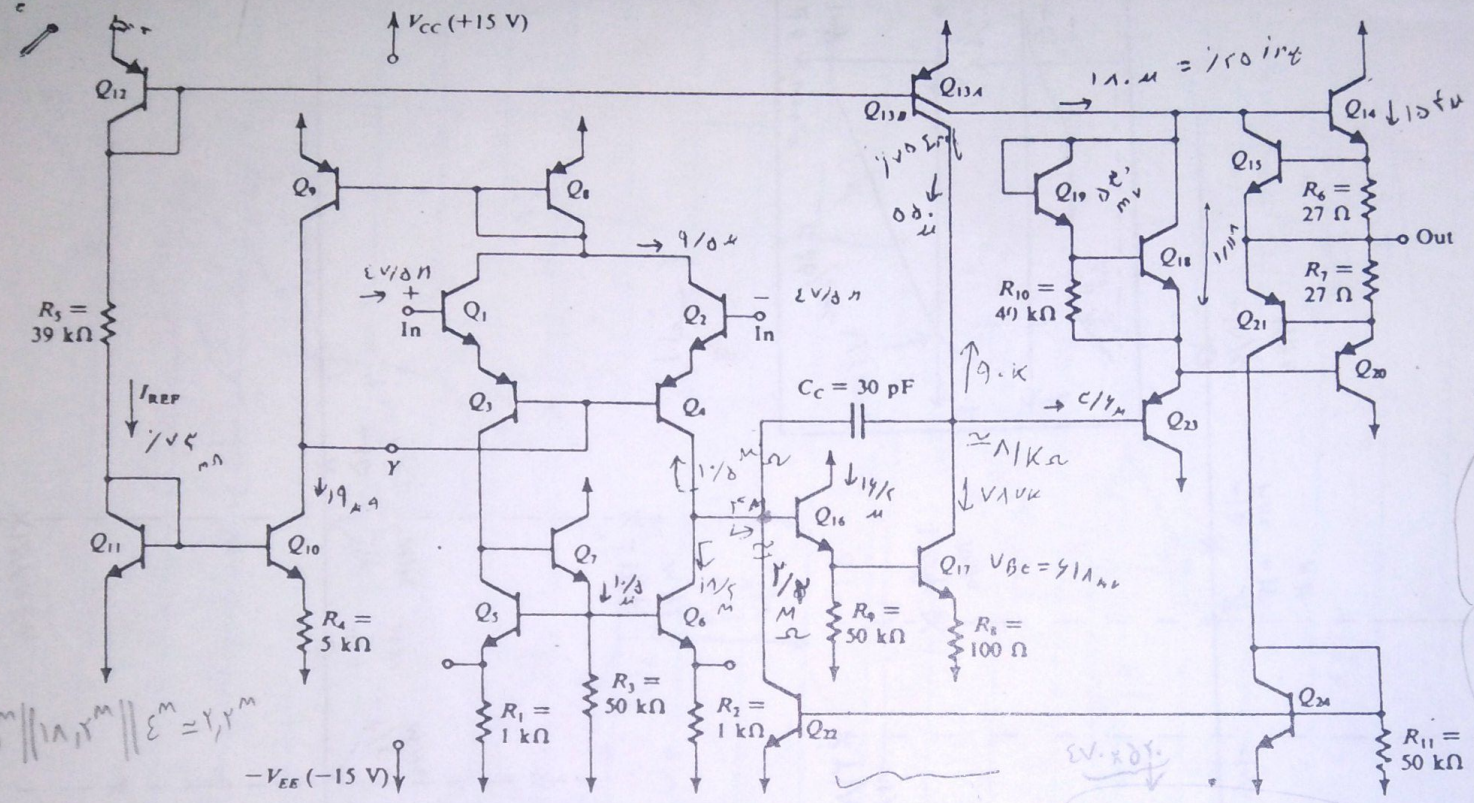


Fig. 13.1 The 741 op-amp circuit.

$R'_{L4} = 1.05^M \| 18.2^M \| 4^M \simeq 2.2^M$

$A \simeq -4^4 V_0$

$A \simeq -5 G_0$

$\simeq 240000 \Rightarrow 100\ dB$

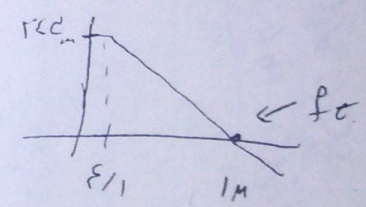
$R'_{L4} \simeq 2.4\ M\Omega$

خازن قطب غالب ۵ است (پس از جبرانسازی)

$C_i \simeq C_0(1+A_{dv}) \simeq 15800\ pF$

$f_p \simeq \frac{1}{2\pi C_i R_T} \simeq \ \ Hz$

$f_T \times 1 \simeq \ \ Hz \times 240000$



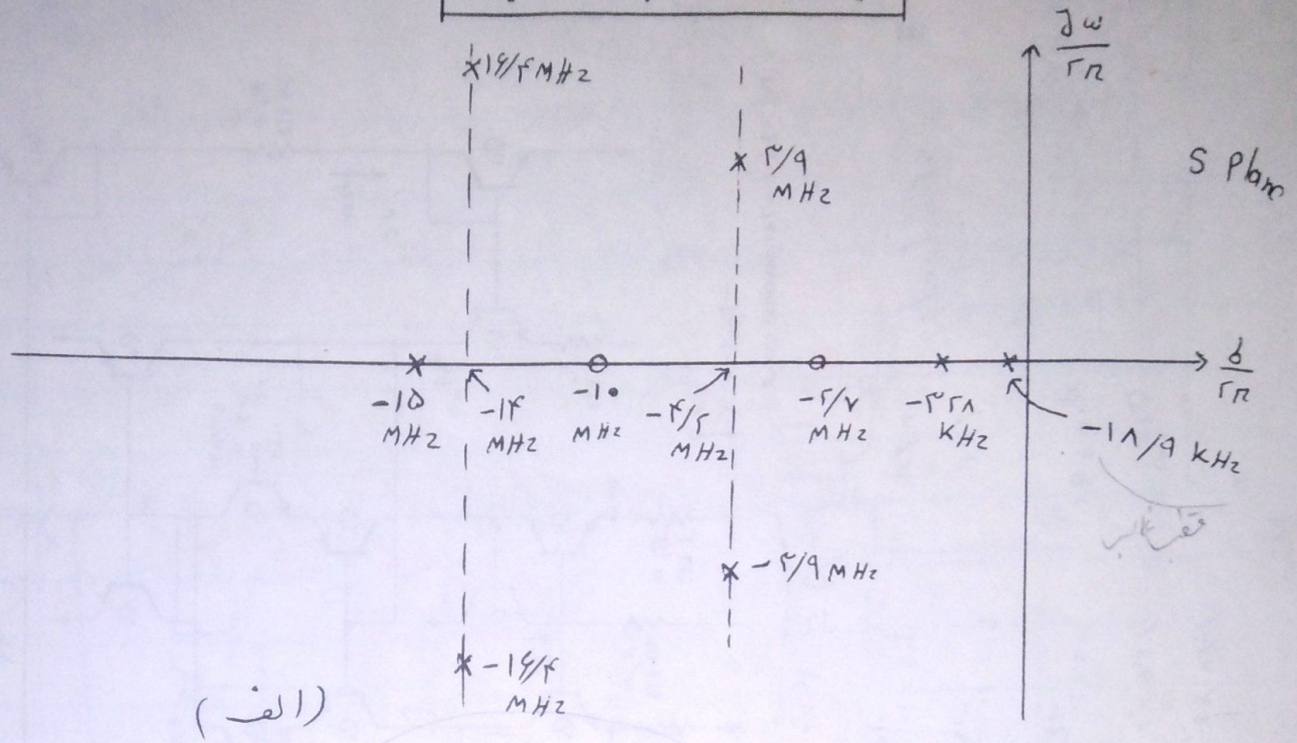
$PM = A_0 / f_T$ در

مزایا: بهره 240000 است — برای افزایش بهره dB در f_T قطب بهره کم کرده است

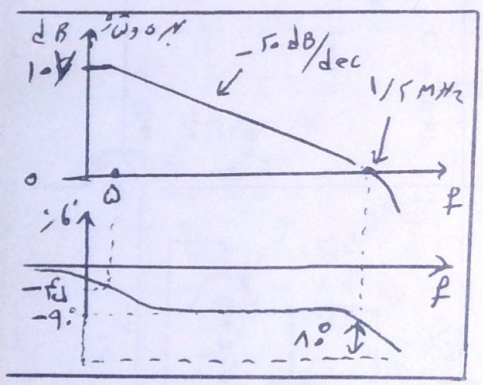
standard	npn	$I_S = 10^{-14}$	$\beta = 200$	$V_A = 125$
	pnp	$I_S = 10^{-14}$	$\beta = 50$	$V_A = 50$
	Q_{12}, Q_{20}	2×10^{-14}		
	Q_{16}	0.25×10^{-14}		
		0.75×10^{-14}		

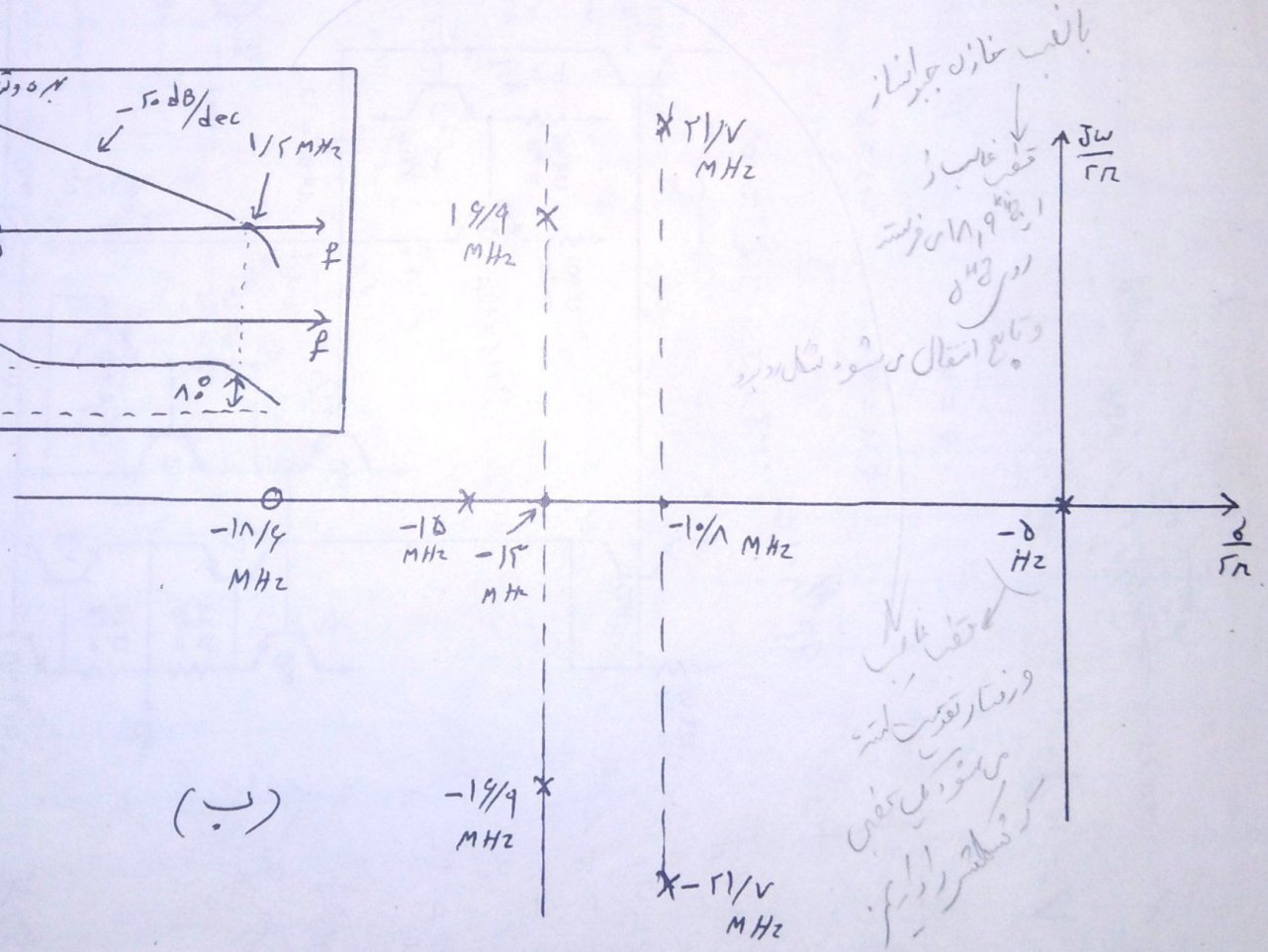
بیشترین تولید توسط Q_{12} قطب غالب است مقاومت ورودی اثر حدود 2.2^M است

جبران سازی قطب غالب



(الف)





(ب)

صفرها و قطبهای OP/AMP 741 محاسبه شده با کامپیوتر.

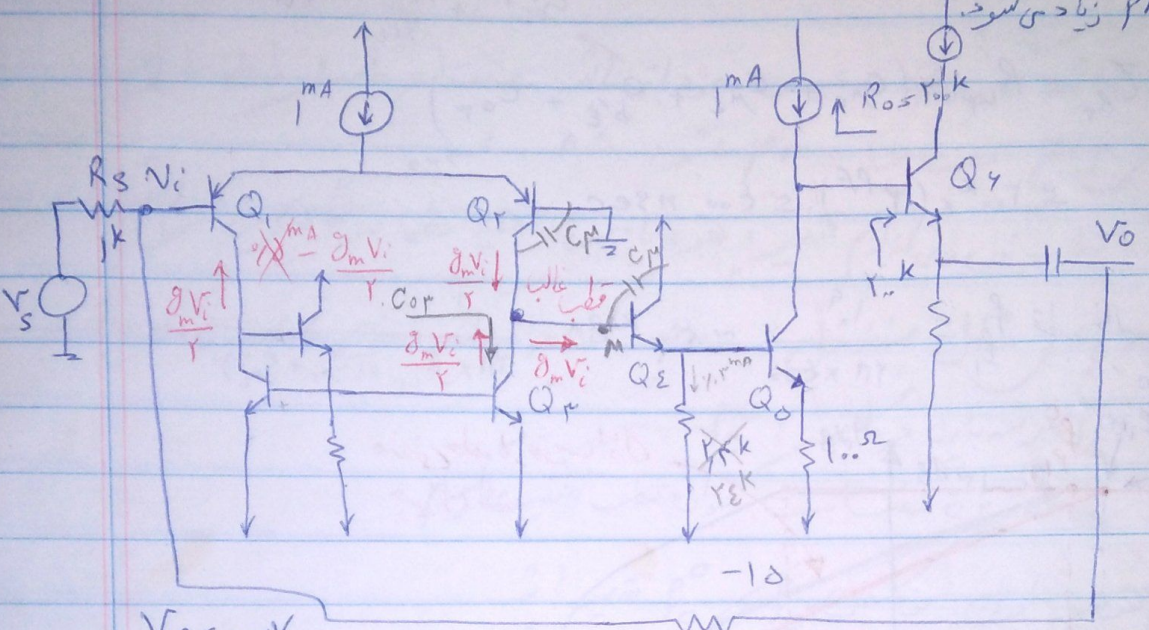
الف: پیش از جبران سازی. ب: بعد از جبران سازی

۸۱/۲/۲۸

الکترونیک III — مهندس لطیفی

جبران‌سازی قطب غالب:

در این روش با نصب یک خازن در ناحیه قطب غالب، فرکانس این قطب کاهش یافته و PM زیاد می‌شود.



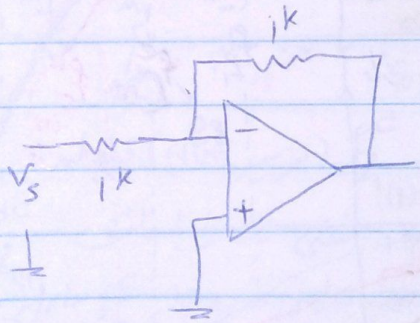
$V_{BE} = 0.7V$

$\omega C_\mu = 1PF$

$\omega C_\pi = 5PF$

$\omega \beta = 200$

$V_A = 200$ ولت



$\frac{C_\pi}{1+\frac{12.5k}{800\Omega}} \simeq 0$

$\frac{1}{3} \times 0.7$

$r_{e_6} \simeq 800\Omega$

$r_{e_4} \simeq 800\Omega$

$R_{in_4} = 48k + 7k$

$\boxed{R_{in_4} = 497k}$

$r_{e_5} = \frac{25mV}{0.3mA} = 75.5\Omega$

حلقه باز $\frac{V_o}{V_i} \simeq (A_6)(A_5)(A_4)(A_d)$

$A_6 \simeq 1$

$A_5 \simeq \frac{-R'_{L5}}{r_{e_5} + R_{E_5}} \simeq \frac{-100k}{125\Omega} \simeq -800$

$V_M = g_m V_i R_M$

$A_d = \frac{V_M}{V_i} = g_m \cdot R_M$ $\quad \frac{1}{50\Omega} \times 200k \simeq 4000$

$A_4 \simeq 1$

$r_{e_1} = \frac{25mV}{0.5mA} = 50\Omega$

$A_d \simeq g_{m_1} \cdot R'_{L2} \simeq \frac{200k}{50\Omega} \simeq 4000 \longrightarrow A_d = \frac{V_{B4}}{V_i} = g_m \times R_M$

$R'_{L2} = R_{o2} \| R_{o4} \| R_{in_4} \simeq \frac{V_A}{0.5mA} \| \frac{V_A}{0.5mA} \leftarrow R_M = 200k$

(R_{o2} = 400k, R_{o4} = 400k, R_{in_4} = ∞)

$$\frac{v_o}{v_i} \simeq 800 \times 4000 \simeq 3.2 \times 10^6$$

$$\left.\frac{v_o}{v_i}\right|_{dB} \simeq 130\ dB$$ بهره حلقه باز

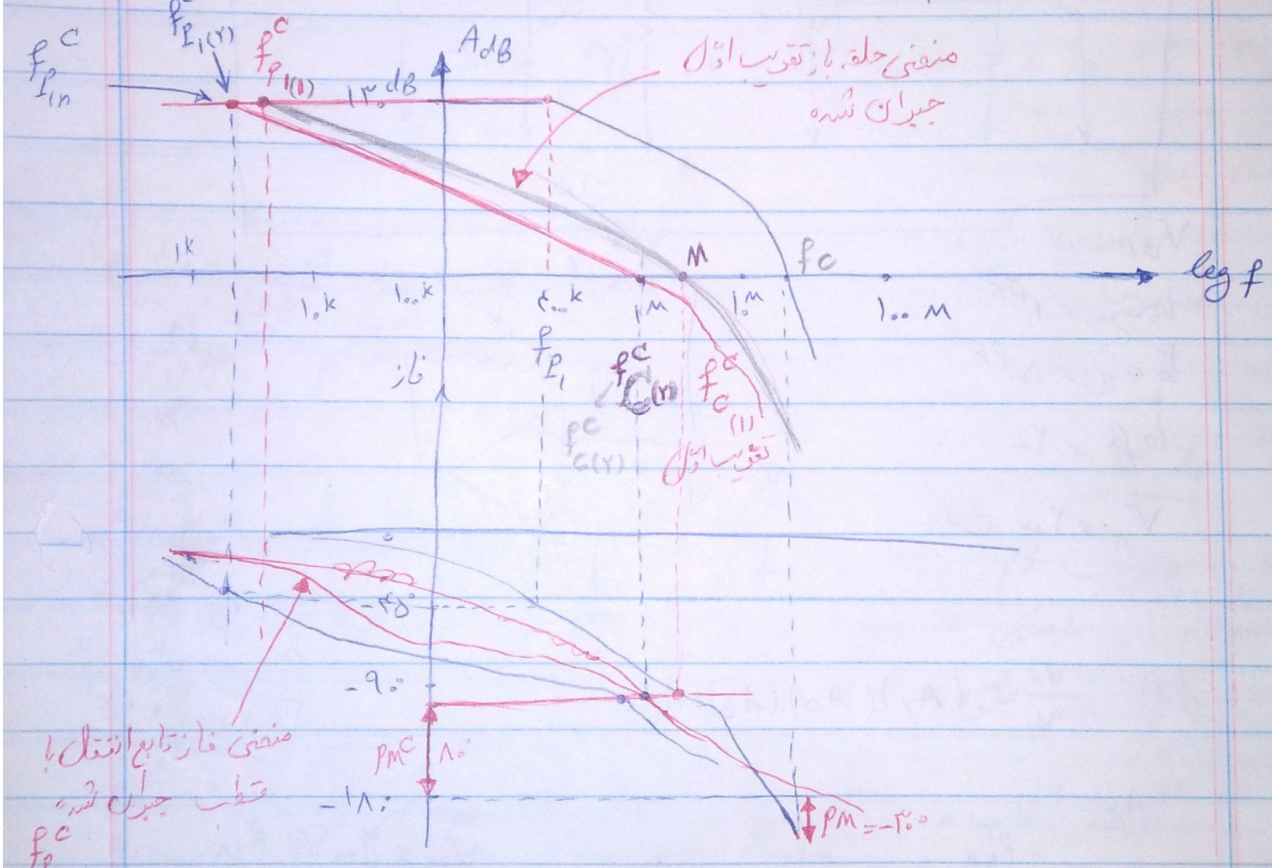
$$C_{b'e} = \frac{C_{me}}{1+\frac{R_{EL}}{r_{e1}}} = \frac{5^{pF}}{1+\frac{2.4k}{758}} \simeq 0$$

$$\tau_{B_4} \simeq R'_{L3} \times (C_{\mu 2} + C_{\mu 4} + C_{b'e} + C_{o3})$$

$C_{o3} \simeq 0$

$$\simeq 200^k \times (2^{pF}) \simeq 400\ nsec$$

قطب غالب $f_{P_1} \simeq \frac{1.9}{2\pi \times 400} \simeq 400^{kHz} = \frac{1}{2\pi \times R'_{L3} \times (C_{\mu 2} + C_{\mu 4})}$



$$\frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_2}{R_1} = -1$$ بهره

$$= 0\ dB$$

در بهره 0 dB PM منفی است.

با جبران سازی قطب غالب باید PM به حالت درجه اول (80-) تغییر یابد تا برای بهره 0 dB هم دستگاه کاملاً بدون over shoot کار کند.

الکترونیک III — مهندس لطفی

بهره را دست می‌زنیم، قطب غالب را جابه‌جا می‌کنیم.

با کم کردن بهره، پاسخ فرکانسی که قبل امپدانس، ناحیه فرکانسی بود دستخوش تغییر می‌شد.

دامنه باشد ← op/Ap ← قوت خود باقی باشد ← منتها فرکانس را جابه‌جا می‌کنیم.

بازای چه مبلغ قطب ① PM بشود $80°$.

آن قطب اول را می‌آوریم متغیر، بهره ثابت. بقیه قطب‌ها سر جای خودشان باشند.

می‌رویم روی شکل صفحه قبل PM $80°$ را می‌گیریم منحنی ما باید برسد به اینجا

باید f_c برسد به این فرکانس: f_c^c

f_{p_1} را چون بیشترین قطب است به عنوان قطب متغیر می‌گیریم.

در تقریب اول: فرکانس f_c به $f_{c_1}^c$ متغیر باشد.

* پس با فرض آنکه بقیه قطب‌های دستگاه ثابت مانده باشند از نقطه (M)

محل تلاقی $f_{c_{(1)}}^c$ با بهره حلقه بسته منحنی حلقه باز را رسم می‌کنیم. تا بهره ثابت

$130\,dB$ را در $f_{p_{1(1)}}^c$ (تقریب اول) قطع کند.

در تقریب دوم: منحنی فاز را با داشتن $f_{p_{1(1)}}^c$ رسم (محاسبه) نموده و PM^c را

دوباره با منحنی فاز قطع می‌دهیم تا $f_{c_{(2)}}^c$ حاصل شود. و تکرار تا چند مرحله تا آنکه

$f_{p_1}^c$ تکرار شود.

اگر قطب غالب به $f_{p_{12}}$ برسد، دستگاه به ازاء بهره صفر dB دارای $PM^c = 80°$

است.

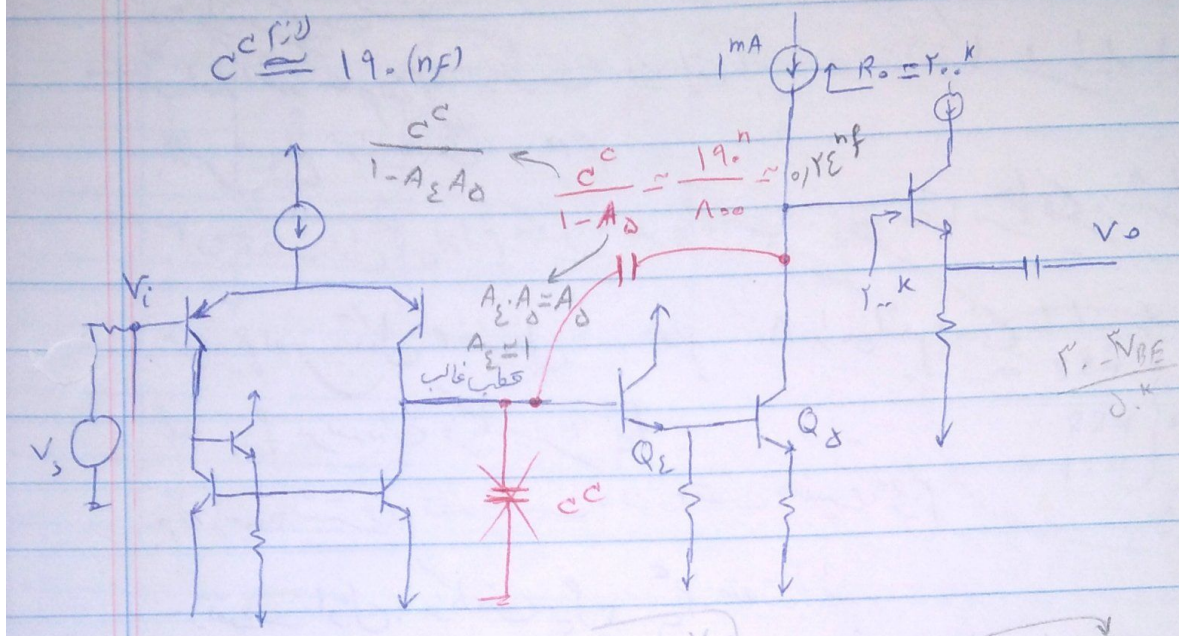
* برای ایجاد چنین قطبی، یک خازن در ناحیه قطب غالب وصل می‌شود.

$$f_{p_1}^c = \frac{1}{2\pi R'_{L_2} \times C}$$

$$C \simeq \frac{1}{4\,kHz \times 2\pi \times 200\,k} \simeq 190\,(nF)$$

$$C = C^{c} + C_{\mu 2} + C_{o2} + C_{\mu 4} + C_{b'4}$$

$$C^{c} \overset{\text{لازم}}{\simeq} 190\,(nF)$$

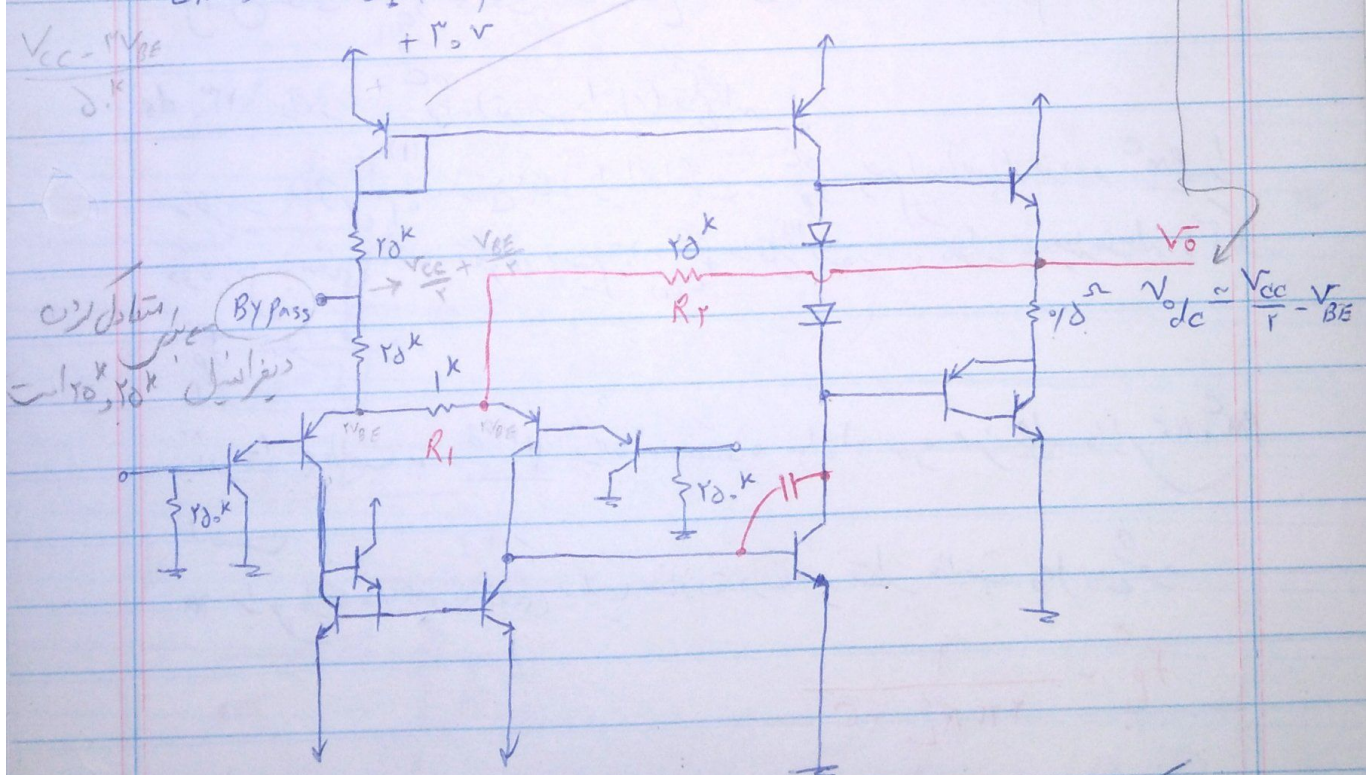


$$2V_{BE} + 25\,k \times \frac{V_{cc} - 3V_{BE}}{50\,k} = 2V_{BE} + \frac{V_{cc}}{2} - \frac{3V_{BE}}{2} = \frac{V_{cc}}{2} + \frac{V_{BE}}{2}$$

یک V_{BE} اضافه می‌کرد.

LM 380 OP/Amp 4W

$$\frac{V_{cc} - 3V_{BE}}{50\,k}$$



متعادل کردن سمت راست دیفرانسیل $25\,k$ و $25\,k$ است

فیدبک داخلی نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ

$$\frac{v_o}{v_s} = 1 + \frac{R_2}{\frac{R_1}{2}} \simeq 50 \longrightarrow$$

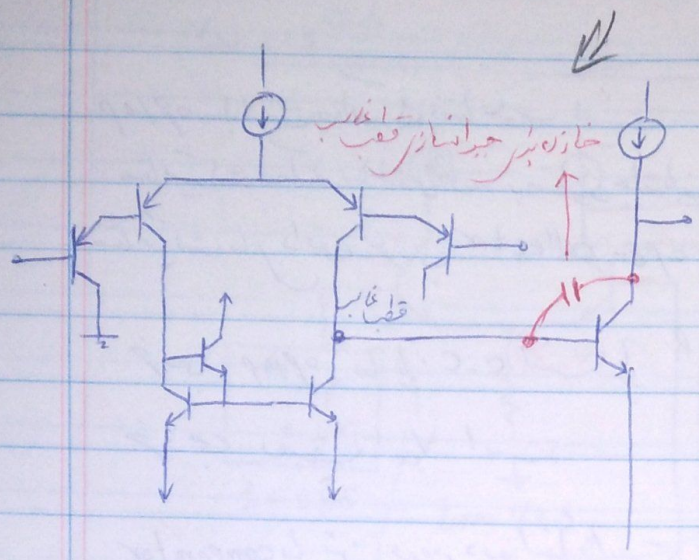
سوال کلوز کار شناسی ارشد.

۸۱/۲/۲۸

مهندس الصیغی

الکترونیک III

Lm324

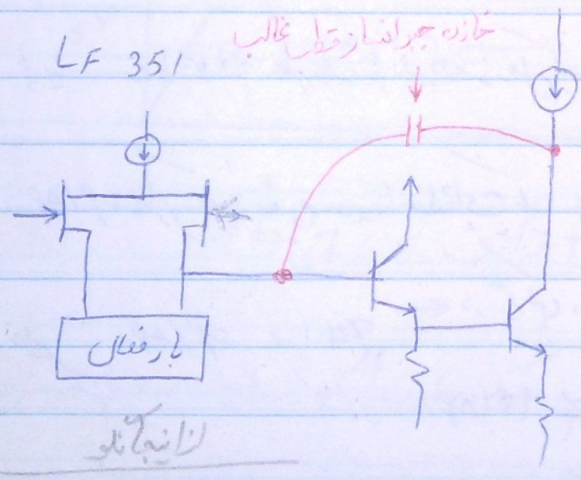


Lm 324
224
124
} op Amp 4 مراحل یک پکیج

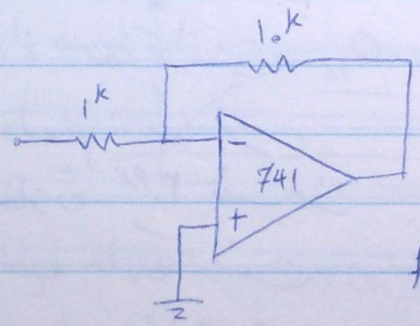
Lm 358 ، ورودی FET است.

حوالی ۲۰pF خازن نصب کرده است. (جبرانسازی قطب غالب)

بین کلکتور و بیس ترانزیستور یک خازن نصب شده است ⇐ op-27



لازانیا آنلو



$$f_{hi} = \omega_{pf} = 5(1+A.B) \simeq 5(1+10^5 \times \frac{1^k}{10^k})$$

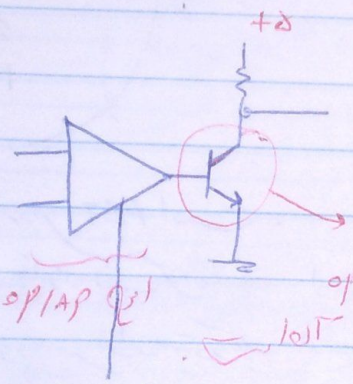
$$5 \times 10^6 \, HZ = 50^{kHz}$$

op/AP
comperatoRS

op/AP بلد است مقایسه کند منتها خوب نیست.
مقایسه کننده‌ها که ساخته می‌شوند به منظور حلقه باز ساخته می‌شوند. یکی آنها کمتر از op/AP ها است.
مقایسه کننده‌های واقعی خروجی open collector دارند.

خروجی op/AP ها یا C-C است یا PUSH-PULL است و اگر ورودی به سیم صفر
خروجی نصف V_{cc} است.

comperator ها نیز ورودی دیفرانسیل است منتها خروجی آنها open-collector است
یا یک کلکتور شر روی بوده است.



این op/AP آن است
این open-collector آن است

یا یک strobe هم دارد که اگر آن را وصل کنیم
از اینجا تا اینجا

op/AP های یک قطعی در داخلشان یک جبرانسازی قطب خاب است.

مثلاً op/AP ، 741 ← در پرکاربرد داده شده

$$C = \frac{1}{2\pi \times 5\,Hz \times 2.2\,M\Omega} \simeq 14\,(nF)$$

که از بیس ترانزیستور Q_{16} به زمین وصل کنند منتها بین Q_{12} و Q_{17} یکی C-C و C-E
داریم:

$$C^{c} \simeq \frac{14\,nF}{520} \simeq 28\,pF$$ جبرانساز → خازن 30pF نصب کرده

این خازن که نصب به زمین (14nF) است S/R را کم می‌کند تا بهره شارژ شود
و دوباره دشارژ شود زمان می‌برد.