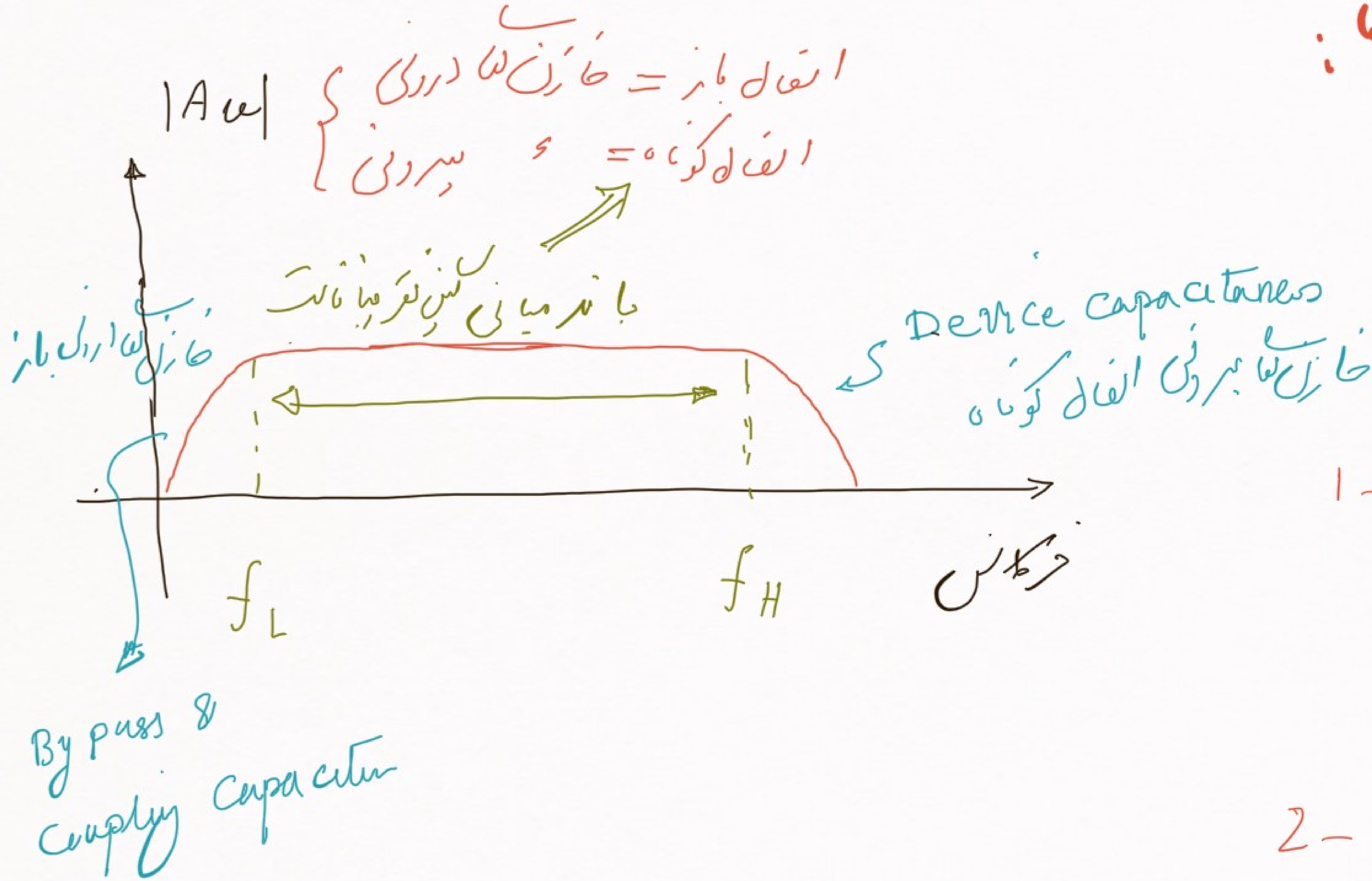
بررسی پاسخ فرکانسی تقویت کننده ها :



بررسی نقش خازن ها کمکی (داخلی) در فرکانس ها مختلف :

1- $X_C = \frac{1}{\omega C} =$ مطلع ⟸ به ازای فرکانس زیاد

زیاد ، زیاد → کم

2- $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{0} = \infty$ ⟸ به ازای فرکانس کم — اتصال باز

کم ، کم → کم

3- $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{0} = \infty$ ⟸ به ازای فرکانس ها متوسط — اتصال باز

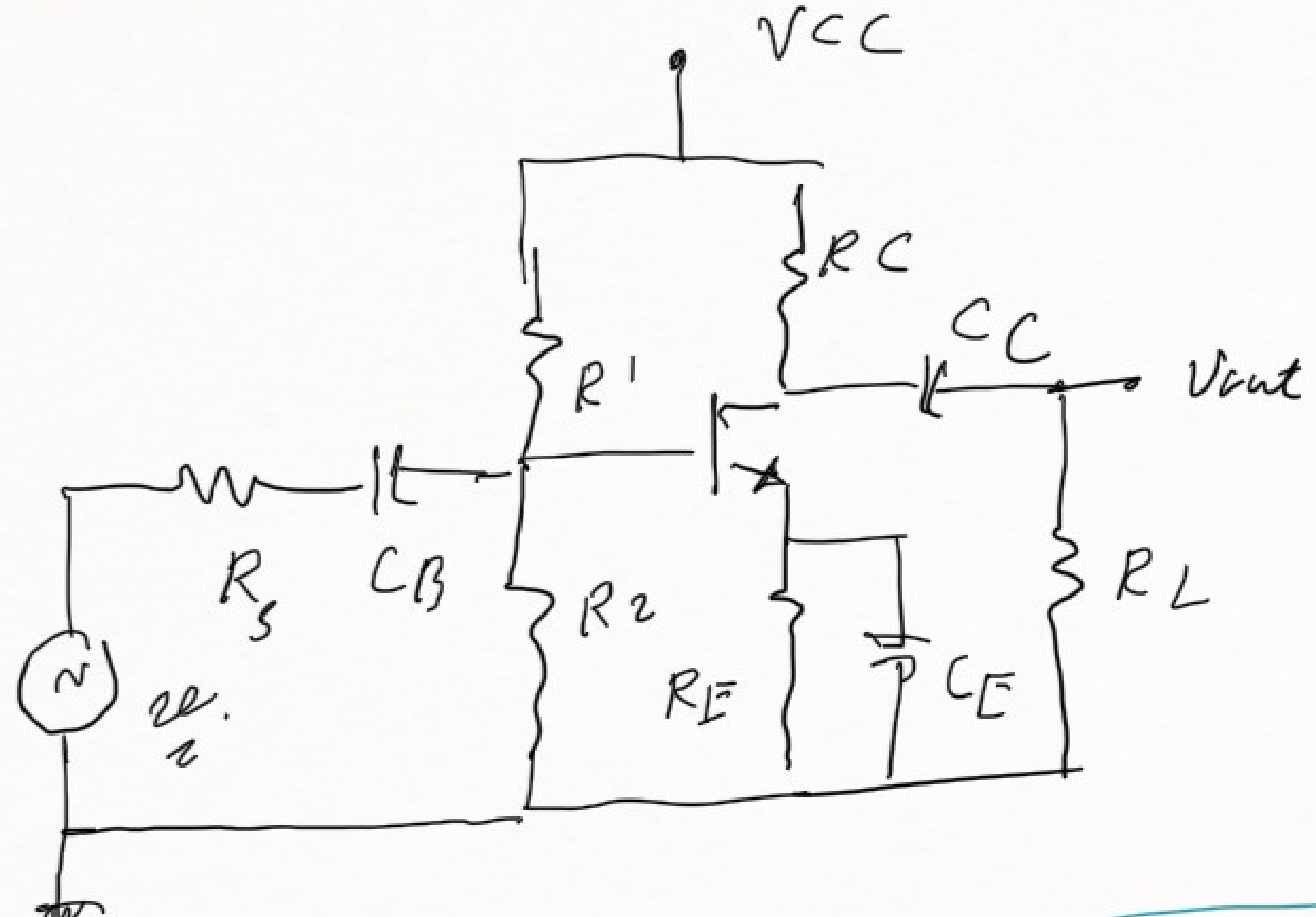
متوسط ، کم → کم

$$A_v(s) = A_0\, A_L(s)\, A_H(s)$$

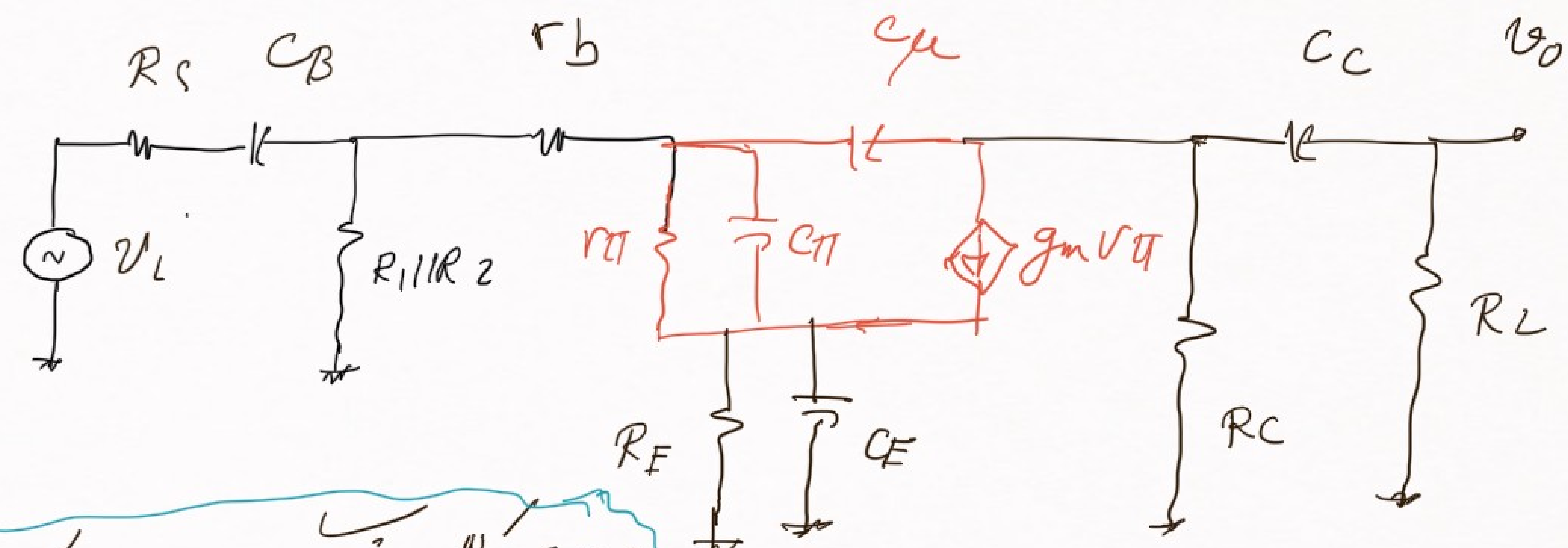
$$A_L(s) = \frac{(s-z_1)(s-z_2)\cdots(s-z_n)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)} \quad ; \quad A_H(s) = \frac{\left(1-\frac{s}{z_1}\right)\cdots\left(1-\frac{s}{z_n}\right)}{\left(1-\frac{s}{p_1}\right)\cdots\left(1-\frac{s}{p_m}\right)}$$

تعداد صفر و قطب در فرکانس پایین برابرند.

معمولاً تعداد قطب‌ها از صفرها بیشتر است.



⟹

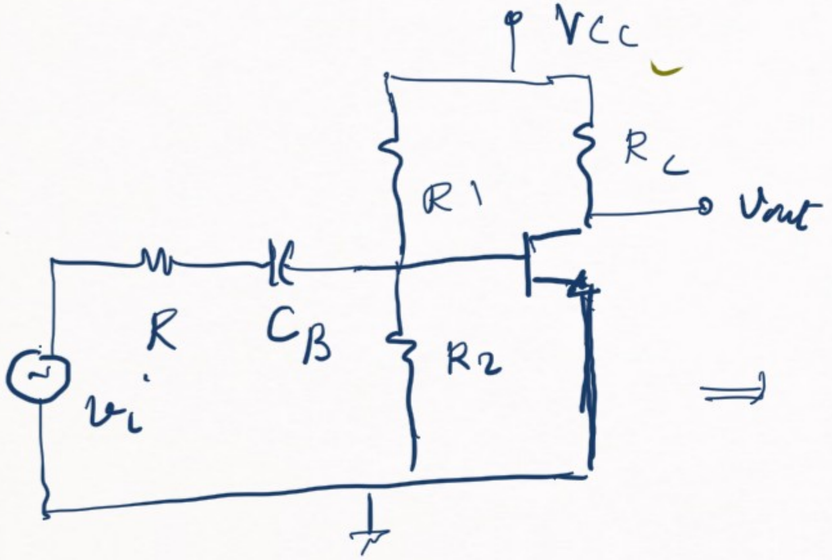


$$A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} =$$ در حالت کلی با رسم مدارها می‌توان پیدا کرد.

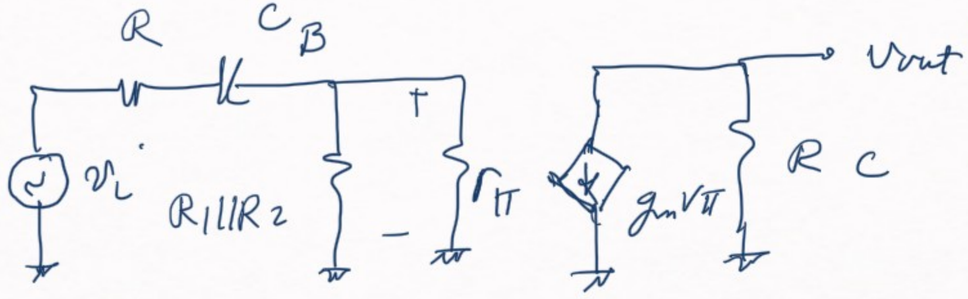
** اما هدف این است که با روش‌هایی که تقریب دارد در فرکانس‌های پایین و بالا به طور ساده‌تر حل کنیم و تعداد قطب‌ها و صفرها را در هر حالت حدس زده شود ... با رسم می‌توان گفت

بررسی مزکلاس بایاس:

الف- مدار CE با خازن کوپلاژ فقط



خازن که در ورودی اتصال باز می باشد.



ابتدا:

ابررسی مدار بابی اتصال را بدست می آوریم: (این کلی ترین و دقیق ترین روش است)

$$\begin{cases} V_o(s) = -g_m R_C V_\pi(s) \\ V_\pi(s) = \left(\dfrac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R + \dfrac{1}{C_B s} + R_1 \| R_2 \| r_\pi} \right) V_i(s) \end{cases} \Longrightarrow A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-g_m R_C (R_1 \| R_2 \| r_\pi)}{R + \frac{1}{C_B s} + R_1 \| R_2 \| r_\pi}$$

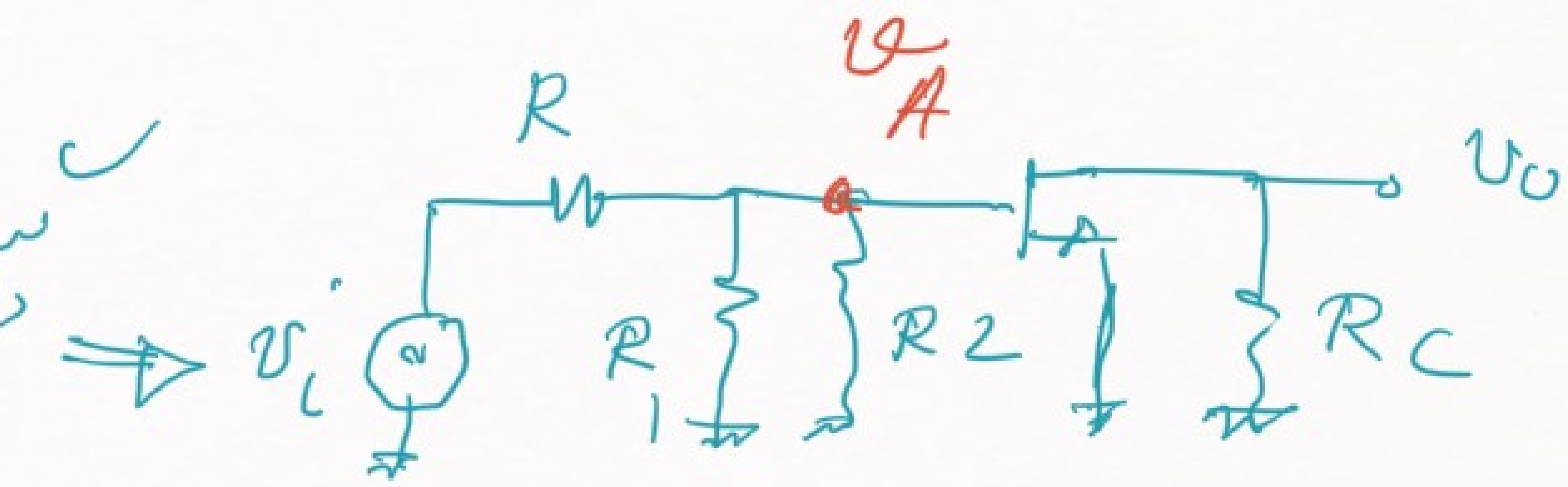
$$A_v(s) = -g_m R_C (R_1 \| R_2 \| r_\pi) \cdot \frac{Cs}{[R + R_1 \| R_2 \| r_\pi] Cs + 1} = \underbrace{-g_m R_C \left(\frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R + R_1 \| R_2 \| r_\pi} \right)}_{A_0} \left(\frac{s}{s + \frac{1}{C(R + R_1 \| R_2 \| r_\pi)}} \right)$$

* ملاحظه شد که تابع انتقال یک صفر در صفر و یک قطب در $s = -\frac{1}{C(R_1+R_1\|R_2\|r_\pi)}$ دارد.

روش دوم ـ روش ذهنی: چون مدار یک خازن دارد بنابراین یک قطب داریم و چون تابع انتقال فرکانس پایین است یک صفر هم خواهیم داشت.

$$A_v(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)} = A_0\left(\frac{s-z}{s-p}\right) \quad , \quad A_0 =$$

گین فرکانس میانی ⇒



* محاسبه A_0 :

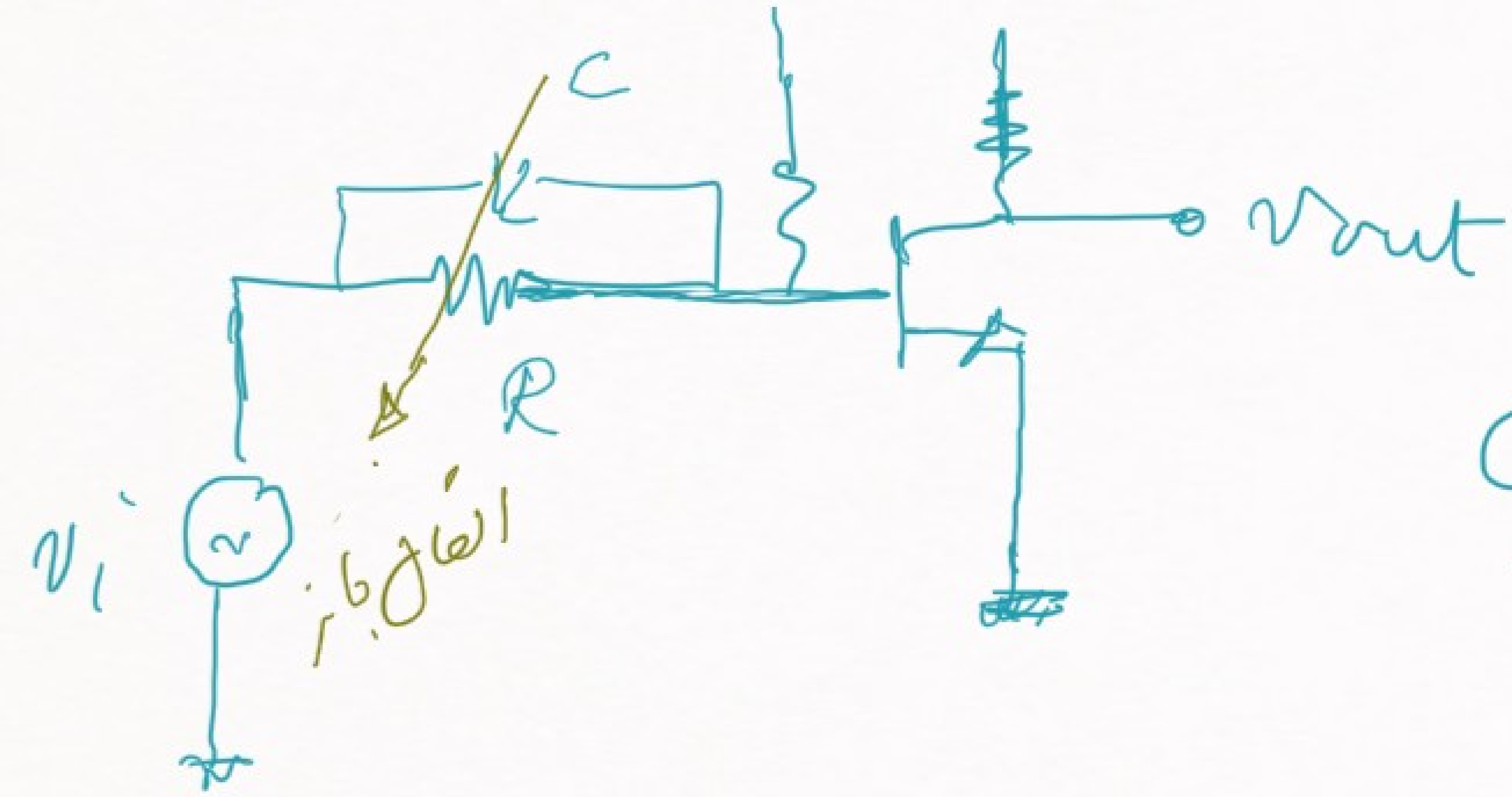
$$A_0 = \frac{v_o}{v_A}\cdot\frac{v_A}{v_i} = -g_m R_C \cdot \left(\frac{R_1\|R_2\|r_\pi}{R_1\|R_2\|r_\pi + R}\right)$$

* محاسبه قطب: P

$$P = \frac{-1}{R_{eq}C} \Rightarrow R_{eq} = R + R_1\|R_2\|r_\pi \Rightarrow P = \frac{-1}{C(R+R_1\|R_2\|r_\pi)}$$

* محاسبه صفر: Z : مفهوم صفر یعنی اینکه ورودی داشته باشیم ولی خروجی ac صفر گردد. به عبارت دیگر فرکانس ورودی و وجود خازن باعث قطع ارتباط بین ورودی و خروجی شود مانع از خروجی نشان نشود. در این مدار وقتی خازن اتصال باز شود این اتصال رخ میدهد پس $Z = 0$ است.

از اثر خازن.

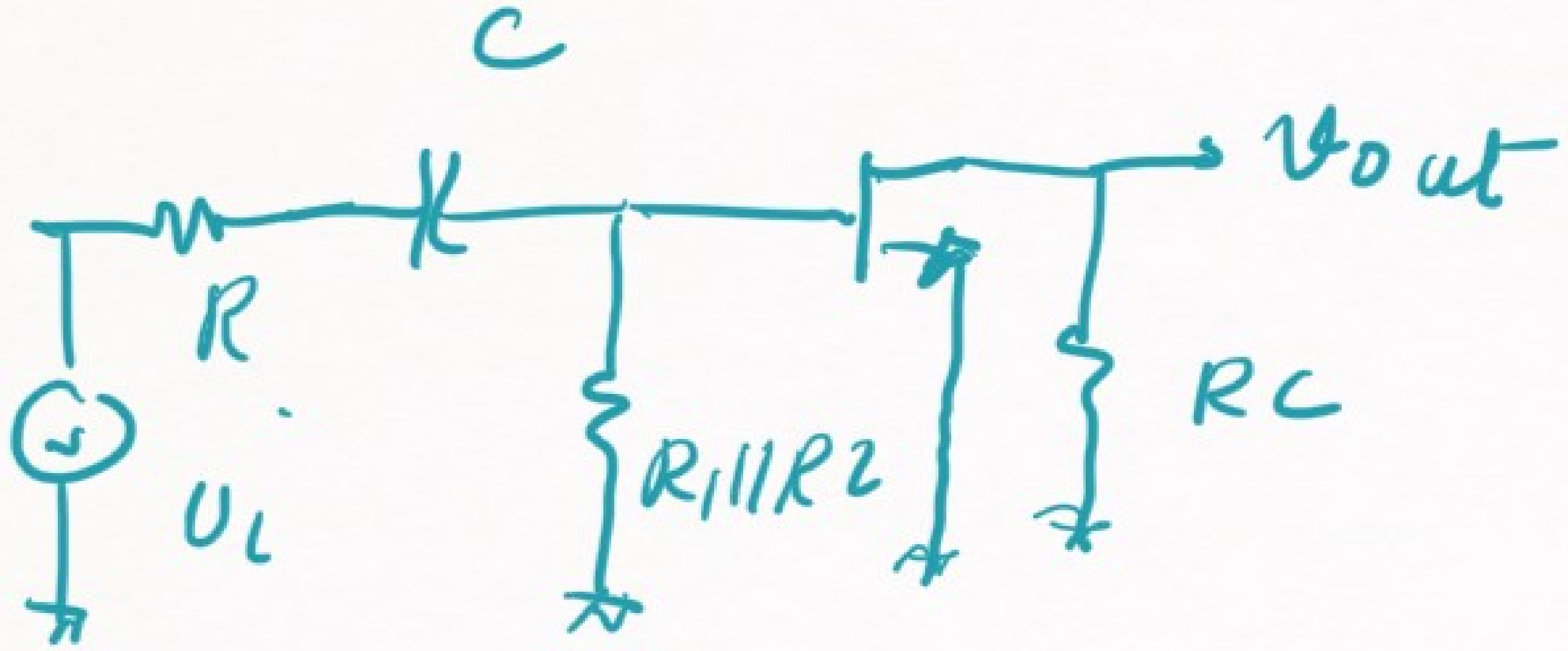


نکته - اگر خازن مثلاً بصورت شنت می بود ما یک صفر داریم :

امپدانس معادل $= \infty \Longrightarrow Y = 0 \Longrightarrow Cs + \frac{1}{R_1} = 0 \Longrightarrow s = \frac{-1}{RC}$

فرکانس صفر دار

روش دوم - در واقع تابع انتقال کل می باشد که بصورت ذیل و به آن مدار معادل :

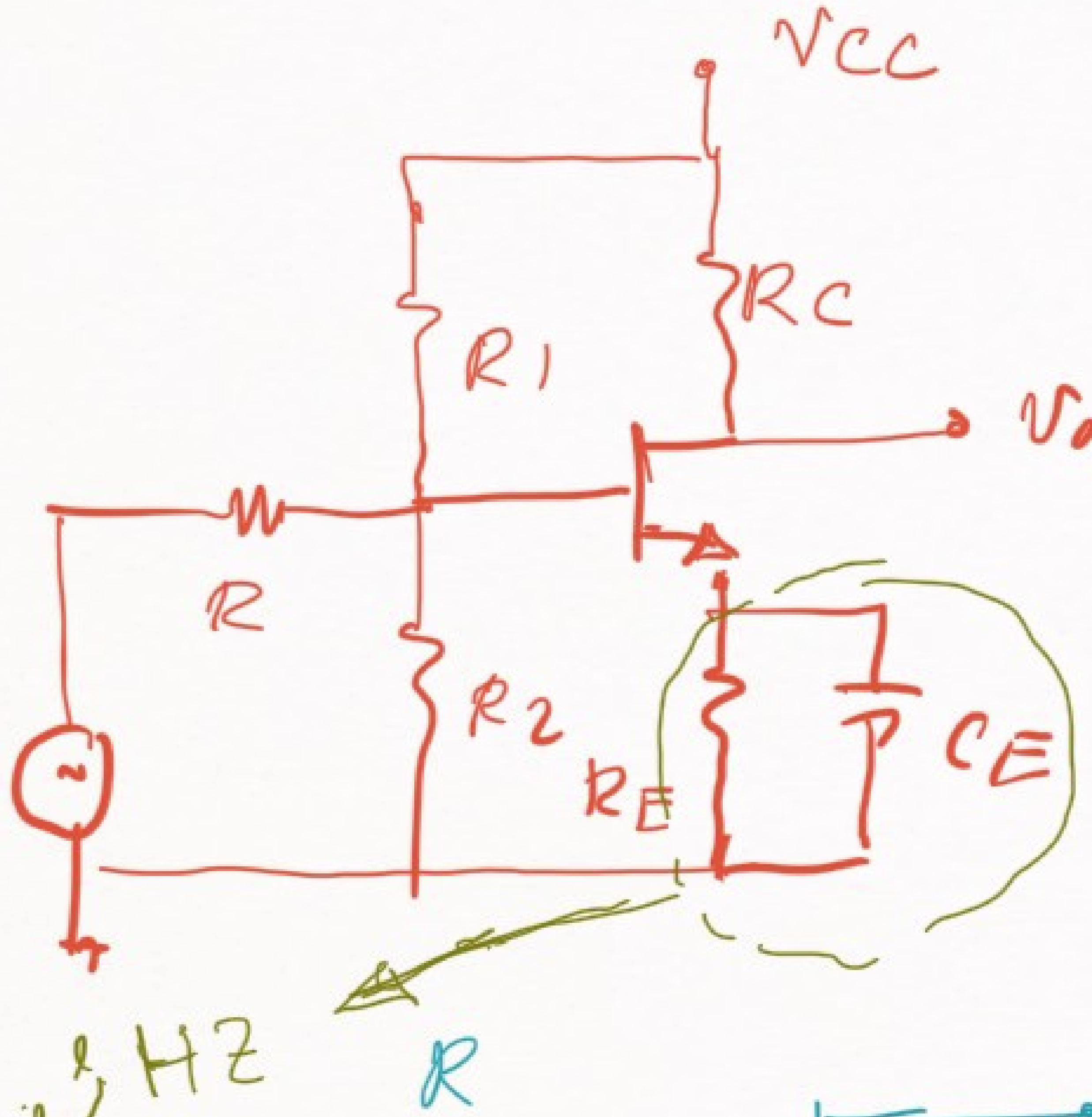


$$A_v(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)} = \frac{v_o}{v_A} \cdot \frac{v_A}{v_i} = -g_m R_C \left(\frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R_1 \| R_2 \| r_\pi + R + \frac{1}{Cs}} \right)$$

توجه مهم - جهت پایداری باید قطب ها سمت چپ محور موهومی باشند. یعنی در مخرج تمام اتصال نباید فاکتور منفی $(s-a)$ داشته باشیم و باید $(s+a)$ باشد .

ب- مدار CE با خازن بای پس متصل:

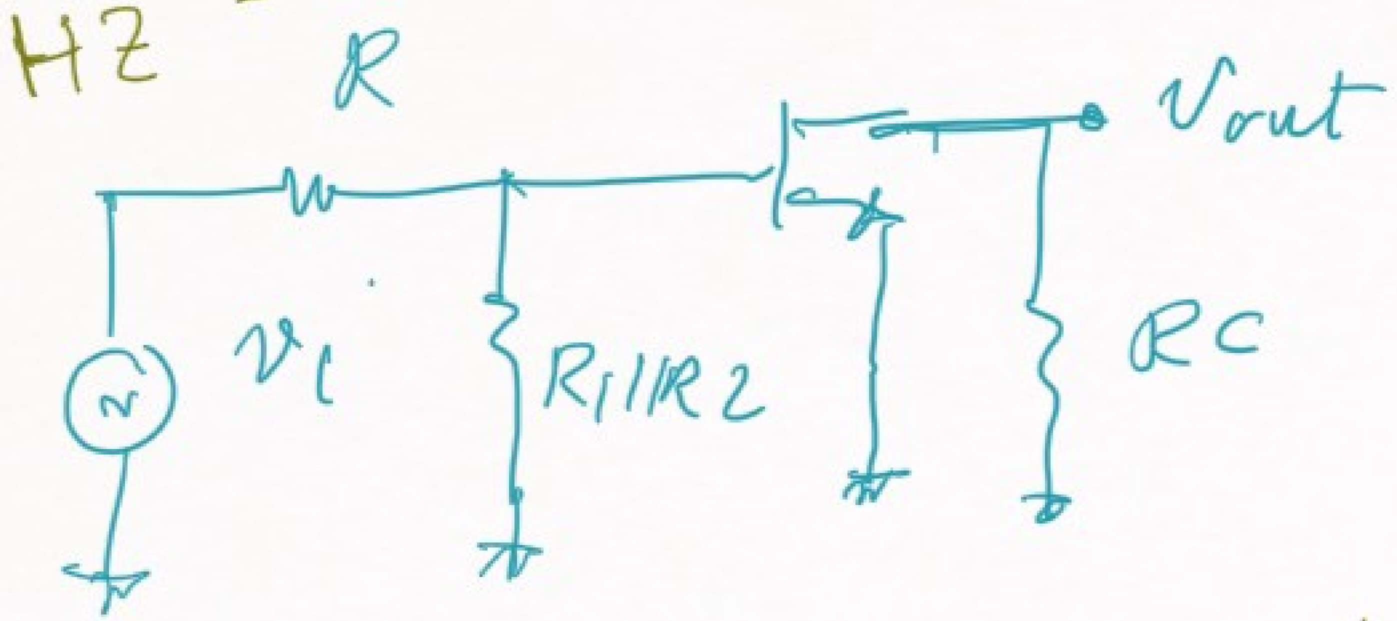
روش اول- نوشتن مدار معادل و محاسبه $A_v = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ از روش‌های مداری (KVL, KCL و ...)



روش دوم- چون مدار یک خازن دارد، پس داریم:

$$A_v(s) = A_0 \frac{(s - z)}{(s + p)}$$

* محاسبه A_0:



$$A_0 = -g_m R_C \cdot \frac{R_1 \| R_2 \| r_\pi}{R + R_1 \| R_2 \| r_\pi}$$

* محاسبه قطب P:

$$P = \frac{-1}{R_{eq} C} \quad , \quad R_{eq} = R_E \| \left(\frac{r_\pi + R_1 \| R_2 \| R}{1 + \beta_0} \right)$$

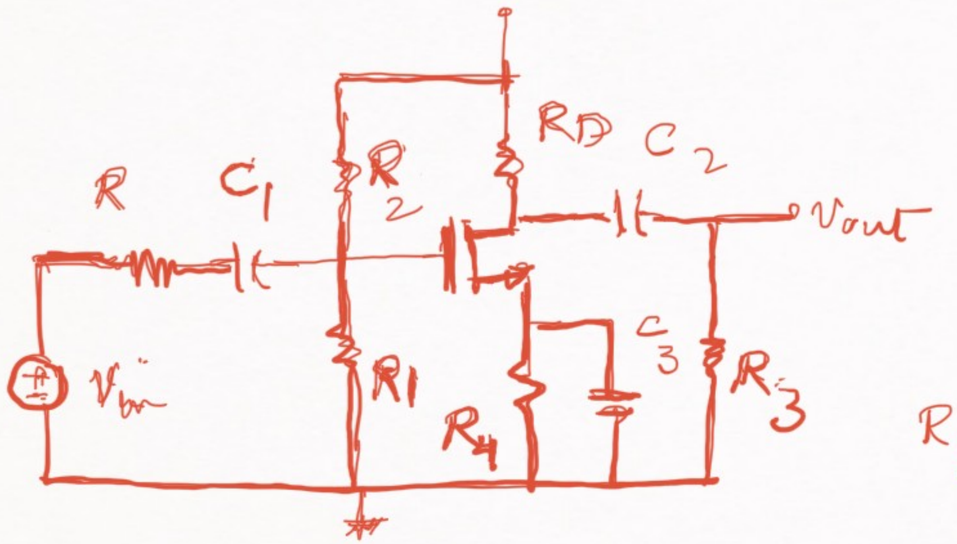
* محاسبه صفر:

$$Z_{eq} = R_E \| \frac{1}{sC_E} = \infty \longrightarrow Y = 0 \longrightarrow \frac{1}{R_E} + sC_E = 0 \Longrightarrow s = z = -\frac{1}{R_E C_E}$$

صفر

روش سوم - خودتان حل نمایید

تقویت‌کننده MOSFET با سه طبقه:

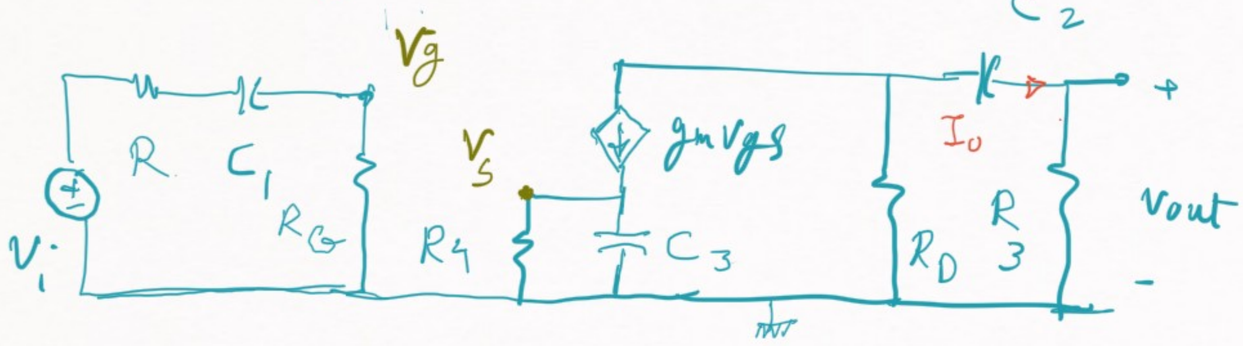


$C_1 = C_2 = 0.1\mu F$

$C_3 = 10\mu F$, $R = 1^{k\Omega}$, $R_4 = 1.3^{k\Omega}$

$R_3 = 100^{k}$, $R_1 = 430^{k}$, $R_2 = 560^{k}$, $g_m = 1.23\,mS$

رسم مدل سیگنال کوچک:



$R_G = R_1 \| R_2$

$V_o(s) = I_o(s) R_3$, $I_o(s) = -g_m V_{gs}(s)$ (تقسیم ولتاژ)

$R_D + R_3 + \frac{1}{Cs}$

$$V_o(s) = \frac{-g_m (R_3 \| R_D)\, s}{s + \frac{1}{C_2(R_D + R_3)}}\, V_{gs}(s)$$

$$V_g(s) = \frac{R_G}{R + \frac{1}{sC_1} + R_G}\, V_i(s) = \frac{sC_1 R_G}{sC_1(R + R_G) + 1}$$

$$\text{KCL}: g_m(V_g - V_s) - \frac{V_s}{R_4} - \frac{V_s}{\frac{1}{C_3 s}} = 0 \Longrightarrow V_s(s) = \frac{g_m}{sC_3 + g_m + \frac{1}{R_{21}}}\, V_g(s)$$

$$V_{gs}(s) = V_g(s) - V_s(s) = V_g\left(1 - \frac{g_m}{sC_3 + g_m + \frac{1}{R_4}}\right) = \frac{sC_3 + \frac{1}{R_4}}{sC_3 + g_m + \frac{1}{R_4}} V_g$$

$$A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\underbrace{\left[g_m(R_3 \| R_D)\frac{R_G}{R + R_G}\right]}_{A_0} \frac{s^2\left[s + \frac{1}{C_3R_4}\right]}{\left[s + \frac{1}{C_1(R_1 + R_G)}\right]\left[s + \frac{1}{C_3(1/g_m \| R_4)}\right]\left[s + \frac{1}{R_3 + R_D}\right]}$$

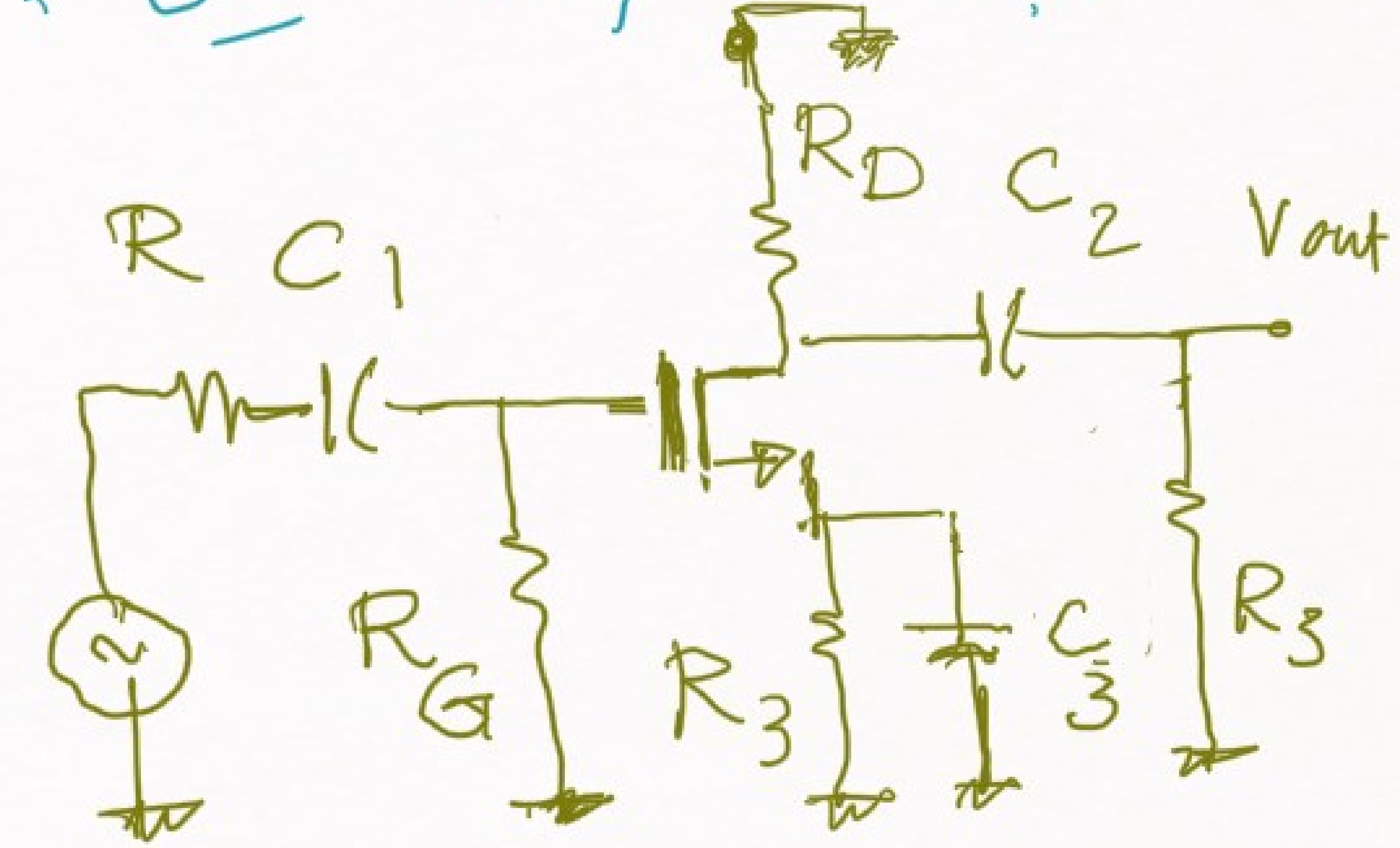
روش سوم — روش زمانی: سه خازن داریم و خازن‌ها تشکیل حلقه نمی‌دهند بنابراین سه قطب خواهیم داشت و همچنین سه صفر داریم.

صفرها: محل اتصال سری در خروجی قطع کرده لذا خازن‌های C_1 و C_2 هر کدام یک صفر در صفر خواهند داشت.

و خازن C_3 نیز یک صفر ایجاد می‌کند وقتی که امپدانس موجود پایه سورس صفر شود یعنی: $sC_3 + 1/R_4 = 0$

$$s = -\frac{1}{R_4 C_3}$$

قطب ها: چون امپدانس ورودی MOSFET بی نهایت است لذا خازن رو هم اثری نخواهد داشت و می توان قطب هر کدام را به تنهایی بدست آورد و داریم:



$$P_1 = \frac{-1}{R_{eq_1} C_1} \quad , \quad R_{eq_1} = R + R_G \Longrightarrow P_1 = \frac{-1}{(R + R_G) C_1}$$

$$P_2 = \frac{-1}{R_{eq_2} C_2} \quad , \quad R_{eq_2} = R_3 + R_D \Longrightarrow P_2 = \frac{-1}{C_2 (R_3 + R_D)}$$

$$P_3 = \frac{-1}{R_{eq_3} C_3} \quad , \quad R_{eq_3} = R_4 \parallel \frac{1}{g_m} \Longrightarrow P_3 = \frac{-1}{C_3 (1/g_m \parallel R_4)}$$

ملاحظه شد که قطب و صفرها آن مقادیری می باشند که از روش رفتن و دیاگرام مداری حاصل گردند.

سوال: کدام قطب بزرگتر است یعنی قطب غالب؟

روش سوم: خودتان حل نمائید.

در صورتی که خازن عبوری ظرفیت بی‌نهایت گذاشته شود خواهیم داشت:

$$z_1 = z_2 = 0 \quad , \quad z_3 \simeq -77 \ rad/s \longrightarrow 12.3\ Hz$$

$$P_1 = -23 \ rad/s \ , \quad P_2 = -96 \ rad/s \ , \quad P_3 = -200 \ rad/s \longrightarrow 32\ Hz$$

$P_1 \rightarrow 4\ Hz$, $P_2 \rightarrow 15.3\ Hz$

تابع انتقال فرکانس پایین مدار:

$$A_{V_L}(s) = A_0 \frac{s^2 (s+77)}{(s+23)(s+96)(s+200)}$$

توجه: در مباحث آتی خواهیم دید که تابع انتقال فرکانس بالای مدار به صورت (مشابه تقریبی) (ناشی از خازن‌های داخلی)

$$A_H(s) = A_0 \frac{\left(1+\frac{s}{z'}\right)}{\left(1+\frac{s}{p'_1}\right)\left(1+\frac{s}{p'_2}\right)}$$

$$\begin{cases} z' \simeq 98\ MHz \\ p'_1 \simeq 5.3\ MHz \\ p'_2 \simeq 59\ MHz \end{cases}$$

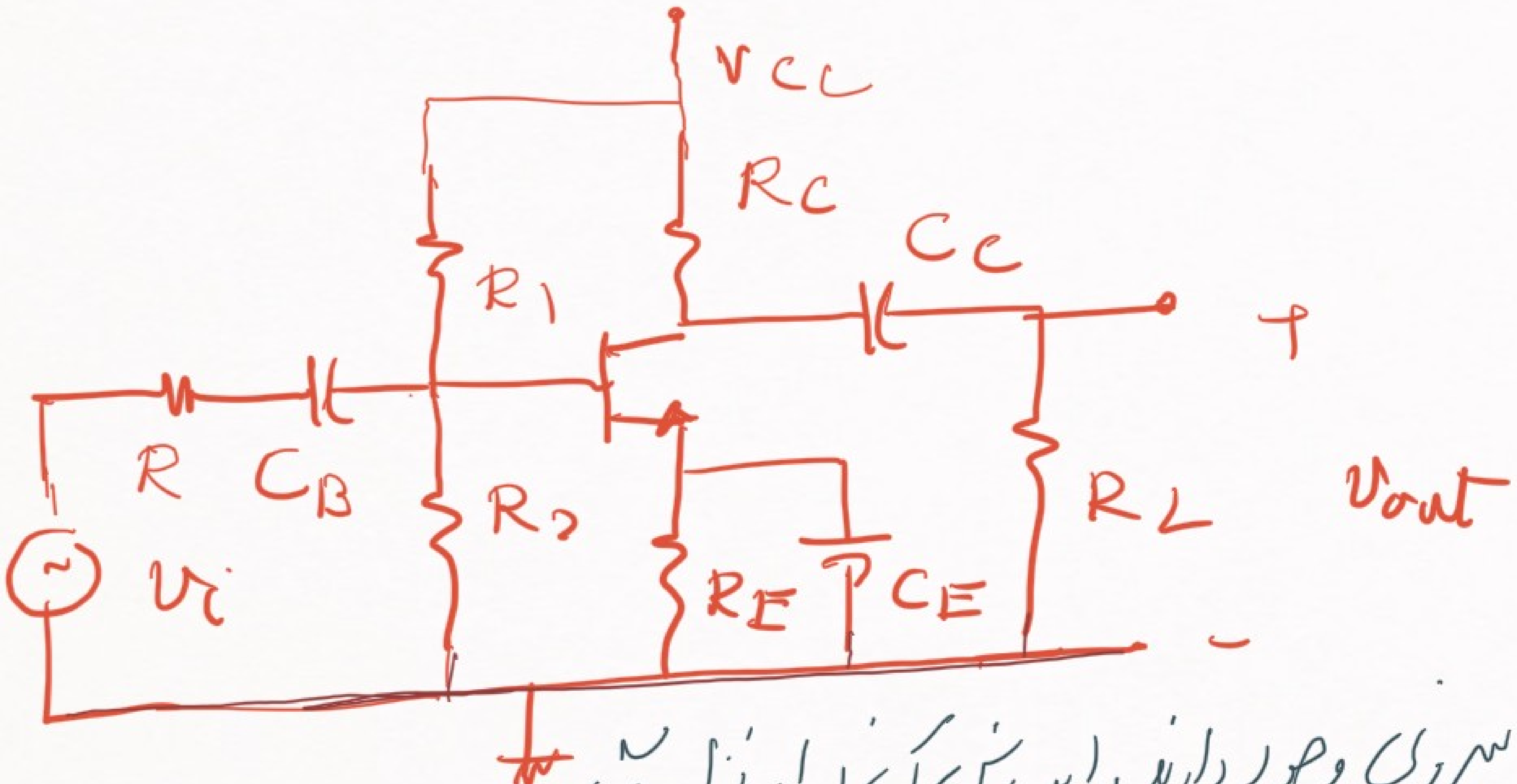
بعداً مفصل بحث شده.

رسم نمودار Bode گین ولتاژ مثال صفحات قبل :

$$A_v(s) = A_0 \frac{s^2(s+Z_3)}{(s+P_1)(s+P_2)(s+P_3)} \cdot \frac{\left(1+\frac{s}{Z_1'}\right)}{\left(1+\frac{s}{P_1'}\right)\left(1+\frac{s}{P_2'}\right)}$$

توجه : در فرکانس‌ها پایین از لحاظ عملی قطب P_3 یا f_L مهم است

مدار CE با خازن‌های کوپلاژ و بای‌پس:

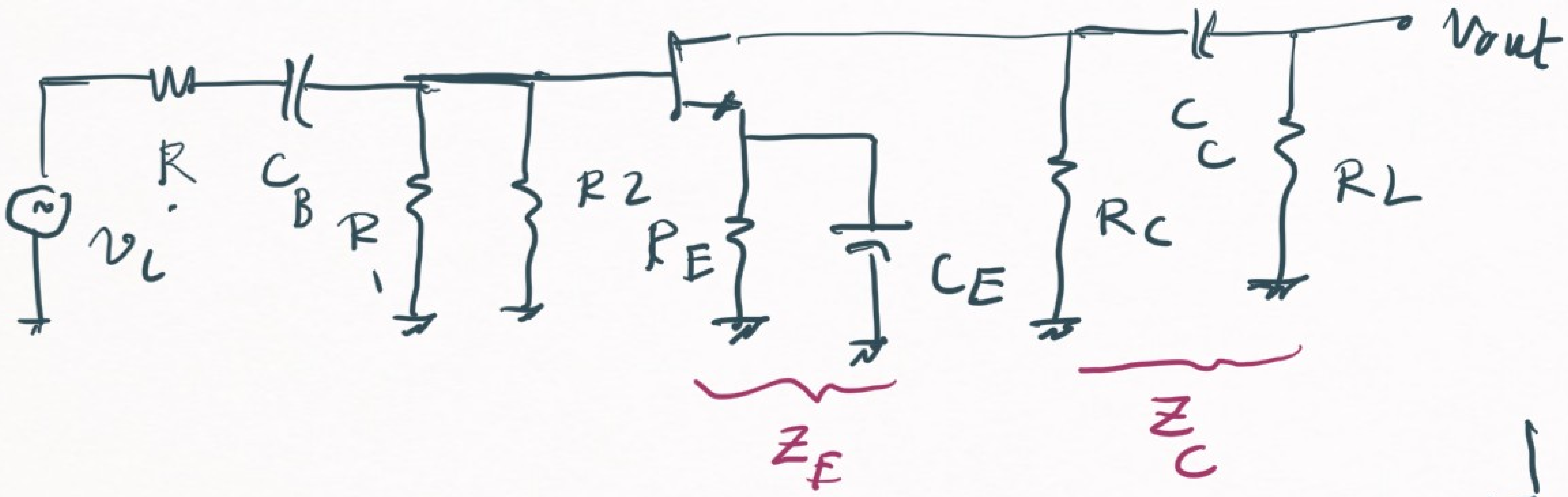


روش اول - مدار معادل به جای BJT گذاشته و تابع انتقال $A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ را بدست می‌آوریم.

البته بدیهی است که خازن‌های درونی اتصال باز ولی خازن‌های بیرونی وجود دارند و امپدانس آنها را در نظر گرفتیم.

روش دوم (تقریبی و ذهنی): در این حالت چون امپدانس ورودی BJT زیاد است لذا خازن‌های (C_E و C_B) روی هم اثر گذاشته‌اند و روش تقریبی دقیق نخواهد بود.

روش سوم - در این مدار روش سوم دقیق‌تر از روش دوم و ساده‌تر از روش اول باشد و لذا می‌توان تابع انتقال را از روش سوم محاسبه نمود.



$$Z_C = R_C \| \left[R_L + \frac{1}{SC_C} \right]$$

$$Z_E = R_E \| \frac{1}{SC_E}$$

سوال مهم که :

(چرا ؟)

$$\Rightarrow G_m = \frac{g_m}{1+g_m R_E}$$

$$A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{V_{out}}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_i}$$

شاید صفرها و قطب‌ها بدست نخواهند آمد.

$$A_v(s) = \frac{-g_m Z_C}{1+g_m R_E} \cdot \frac{R_1 \| R_2 \| \left[r_\pi + (1+\beta_0) Z_E \right]}{\text{صورت} + R + \frac{1}{SC_B}}$$

* البته می‌توان بطور تقریبی شمار قطب‌ها را از روی نظر صفر بدست آورد و تعداد دقیق قطب‌های خارج CB می‌گیریم که بسته به سر خازن‌ها را با تقریب اتصال کوتاه گرفت.

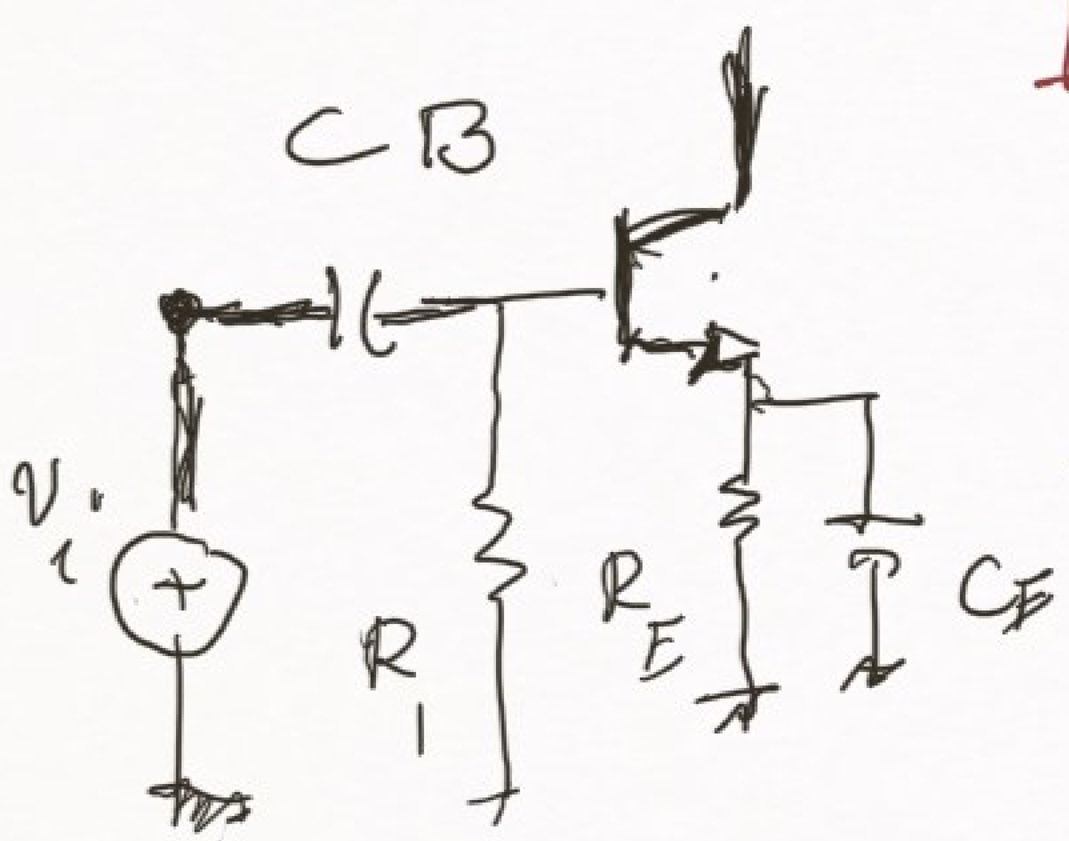
* شاید مجاز باشد ؟

* البته عدم دقت در این لازم لیکن فرض است چون نمی‌دانیم ارایه است یا خیر

نکته مهم ۱: باید دقت بشود که در کلیه مسئله‌هایی که تاکنون حل کرده‌اید r_o ترانزیستورها را زیادی (∞) فرض کرده‌اید و درصورتی که r_o ∞ نباشد روش اول اندازه‌ای پاسخ را حفظ کرده ولی در روش‌های دوم (خصوصاً) در روش سوم باید دقت کافی بشود تا محاسبات درست و دقیق انجام بگیرد. هرچند که در اکثر سازندگان عملی r_o زیاد فرض شده‌اند.

نکته ۲- در محاسبه قطب‌ها چون r_o را اغلب زیاد در نظر می‌گیریم لذا قطب حاصل از C_C به تنهایی قابل محاسبه بوده و خازن‌های C_E و C_B روی آن اثر ندارند ولی چون امپدانس ورودی BJT زیاد نیست لذا موقع قطب ناشی از C_B خازن C_E روی آن تأثیر دارد و برعکس. مثلاً برای محاسبه P_1 داریم:

$$P_1 = P_{CB} = \frac{1}{R_{eq} C_B} = ?$$



C_E اتصال کوتاه $\Longrightarrow R_{eq} = r_\pi \| R_1$

C_E اتصال باز $\Longrightarrow R_{eq} = [r_\pi + (1+\beta_0) R_E] \| R_1$

* کدام R_{eq} درست است؟