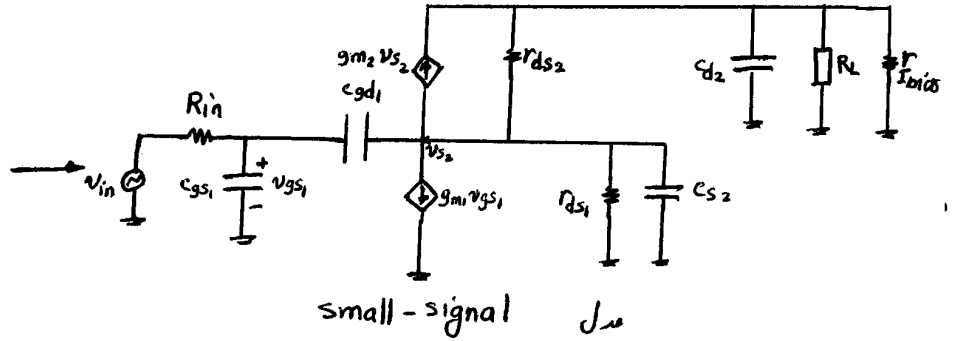
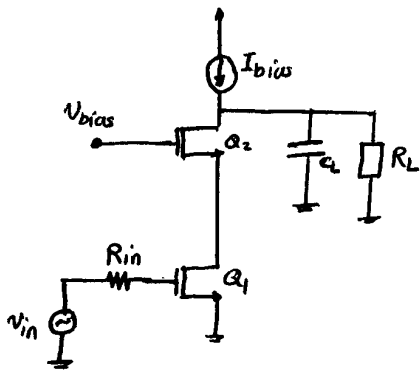


به نام خدا

محاسبه قطب غالب طبقه cascode و بحث در مورد آن :



small-signal مدل

که در آن :  $C_{d2} = C_{gd2} + C_{db2} + C_L + C_{I_{bias}}$  و  $C_{s2} = C_{db1} + C_{sb2} + C_{gs2}$

فرضمان بر این است که قطب غالب داریم و مقصد داریم با استفاده از روش ثابت زمانی  $\omega_{-3dB}$  را پیدا کنیم.

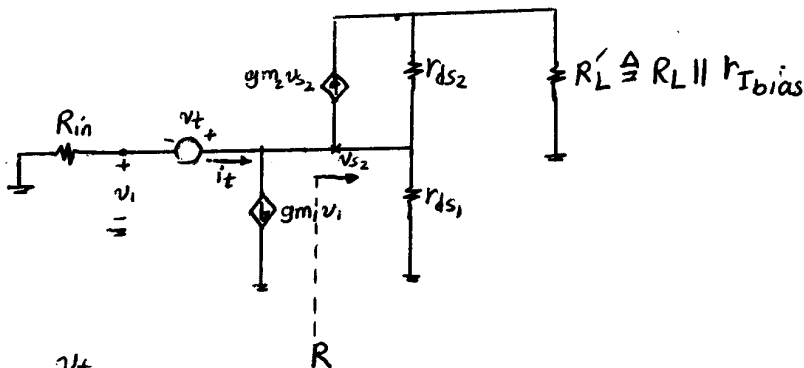
طبق فرمول داریم :

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{\tau_{C_{gs1}} + \tau_{C_{gd1}} + \tau_{C_{s2}} + \tau_{C_{d2}}}$$

حال به محاسبه دقیق هر کدام از این ثابتهای زمانی می پردازیم :

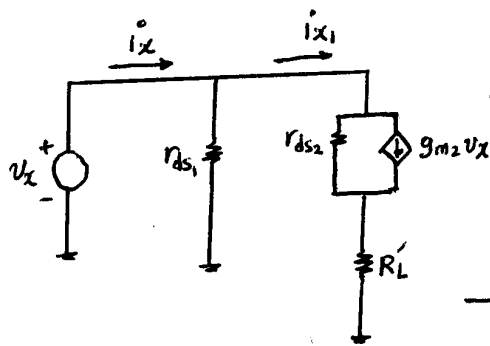
$\tau_{C_{gs1}} :$   $R_{C_{gs1}} = R_{in} \longrightarrow \tau_{C_{gs1}} = R_{in} \cdot C_{gs1}$

$\tau_{C_{gd1}} :$



$R_{C_{gd1}} = \frac{v_t}{i_t}$

برای سادگی کار، معادل توننی را که در جهت فلز می بینیم پیدا می کنیم. از آنجا که منبع مستقل نداریم این معادل تونن فقط شامل  $R_{th}$  است.



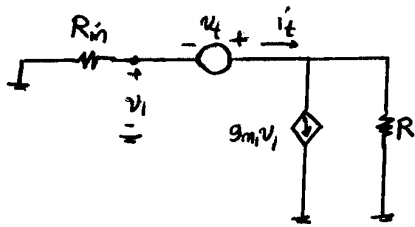
$$R = R_{th} = \frac{v_x}{i_x}$$

$$KVL: v_x = r_{ds2} (i_{x1} - g_{m2} v_x) + R_L \cdot i_{x1}$$

$$\rightarrow \frac{v_x}{i_{x1}} = \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} \cdot r_{ds2}}$$

$$\rightarrow R = r_{ds1} \parallel \left( \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} \cdot r_{ds2}} \right)$$

حال ما را با بدین صورت ساده می شود:



با مراجعه به صفحه 155 کتاب الکترونیک 3

درسی می بینیم که:

$$R_{cgd1} = \frac{v_t}{i_t} = R_{in} (1 + g_{m1} R) + R$$

$$\underline{a} \quad R_{cgd1} = R (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in}$$

با جایگذاری مقدار  $R$  از بالا به دست می آید:

$$R_{cgd1} = \left[ r_{ds1} \parallel \left( \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} \cdot r_{ds2}} \right) \right] (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in}$$

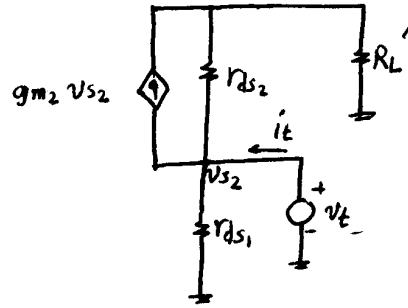
البته چون  $g_{m2} r_{ds2} \gg 1$  می توان نوشت:

$$R_{cgd1} \approx \left[ r_{ds1} \parallel \frac{R_L + r_{ds2}}{g_{m2} r_{ds2}} \right] (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in}$$

$$\tau_{cgd1} = R_{cgd1} \cdot C_{gd1}$$

و بنابراین:

$\tau_{cs_2}$ :



$$R_{cs_2} = \frac{v_t}{i_t}$$

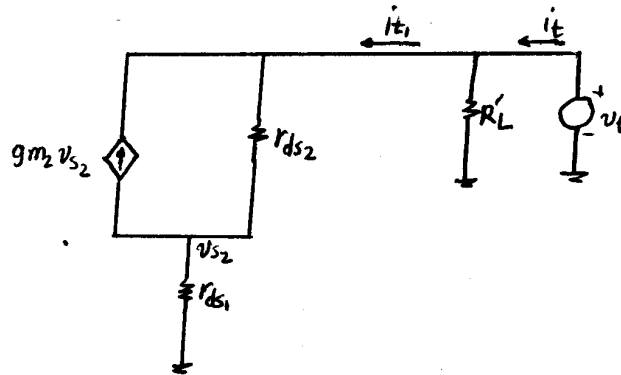
اگر همان مراحل را که برای محاسبه R در قسمت قبل انجام دادیم، دوباره تکرار کنیم به این نتیجه می‌رسیم که :

$$R_{cs_2} = r_{ds_1} \parallel \left( \frac{R'_L + r_{ds_2}}{1 + g_{m_2} r_{ds_2}} \right) \approx r_{ds_1} \parallel \left( \frac{R'_L + r_{ds_2}}{g_{m_2} r_{ds_2}} \right)$$

$$\tau_{cs_2} = R_{cs_2} \cdot c_{s_2}$$

و بنابراین :

$\tau_{cd_2}$ :



$$\begin{cases} v_t = r_{ds_2} (i_{t_1} + g_{m_2} v_{s_2}) + v_{s_2} \\ v_{s_2} = r_{ds_1} \cdot i_{t_1} \end{cases} \rightarrow v_t = i_{t_1} [r_{ds_1} + r_{ds_2} + g_{m_2} r_{ds_1} \cdot r_{ds_2}]$$

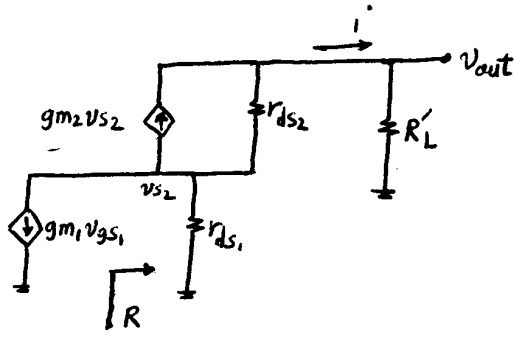
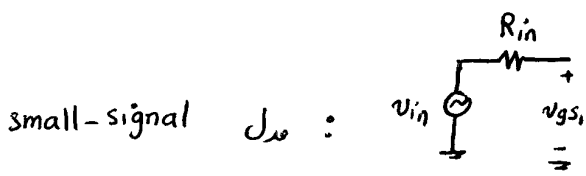
$$\rightarrow R_{cd_2} = R'_L \parallel [(g_{ds_1} + g_{ds_2} + g_{m_2}) r_{ds_1} \cdot r_{ds_2}]$$

و به طور تقریبی :  $R_{cd_2} \approx R'_L \parallel (g_{m_2} r_{ds_1} r_{ds_2})$

$$\tau_{cd_2} = R_{cd_2} \cdot c_{d_2}$$

و بنابراین :

حساب گین dc تقویت کننده Cascode :



دایره :  $v_{gs1} = v_{in}$  ،  $v_{out} = R'_L \cdot i$

از لحاظ توان نوشت :

$$g_{m1} v_{gs1} + \frac{v_{s2}}{r_{ds1}} + i = 0$$

$v_{s2} = -g_{m1} R v_{gs1}$  : واضح است که  $R = r_{ds1} \parallel \frac{R'_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}}$  قبلاً دیدیم که :

$$\rightarrow i = -g_{m1} \left(1 - \frac{R}{r_{ds1}}\right) v_{in} \rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} R'_L \left(1 - \frac{R}{r_{ds1}}\right)$$

پس از جایگزینی :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} R'_L r_{ds1}}{r_{ds1} + \frac{R'_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}}}$$

بچه :

حالت اول :  $R_L = \infty$  و  $I_{bias}$  ایده آل  $(r_{I_{bias}} = \infty)$

در این حالت  $R'_L = \infty$  بنابراین :

$$\tau_{cgs1} = R_{in} \cdot c_{gs1} \quad , \quad \tau_{cgd1} = [r_{ds1} (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in}] \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{cs2} = c_{s2} \cdot r_{ds1} \quad , \quad \tau_{cd2} \approx (g_{m2} r_{ds1} r_{ds2}) \cdot c_{d2}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} g_{m2} r_{ds1} r_{ds2}$$

و بالاخره :

$$(r_{I_{bias}} = r_{ds}) \text{ PMOS منبع جریان } I_{bias} \text{ و } R_L = \infty$$

حالت دوم :

$$\text{در این حالت } R'_L = r_{ds} \text{ و برابرین :}$$

$$\tau_{cgs1} = R_{in} \cdot c_{gs1} \quad , \quad \tau_{cgd1} = \left[ (r_{ds1} \parallel \frac{r_{ds} + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}}) (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{cs2} = \left[ r_{ds1} \parallel \left( \frac{r_{ds} + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right) \right] \cdot c_{gs2} \quad , \quad \tau_{cd2} = (r_{ds} \parallel g_{m2} r_{ds1} r_{ds2}) \cdot c_{d2}$$

حال اگر فرض کنیم  $g_{m1} = g_{m2}$  و  $r_{ds1} = r_{ds2} = r_{ds}$  در این صورت تقریباً می توان به کار برد:

$$\tau_{cgd1} \approx \left[ \frac{2 r_{ds}}{g_m r_{ds}} (1 + g_m R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1} = \left( 3 R_{in} + \frac{2}{g_m} \right) \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{cs2} \approx \frac{2 r_{ds} \cdot c_{gs2}}{g_m r_{ds}} = \frac{2}{g_m} \cdot c_{gs2} \quad , \quad \tau_{cd2} \approx r_{ds} \cdot c_{d2}$$

در مورد لین :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} \cdot r_{ds} \cdot r_{ds1}}{r_{ds1} + \frac{r_{ds} + r_{ds1}}{1 + g_{m2} r_{ds2}}} \approx -g_{m1} r_{ds}$$

$$(r_{I_{bias}} = g_m r_{ds}^2)$$

PMOS cascode منبع جریان  $I_{bias}$  و  $R_L = \infty$

حالت سوم :

$$\text{در این حالت : } R'_L = g_m r_{ds}^2 \text{ و برابرین :}$$

$$\tau_{cgs1} = R_{in} \cdot c_{gs1} \quad , \quad \tau_{cgd1} = \left[ \left( r_{ds1} \parallel \frac{g_m r_{ds}^2 + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right) (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{cs2} = \left[ r_{ds1} \parallel \left( \frac{g_m r_{ds}^2 + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right) \right] \cdot c_{gs2} \quad , \quad \tau_{cd2} = \left[ (g_m r_{ds}^2) \parallel g_{m2} r_{ds1} r_{ds2} \right] \cdot c_{d2}$$

اگر  $r_{ds}$  ها و  $g_m$  ها با هم برابر باشند خواهیم داشت:

$$\tau_{c_{gd1}} \approx \left[ \underbrace{\left( r_{ds} \parallel \frac{g_m r_{ds}^2}{g_m r_{ds}} \right)}_{\frac{r_{ds}}{2}} (1 + g_m R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1} \approx \frac{r_{ds}}{2} (1 + g_m R_{in})$$

$$\text{و } \tau_{c_{s2}} \approx \left[ r_{ds} \parallel \frac{g_m r_{ds}^2}{g_m r_{ds}} \right] \cdot c_{s2} = \frac{r_{ds}}{2} \cdot c_{s2} \quad \text{و} \quad \tau_{c_{d2}} \approx \frac{g_m r_{ds}^2}{2} \cdot c_{d2}$$

در مورد گین:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} \cdot g_m r_{ds}^2 \cdot r_{ds1}}{r_{ds1} + \frac{g_m r_{ds}^2 + r_{ds2}}{1 + g_{m2} \cdot r_{ds2}}} \approx \frac{-g_m^2 r_{ds}^2 \cdot r_{ds}}{r_{ds} + \frac{g_m r_{ds}^2}{g_m r_{ds}}} = -\frac{1}{2} (g_m r_{ds})^2$$

حالت جام:  $R_L \ll r_{ds}$  در این حالت  $R_L \approx R_L$  و بنابراین:

$$\tau_{c_{gs1}} = R_{in} \cdot c_{gs1}, \quad \tau_{c_{gd1}} = \left[ \left( r_{ds1} \parallel \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right) (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{c_{s2}} = \left[ r_{ds1} \parallel \left( \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right) \right] \cdot c_{s2}, \quad \tau_{c_{d2}} = [R_L \parallel g_{m2} r_{ds1} r_{ds2}] \cdot c_{d2}$$

به طور تقریبی:  $\tau_{c_{gd1}} \approx \left[ \left( \frac{r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \parallel r_{ds1} \right) (1 + g_{m1} R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1}$

$$\approx \left[ \frac{1}{g_m} (1 + g_m R_{in}) + R_{in} \right] \cdot c_{gd1} \approx \left( 2 R_{in} + \frac{1}{g_m} \right) \cdot c_{gd1}$$

$$\tau_{c_{s2}} = \left[ r_{ds1} \parallel \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \right] \cdot c_{s2} \approx \frac{1}{g_m} \cdot c_{s2}, \quad \tau_{c_{d2}} = [R_L \parallel g_m r_{ds}^2] \cdot c_{d2} \approx R_L \cdot c_{d2}$$

و در مورد گین:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} \cdot R_L \cdot r_{ds1}}{r_{ds1} + \frac{R_L + r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}}} \approx \frac{-g_{m1} \cdot R_L \cdot r_{ds1}}{r_{ds1}} = -g_{m1} R_L$$

حال نتایج بدست آمده را به طور خلاصه در چند جدول زیر نمایش می دهیم. برای مقایسه بهتر فرض شده است که

$r_{ds1} = r_{ds2} = r_{ds}$  و  $g_{m1} = g_{m2} = g_m$  و از تعریفهای معمول استفاده شده است.

نوع تقویت کننده	$ A_v  = \text{dc gain}$
Common-Source	$g_m (R_L    r_{ds}    r_{I_{bias}})$
Cascode حالت اول	$(g_m r_{ds})^2$
Cascode حالت دوم	$g_m r_{ds}$
Cascode حالت سوم	$\frac{1}{2} (g_m r_{ds})^2$
Cascode حالت چهارم	$g_m R_L$

$R_L = \infty$   $r_{ds} \gg r_{I_{bias}}$   
 $R_L = \infty$   $r_{ds} \gg r_{I_{bias}}$   
 $R_L \ll r_{ds}$

نوع تقویت کننده	$\omega_{-3dB}$ با در نظر گرفتن خازن بار ( $C_L$ )
Common-Source	$\frac{1}{R_{in} \cdot C_{gs} + [(R_L    r_{ds}    r_{I_{bias}})(1 + g_m R_{in}) + R_{in}] \cdot C_{gd} + (R_L    r_{ds}    r_{I_{bias}})(C_L + C_{db} + C_{I_{bias}})}$
Cascode حالت اول	$\frac{1}{R_{in} \cdot C_{gs1} + r_{ds} (1 + g_m R_{in}) \cdot C_{gd1} + (C_{db1} + C_{sb2} + C_{gs2}) \cdot r_{ds} + g_m r_{ds}^2 (C_{gd2} + C_{db2} + C_L + C_{I_{bias}})}$
Cascode حالت دوم	$\frac{1}{R_{in} \cdot C_{gs1} + (3R_{in} + \frac{2}{g_m}) \cdot C_{gd1} + \frac{2}{g_m} (C_{db1} + C_{sb2} + C_{gs2}) + r_{ds} (C_{gd2} + C_{db2} + C_L + C_{I_{bias}})}$
Cascode حالت سوم	$\frac{1}{R_{in} \cdot C_{gs1} + \frac{r_{ds}}{2} (1 + g_m R_{in}) \cdot C_{gd1} + \frac{r_{ds}}{2} (C_{db1} + C_{sb2} + C_{gs2}) + \frac{g_m r_{ds}^2}{2} (C_{gd2} + C_{db2} + C_L + C_{I_{bias}})}$
Cascode حالت چهارم	$\frac{1}{R_{in} \cdot C_{gs1} + (2R_{in} + \frac{1}{g_m}) \cdot C_{gd1} + \frac{1}{g_m} (C_{db1} + C_{sb2} + C_{gs2}) + R_L (C_{gd2} + C_{db2} + C_L + C_{I_{bias}})}$

لازم به ذکر است که برای بدست آوردن  $\omega_{-3dB}$  بدون در نظر گرفتن خازن بار، کافیت در روابط بالا

$C_L = 0$  قرار دهیم.