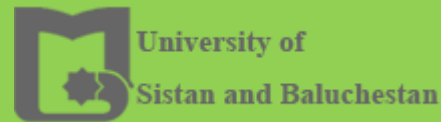
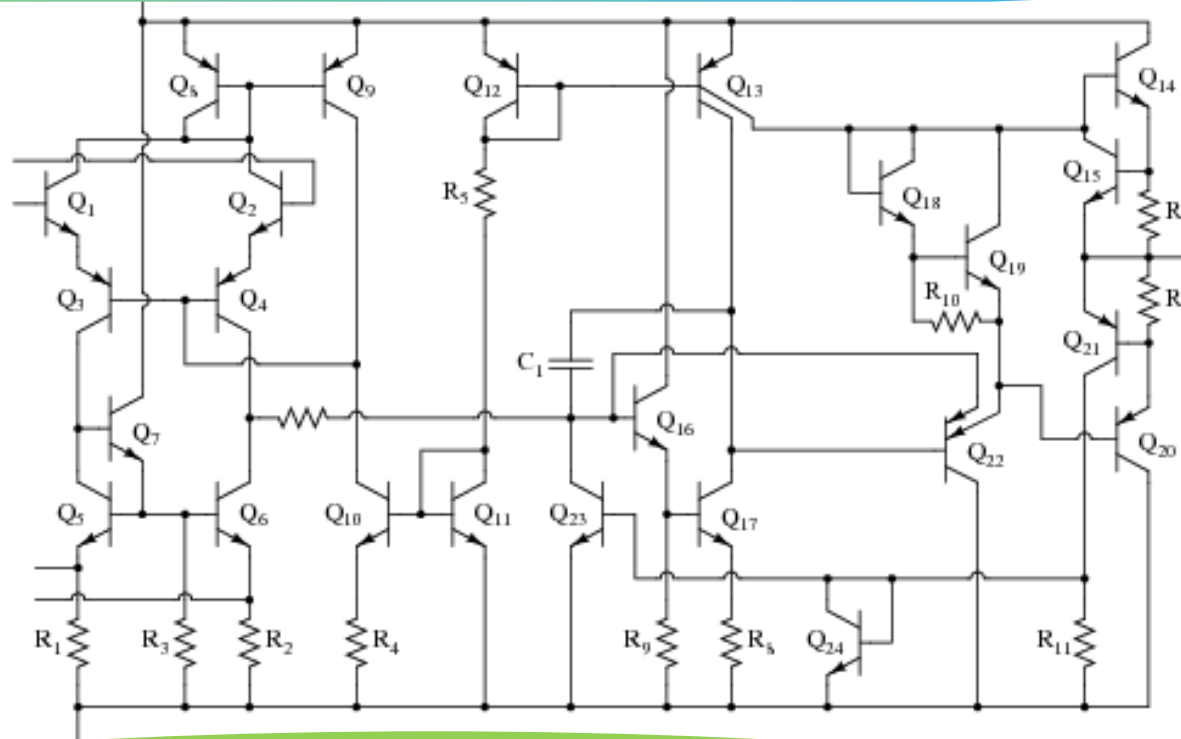


Analog Electronics (Electronics III)

By: M. Shahraki



University of Sistan & Baluchestan
Faculty of Electrical and Computer Engineering
Department of Electrical & Electronics Engineering

Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

تقریب فرکانس قطع بالا: ثابت زمانی اتصال باز

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}}$$

$$\tau_{jo} = C_j R_j \quad \text{Other Capacitances Are Open Circuit}$$

فرکانس قطع بالا، عکس مجموع ثابت زمانی مدار باز خازن های مدار است.

ثابت زمانی بزرگتر تعیین کننده فرکانس قطع بالا است.



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

تقریب فرکانس قطع پایین: ثابت زمانی اتصال کوتاه

$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}}$$

$$\tau_{js} = C_j R_j \quad | \quad \text{Other Capacitances Are Short Circuit}$$

فرکانس قطع پایین، مجموع عکس ثابت زمانی اتصال کوتاه خازن های مدار است.

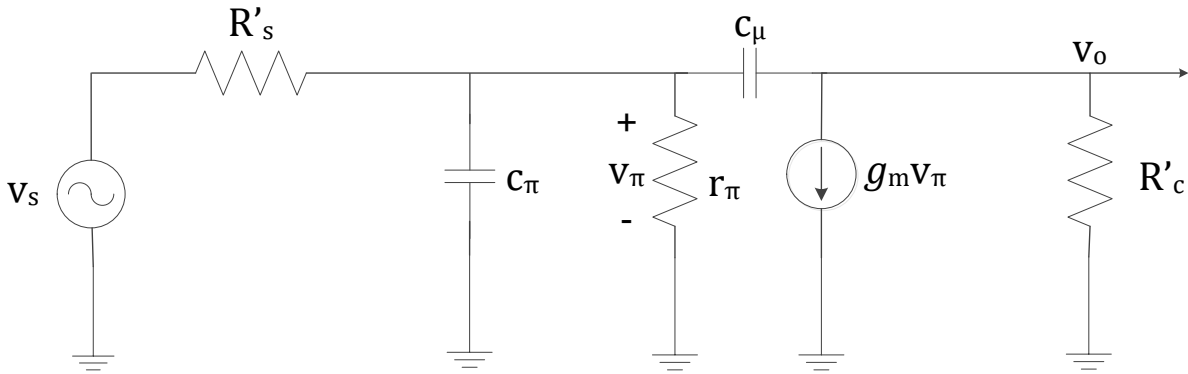
ثابت زمانی کوچکتر تعیین کننده فرکانس قطع پایین است.



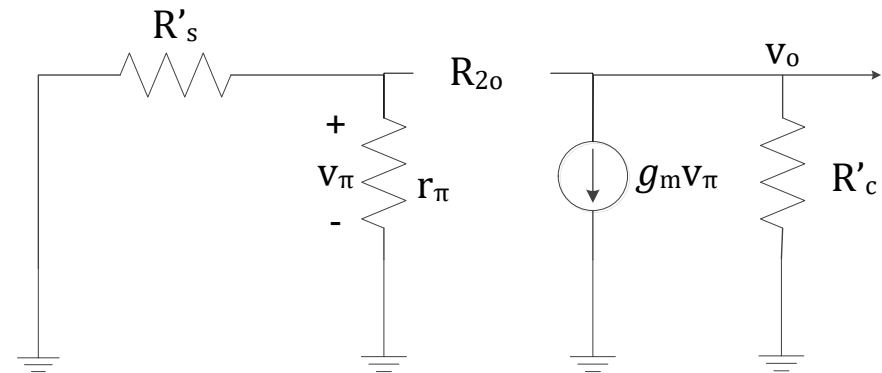
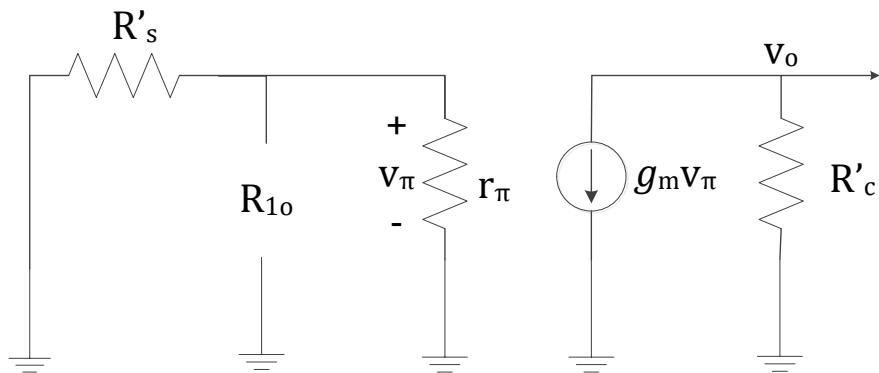
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

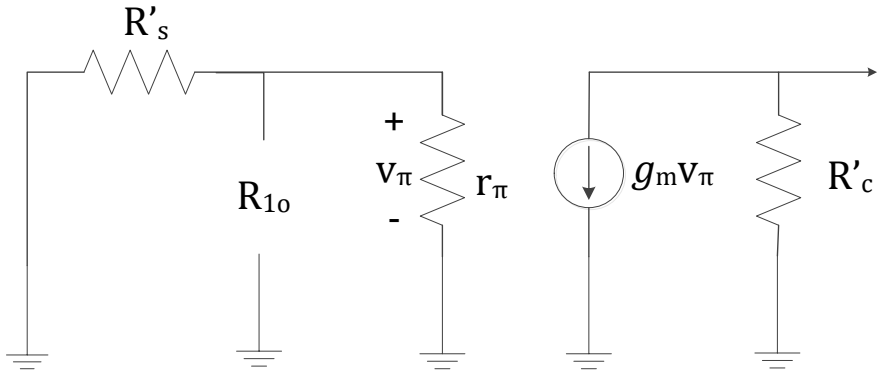


$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$



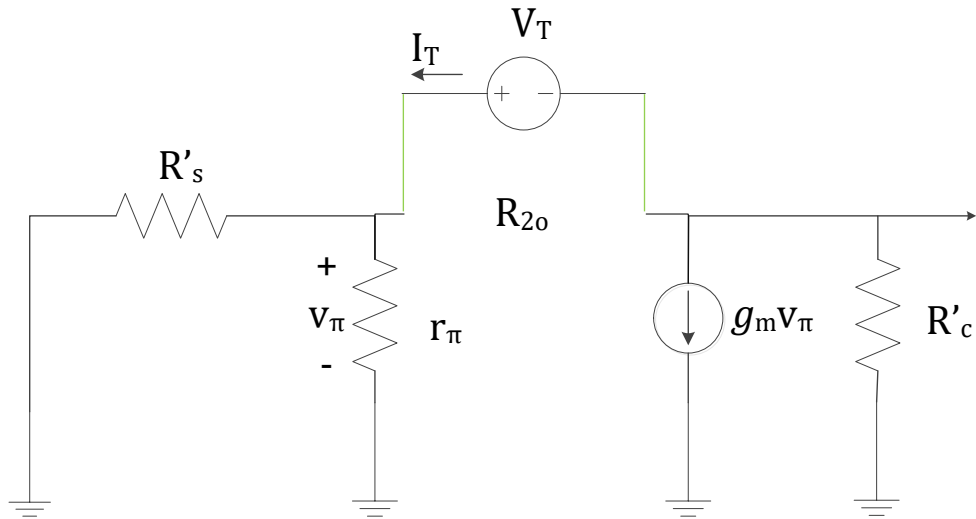
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

$$R_{1o} = R'_S \parallel r_{\pi}$$



$$R_{1o} = R'_S \parallel r_{\pi} \quad v_{\pi} = R_{1o} I_T$$

$$R'_C (I_T + g_m v_{\pi}) - V_T + v_{\pi} = 0$$

$$V_T = R'_C (I_T + g_m R_{1o} I_T) + R_{1o} I_T$$

$$R_{2o} = R'_C (1 + g_m R_{1o}) + R_{1o}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چند طبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$

$$R_{1o} = R'_S \parallel r_\pi$$

$$R_{2o} = R'_C (1 + g_m R_{1o}) + R_{1o}$$

$$\omega_H = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{1o} \left[1 + g_m R'_C + \frac{R'_C}{R_{1o}} \right]}$$

$$\omega_H = \frac{1}{R_{1o} \left(c_\pi + c_\mu \left[1 + g_m R'_C + \frac{R'_C}{R_{1o}} \right] \right)}$$

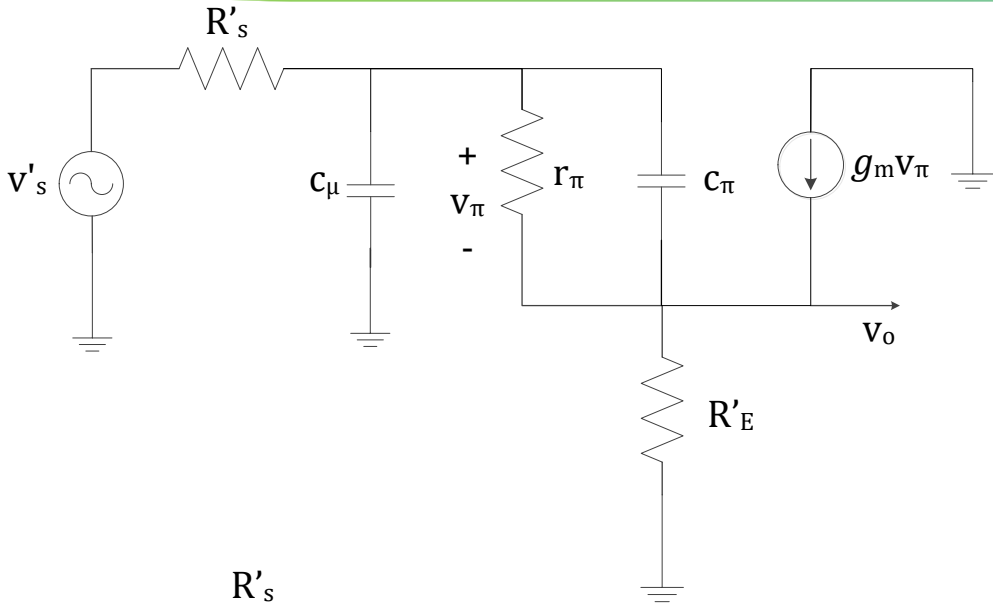
$$P_1 = \frac{1}{R_T \left(C_\pi + C_\mu \left[1 + g_m R'_C + \frac{R'_C}{R_T} \right] \right)}$$

تقریب تک قطبی



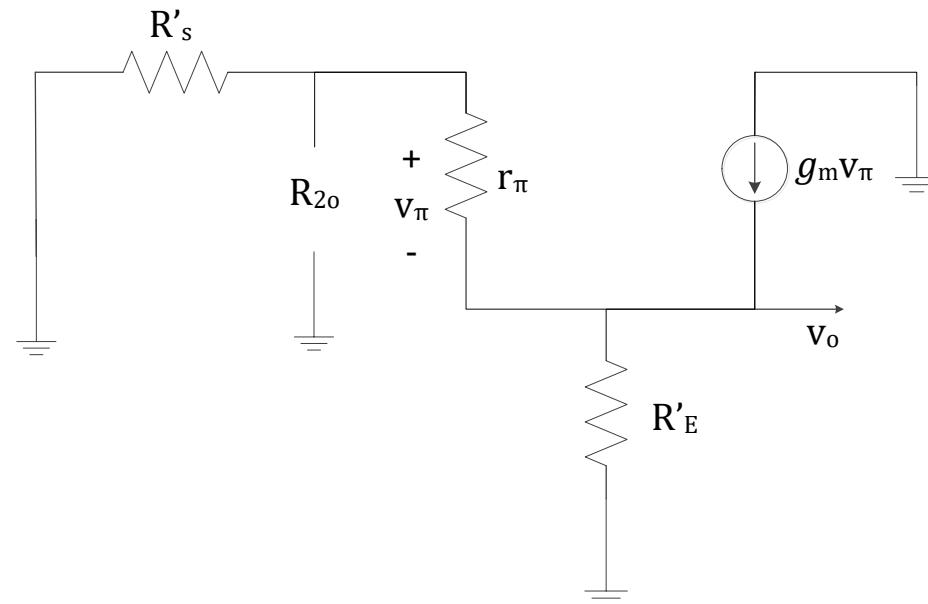
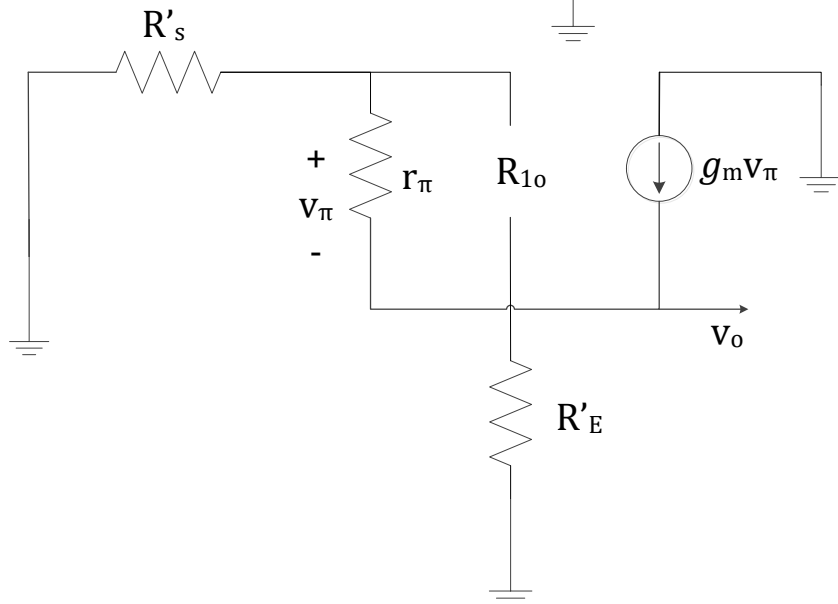
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه کلکتور مشترک

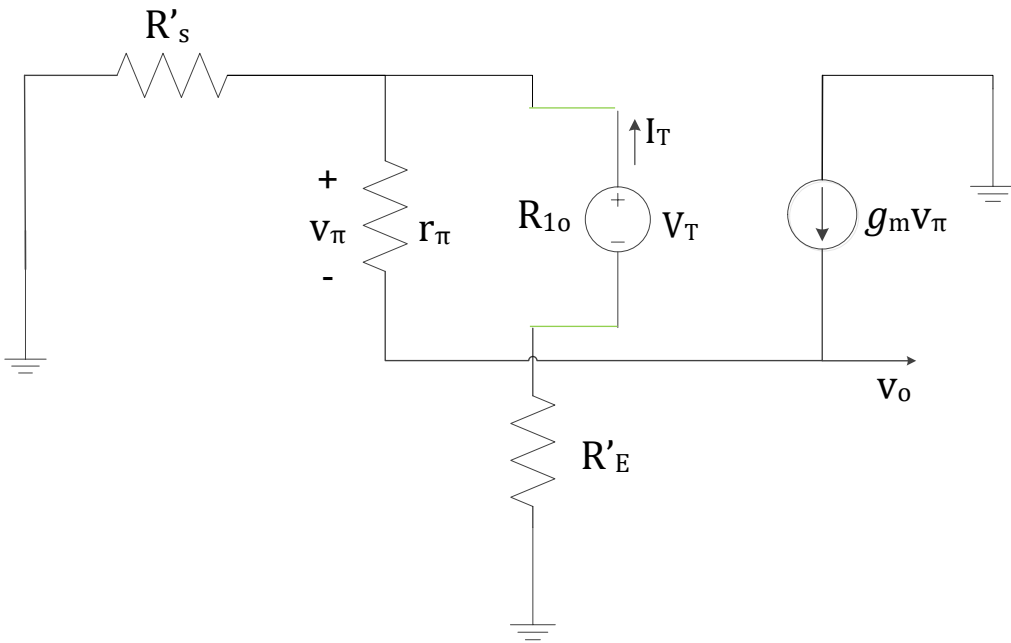
$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه کلکتور مشترک



$$V_T [1 + g_m R'_E] = I_T (R'_S + R'_E)$$

$$R_T = \frac{(R'_S + R'_E)}{1 + g_m R'_E}$$

$$R_{1o} = r_\pi \parallel \frac{(R'_S + R'_E)}{1 + g_m R'_E}$$

$$V_T = v_\pi$$

$$R_{1o} = r_\pi \parallel R_T$$

$$R_{1o} \cong \frac{(R'_S + R'_E)}{1 + g_m R'_E}$$

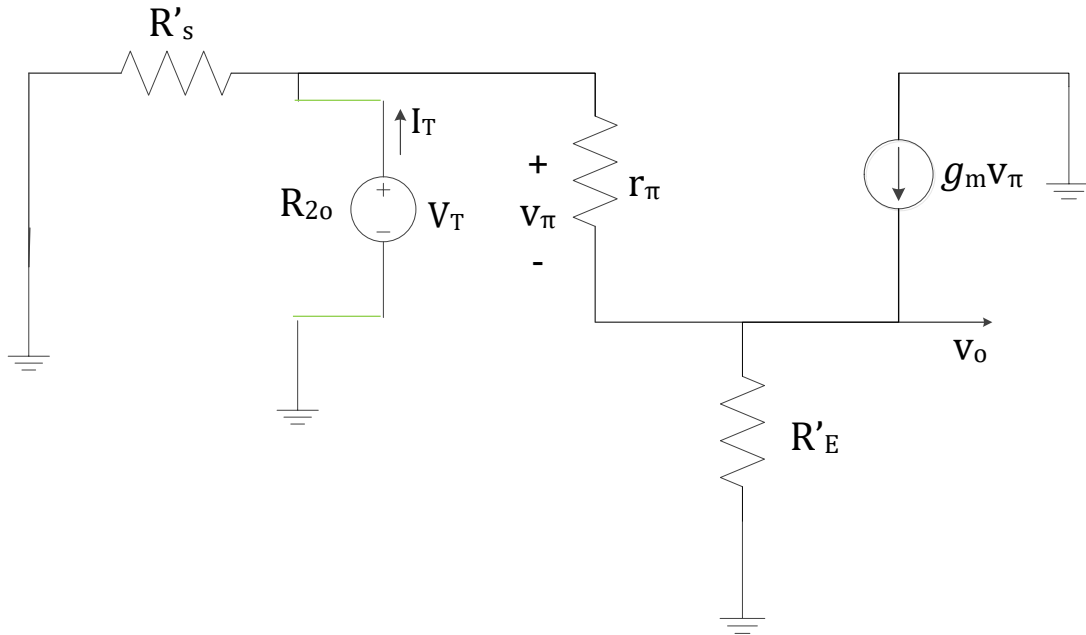
$$R'_S (-I_T) + V_T + R'_E (g_m V_T - I_T) = 0$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه کلکتور مشترک



$$V_T = I_T (r_\pi + R'_E [1 + g_m r_\pi])$$

$$R_T = r_\pi + R'_E [1 + g_m r_\pi]$$

$$R_{2o} = R'_S \parallel (r_\pi + R'_E [1 + g_m r_\pi])$$

$$R_{2o} \cong R'_S$$

$$R_{2o} = R'_S \parallel R_T \quad v_\pi = r_\pi I_T$$

$$-V_T + r_\pi I_T + R'_E (g_m r_\pi I_T + I_T) = 0$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه کلکتور مشترک

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$

$$R_{1o} \cong \frac{(R'_S + R'_E)}{1 + g_m R'_E}$$

$$R_{2o} \cong R'_S$$

$$\omega_H = \frac{1}{c_\pi \frac{(R'_S + R'_E)}{1 + g_m R'_E} + c_\mu R'_S}$$

$$\omega_H \cong \frac{1}{c_\mu R'_S}$$

$$P_1 \approx \frac{1}{C_\mu R'_S}$$

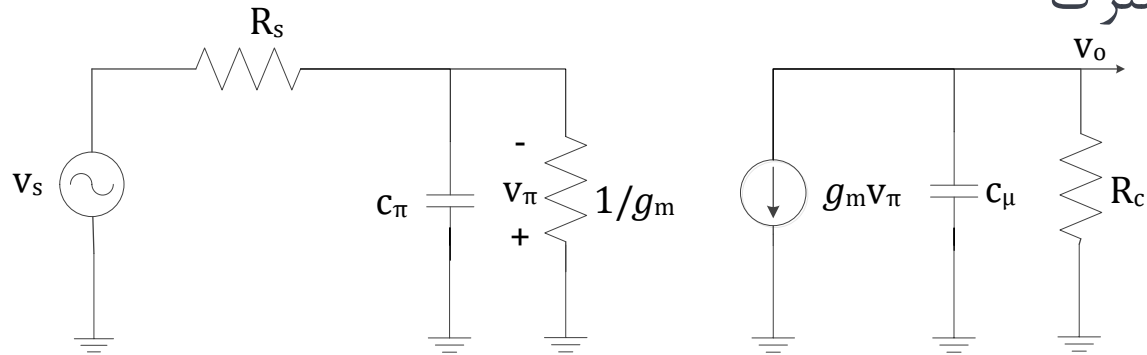
تقریب تک قطبی



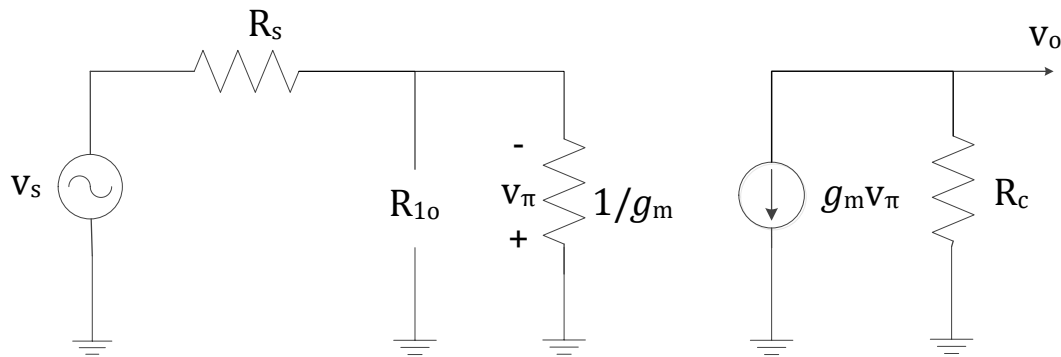
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

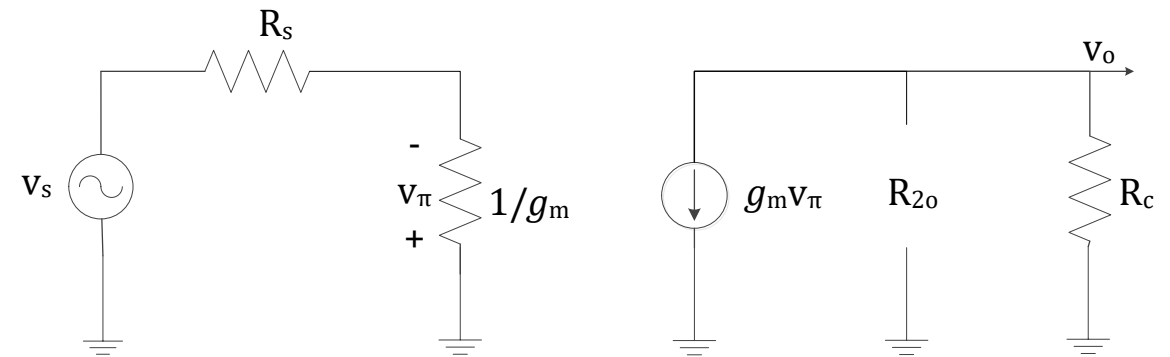
بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه بیس مشترک



$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$



$$R_{1o} = R_s' \parallel \frac{1}{g_m}$$



$$R_{2o} = R_C$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

بررسی تقریب فرکانس قطع بالا در تقویت کننده یک طبقه بیس مشترک

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}}$$

$$R_{1o} = R_S \parallel \frac{1}{g_m} \approx \frac{1}{g_m} \quad R_{2o} = R_C$$

$$\omega_H = \frac{1}{\frac{c_\pi}{g_m} + c_\mu R_C}$$

$$\omega_H \cong \frac{1}{c_\mu R_C}$$

$$P_1 = \frac{1}{C_\mu R_C}$$

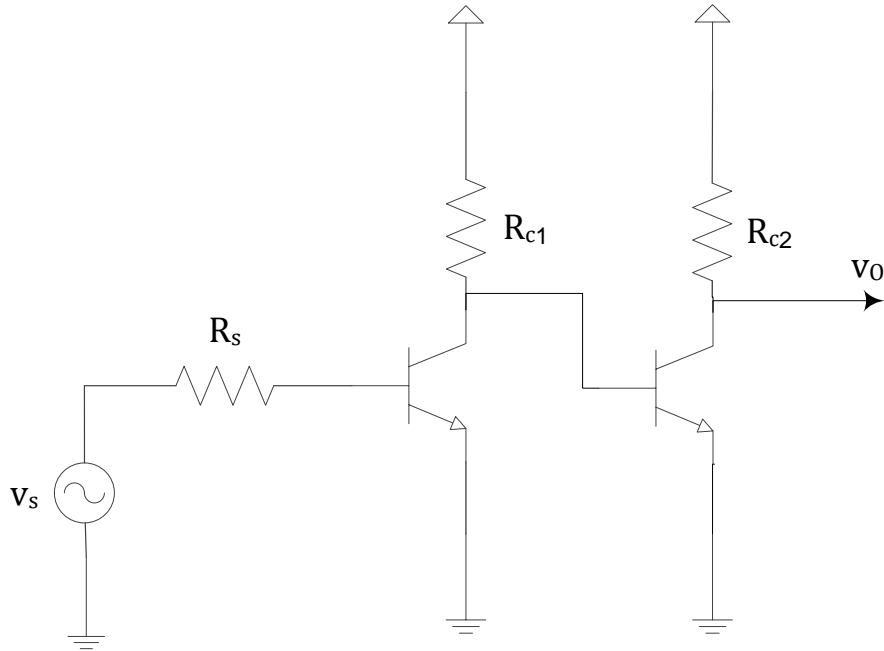
تقریب تک قطبی



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

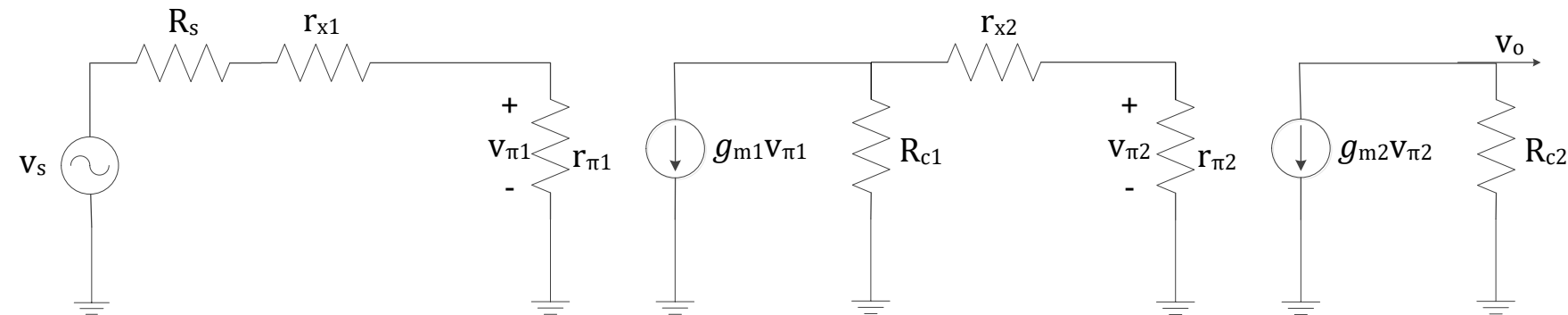
پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



$$A_{V0} = (-g_{m2}R_{C2})r_{\pi2} \frac{R_{C1}}{R_{C1} + r_{x2} + r_{\pi2}} \left(-g_{m1} \frac{r_{\pi1}}{r_{\pi1} + r_{x1} + R_S} \right)$$

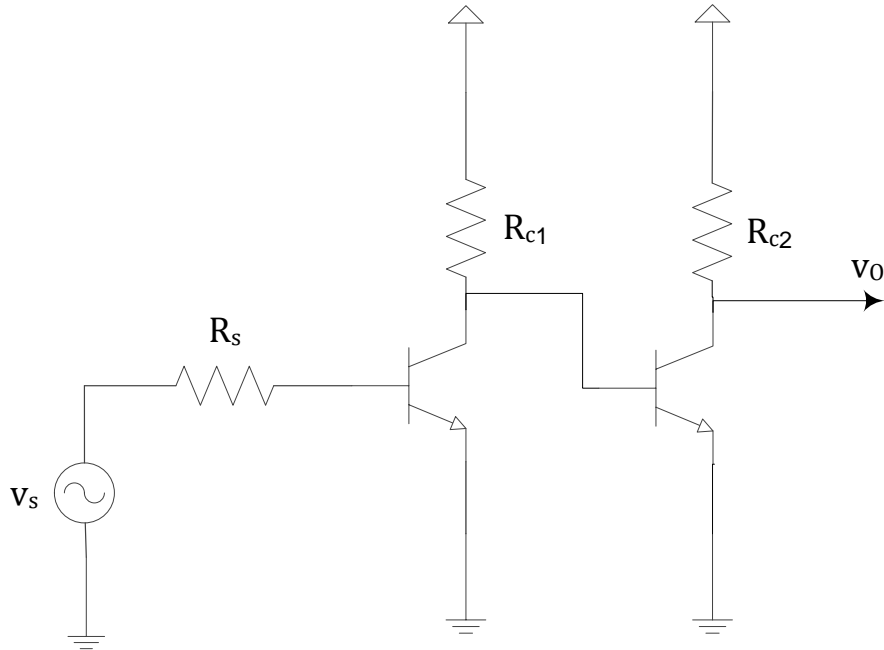
$$A_{V0} = g_{m1}g_{m2}R_{C1}R_{C2} \frac{r_{\pi1}}{r_{\pi1} + r_{x1} + R_S} \frac{r_{\pi2}}{R_{C1} + r_{x2} + r_{\pi2}}$$



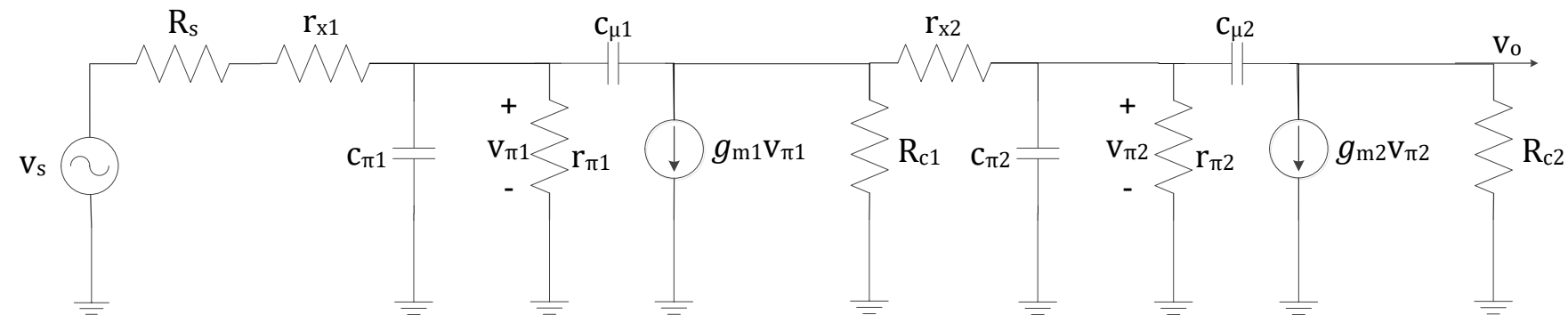
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



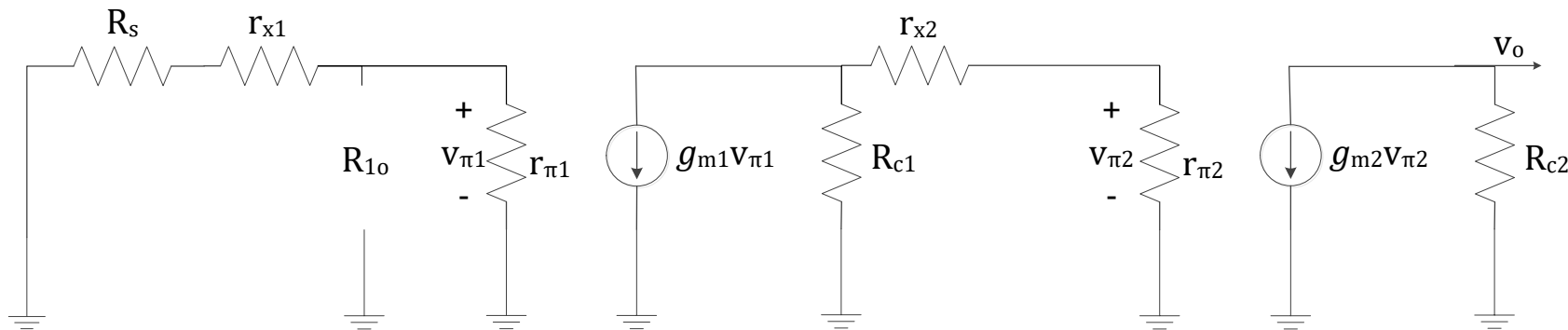
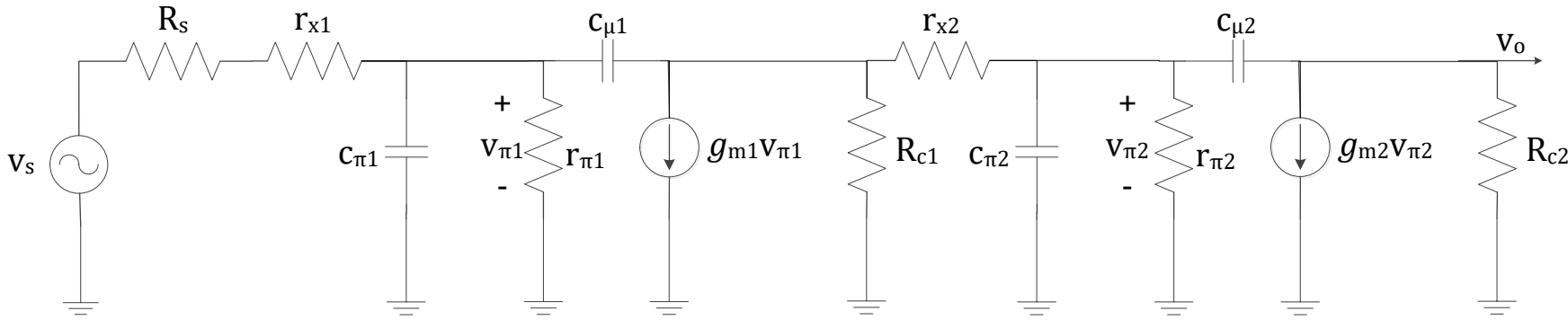
$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} R_{2o} + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} R_{4o}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



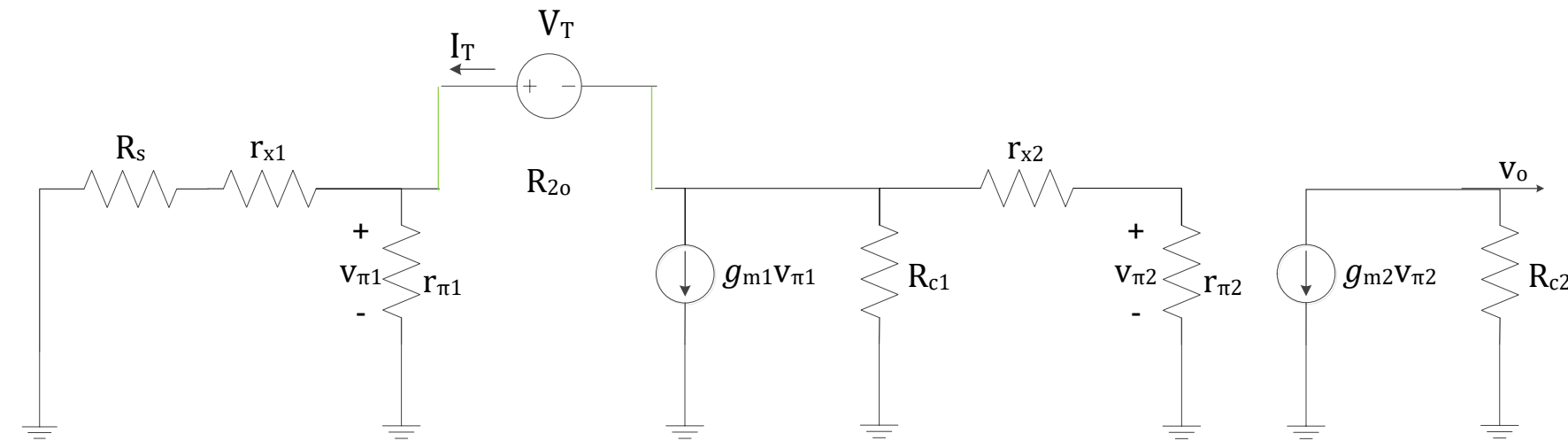
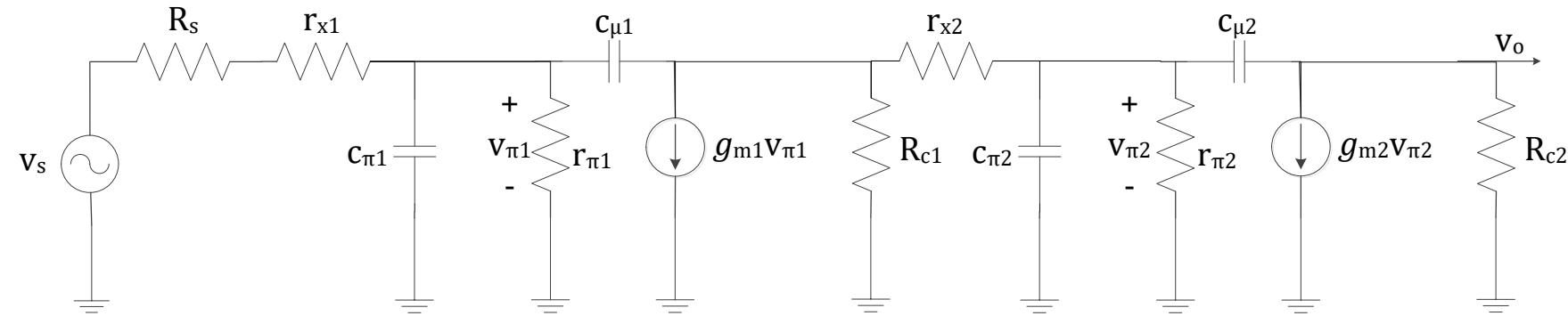
$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi1}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi1}$$

$$R'_C = R_{C1} \parallel (r_{\pi2} + r_{x2})$$

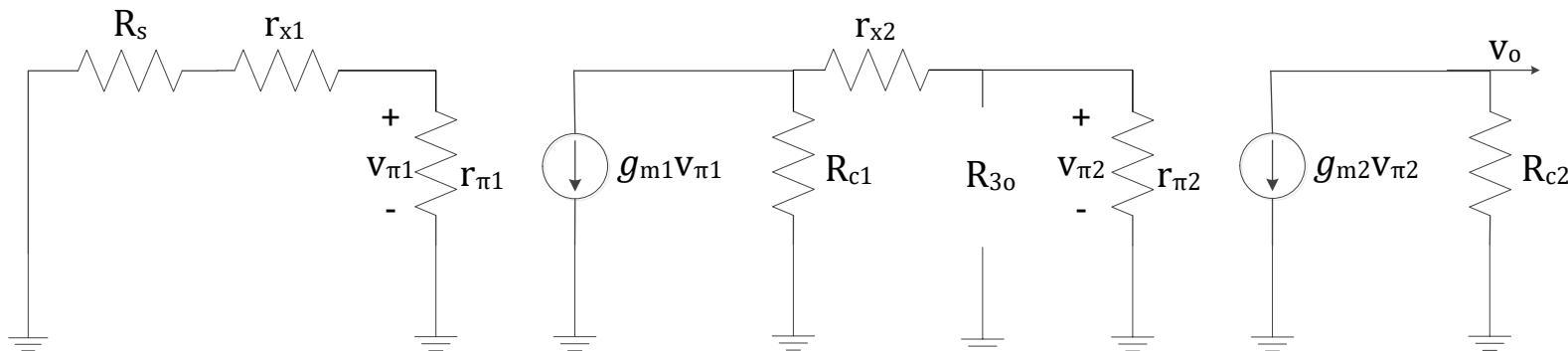
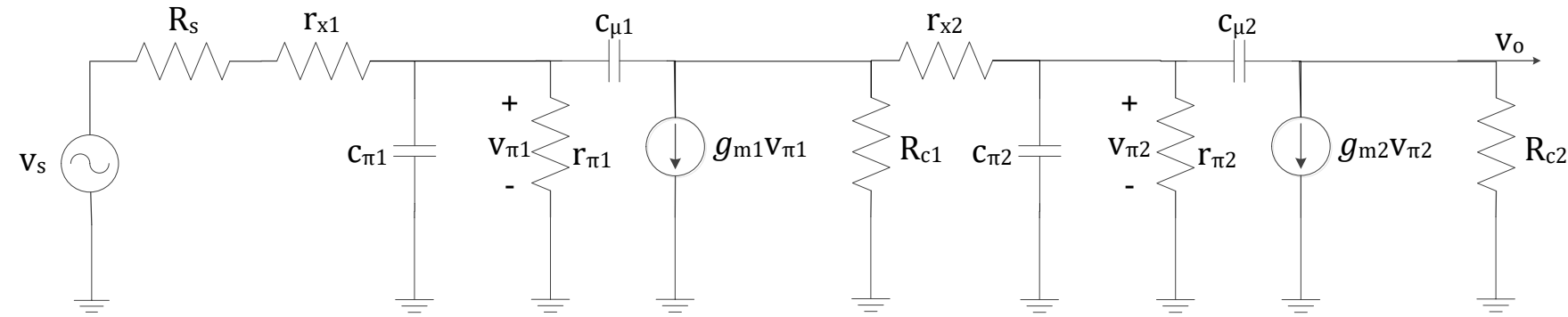
$$R_{2o} = R_{1o} + (1 + g_{m1} R_{1o}) R'_C$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



$$v_{\pi 1} = 0$$

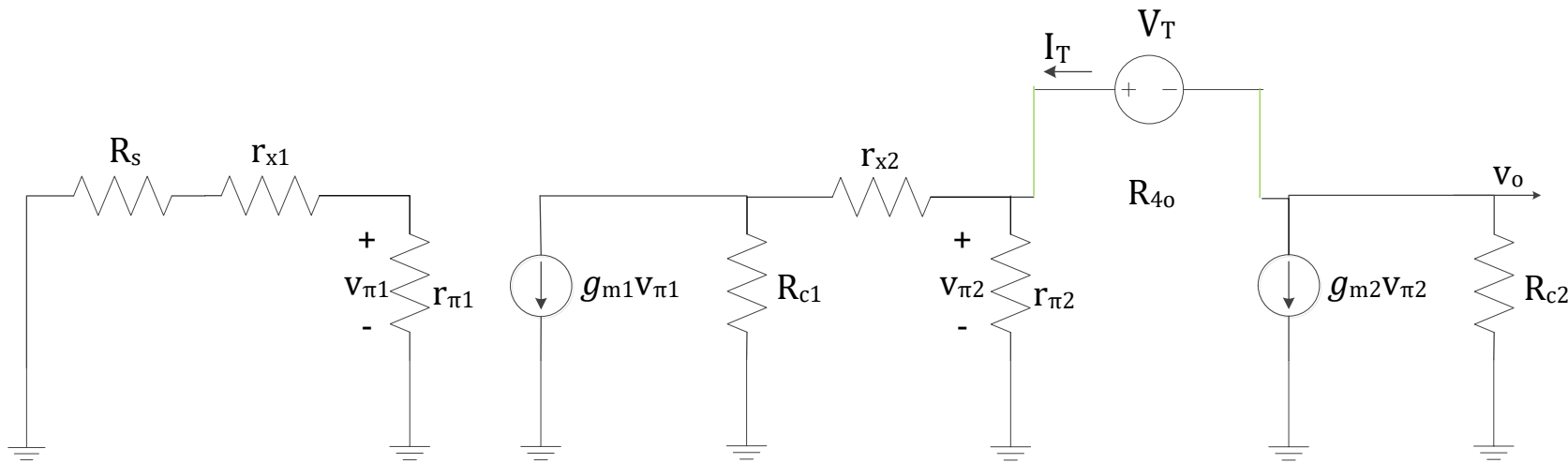
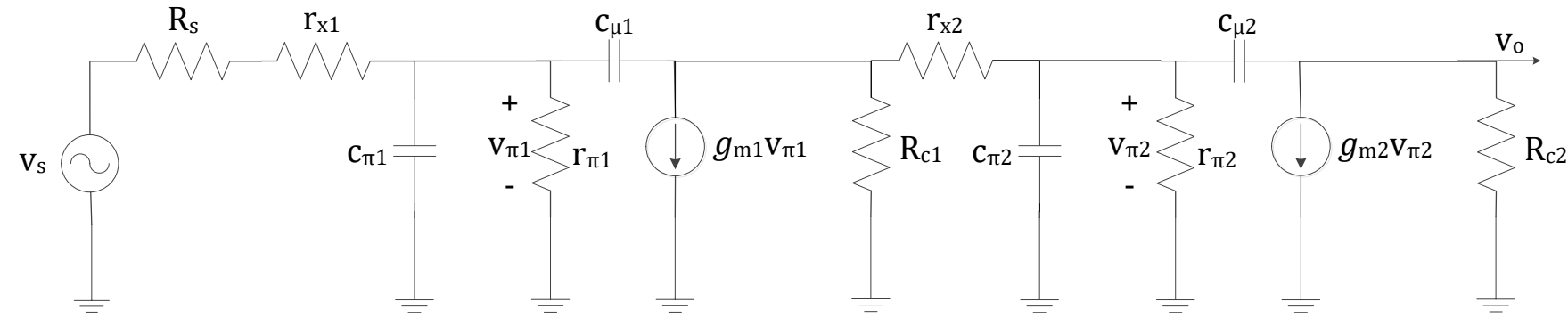
$$R_{3o} = r_{\pi 2} \parallel (R_{c1} + r_{x2})$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک



$$v_{\pi 1} = 0$$

$$R_{3o} = r_{\pi 2} \parallel (R_{C1} + r_{x2})$$

$$R_{4o} = R_{3o} + (1 + g_{m2}R_{3o})R_{C2}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دوطبقه امیتر مشترک

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} R_{2o} + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} R_{4o}}$$

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} [R_{1o} + (1 + g_{m1} R_{1o}) R'_C] + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} [R_{3o} + (1 + g_{m2} R_{3o}) R_{C2}]}$$

پهنای باند بهتر از تقویت کننده امیتر مشترک یک طبقه

$$A_{V0(1)} \approx (g_m R_C) = 100$$

$$\omega_{H(1)} \approx \frac{1}{(g_m R_C) R_T c_\mu} = \frac{1}{100 R_T c_\mu}$$

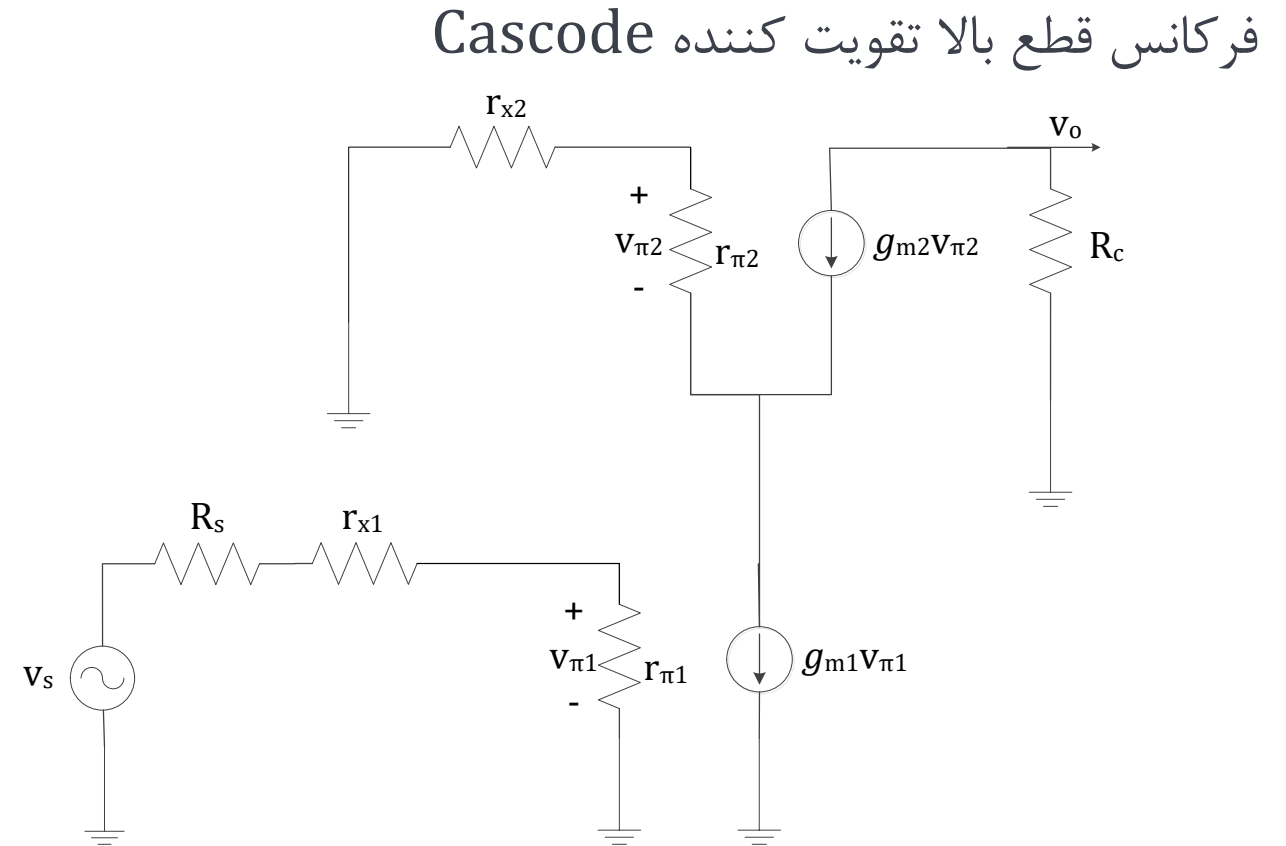
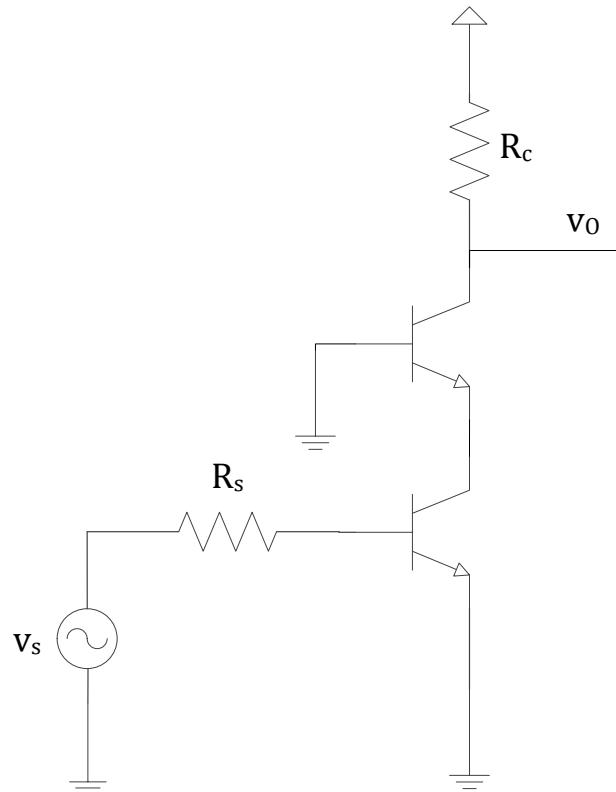
$$A_{V0(2)} \approx (g_{m1} R_{C1})(g_{m2} R_{C2}) = 10 \times 10$$

$$\omega_{H(2)} \approx \frac{1}{(g_{m1} R_{C1}) R_{T1} c_{\mu 1} + (g_{m2} R_{C2}) R_{T2} c_{\mu 2}} = \frac{1}{10 R_{T1} c_{\mu 1} + 10 R_{T2} c_{\mu 2}} \approx \frac{1}{20 R_T c_\mu}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



$$v_{\pi 2} = \frac{g_{m1} r_{\pi 2}}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}} v_{\pi 1}$$

$$A_{V0} = -g_{m1} g_{m2} \frac{r_{\pi 2}}{(1 + g_{m2} r_{\pi 2})} \frac{r_{\pi 1}}{(r_{\pi 1} + R_S + r_{x1})} R_C$$

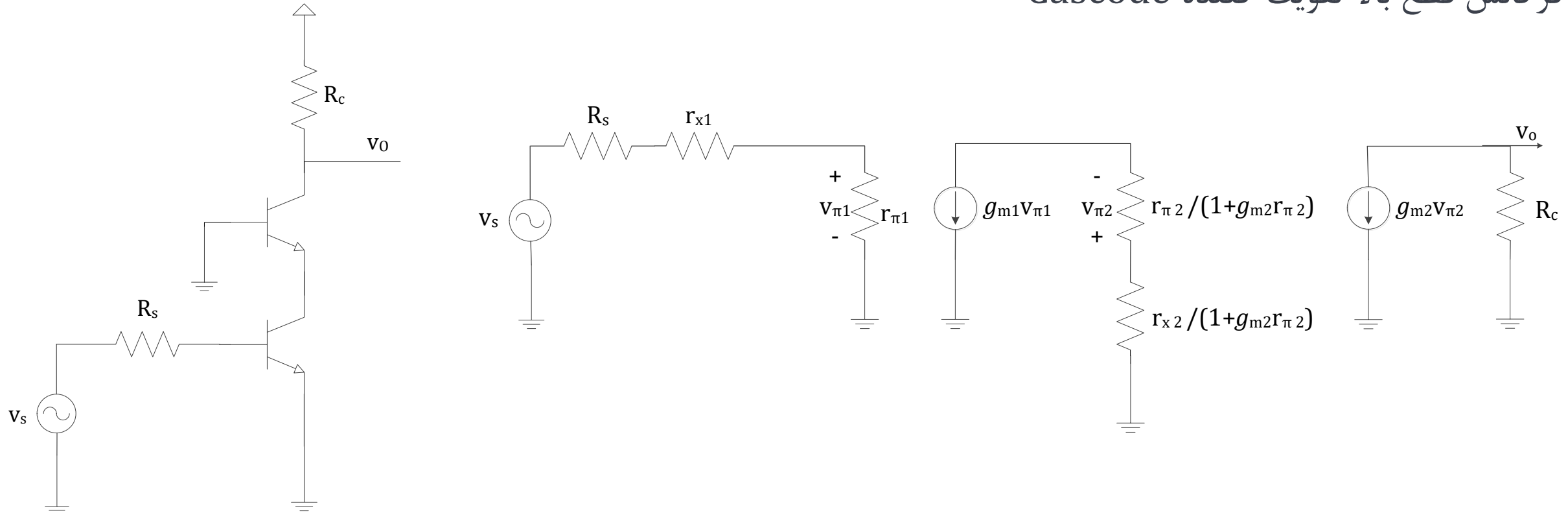
$$A_{V0} = -g_{m1} R_C \frac{r_{\pi 1}}{(r_{\pi 1} + R_S + r_{x1})}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$A_{V0} = -g_{m2} R_C g_{m1} \frac{r_{\pi 2}}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}} \frac{r_{\pi 1}}{(r_{\pi 1} + R_S + r_{x1})}$$

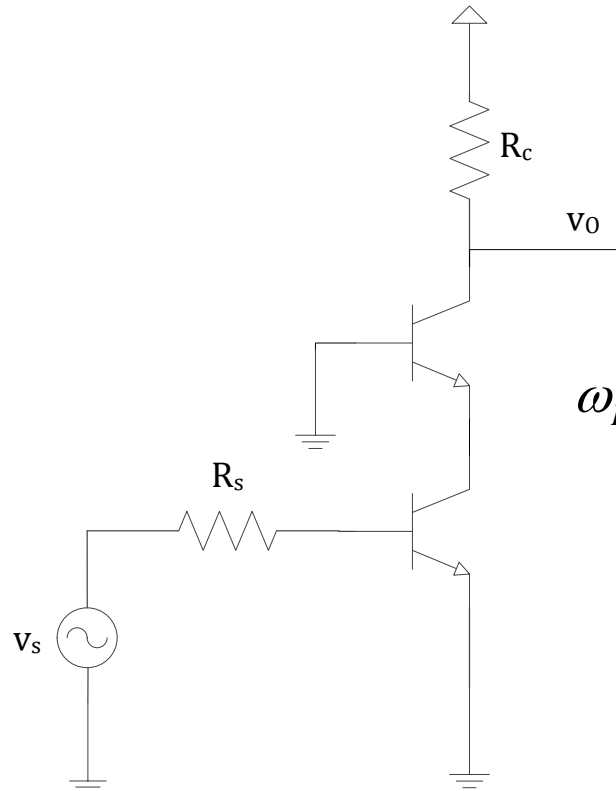
$$A_{V0} \approx -g_{m1} R_c \frac{r_{\pi 1}}{(r_{\pi 1} + R_S + r_{x1})}$$



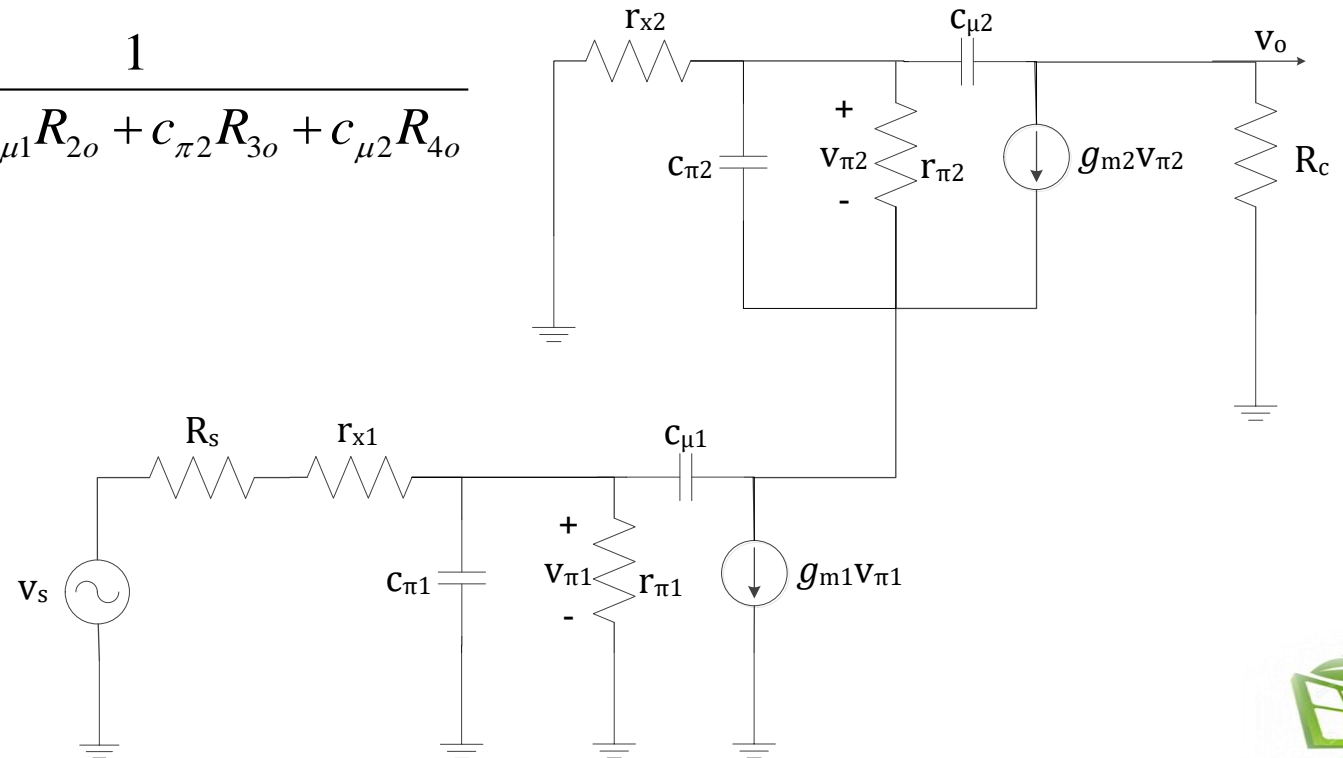
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



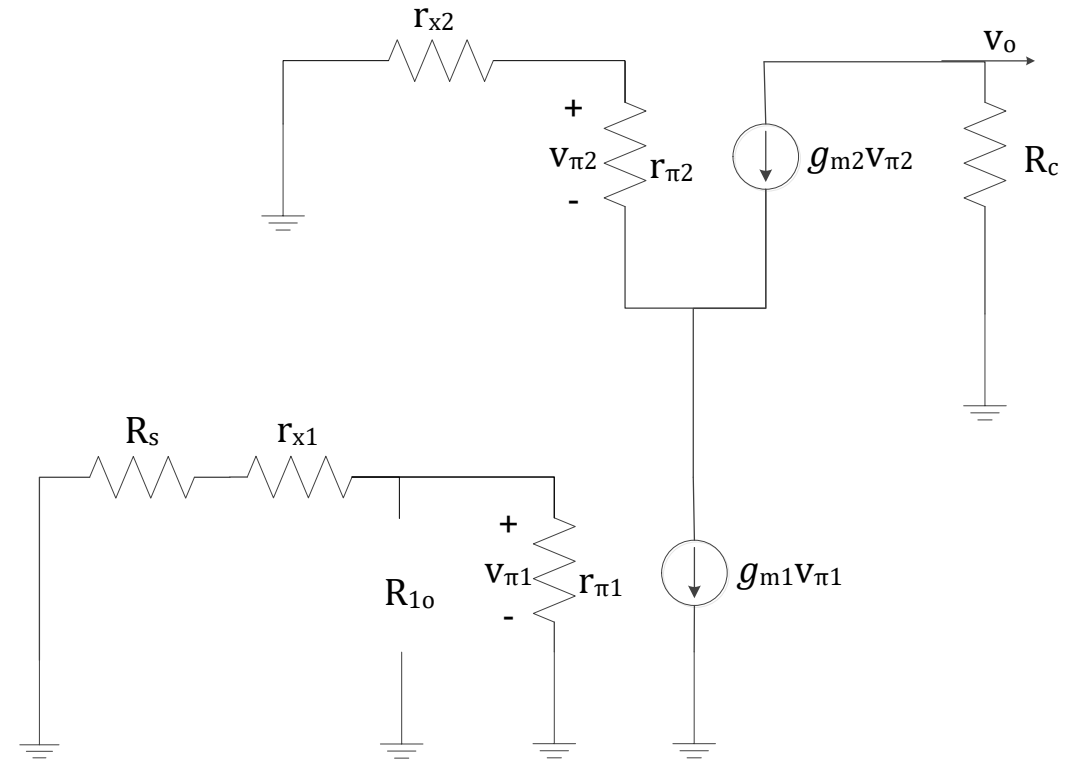
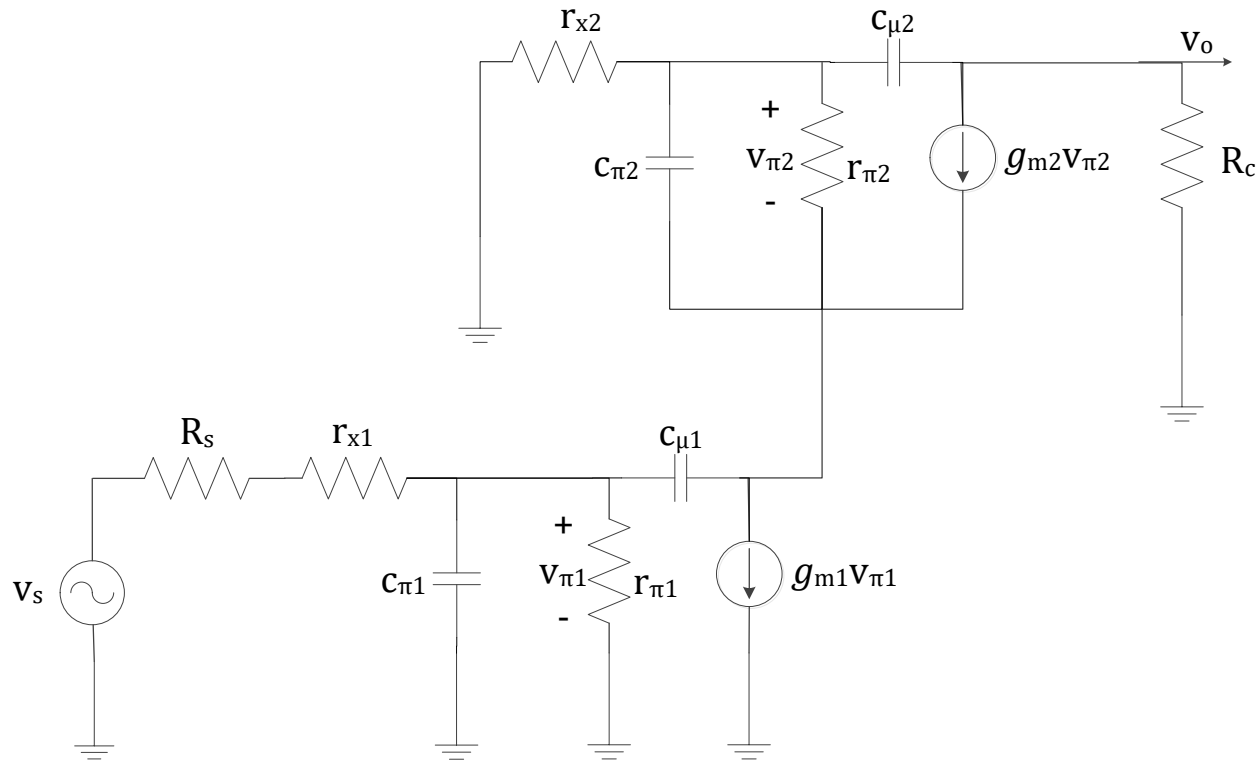
$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} R_{2o} + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} R_{4o}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



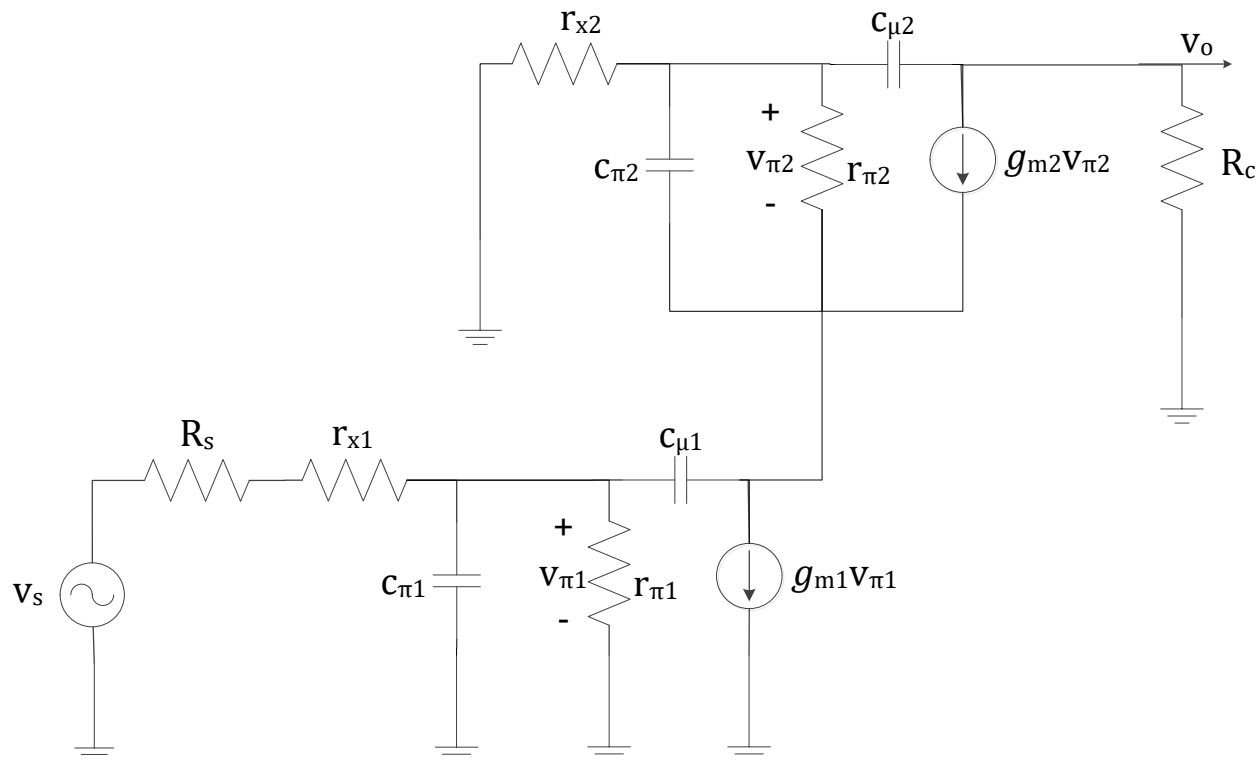
$$R_{lo} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi1}$$



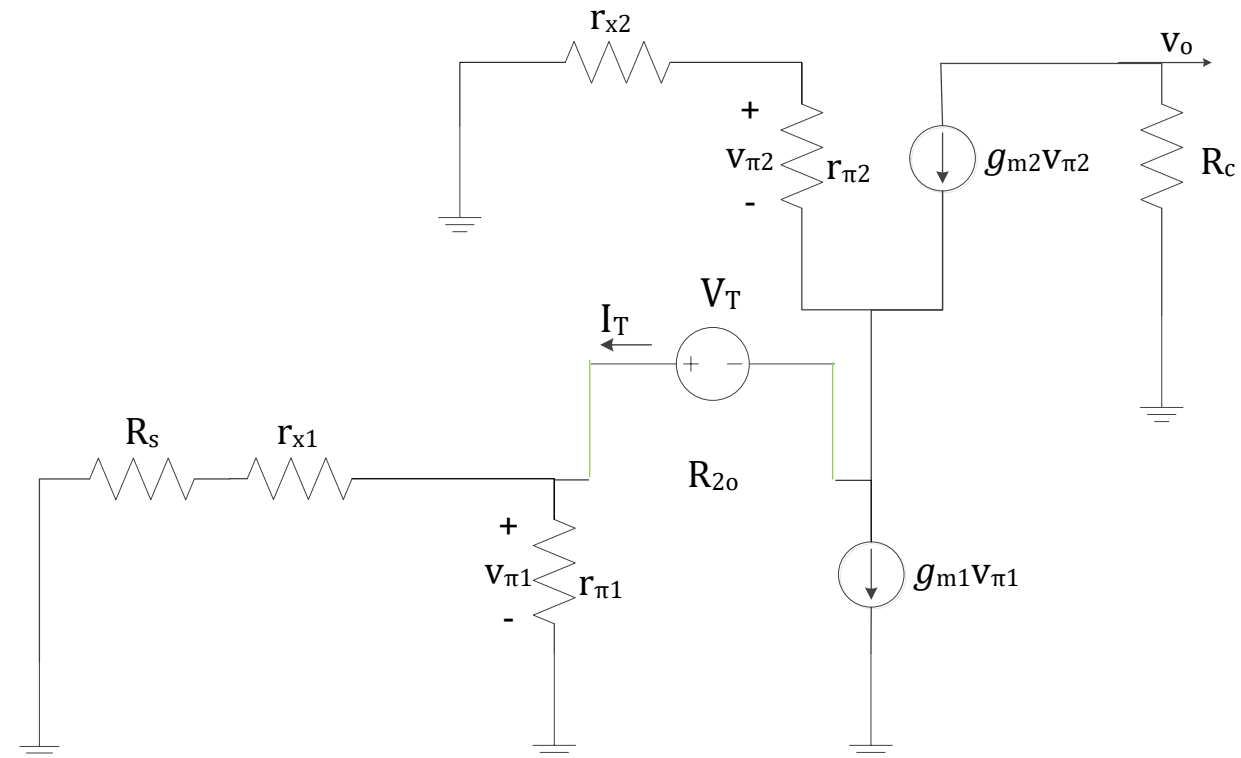
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi1} \quad R'_C = \frac{(r_{\pi2} + r_{x2})}{1 + g_{m2}r_{\pi2}}$$



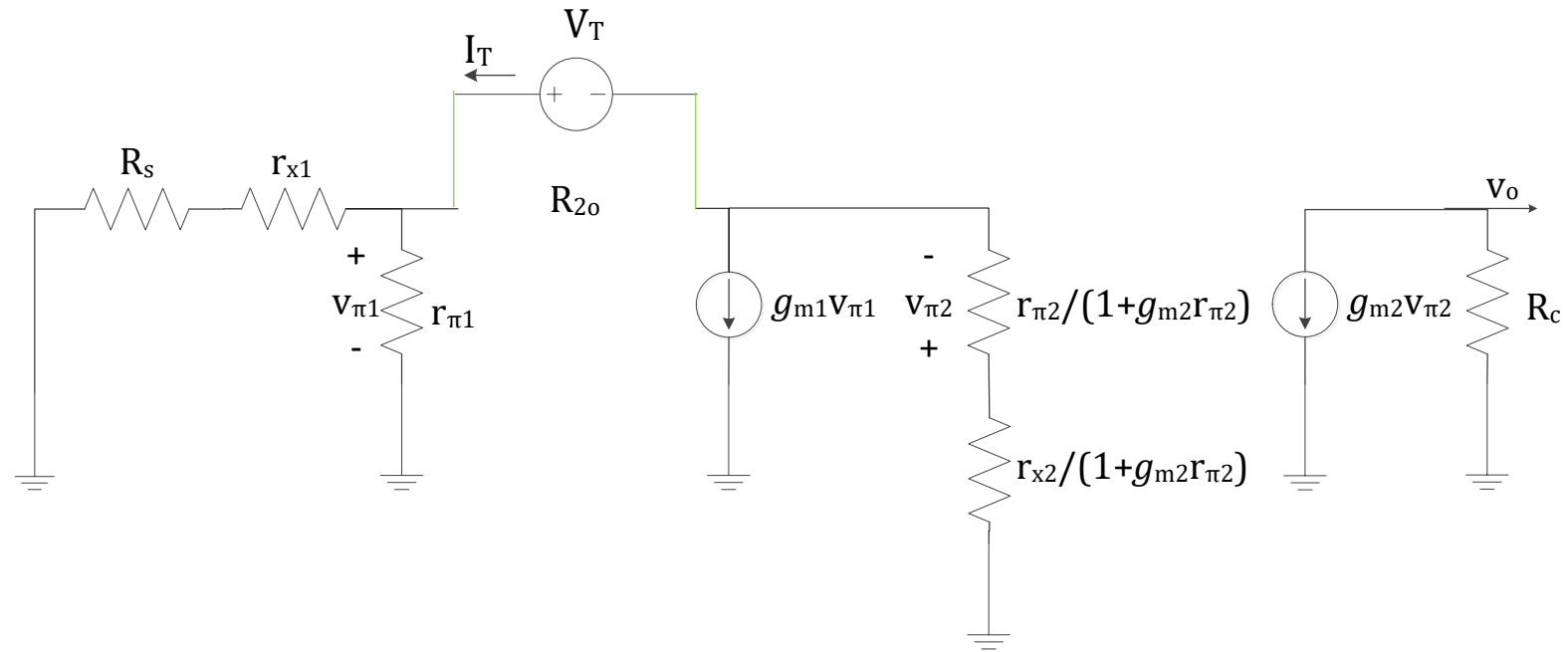
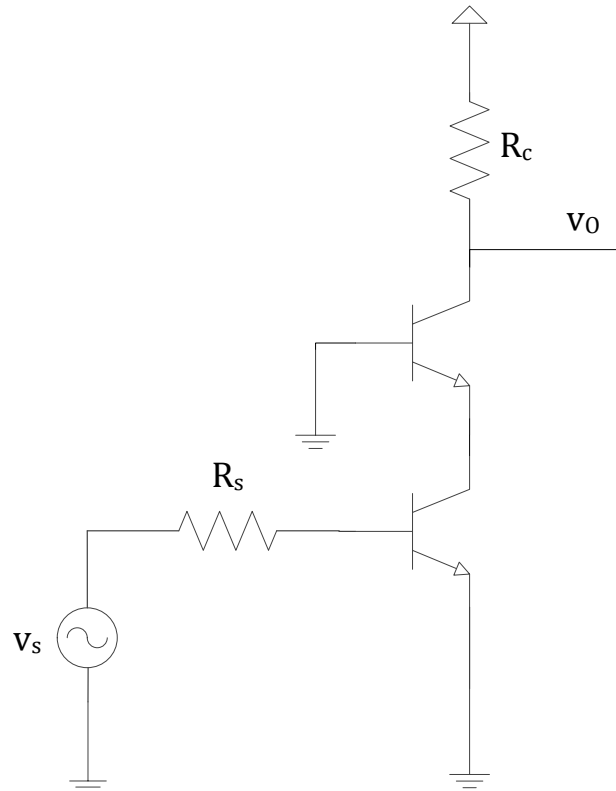
$$R_{2o} = R_{1o} + (1 + g_{m1}R_{1o})R'_C$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi 1}$$

$$R'_C = \frac{(r_{\pi 2} + r_{x2})}{1 + g_{m2}r_{\pi 2}}$$

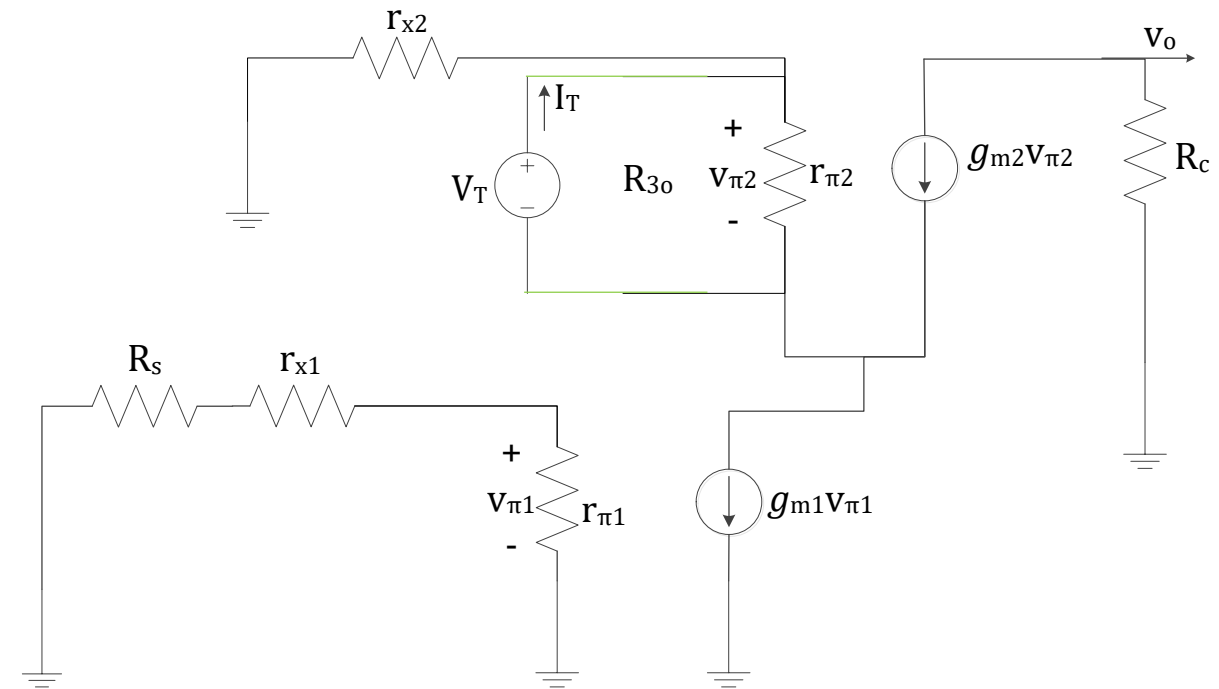
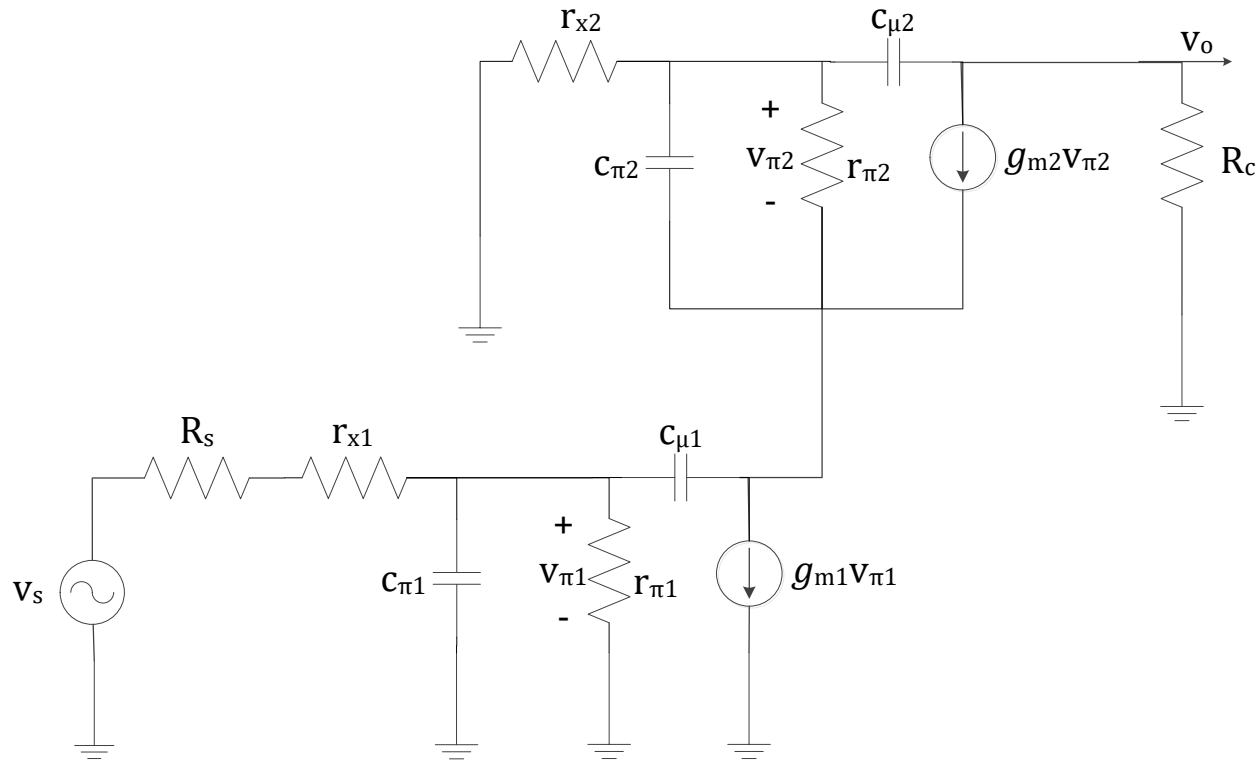
$$R_{2o} = R_{1o} + (1 + g_{m1}R_{1o})R'_C$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$v_{\pi 1} = 0$$

$$v_{\pi 2} = V_T$$

$$V_T = (I_T - g_{m2}v_{\pi 2})r_{\pi 2}$$

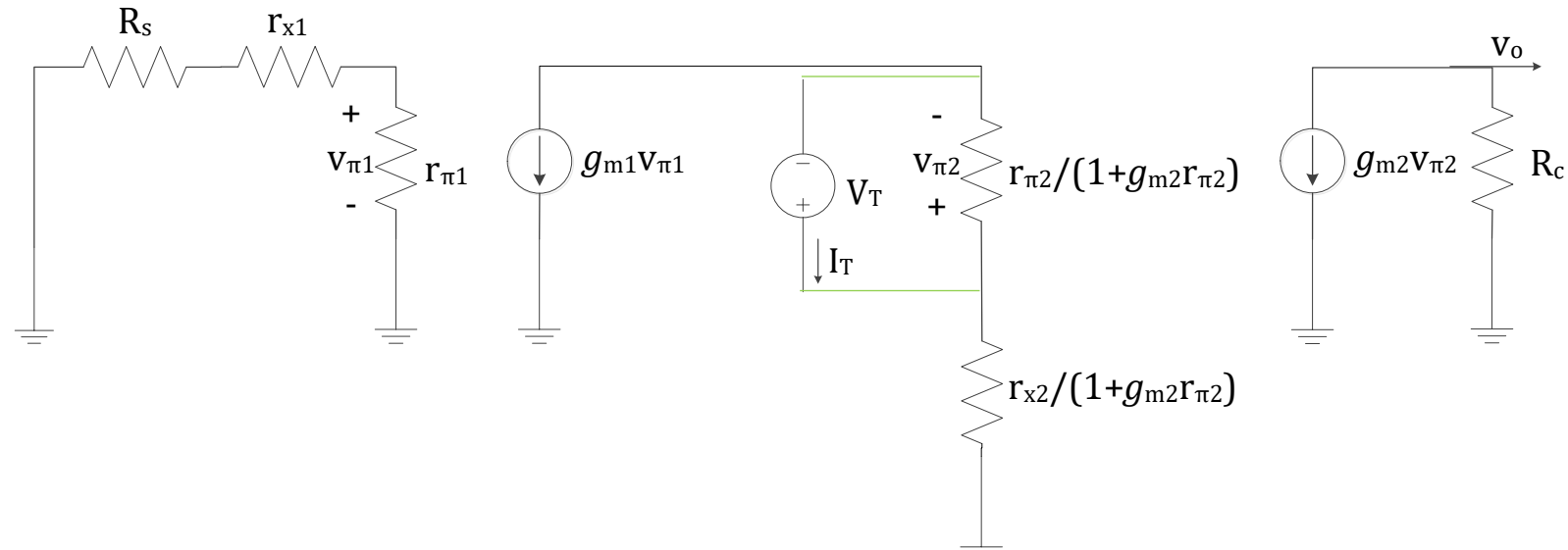
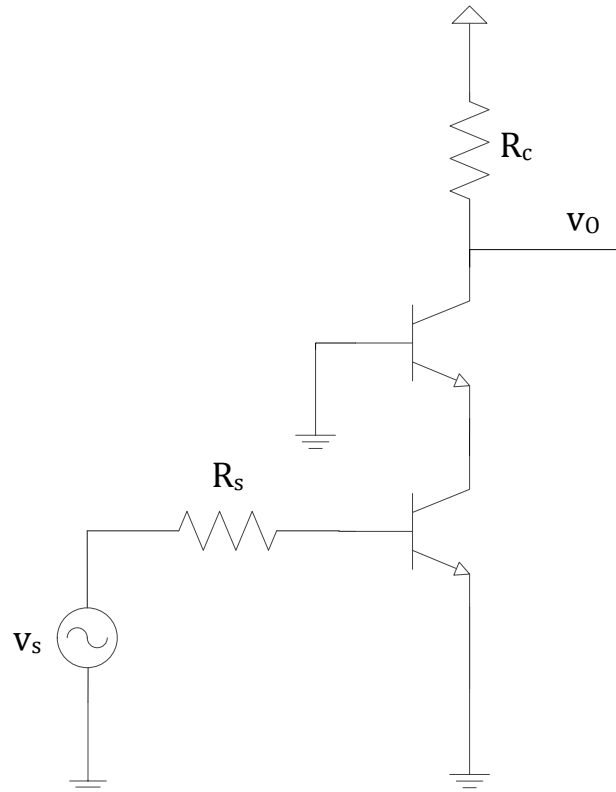
$$R_{3o} = \frac{r_{\pi 2}}{1 + g_{m2}r_{\pi 2}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$v_{\pi 1} = 0$$

$$V_T = I_T \frac{r_{\pi 2}}{1 + g_{m 2} r_{\pi 2}}$$

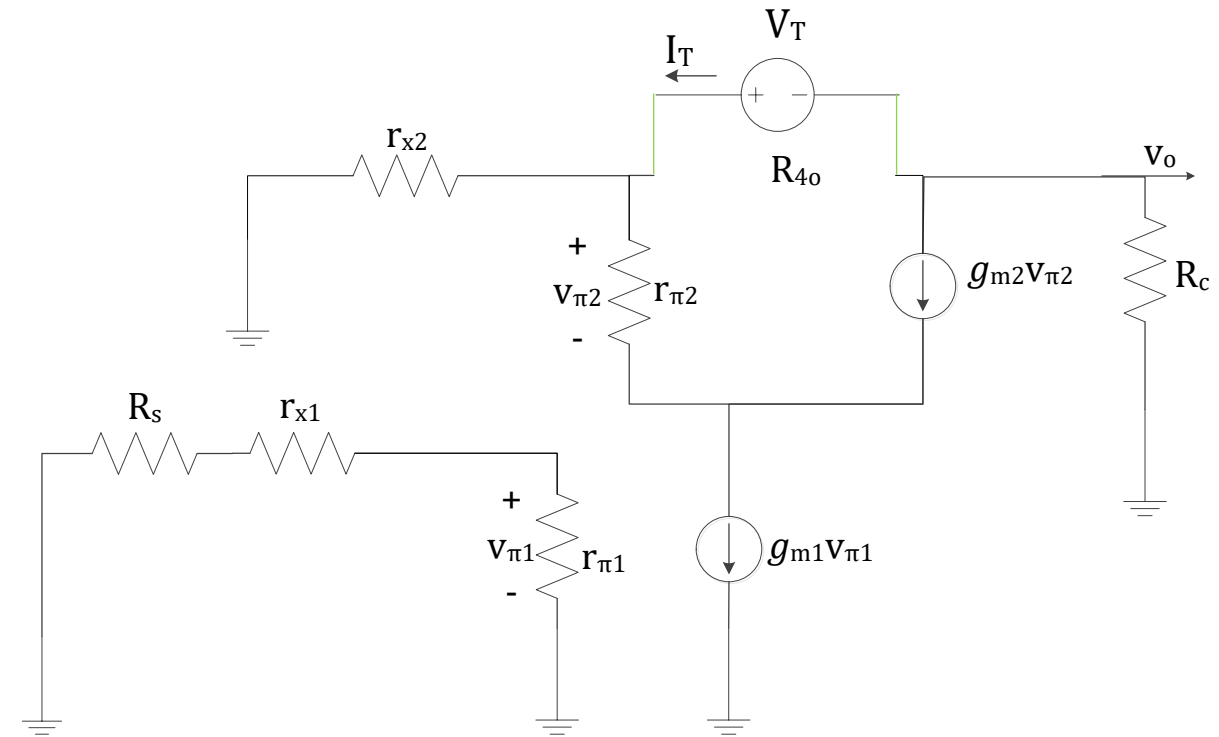
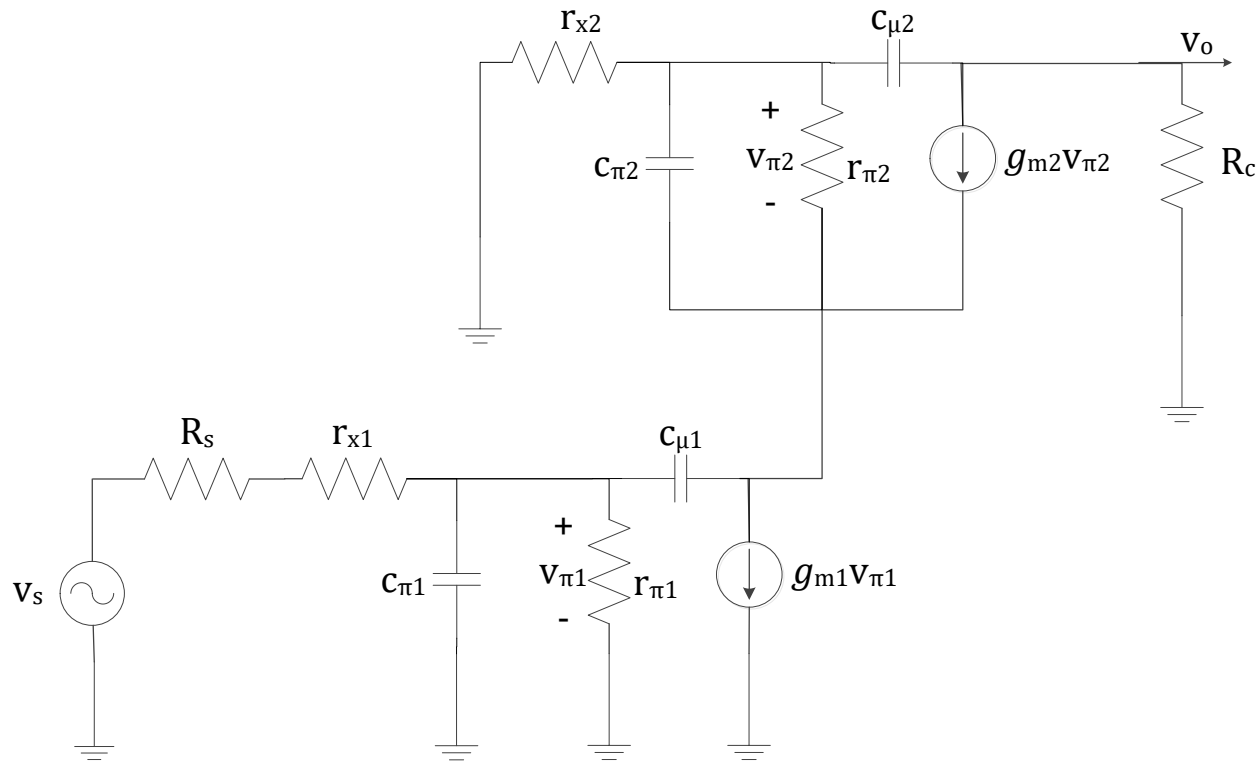
$$R_{3o} = \frac{r_{\pi 2}}{1 + g_{m 2} r_{\pi 2}} \equiv r_{\pi 2} \parallel \frac{1}{g_{m 2}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$v_{\pi 1} = 0$$

$$v_{\pi 2} = -r_{\pi 2} g_{m 2} v_{\pi 2}$$

$$v_{\pi 2} = 0$$

$$R_C I_T - V_T + r_{x 2} I_T = 0$$

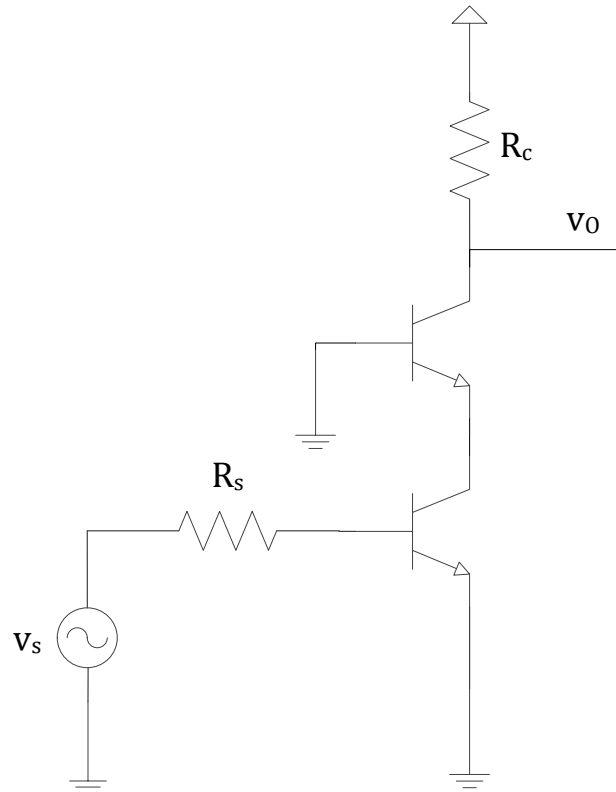
$$R_{4 o} = R_C + r_{x 2}$$



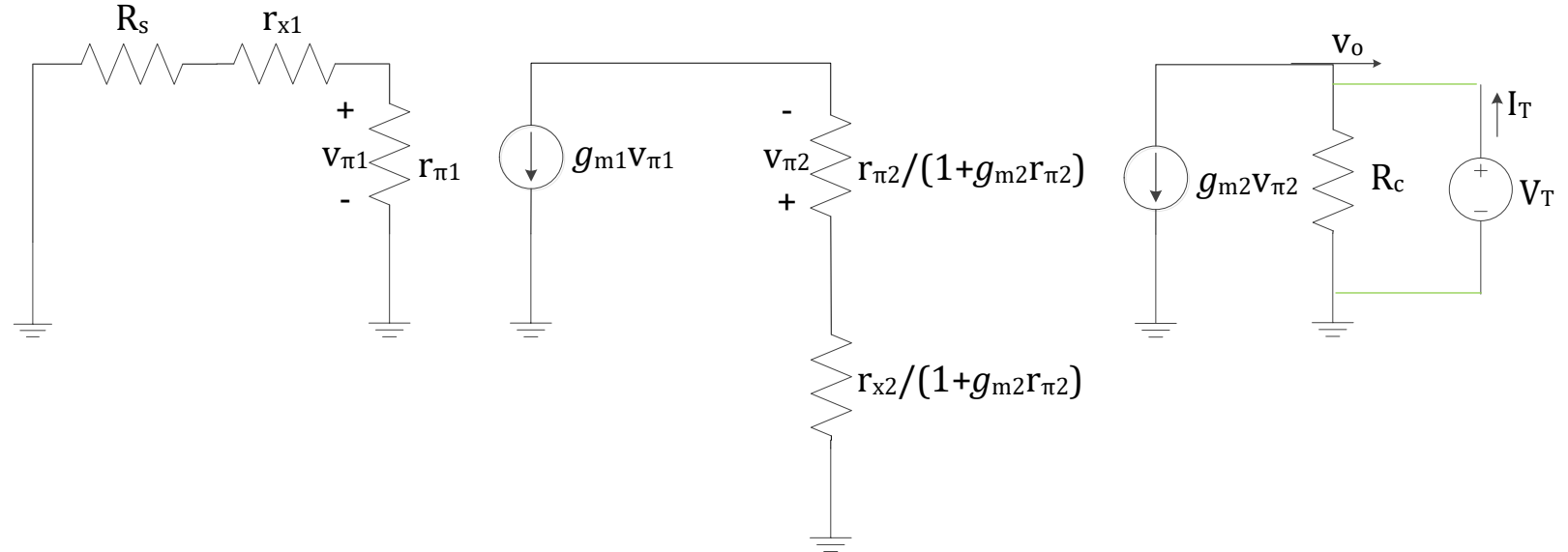
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode



$$v_{\pi 1} = v_{\pi 2} = 0$$



$$V_T = R_C I_T$$

$$R_{4o} = R_C$$

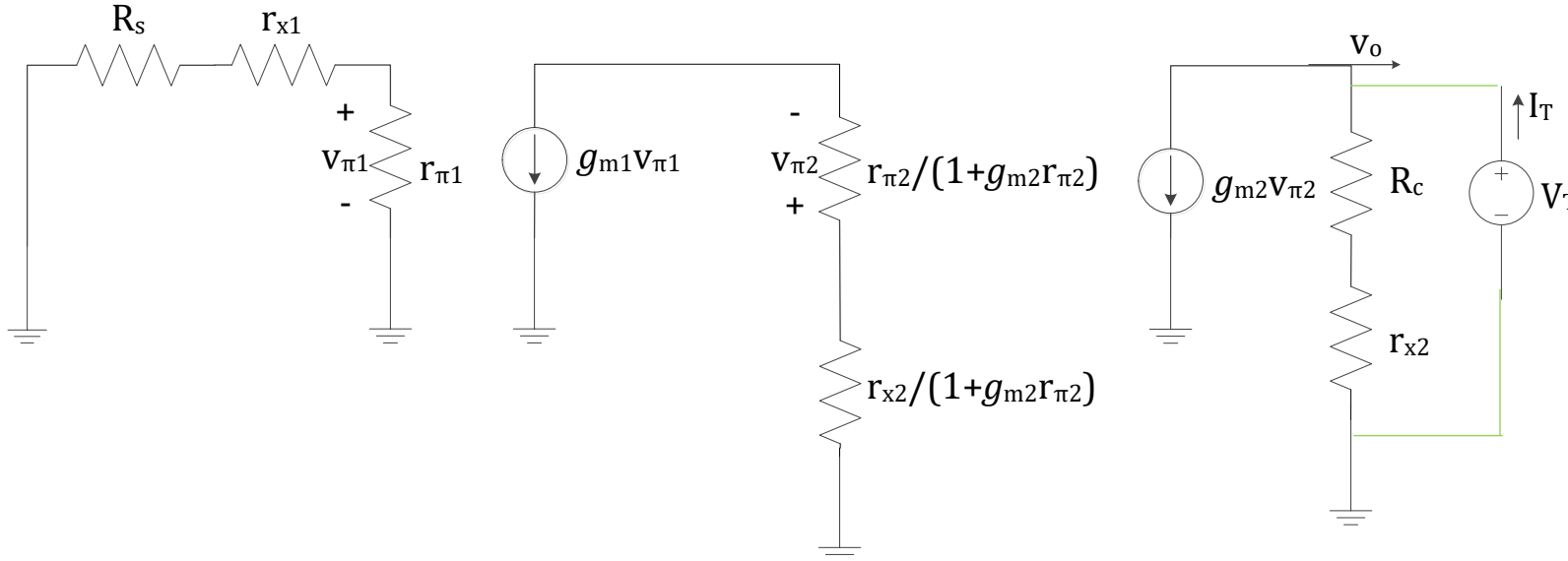


Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode

مدل اصلاح شده برای مشاهده اثر r_{x2} در مقاومت معادل R_{4o}



$$R_{4o} = R_C + r_x$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} R_{2o} + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} R_{4o}}$$

$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi 1} \quad R_{2o} = R_{1o} + (1 + g_{m1} R_{1o}) R_C'$$

$$R_{3o} = \frac{r_{\pi 2}}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}} \equiv r_{\pi 2} \parallel \frac{1}{g_{m2}} \quad R_{4o} = R_C + r_{x2}$$

$$R_C' = \frac{(r_{\pi 2} + r_{x2})}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}} \approx \frac{1}{g_{m2}}$$

$$R_{3o} \approx \frac{1}{g_{m2}}$$

$$R_{4o} \approx R_C$$

$$R_{2o} \cong R_{1o} + \frac{g_{m1}}{g_{m1}} R_{1o} \approx 2R_{1o}$$

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} [2R_{1o}] + \frac{c_{\pi 2}}{g_{m2}} + c_{\mu 2} R_C}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده Cascode

$$\omega_H = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} [2R_{1o}] + \frac{c_{\pi 2}}{g_{m2}} + c_{\mu 2} R_C}$$

تقویت کننده Cascode

$$\omega_H = \frac{1}{R_{1o} \left(c_{\pi} + c_{\mu} \left[1 + g_m R_C + \frac{R_C'}{R_{1o}} \right] \right)}$$

تقویت کننده امیتر مشترک یک طبقه

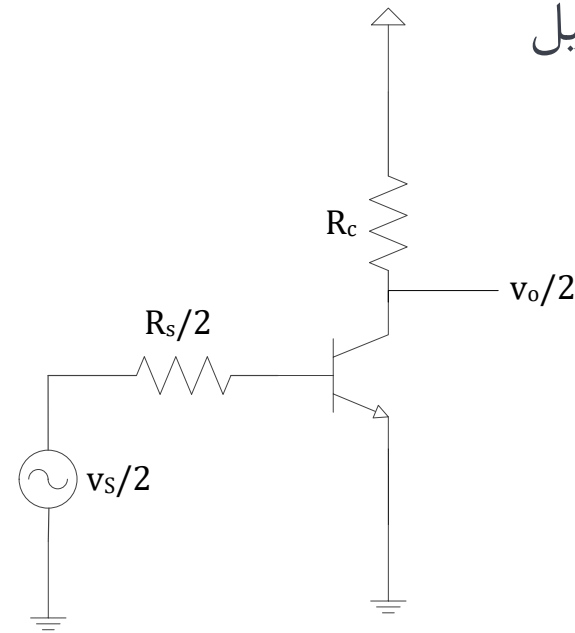
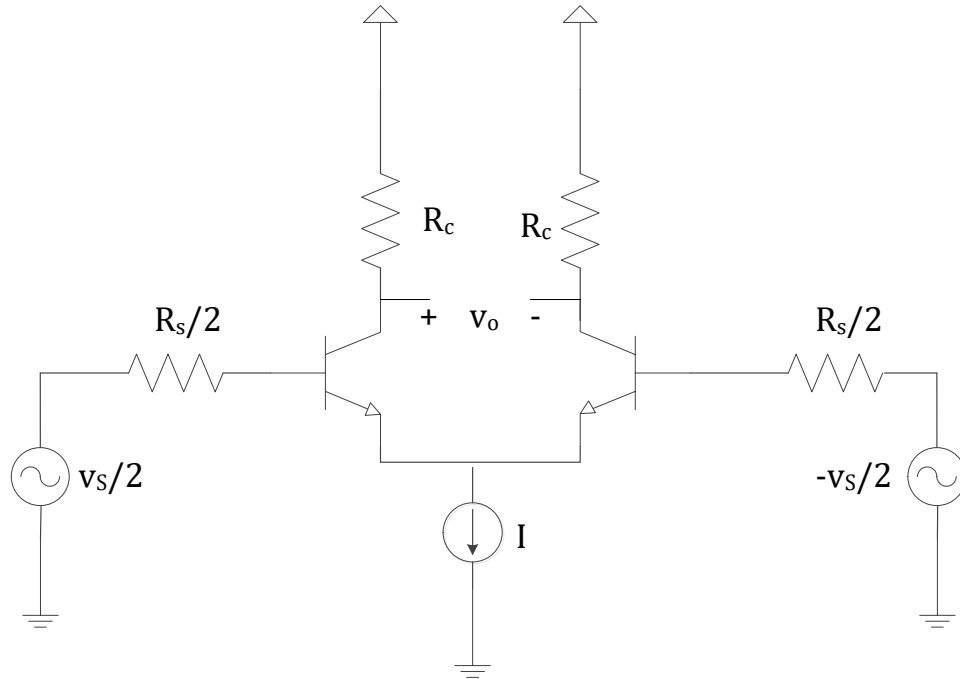
پهنای باند تقویت کننده Cascode **بسیار** بهتر از تقویت کننده امیتر مشترک یک طبقه



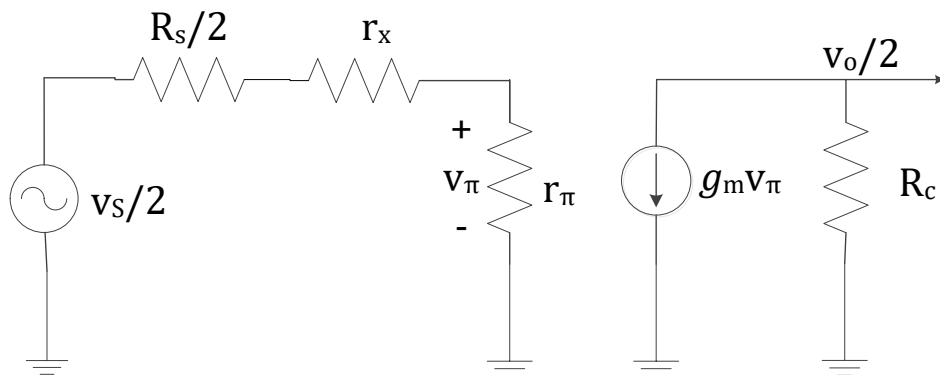
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل



$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi} R_{1o} + c_{\mu} R_{2o}}$$

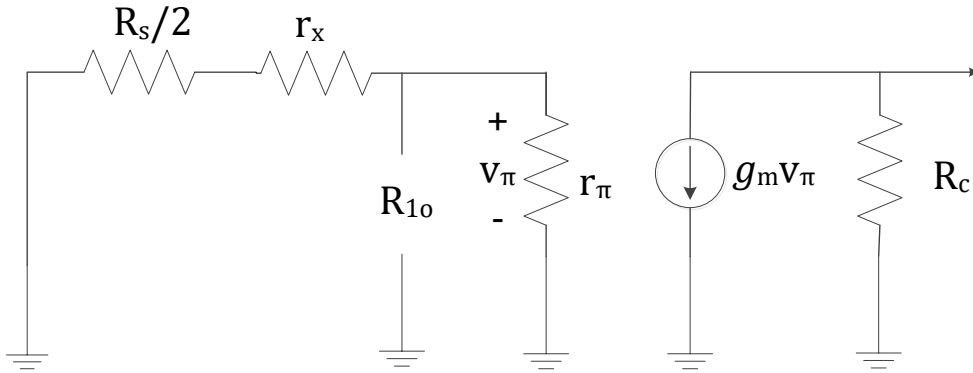


$$A_{V0} = -g_m R_C \frac{r_{\pi 1}}{(r_{\pi 1} + r_{x1} + R_s/2)}$$



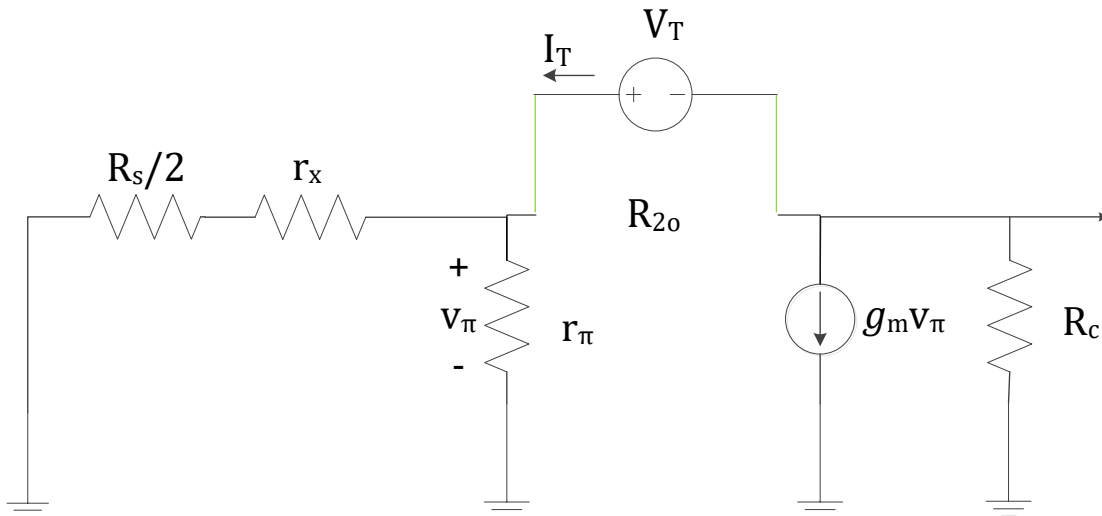
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل

$$R_{1o} = \left(\frac{R_S}{2} + r_x \right) \parallel r_\pi$$



$$R_{1o} = \left(\frac{R_S}{2} + r_x \right) \parallel r_\pi \quad v_\pi = R_{1o} I_T$$

$$R_C (I_T + g_m v_\pi) - V_T + v_\pi = 0$$

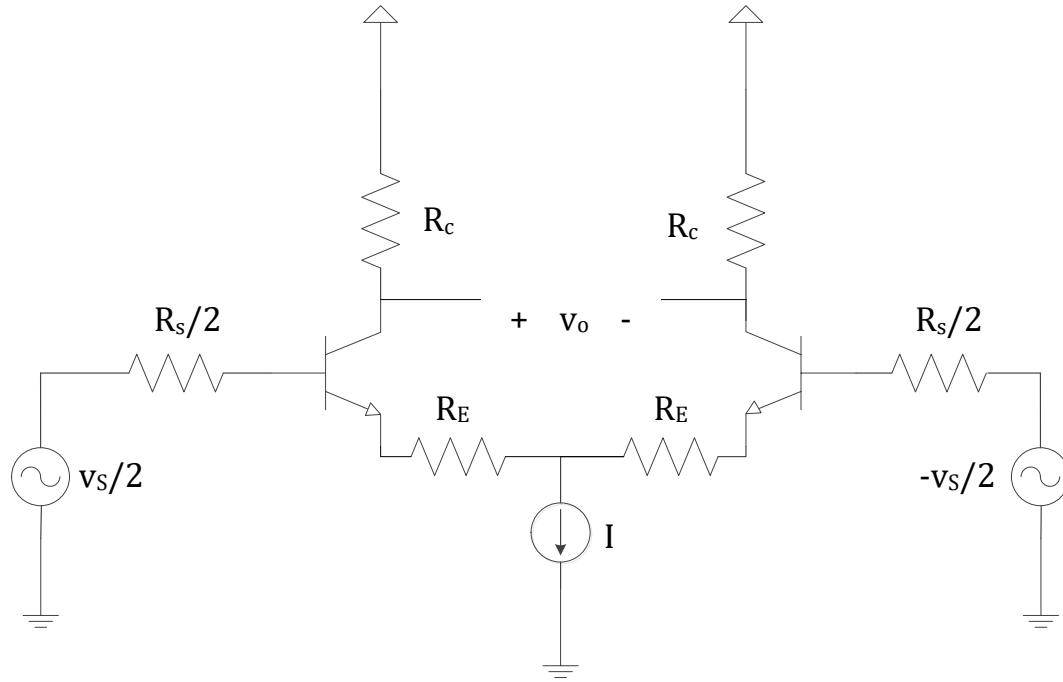
$$V_T = R_C (I_T + g_m R_{1o} I_T) + R_{1o} I_T$$

$$R_{2o} = R_{1o} + R_C (1 + g_m R_{1o})$$



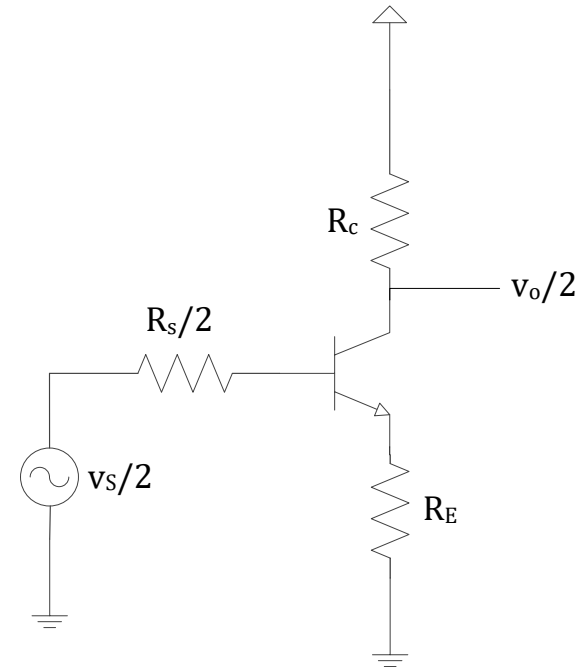
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



$$A_{V0} \approx - \frac{R_C}{\frac{(r_{\pi 1} + r_{x1} + R_S/2)}{\beta} + R_E}$$

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر



$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi} R_{1o} + c_{\mu} R_{2o}}$$

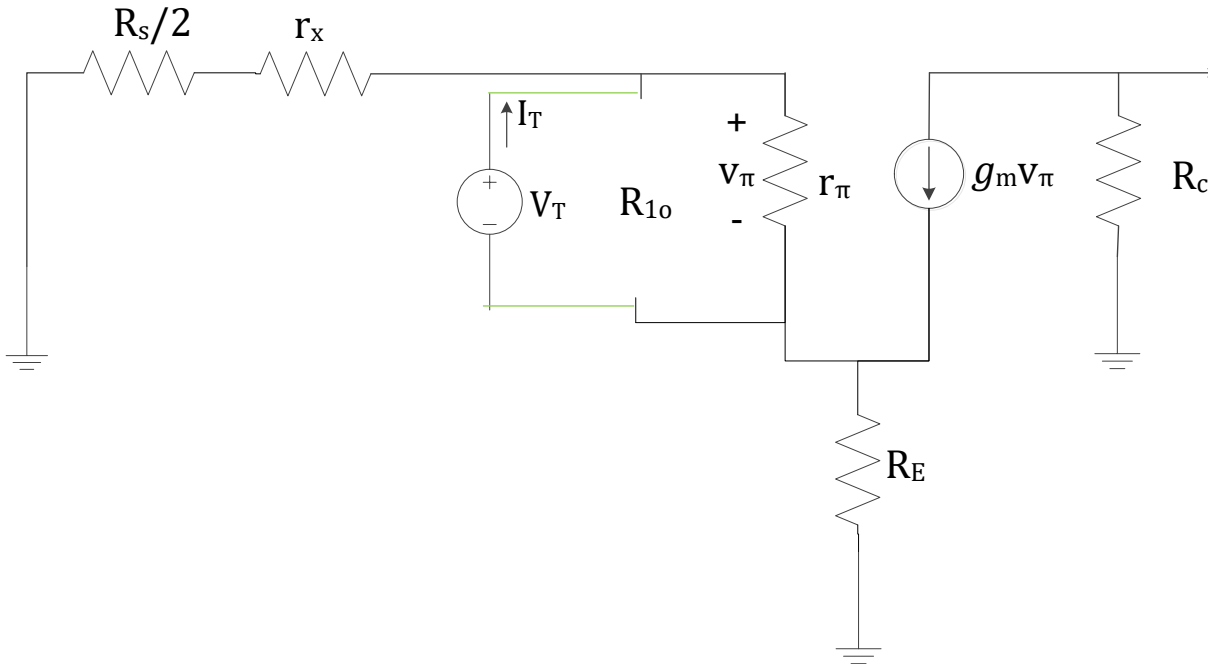
$$A_{V0} \approx - \frac{\beta R_C}{(r_{\pi 1} + r_{x1} + R_S/2) + \beta R_E}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر



$$R_{1o} = r_{\pi} \parallel R_T$$

$$R_{1o} = r_{\pi} \parallel R_T$$

$$-\left(\frac{R_s}{2} + r_x\right)I_T + V_T + (g_m V_T - I_T)R_E = 0$$

$$V_T(1 + g_m R_E) = I_T R_E + I_T \left(\frac{R_s}{2} + r_x\right)$$

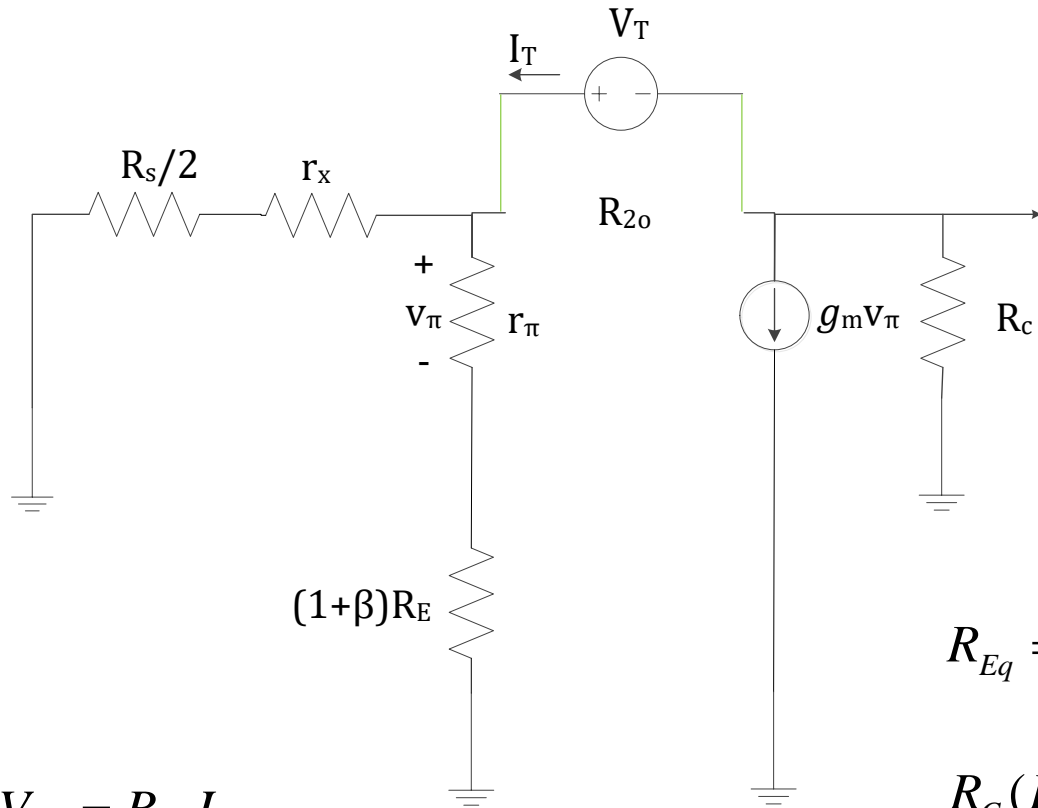
$$R_T = \frac{V_T}{I_T} = \frac{R_E + \left(\frac{R_s}{2} + r_x\right)}{1 + g_m R_E}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر



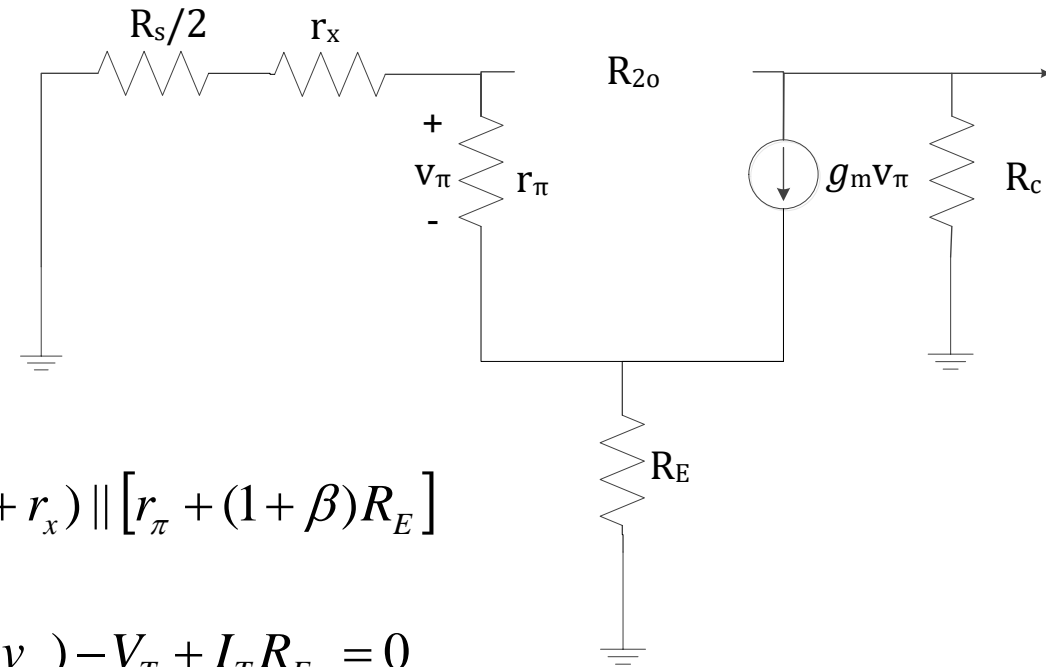
$$V_{Eq} = R_{Eq} I_T$$

$$v_{\pi} = V_{Eq} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (1 + \beta)R_E}$$

$$v_{\pi} = \frac{r_{\pi} R_{Eq} I_T}{r_{\pi} + (1 + \beta)R_E}$$

$$R_{Eq} = \left(\frac{R_S}{2} + r_x \right) \parallel \left[r_{\pi} + (1 + \beta)R_E \right]$$

$$R_C (I_T + g_m v_{\pi}) - V_T + I_T R_{Eq} = 0$$



$$R_C \left(I_T + \frac{g_m r_{\pi} R_{Eq} I_T}{r_{\pi} + (1 + \beta)R_E} \right) - V_T + I_T R_{Eq} = 0$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر

$$R_C \left(I_T + \frac{g_m r_\pi R_{Eq} I_T}{r_\pi + (1 + \beta) R_E} \right) - V_T + I_T R_{Eq} = 0$$

$$R_T = \frac{V_T}{I_T} = R_C \left(1 + \frac{g_m r_\pi R_{Eq}}{r_\pi + (1 + \beta) R_E} \right) + R_{Eq}$$

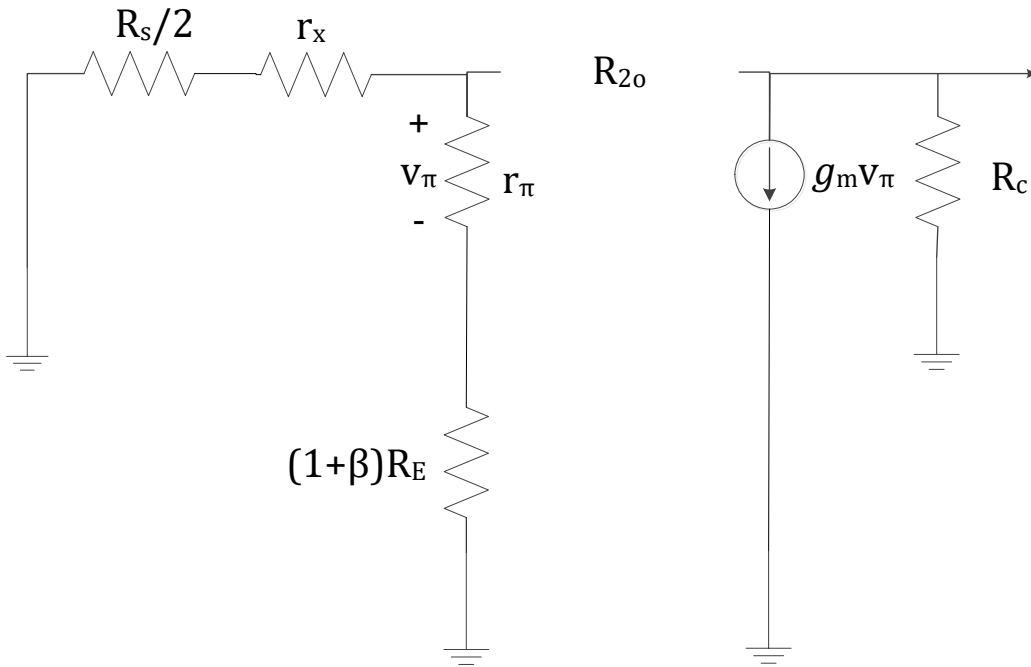
$$R_{2o} = R_{Eq} + R_C \left(1 + \frac{g_m r_\pi}{r_\pi + (1 + \beta) R_E} R_{Eq} \right)$$

$$k = \frac{r_\pi}{r_\pi + (1 + \beta) R_E} \quad R_{2o} = R_{Eq} + R_C (1 + k g_m R_{Eq})$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر

$$R_{Eq} = \left(\frac{R_S}{2} + r_x \right) \parallel \left[r_\pi + (1 + \beta) R_E \right]$$

$$k = \frac{r_\pi}{r_\pi + (1 + \beta) R_E}$$

$$R_{2o} = R_{Eq} + R_C (1 + k g_m R_{Eq})$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

مقایسه فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر و امیتر مشترک یک طبقه

$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o}} \quad \text{تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر} \quad R_{1o} = r_\pi \parallel R_T \quad R_{2o} = R_{Eq} + R_C (1 + k g_m R_{Eq})$$

$$k = \frac{r_\pi}{r_\pi + (1 + \beta) R_E}$$

$$\omega_H = \frac{1}{R_{1o} \left(c_\pi + c_\mu \left[1 + g_m R'_C + \frac{R'_C}{R_{1o}} \right] \right)} \quad \text{تقویت کننده امیتر مشترک یک طبقه}$$

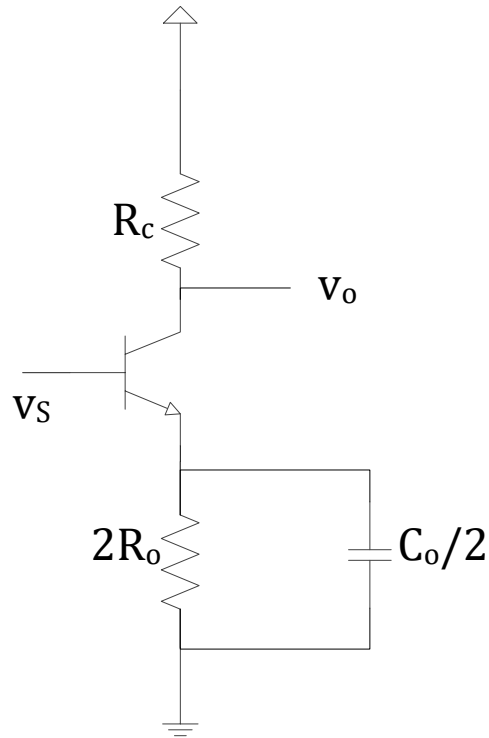
پهنای باند تقویت کننده دیفرانسیل با مقاومت امیتر بهتر از تقویت کننده امیتر مشترک یک طبقه



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

تقویت کننده دیفرانسیل در مد مشترک



$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_\pi R_{1o} + c_\mu R_{2o} + c_o R_{3o}}$$

$\omega_{H(CM)} ? > \omega_{H(d)}$ تمرین

$$A_{CM} = -\frac{R_C}{Z_E}$$

$$Z_E = 2R_o \parallel \frac{1}{sC_o/2}$$

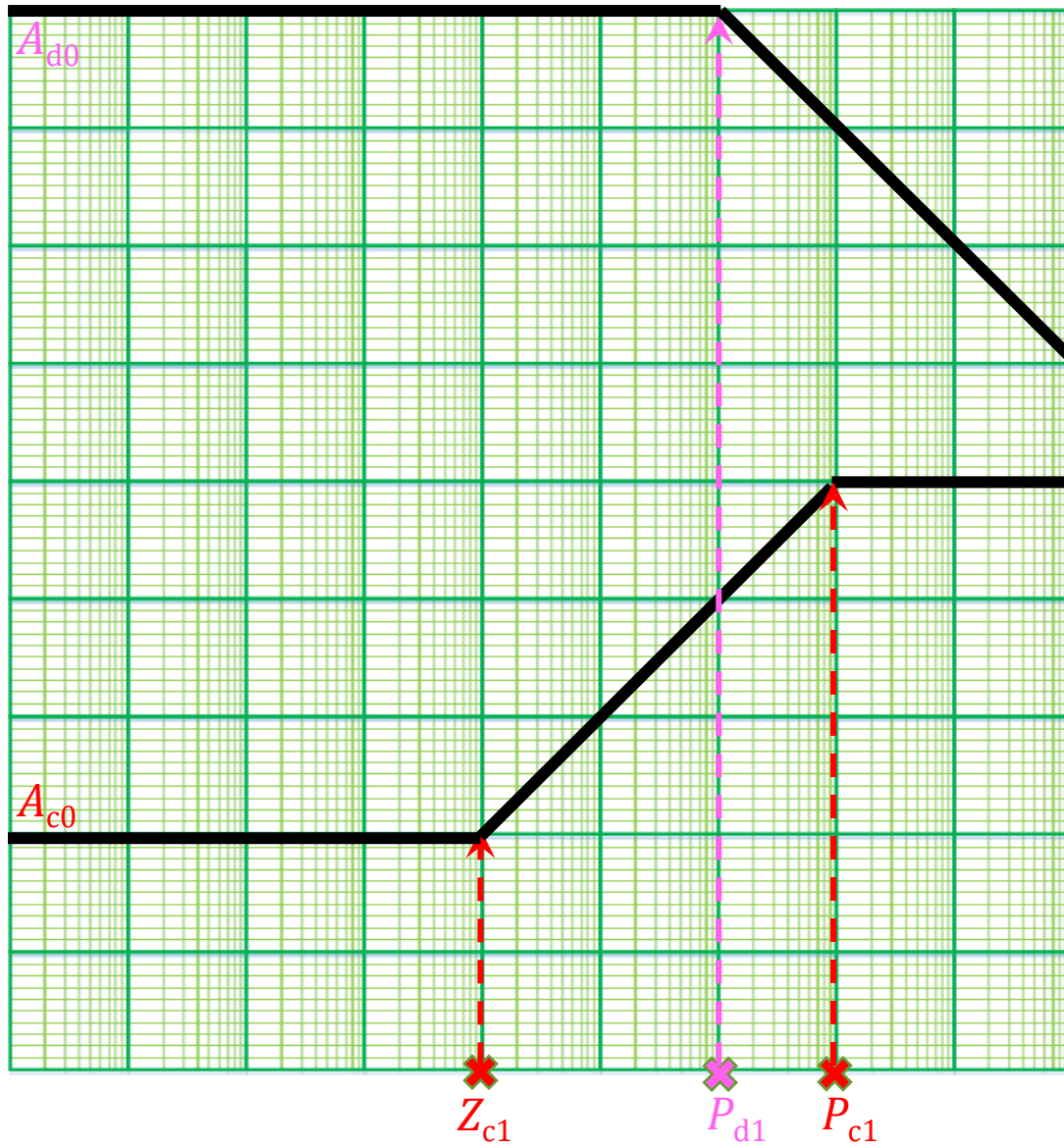
$$Z_E = \frac{2R_o}{1 + sR_o C_o}$$

$$A_{CM} = -\frac{R_C}{2R_o} (1 + sR_o C_o)$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



تقویت کننده دیفرانسیل در مد تفاضلی

$$A_d = A_{d0} \frac{1}{\left(1 + \frac{S}{P_{d1}}\right)\left(1 + \frac{S}{P_{d2}}\right)}$$

تقویت کننده دیفرانسیل در مد مشترک

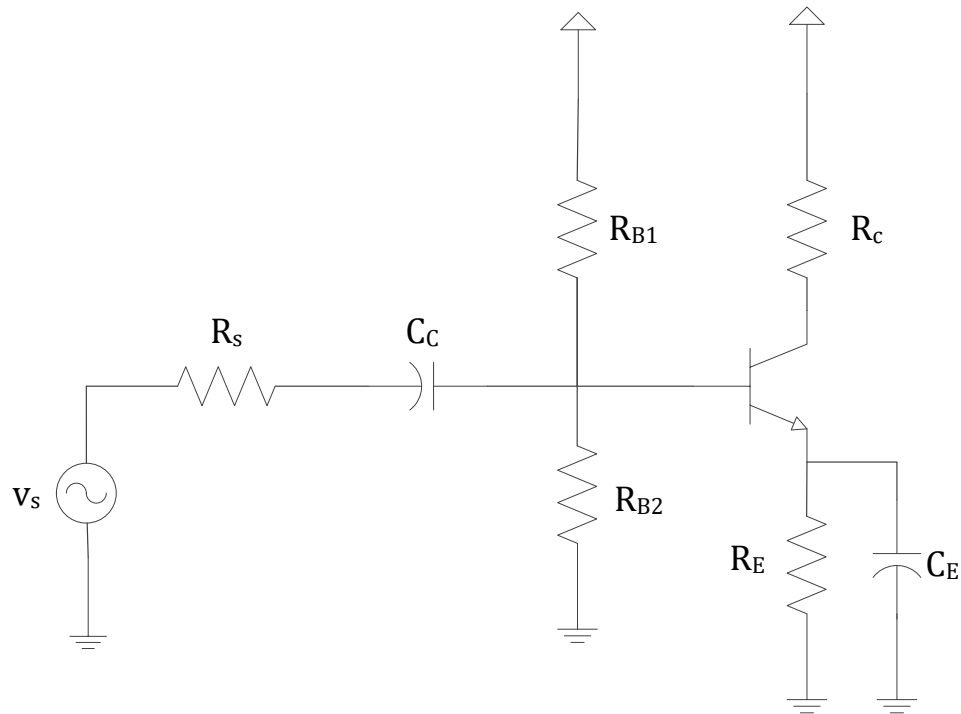
$$A_c = A_{c0} \frac{\left(1 + \frac{S}{Z_{c1}}\right)}{\left(1 + \frac{S}{P_{c1}}\right)\left(1 + \frac{S}{P_{c2}}\right)\left(1 + \frac{S}{P_{c3}}\right)}$$



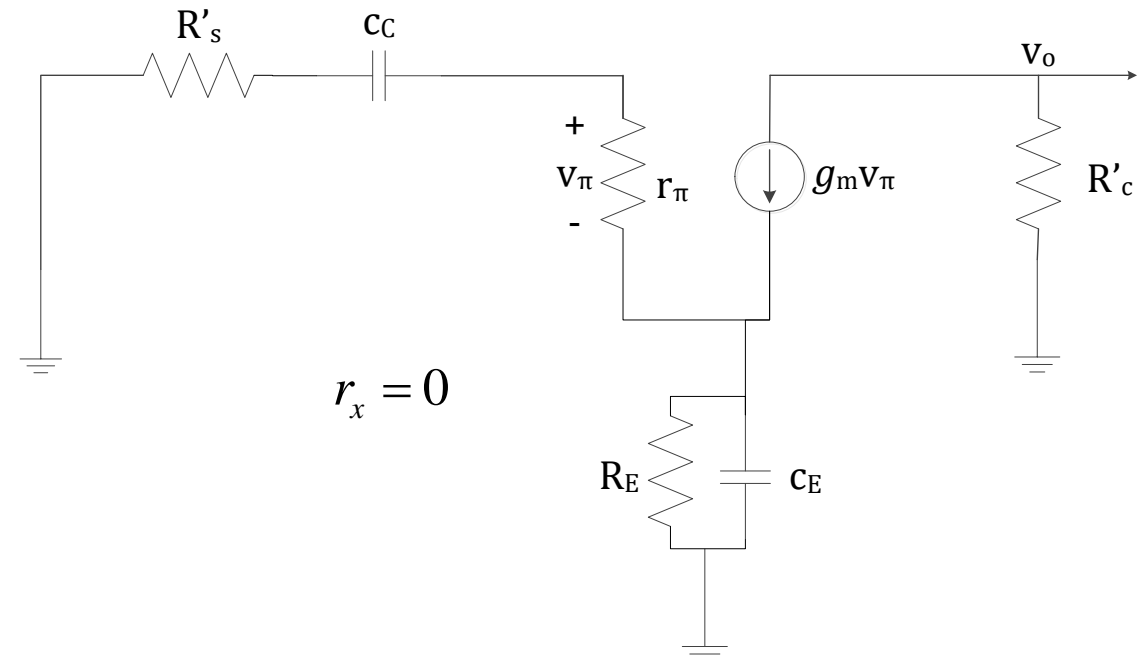
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چند طبقه

فرکانس قطع پایین در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

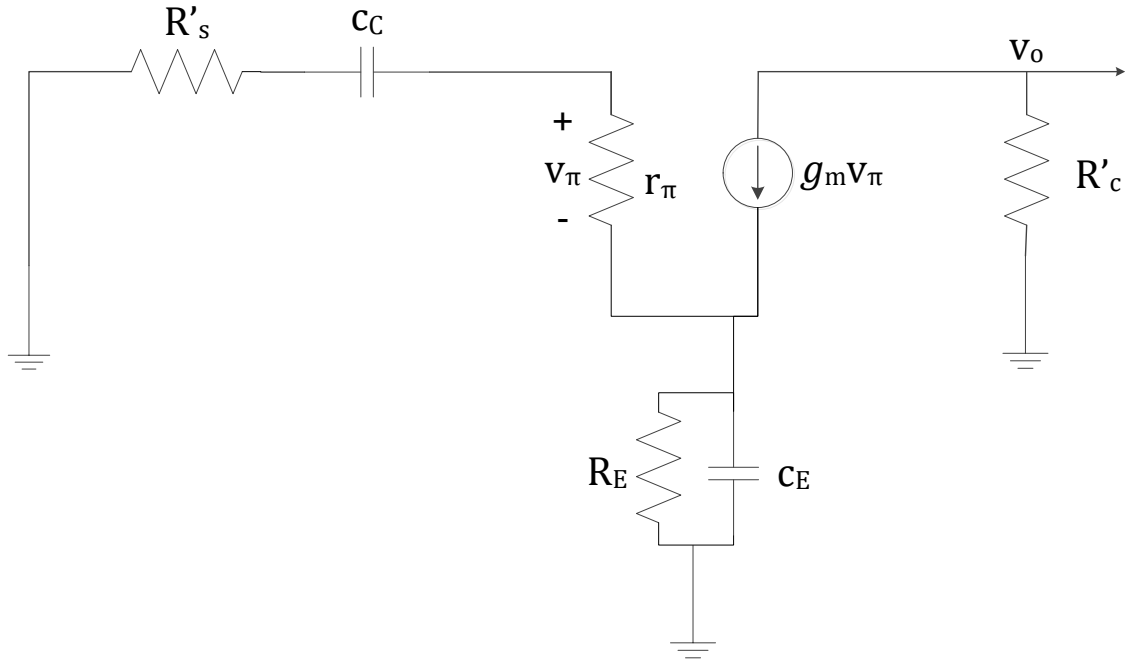


$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}} = \frac{1}{C_C R_{1s}} + \frac{1}{C_E R_{2s}}$$



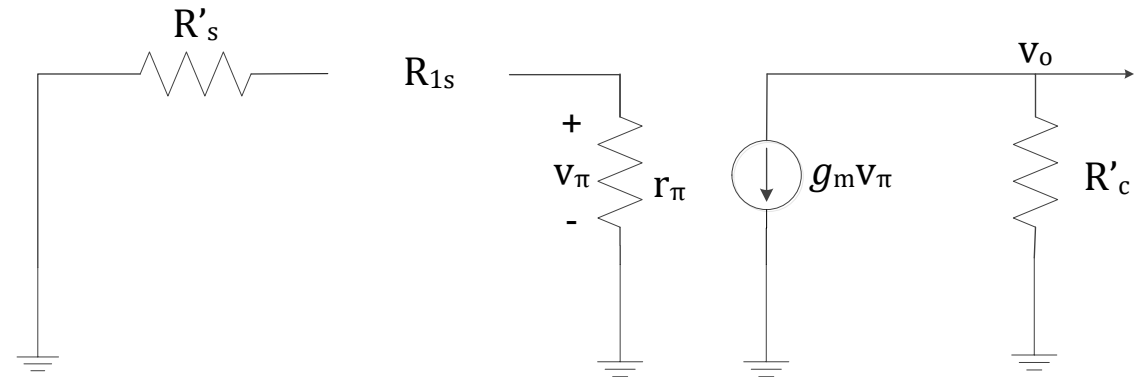
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چند طبقه



فرکانس قطع پایین در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

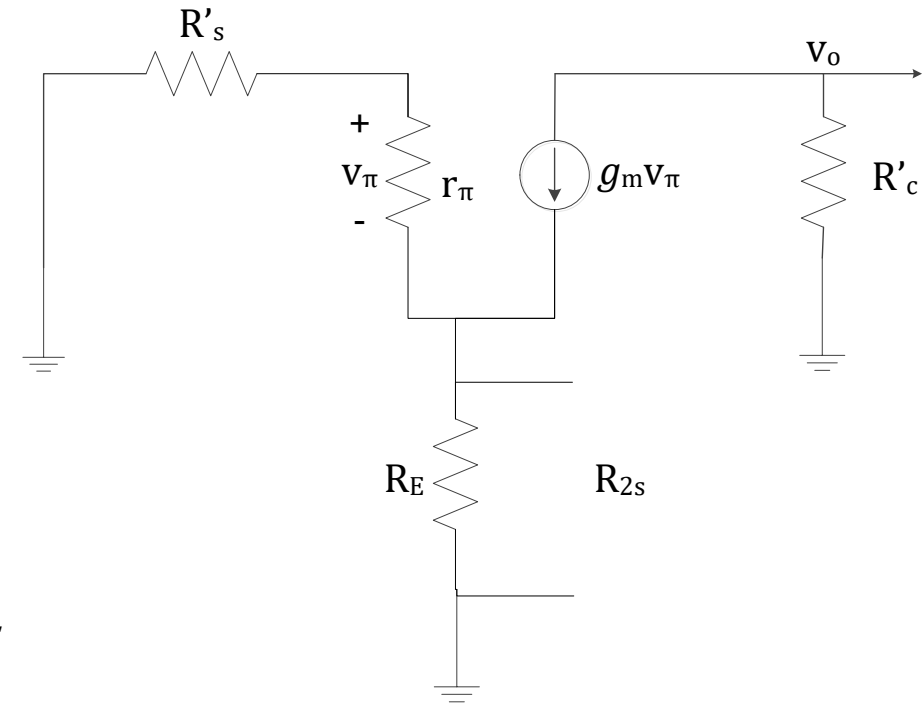
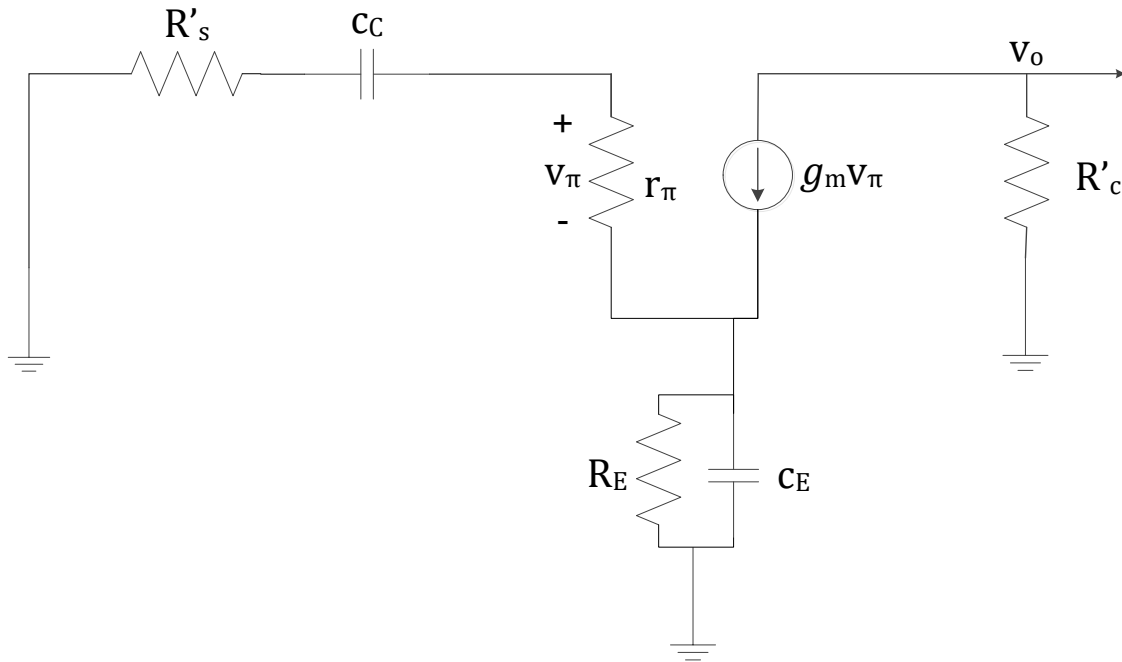
$$R_{1s} = R'_s + r_\pi$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

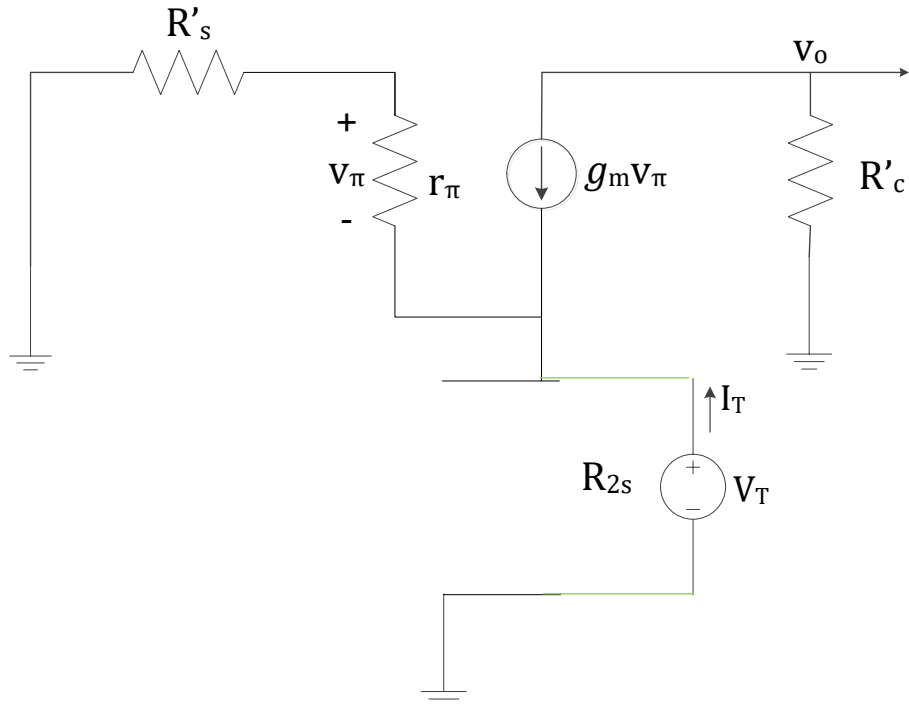


$$R_{2s} = R_E \parallel R_T$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



فرکانس قطع پایین در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

$$R_{2s} = R_E \parallel R_T$$

$$v_\pi = -(g_m v_\pi + I_T) r_\pi \quad v_\pi = \frac{-I_T r_\pi}{(1 + g_m r_\pi)}$$

$$-V_T + (g_m v_\pi + I_T)(r_\pi + R'_S) = 0$$

$$-V_T + \left(\frac{-g_m I_T r_\pi}{(1 + g_m r_\pi)} + I_T \right) (r_\pi + R'_S) = 0$$

$$R_T = \left(1 - \frac{g_m r_\pi}{(1 + g_m r_\pi)} \right) (r_\pi + R'_S)$$

$$R_T = \frac{r_\pi + R'_S}{1 + g_m r_\pi}$$

$$R_{2s} = R_E \parallel \frac{r_\pi + R'_S}{1 + g_m r_\pi}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین در تقویت کننده یک طبقه امیتر مشترک

$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}} = \frac{1}{c_C R_{1s}} + \frac{1}{c_E R_{2s}}$$

$$R_{1s} = R_S' + r_\pi \quad R_{2s} = R_E \parallel \frac{r_\pi + R_S'}{1 + g_m r_\pi}$$

$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}} = \frac{1}{c_C (R_S' + r_\pi)} + \frac{1}{c_E (R_E \parallel \frac{r_\pi + R_S'}{1 + g_m r_\pi})}$$

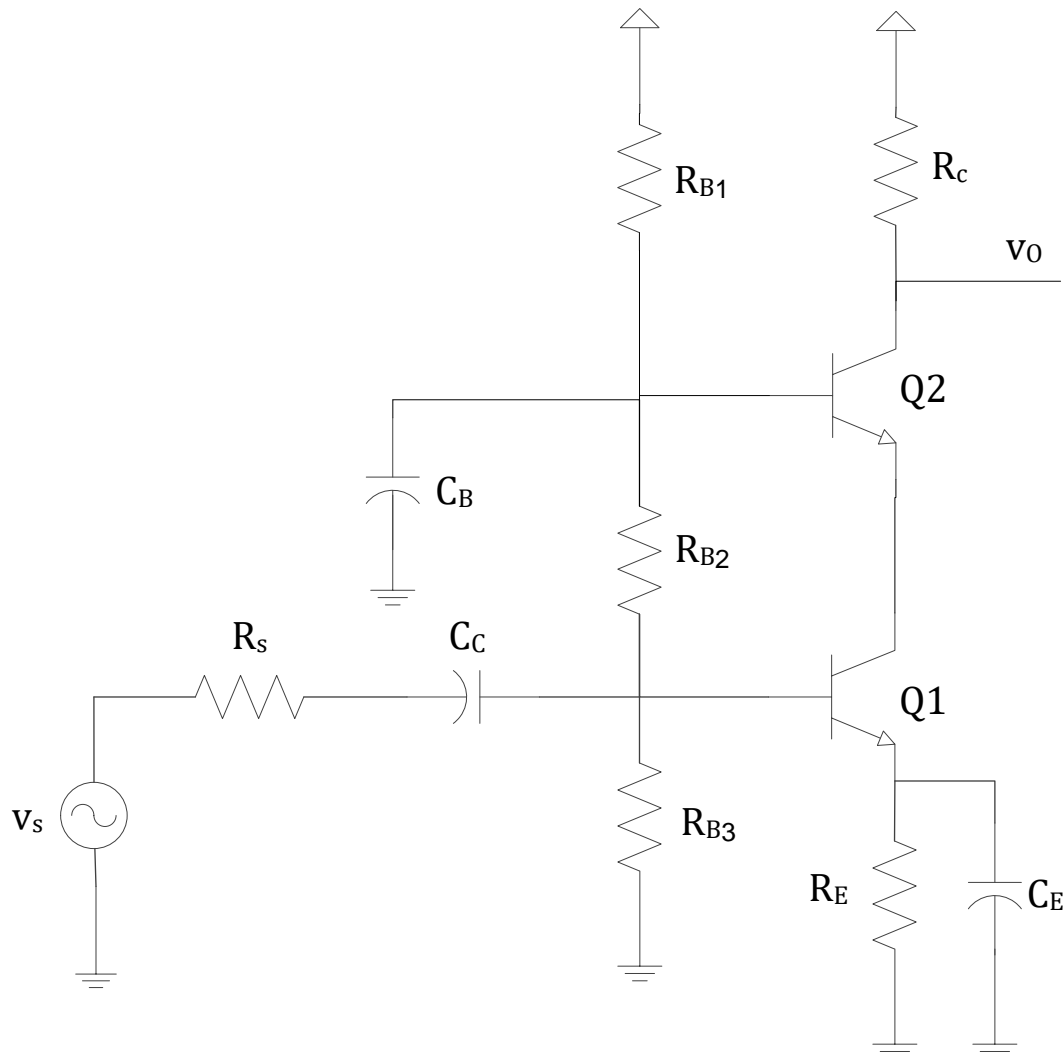
تمرین: فرکانس قطع پایین تقویت کننده یک طبقه کلکتور مشترک و بیس مشترک را محاسبه کنید.



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین مدار کاسکود



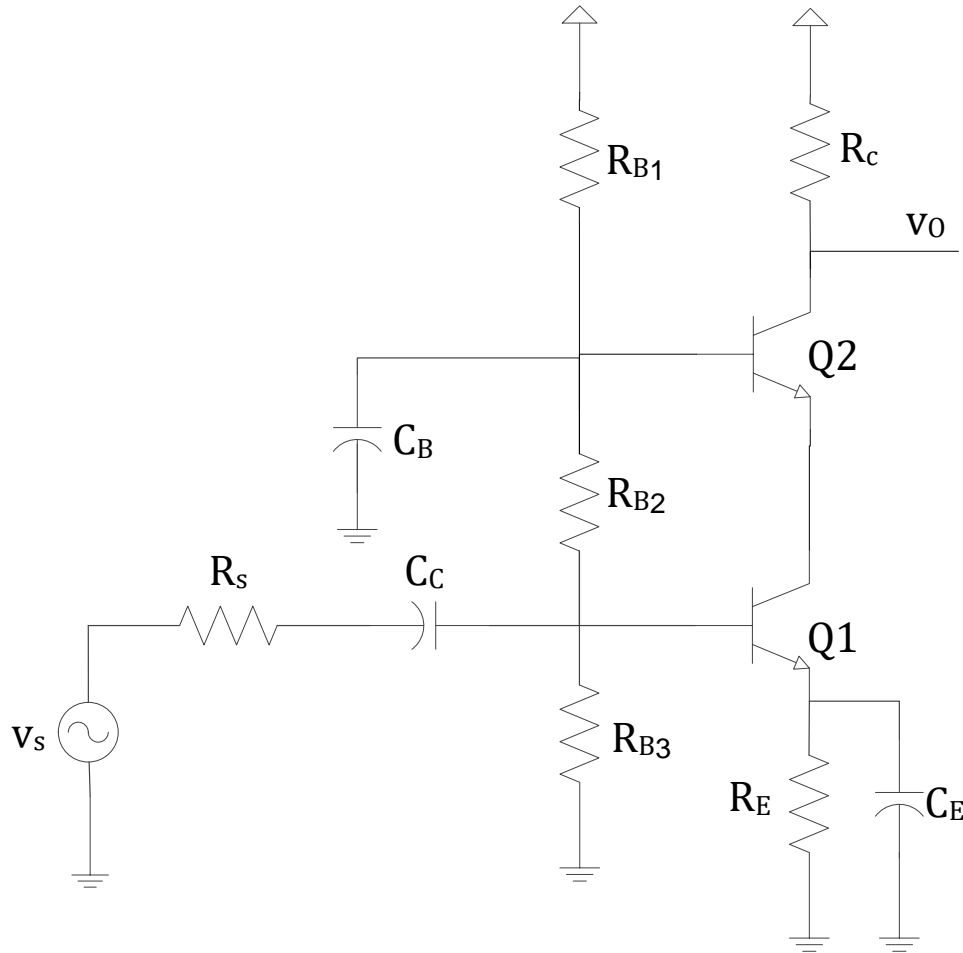
$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}} = \frac{1}{C_C R_{1s}} + \frac{1}{C_E R_{2s}} + \frac{1}{C_B R_{3s}}$$



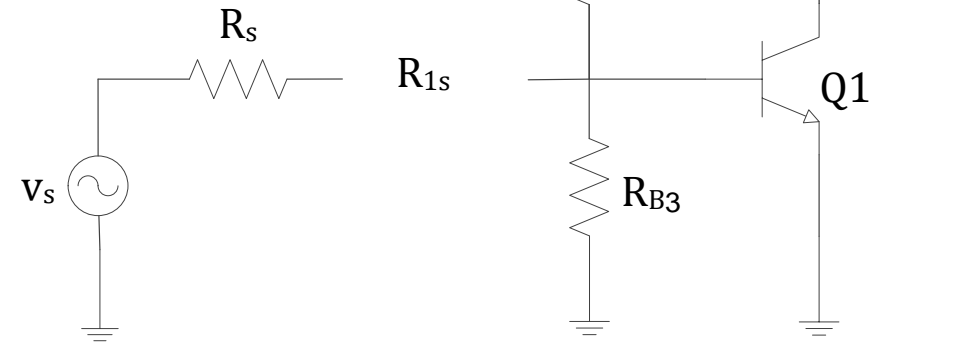
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین مدار کاسکود



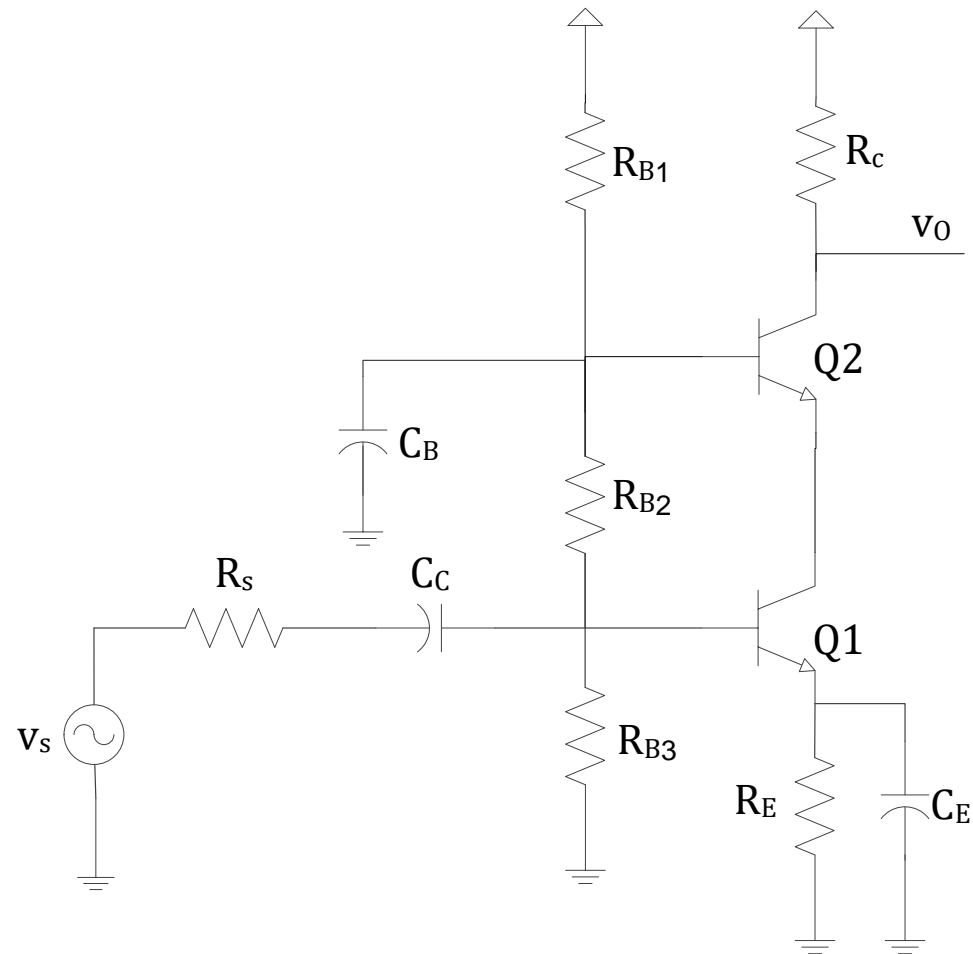
$$R_{1s} = R_S + (R_{B2} \parallel R_{B3} \parallel r_{\pi1})$$



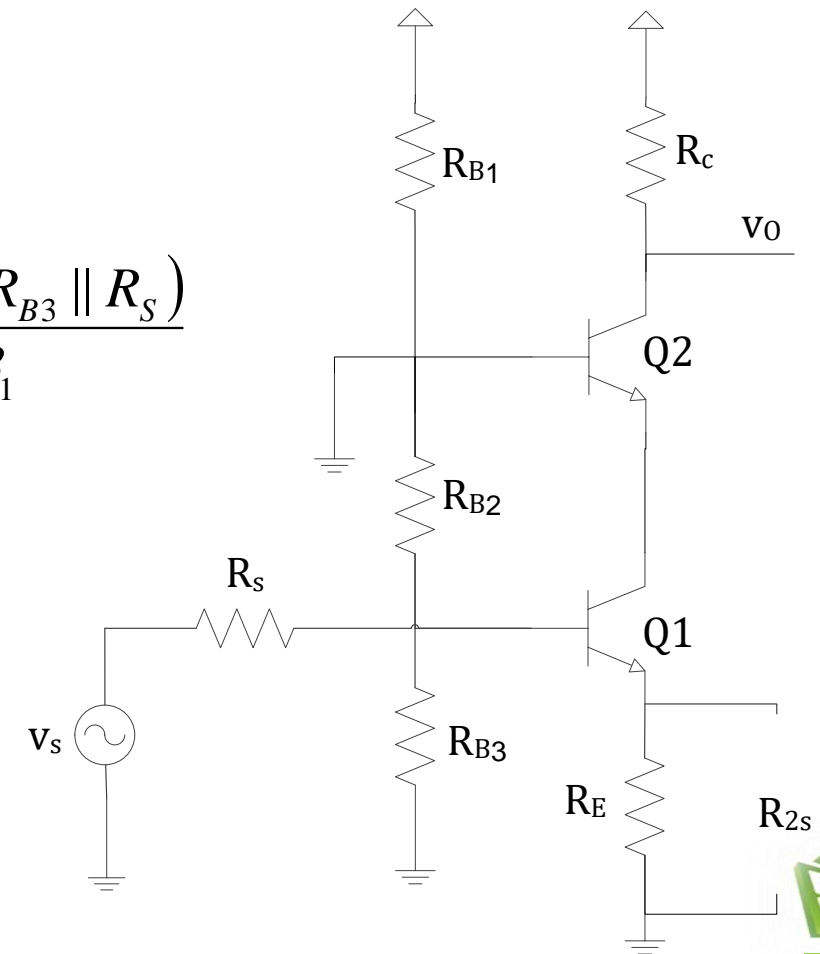
Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین مدار کاسکود



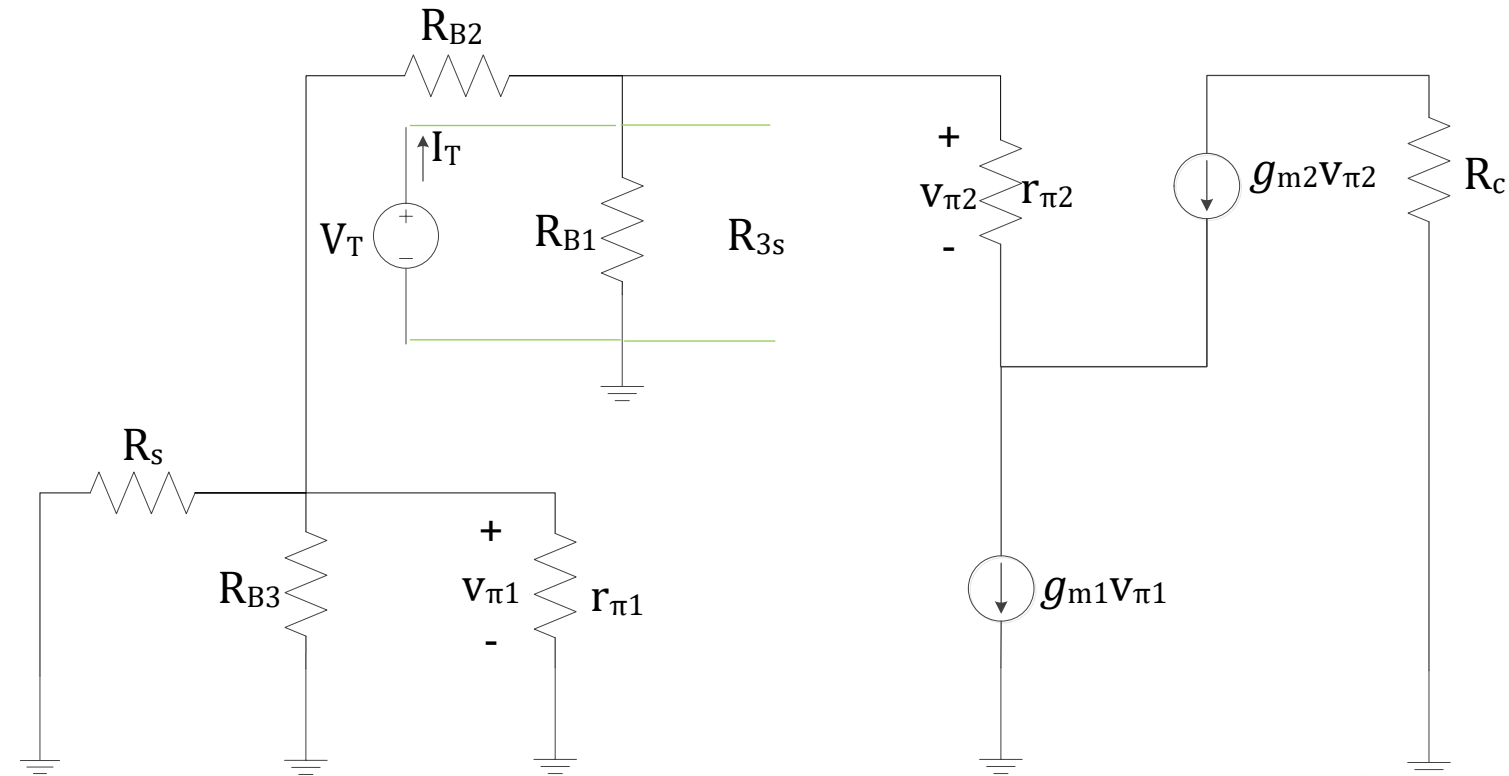
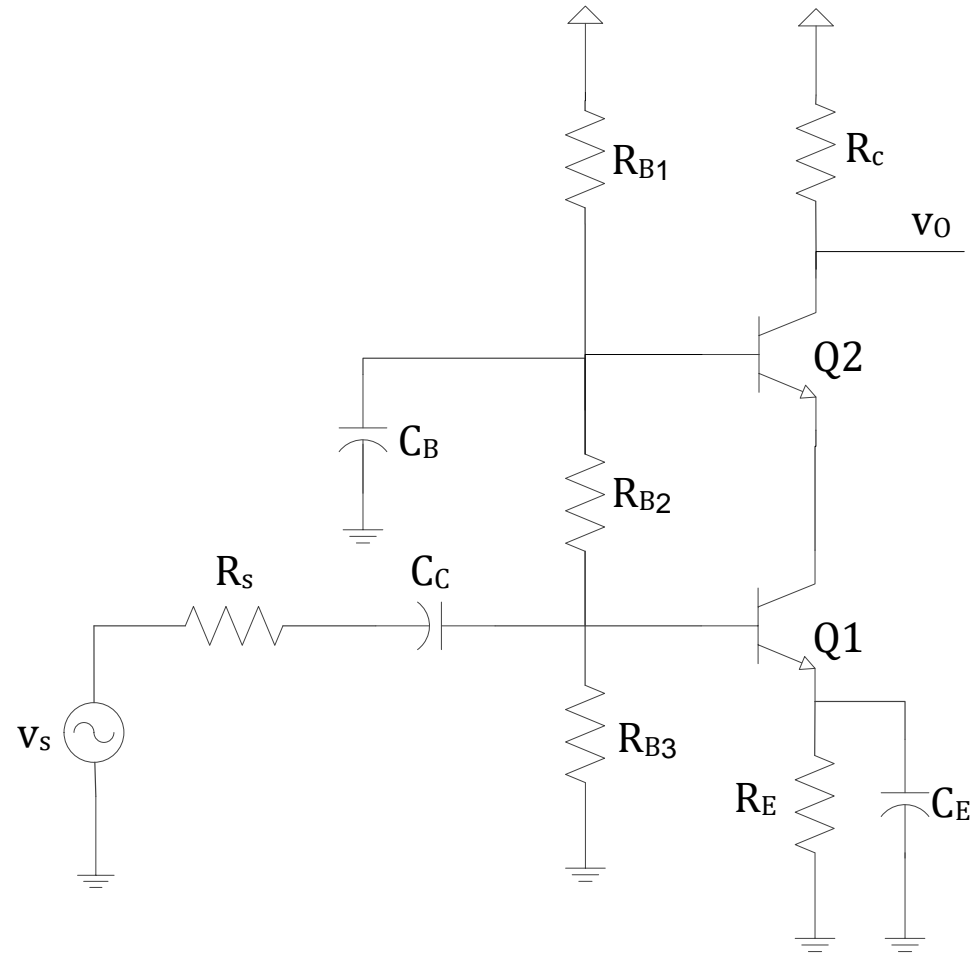
$$R_{2s} = R_E \parallel \frac{r_{\pi 1} + (R_{B2} \parallel R_{B3} \parallel R_S)}{1 + \beta_1}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین مدار کاسکود



$$v_{\pi 1} = V_T \frac{R_{Eq}}{R_{B2} + R_{Eq}}$$

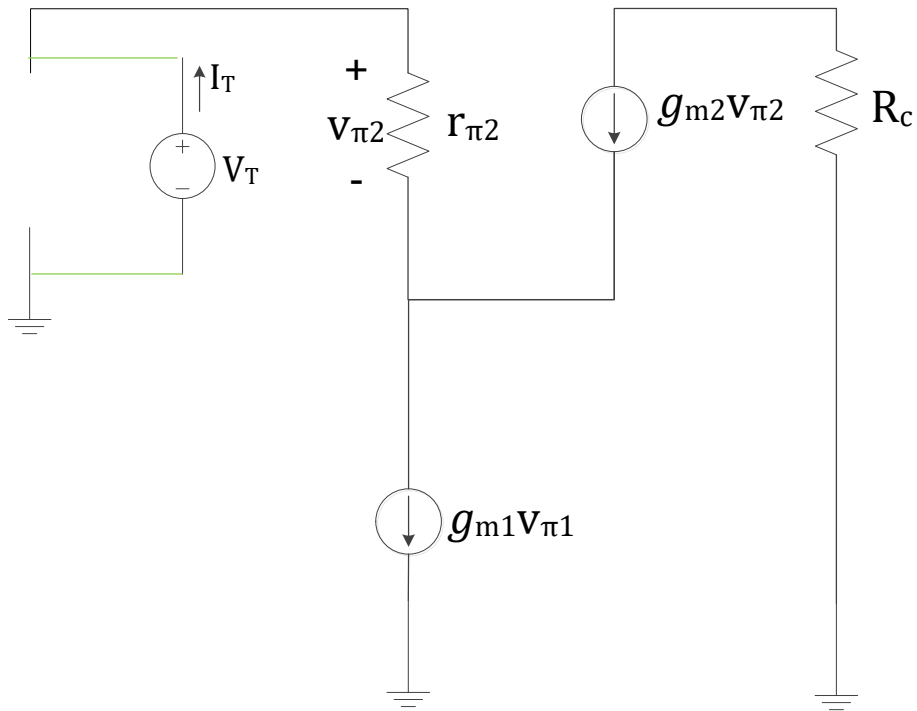
$$R_{3s} = R_{B1} \parallel (R_{B2} + R_{Eq}) \parallel R_T$$

$$R_{Eq} = R_S \parallel R_{B3} \parallel r_{\pi}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه



فرکانس قطع پایین مدار کاسکود

$$v_{\pi 1} = V_T \frac{R_{Eq}}{R_{B2} + R_{Eq}}$$

$$I_T = g_{m1} v_{\pi 1} - g_{m2} v_{\pi 2}$$

$$v_{\pi 2} = I_T r_{\pi 2}$$

$$I_T = g_{m1} V_T \frac{R_{Eq}}{R_{Eq} + R_{B2}} - g_{m2} I_T r_{\pi 2}$$

$$R_T = \frac{(1 + g_{m2} r_{\pi 2})(R_{Eq} + R_{B2})}{g_{m1} R_{Eq}}$$

$$I_T = \frac{g_{m1} v_{\pi 1}}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{g_{m1}}{1 + g_{m2} r_{\pi 2}} \frac{R_{Eq}}{R_{B2} + R_{Eq}}$$

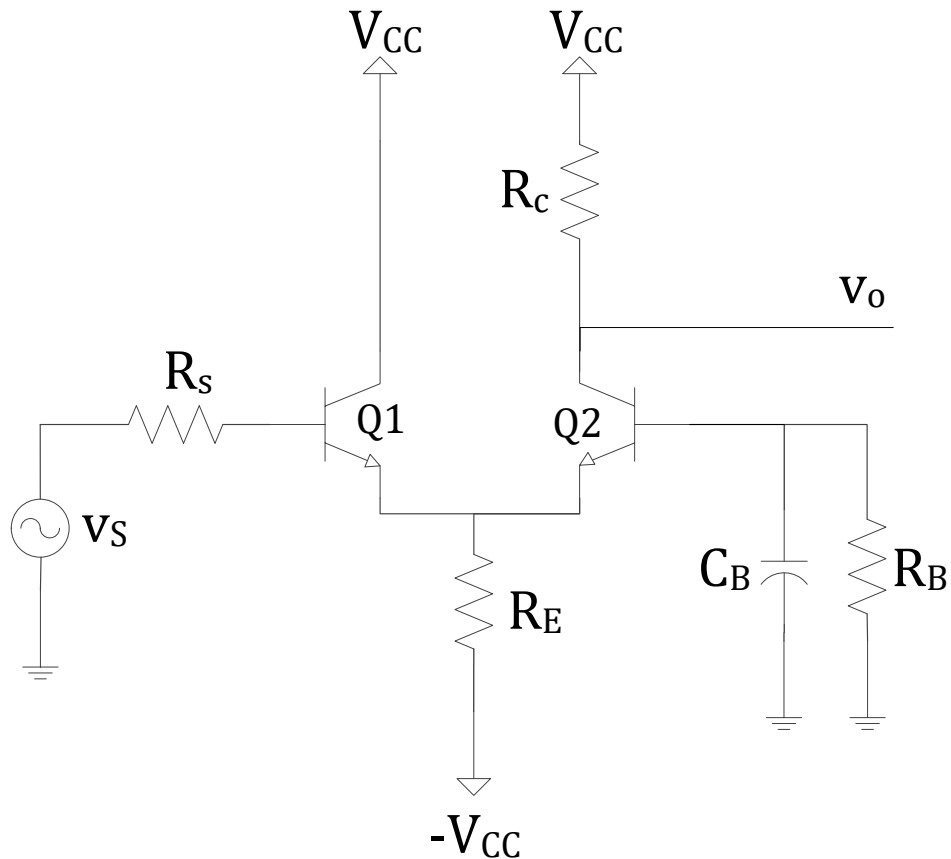
$$R_{3s} = R_{B1} \parallel (R_{B2} + R_{Eq}) \parallel R_T$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



$$A_{V0} = - \frac{(R_E \parallel R_1)}{(R_E \parallel R_1) + \left(\frac{R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}}{1 + \beta_1} \right)} \frac{\beta_2 R_C}{(r_{\pi 2} + r_{x2})}$$

$$A_{V0} = - \frac{\beta_2 (1 + \beta_1) (R_E \parallel R_1) R_C}{\left[(1 + \beta_1) (R_E \parallel R_1) + R_S + r_{\pi 1} + r_{x1} \right] (r_{\pi 2} + r_{x2})}$$

$$R_1 = \frac{r_{\pi 2} + r_{x2}}{1 + \beta_2}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده

$$A_{V0} = - \frac{\beta_2 (1 + \beta_1) (R_E \parallel R_1) R_C}{[(1 + \beta_1) (R_E \parallel R_1) + R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}] (r_{\pi 2} + r_{x2})}$$

$$R_E \gg R_1$$

$$A_{V0} \approx - \frac{\beta_2 (1 + \beta_1) R_1 R_C}{[(1 + \beta_1) R_1 + R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}] (r_{\pi 2} + r_{x2})}$$

$$Q_1 \equiv Q_2$$

$$R_1 = \frac{r_{\pi 2} + r_{x2}}{1 + \beta_2} = \frac{r_{\pi 2} + r_{x2}}{1 + \beta_1}$$

$$A_{V0} \approx - \frac{\beta_2 R_C}{[r_{\pi 1} + r_{x1} + R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}]}$$

$$\frac{1 + \beta_1}{r_{\pi 2} + r_{x2}} = \frac{1}{R_1}$$

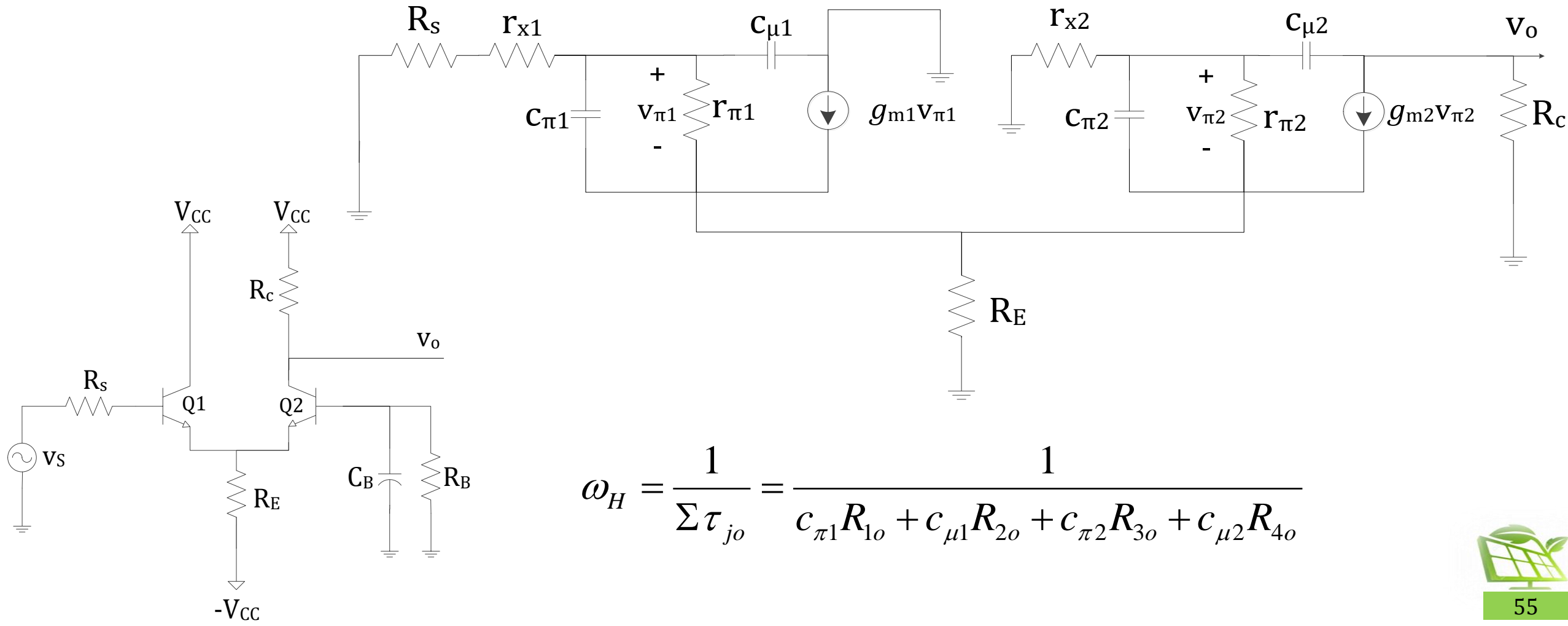
$$A_{V0} \approx - \frac{\beta_2 R_C}{[R_S + 2(r_{\pi 1} + r_{x1})]}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



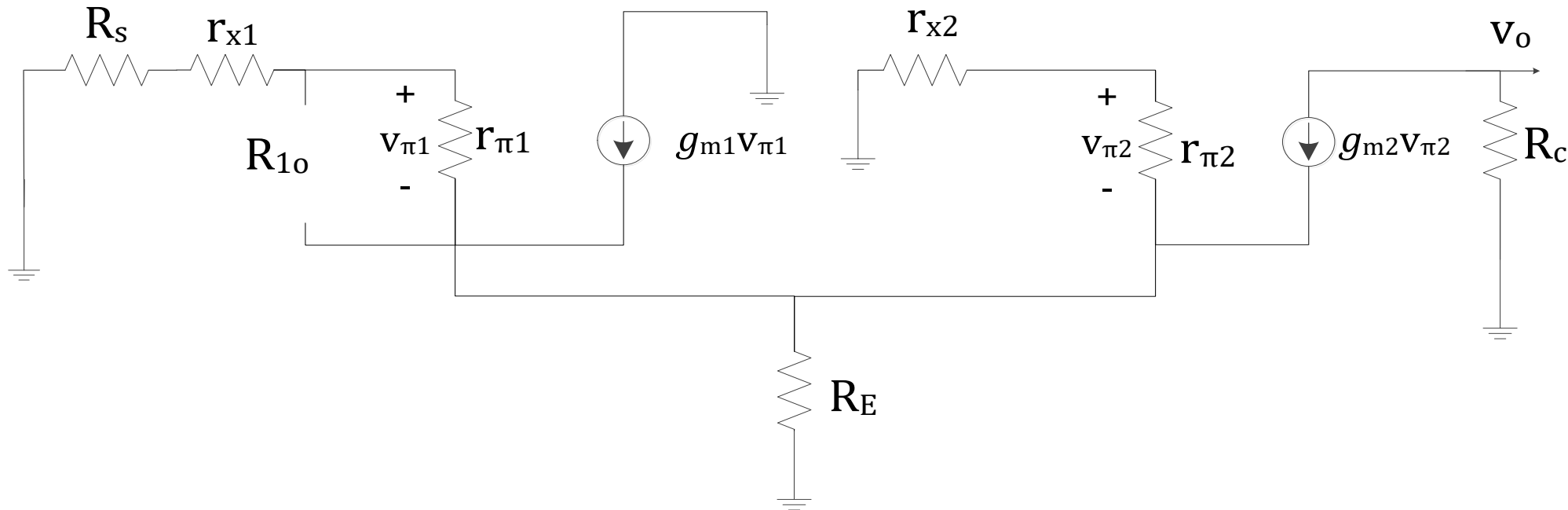
$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1}R_{1o} + c_{\mu 1}R_{2o} + c_{\pi 2}R_{3o} + c_{\mu 2}R_{4o}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



$$R_1 = \frac{r_{\pi 2} + r_{x2}}{1 + \beta_2}$$

$$R_{eq1} = R_E \parallel R_1$$

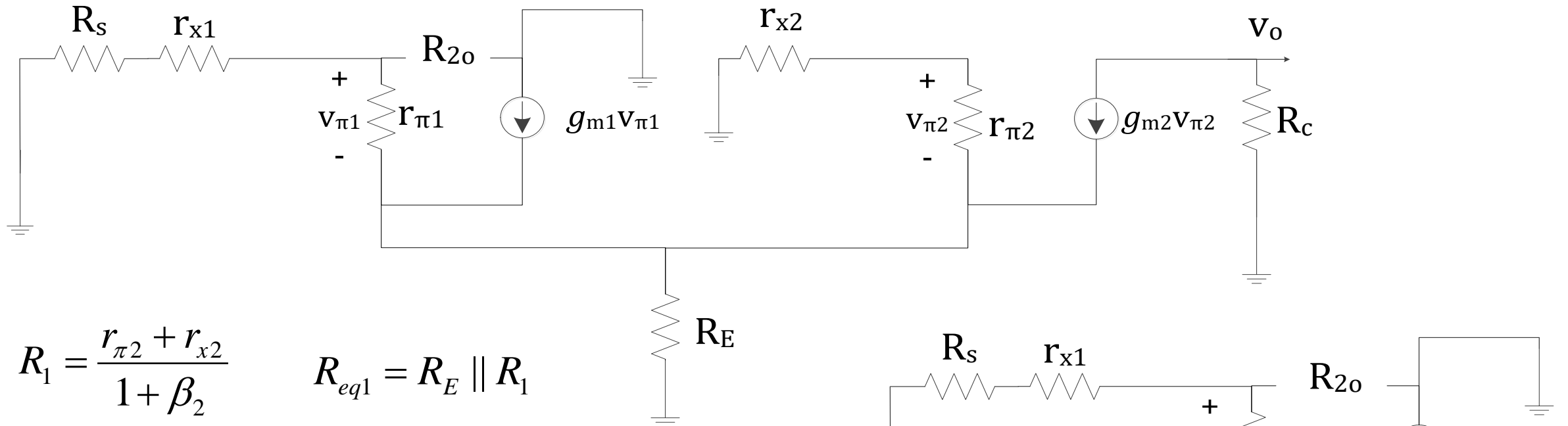
$$R_{1o} = r_{\pi 1} \parallel \frac{R_S + r_{x1} + R_{eq1}}{1 + g_{m1} R_{eq1}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده

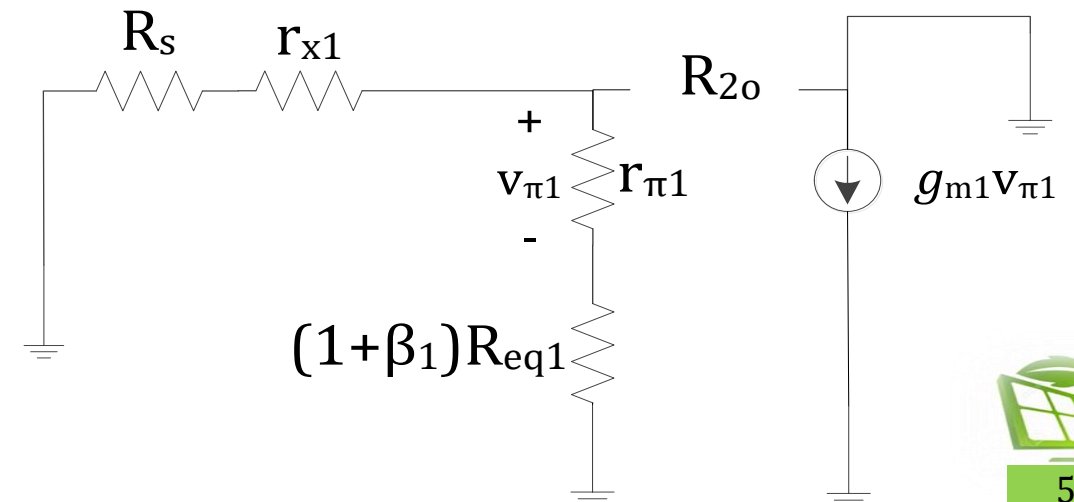


$$R_1 = \frac{r_{\pi 2} + r_{x 2}}{1 + \beta_2}$$

$$R_{eq1} = R_E \parallel R_1$$

$$R_A = (R_S + r_{x1}) \parallel [r_{\pi 1} + (1 + \beta_1)R_{eq1}]$$

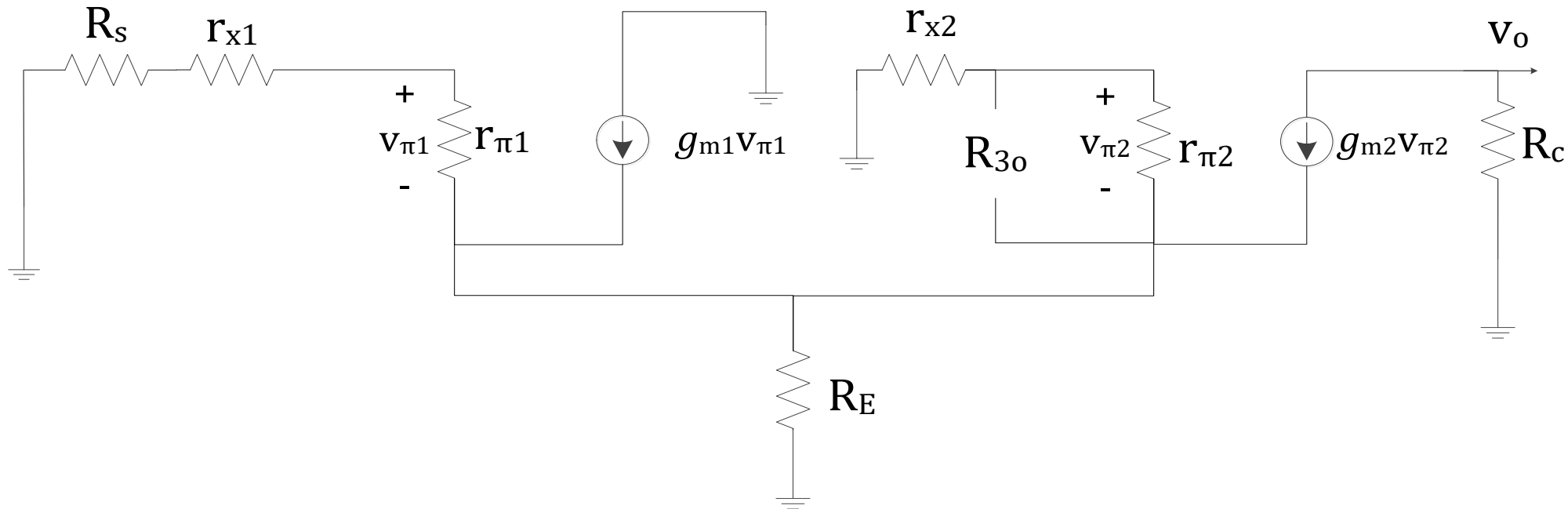
$$R_{2o} = R_A$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



$$R_2 = \frac{R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}}{1 + \beta_1}$$

$$R_{eq2} = R_E \parallel R_2$$

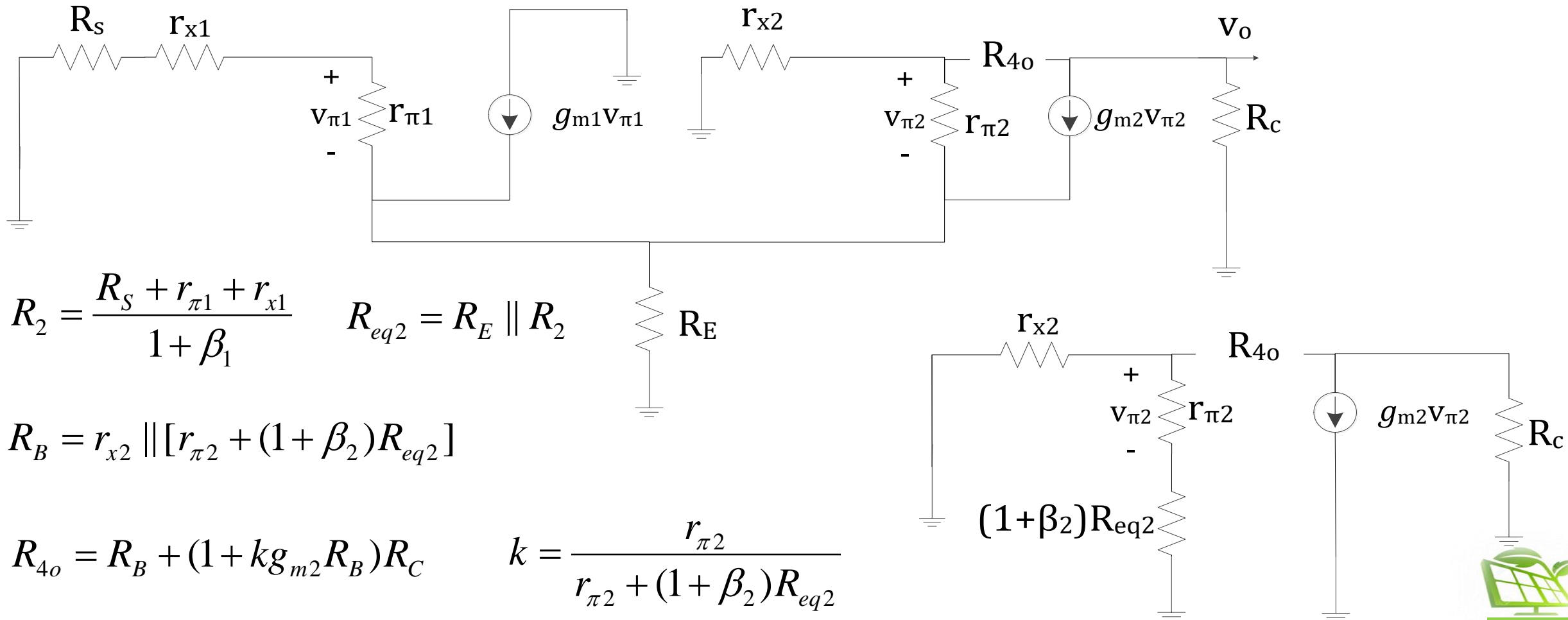
$$R_{3o} = r_{\pi 2} \parallel \frac{r_{x2} + R_{eq2}}{1 + g_{m2}R_{eq2}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

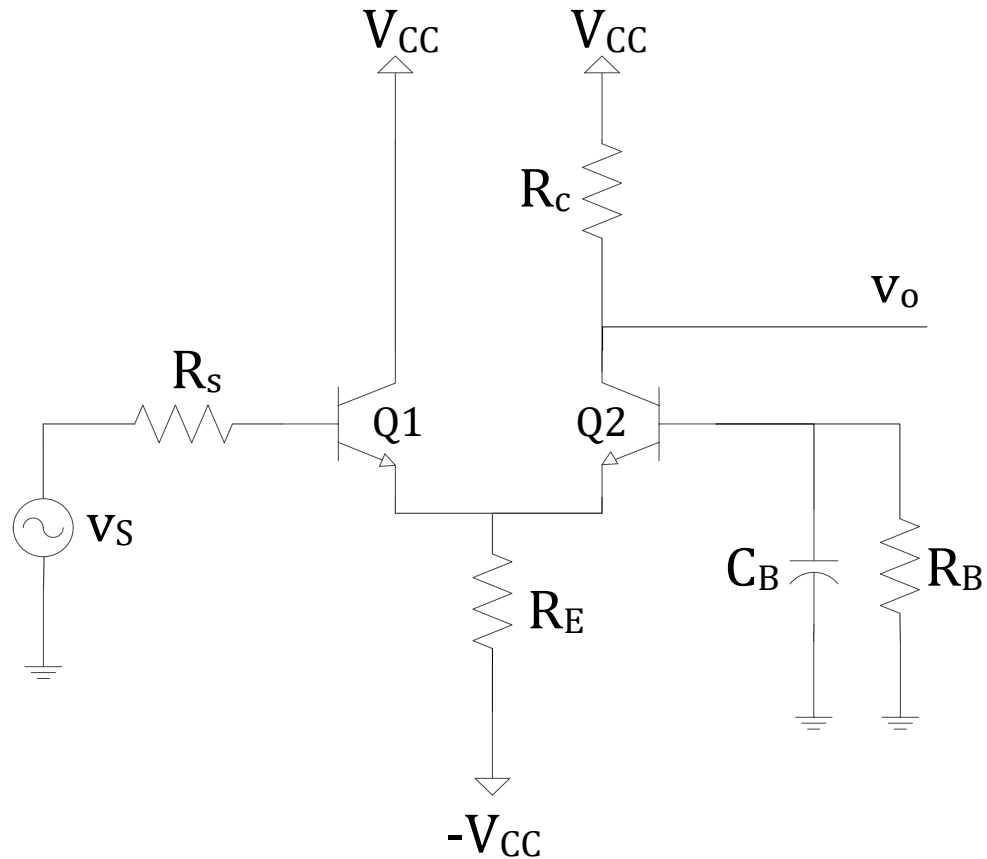
فرکانس قطع بالا تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع پایین تقویت کننده دیفرانسیل اصلاح شده



$$\omega_L = \sum \frac{1}{\tau_{js}} = \frac{1}{C_B R_{1s}}$$

$$R_2 = \frac{R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}}{1 + \beta_1}$$

$$R_{eq2} = R_E \parallel R_2$$

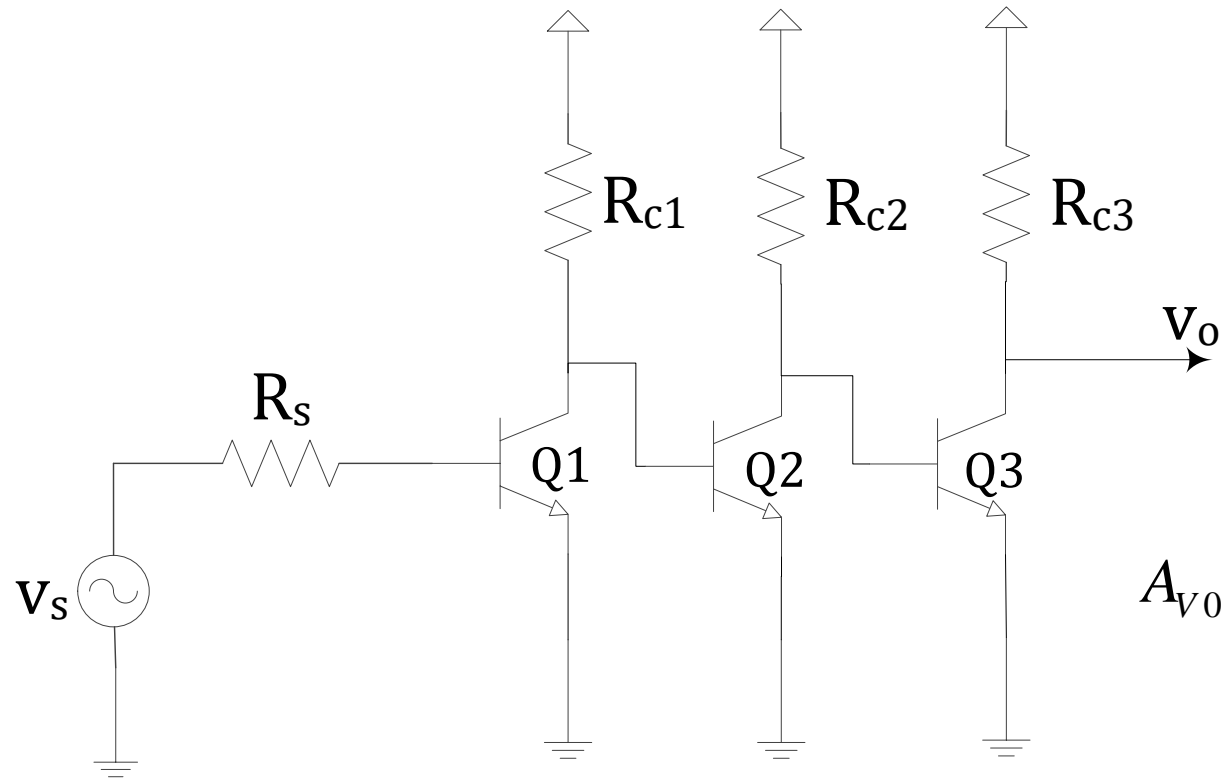
$$R_{1s} = R_B \parallel [r_{x1} + r_{\pi 1} + (1 + \beta_2) R_{eq2}]$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده سه طبقه امیتر مشترک



$$A_{V0} = -\frac{\beta_1 R_{C1}}{R_S + r_{\pi 1} + r_{x1}} \times \frac{\beta_2 R_{C2}}{R_{C1} + r_{\pi 2} + r_{x2}} \times \frac{\beta_3 R_{C3}}{R_{C2} + r_{\pi 2} + r_{x2}}$$

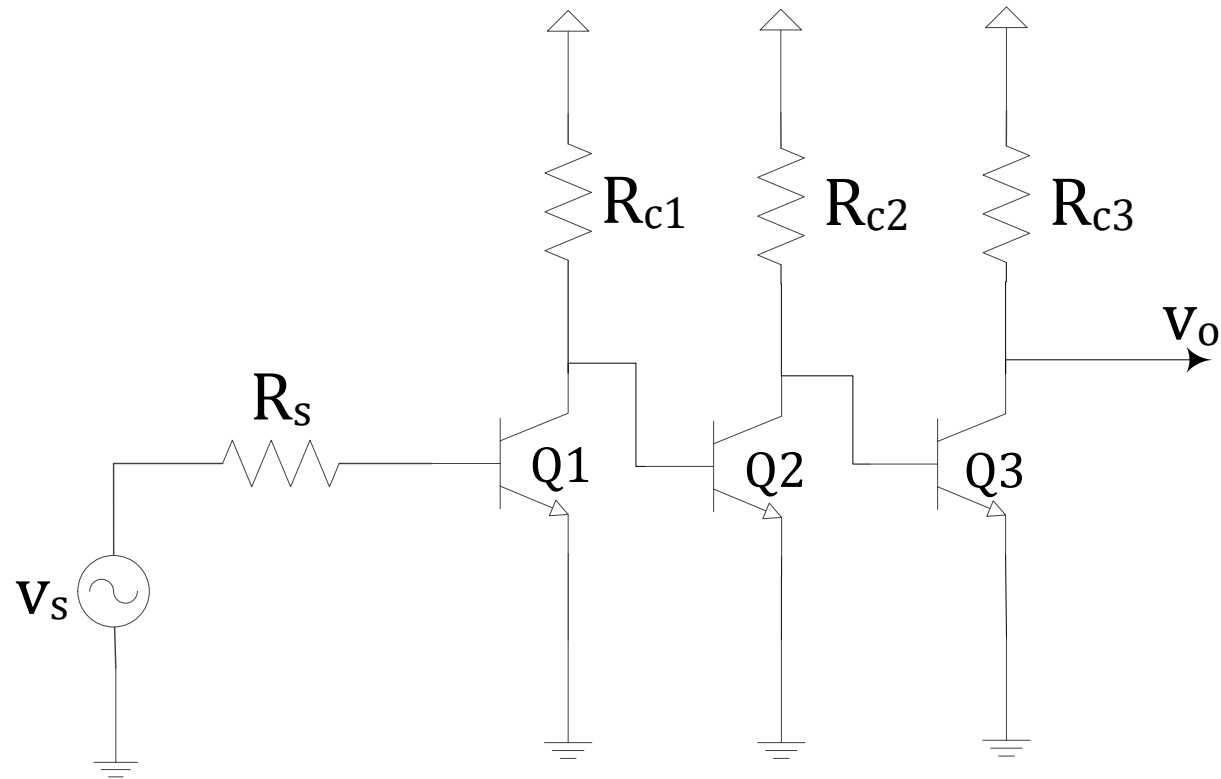
$$\omega_H = \frac{1}{\sum \tau_{jo}} = \frac{1}{c_{\pi 1} R_{1o} + c_{\mu 1} R_{2o} + c_{\pi 2} R_{3o} + c_{\mu 2} R_{4o} + c_{\pi 3} R_{5o} + c_{\mu 3} R_{6o}}$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده سه طبقه امیتر مشترک



$$R_{1o} = (R_S + r_{x1}) \parallel r_{\pi1}$$

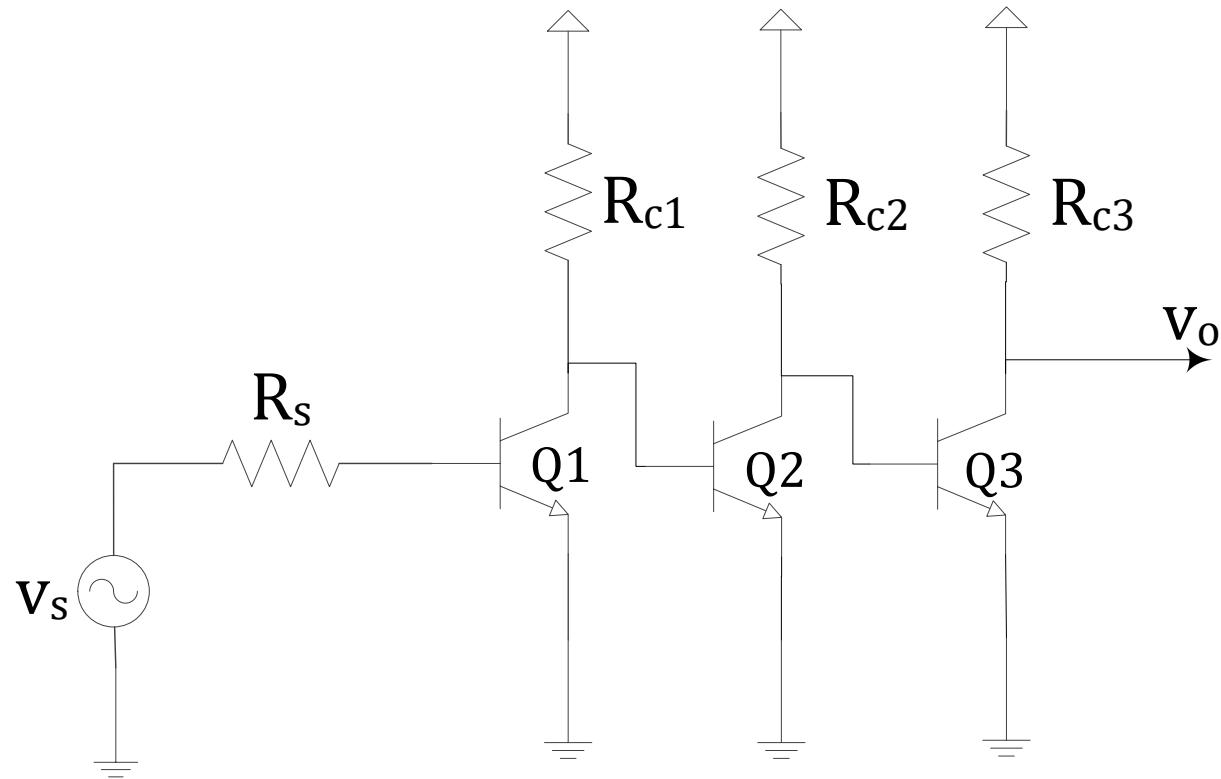
$$R_{2o} = R_{1o} + (1 + g_{m1} R_{1o}) [R_{C1} \parallel (r_{x1} + r_{\pi2})]$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده سه طبقه امیتر مشترک



$$R_{3o} = (R_{C1} + r_{x2}) \parallel r_{\pi2}$$

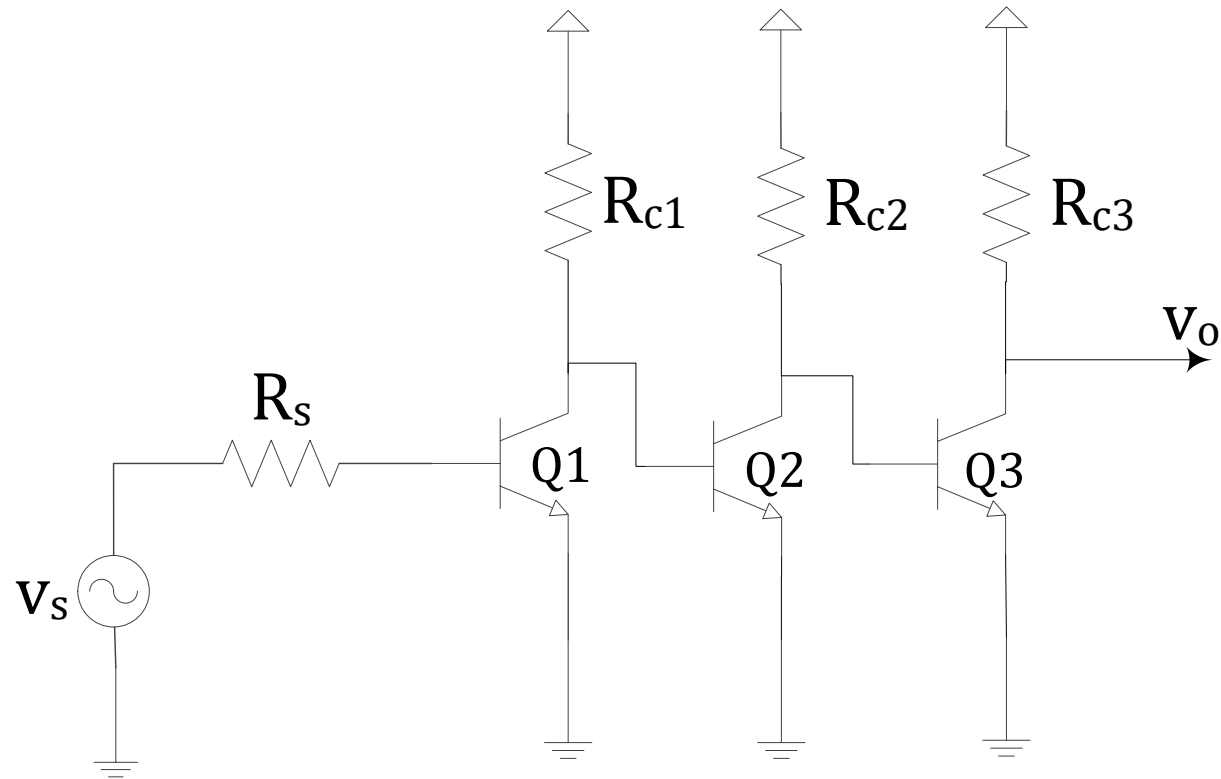
$$R_{4o} = R_{3o} + (1 + g_{m2} R_{3o}) [R_{C2} \parallel (r_{x3} + r_{\pi3})]$$



Frequency Response of Multiple Stage Amplifiers

پاسخ فرکانسی تقویت کننده های چندطبقه

فرکانس قطع بالا تقویت کننده سه طبقه امیتر مشترک



$$R_{5o} = (R_{C2} + r_{x3}) \parallel r_{\pi3}$$

$$R_{6o} = R_{5o} + (1 + g_{m3} R_{5o}) R_{C3}$$

