

الکترونیک ۱

جلسه هشتم

مدرس : سجاد قراگوزلو حصاری

دانشکده فنی انقلاب اسلامی

انواع کوپلاژ بین خازن ها

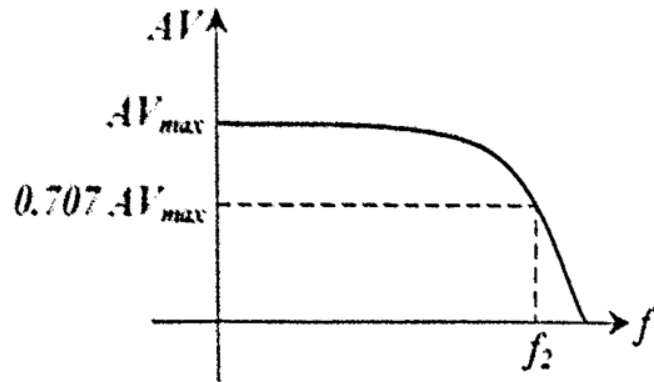
۱- کوپلاژ مستقیم

۲- کوپلاژ RC یا خازنی

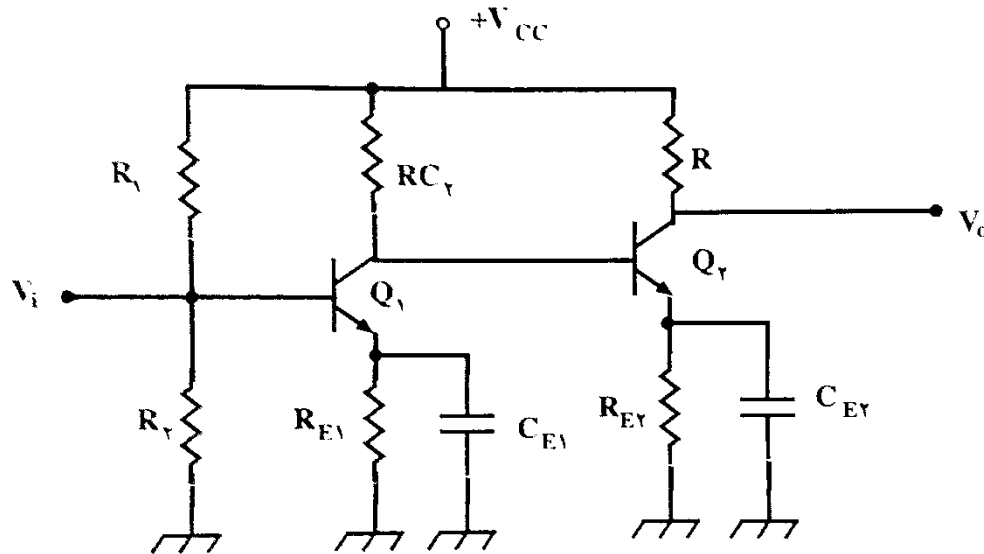
۳- کوپلاژ ترانسفورمری

۱) کوپلاژ مستقیم

اگر اتصال بین تقویت کننده‌ها به صورت مستقیم و بدون واسطه باشد اصطلاحاً کوپلاژ مستقیم نامیده می‌شود. در این نوع کوپلاژ تغییرات نقطه کار dc یک تقویت کننده که در اثر عوامل مختلف تغییر داشته (مانند حرارت) بر نقطه کار dc تقویت کننده‌های دیگر تأثیر می‌گذارد لذا مدار دارای ثبات حرارتی مناسبی نیست.

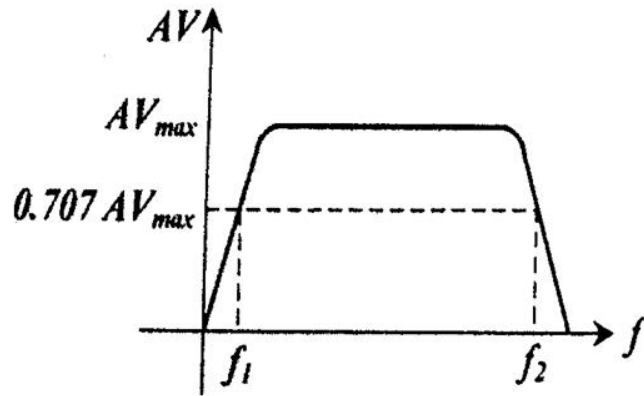


لازم به ذکر است که به دلیل ارتباط بدون واسطه دو تقویت کننده با هم فرکانس قطع پایین صفر می‌باشد و در این نوع کوپلاژ محدوده فرکانس‌های پایین خوب و مناسب تقویت می‌شود. همچنین در این نوع کوپلاژ قابلیت تقویت ولتاژ dc توسط تقویت کننده‌ها موجود است. منحنی تغییرات گین مدار در اثر تغییرات فرکانس موج ورودی به صورت روبرو است.

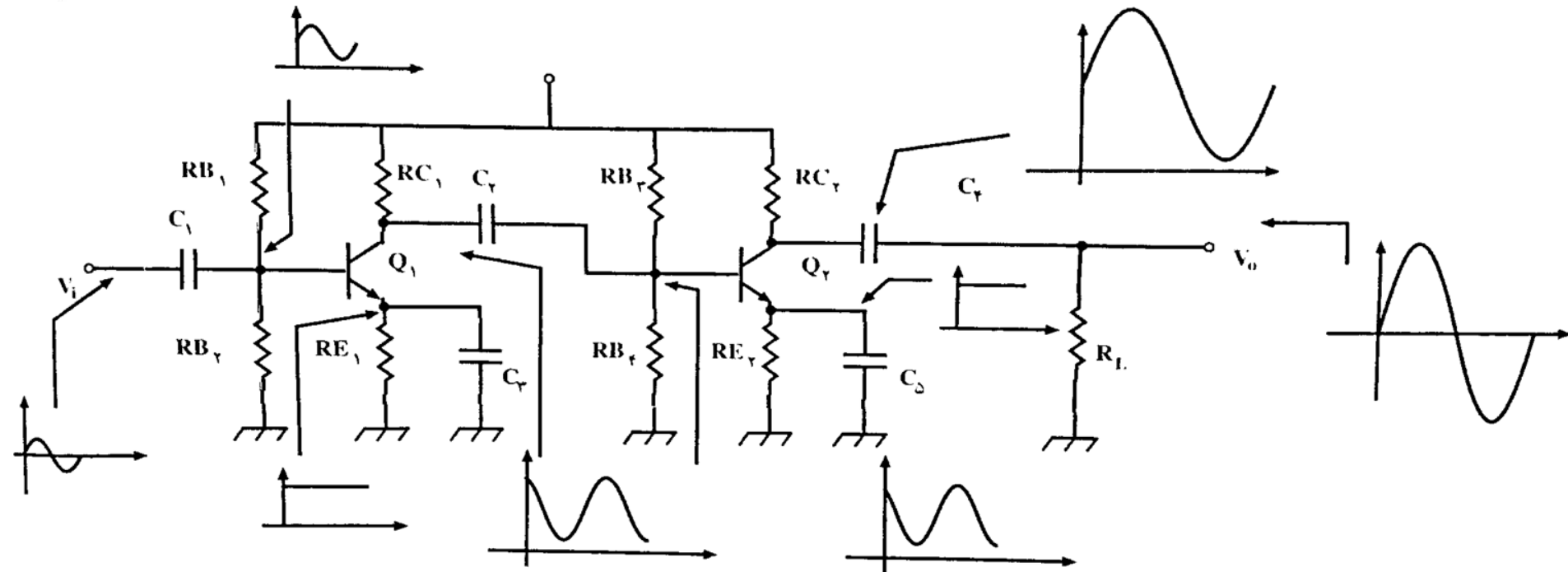


۲) کوپلاژ RC یا خازنی

اگر ارتباط dc مابین تقویت کننده‌ها به وسیله خازن‌های کوپلاژ از بین برود و تقویت کننده‌ها نسبت به یکدیگر از لحاظ dc ایزوله باشند کوپلاژ از نوع RC یا خازنی می‌باشد.

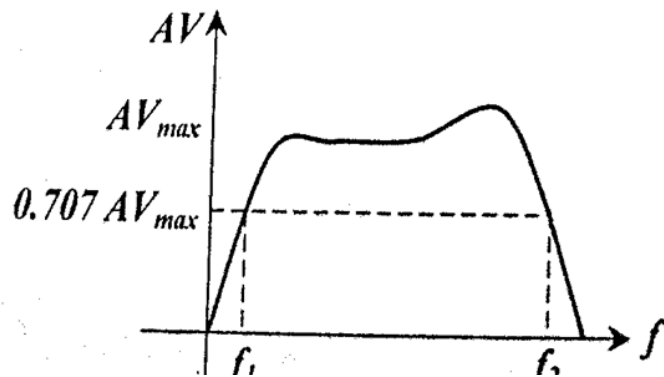


توجه به اینکه امپدانس خازن‌های کوپلاژ در فرکانس‌های پایین زیاد می‌باشد لذا افت ولتاژ روی این خازن‌ها در فرکانس‌های پایین زیاد خواهد بود و بنابراین در این نوع کوپلاژ ولتاژهای dc ورودی قابل تقویت نمی‌باشند همچنین کاربرد این نوع کوپلاژ در تقویت کننده‌های توان پایین می‌باشد. منحنی تغییرات گین بر حسب فرکانس در این نوع کوپلاژ به صورت روبرو است.

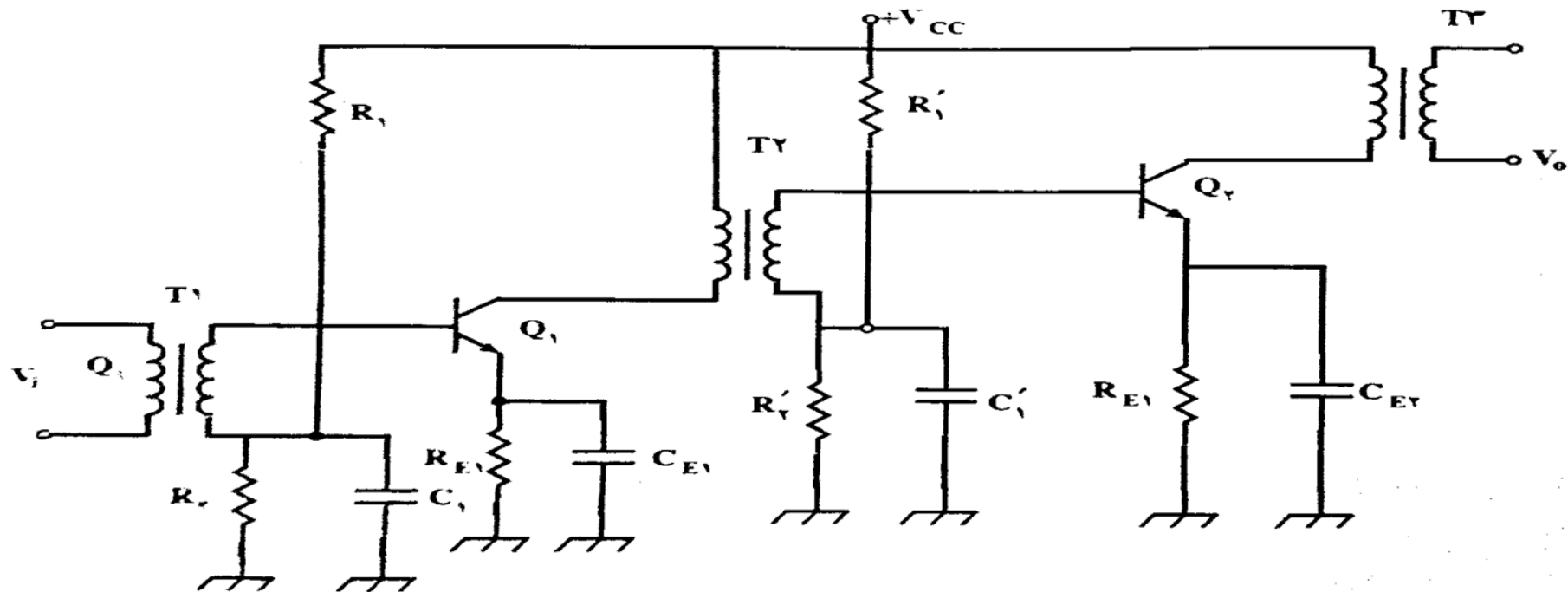


۲) کوپلاژ ترانسفورمری

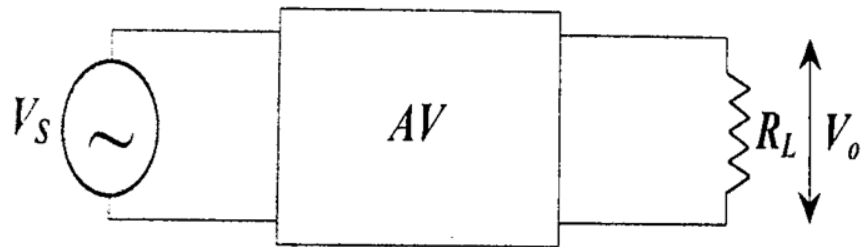
اگر عامل ارتباط مابین تقویت کننده ترانسفورمر باشد کوپلاژ از نوع ترانسفورمری می باشد در این نوع کوپلاژ نیز ارتباط dc مابین تقویت کننده ها وجود ندارد و تغییرات نقطه کار یک تقویت کننده بر دیگری اثری ندارد در این نوع کوپلاژ تطبیق امپدانس میان بار و تقویت کننده در حد مطلوبی می باشد. اما با توجه به حجیم و سنگین بودن ترانسفورمر و همچنین غیر اقتصادی بودن آن کاربرد زیادی ندارد.



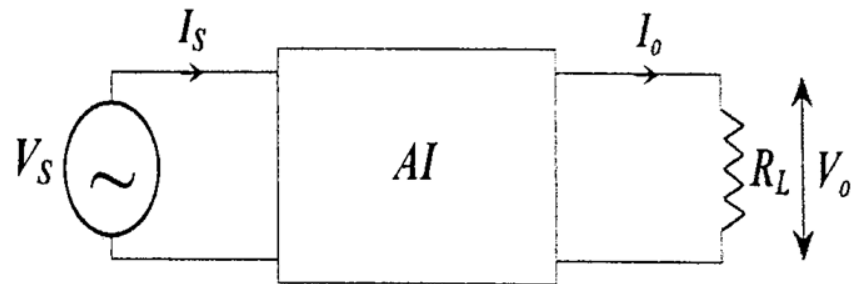
همچنین این نوع کوپلاژ دارای پاسخ فرکانسی مناسبی نیست و فرکانس قطع بالا در این نوع کوپلاژ پایین می باشد. لازم به ذکر است که کاربرد این نوع کوپلاژ در تقویت کننده های توان بالا می باشد. منحنی پاسخ فرکانسی آن به صورت روبرو است.



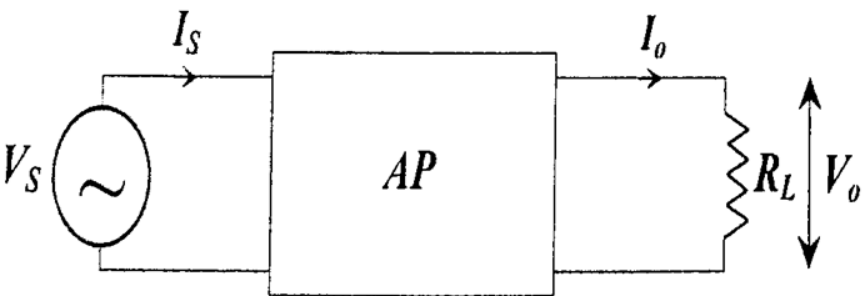
نحوه تبدیل گین‌های جریان و ولتاژ و توان بر حسب دسی‌بل یا dB



$$AV = \frac{V_o}{V_S}, \quad AV|_{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_o}{V_S} = 20 \cdot \log AV$$

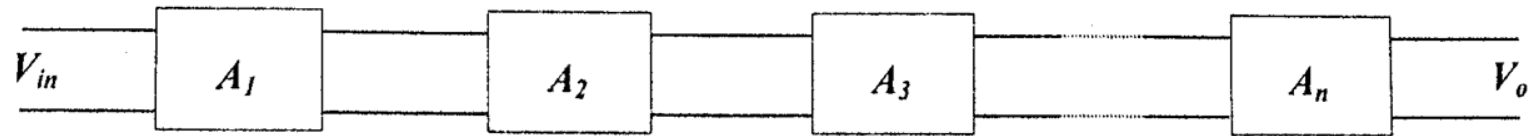


$$AI = \frac{I_o}{I_S}, \quad AI|_{dB} = 20 \cdot \log \frac{I_o}{I_S} = 20 \cdot \log AI$$



$$AP = \frac{P_o}{P_{in}}, \quad AP|_{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}} = 10 \cdot \log AP$$

نحوه احتساب گین‌های ولتاژ و جریان و توان در تقویت کننده‌های چند طبقه



الف) کلیه گین‌ها بر حسب مبنای ۱۰ یا به صورت طبیعی هستند.

$$AI_T = AI_1 \times AI_2 \times AI_3 \times \dots \times AI_n$$

$$AV_T = AV_1 \times AV_2 \times AV_3 \times \dots \times AV_n, \quad AP_T = AP_1 \times AP_2 \times AP_3 \times \dots \times AP_n$$

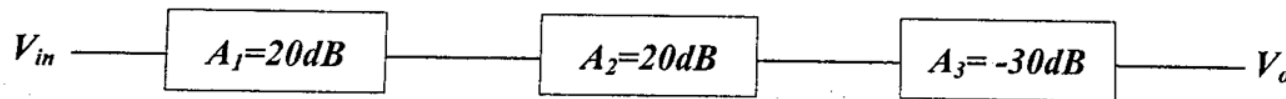
ب) کلیه گین‌ها بر حسب dB هستند.

$$AI_T|_{dB} = AI_1|_{dB} + AI_2|_{dB} + \dots + AI_n|_{dB}$$

$$AV_T|_{dB} = AV_1|_{dB} + AV_2|_{dB} + \dots + AV_n|_{dB}, \quad AP_T|_{dB} = AP_1|_{dB} + AP_2|_{dB} + \dots + AP_n|_{dB}$$

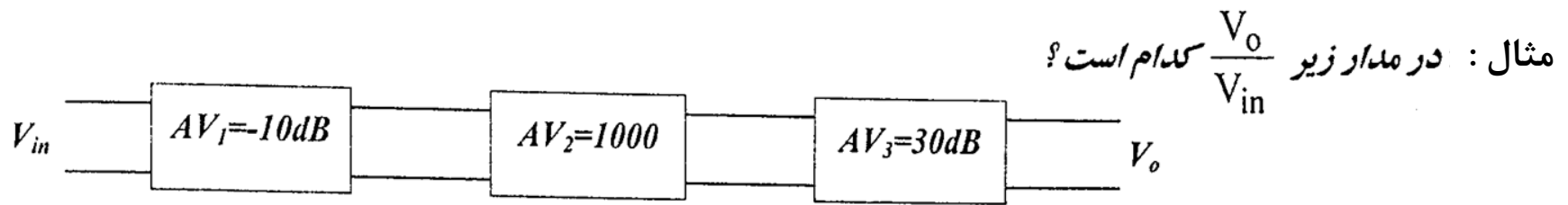
لازم به ذکر است که عدد منفی در حالتی که گین بر حسب dB باشد نشانگر آن است که تقویت کننده به جای عمل تقویت، سیگنال ورودی را تضعیف می‌کند لذا در فرمول‌های AV_T و AI_T و AP_T بر حسب dB گین‌ها با علامت مربوطه لحاظ می‌شوند.

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_{in}}$ بر حسب dB کدام است؟



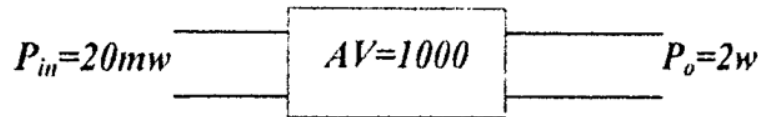
← اگر گین چند طبقه بر حسب dB: $\frac{V_o}{V_{in}} = 20\text{dB} + 20\text{dB} - 30\text{dB} = 10\text{dB}$ باشد گین کل از حاصل

جمع جبری آنها حاصل می‌شود.



$$AV_1 \Big|_{dB} = 20 \cdot \log 1000 = 60 \text{ dB} \quad , \quad \frac{V_o}{V_{in}} \Big|_{dB} = AV_1 + AV_2 + AV_3 = -10 + 60 + 30 = 80 \text{ dB}$$

مثال : در مدار زیر بهره توان چند dB است ؟



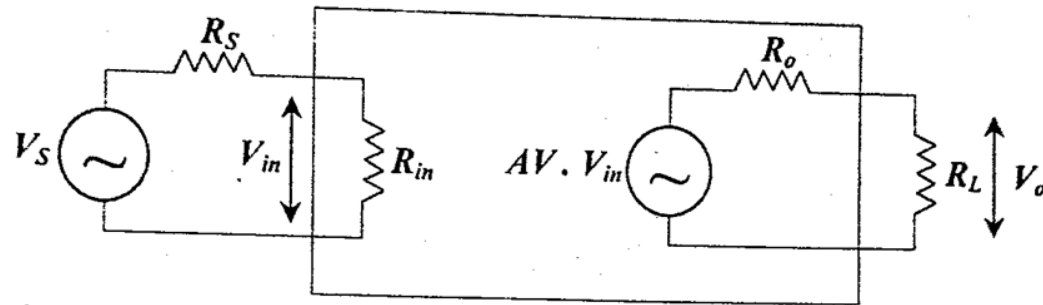
$$\frac{P_o}{P_{in}} = \frac{2W}{20 \text{ mw}} = \frac{2000}{20} = 100 \Rightarrow AP = 20 \cdot \log 100 = 40$$

به دست آوردن گین توان بر حسب dB در حالت کلی

اگر مقاومت بار و مقاومت داخلی منبع موجود باشد با داشتن V_o ، AP مقدار گین توان به صورت زیر است:

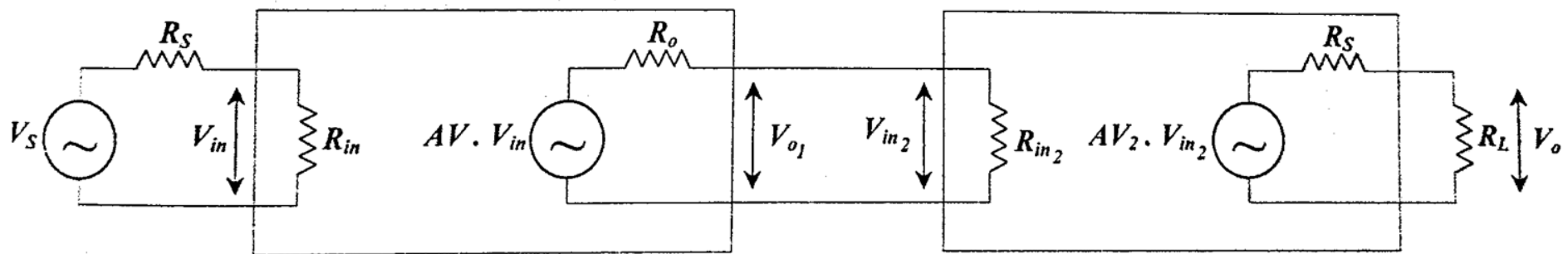
$$AP \Big|_{dB} = 20 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}} = 20 \cdot \log \left(\frac{V_o^2}{V_{in}^2} \cdot \frac{R_L}{R_i} \right) = 20 \cdot \log \frac{V_o}{V_{in}} + 20 \cdot \log \frac{R_L}{R_i}$$

تحلیل تقویت کننده‌های چند طبقه

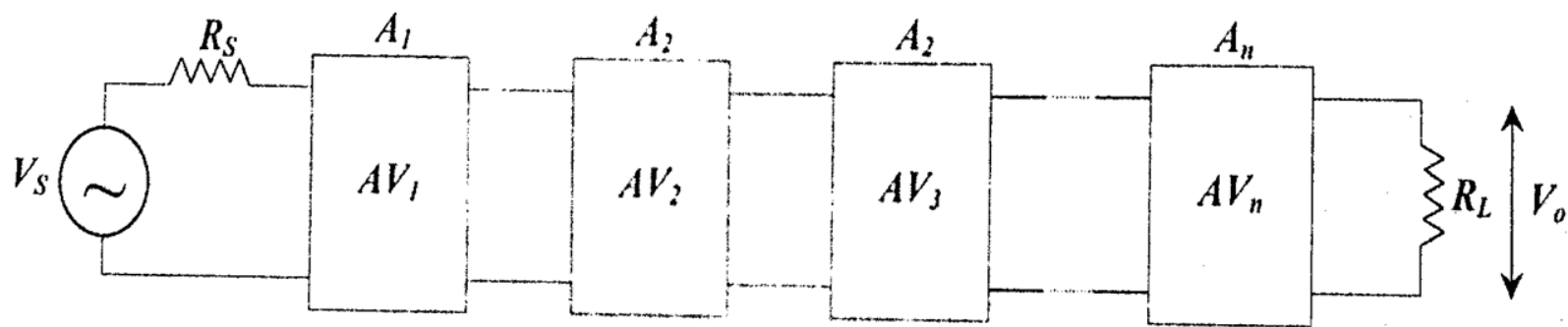


$$\begin{cases} AV_s = \frac{V_o}{V_s} \\ AV = \frac{V_o}{V_{in}} \end{cases} \quad \begin{cases} V_o = \frac{AV \cdot V_{in} \times R_L}{R_o + R_L} \Rightarrow V_o = AV \times V_s \times \frac{R_L}{R_o + R_L} \times \frac{R_{in}}{R_s + R_{in}} \\ V_{in} = V_s \times \frac{R_{in}}{R_s + R_{in}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = AV_s = AV \times \frac{R_L}{R_L + R_o} \times \frac{R_{in}}{R_s + R_{in}} \end{cases}$$

در صورتی که چند تا از این تقویت کننده‌ها به صورت سری و پشت سر هم به هم متصل شوند فرمول کلی آنها به صورت زیر است.



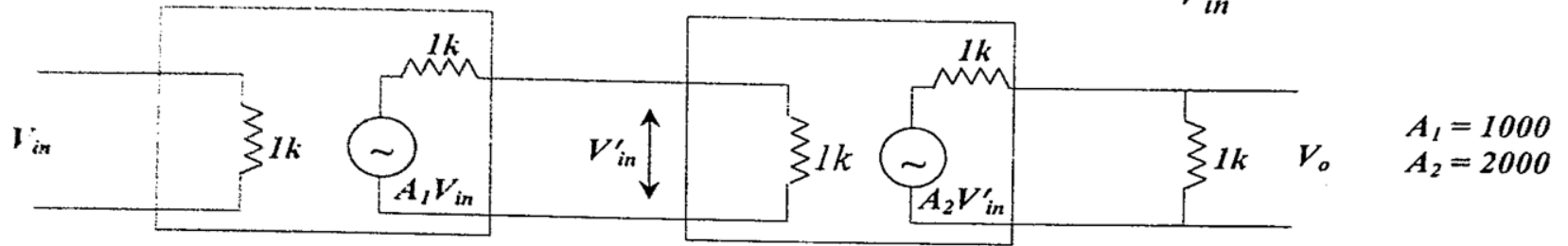
$$AV_s = \frac{V_o}{V_s} = AV_1 \times AV_2 \times \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}} \times \frac{R_{in2}}{R_{o1} + R_{in2}} \times \frac{R_L}{R_{o2} + R_L}$$



$$A_1 \begin{cases} AV_1 \\ R_{o1} \\ R_{in1} \end{cases} \quad A_r \begin{cases} AV_r \\ R_{or} \\ R_{inr} \end{cases} \quad A_r \begin{cases} AV_r \\ R_{or} \\ R_{inr} \end{cases} \dots A_n \begin{cases} AV_n \\ R_{on} \\ R_{inn} \end{cases}$$

$$AV_s = \frac{V_o}{V_s} = AV_1 \times AV_r \times AV_r \times \dots \times AV_n \times \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_s} \times \frac{R_{inr}}{R_{inr} + R_{o1}} \times \frac{R_{inr}}{R_{inr} + R_{or}} \times \dots \times \frac{R_L}{R_L + R_{on}}$$

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V'_{in}} \times \frac{V'_{in}}{V_{in}}, \quad V_o = \frac{A_2 V'_{in} \times 1k}{1k + 1k} = \frac{1}{2} A_2 \cdot V'_{in}$$

$$\frac{V_o}{V'_{in}} = \frac{\frac{1}{2} A_2 V'_{in}}{V'_{in}} = \frac{1}{2} A_2 = \frac{2000}{2} = 1000$$

$$V'_{in} = \frac{A_1 V_{in} \times 1k}{1k + 1k} = \frac{1}{2} A_1 V_{in} = 500 \cdot V_{in} \Rightarrow \frac{V'_{in}}{V_{in}} = \frac{500 \cdot V_{in}}{V_{in}} = 500$$

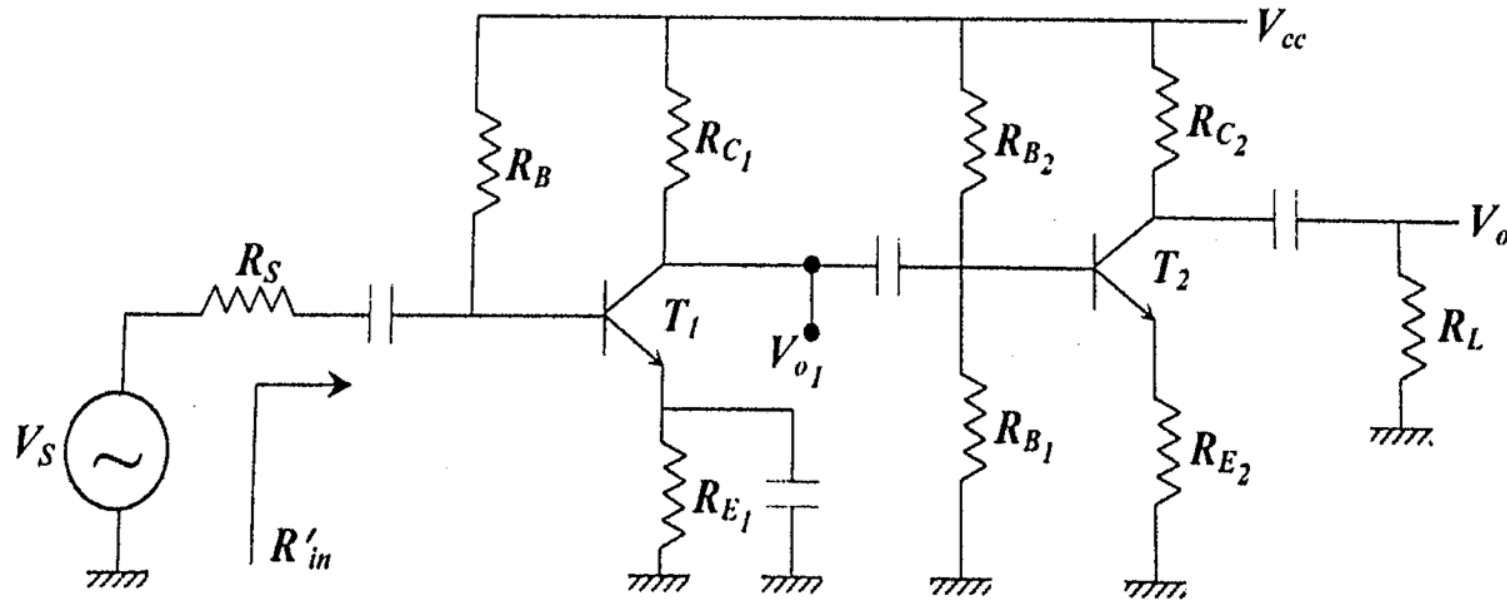
$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V'_{in}} \times \frac{V'_{in}}{V_{in}} = 1000 \times 500 = 500 \times 10^3$$

مثال: در مدار بالا مقدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 500 \times 10^3, \quad AV = \left. \frac{V_o}{V_{in}} \right|_{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$\left. \frac{V_o}{V_{in}} \right|_{dB} = 20 \times \log 500 \times 10^3 = 20 \cdot \log 5 + 100$$

مثال: در تقویت کننده‌های مقابل $AV_S = \frac{V_o}{V_s}$ را محاسبه کنید.



تقویت کننده T_2 : امیتر مشترک

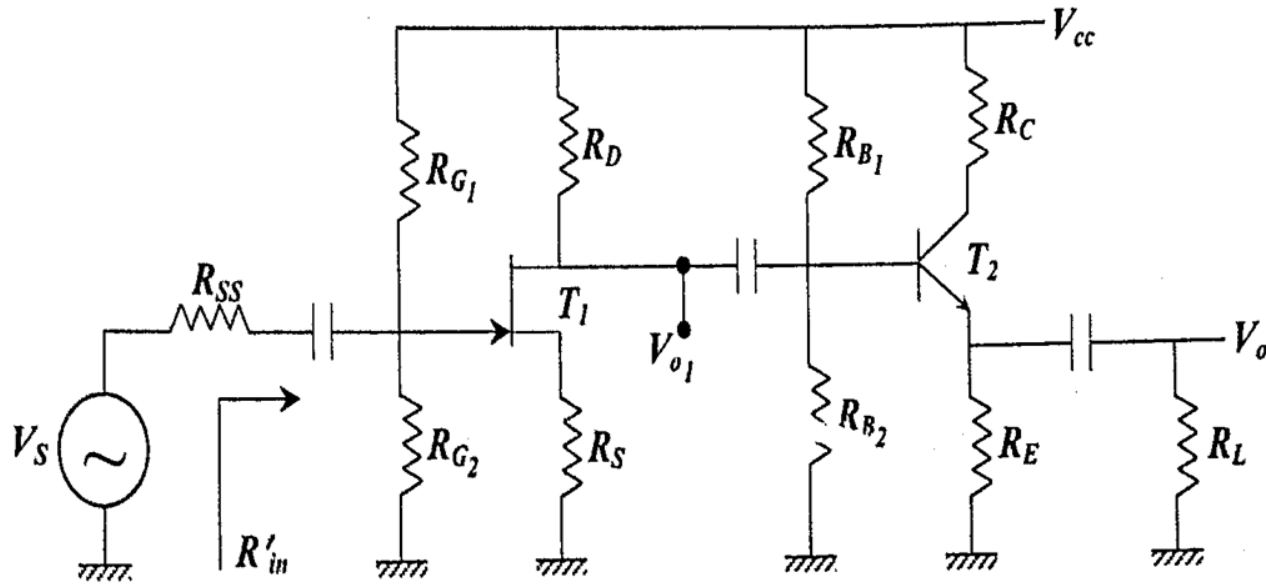
✓ پاسخ: تقویت کننده T_1 : امیتر مشترک

$$AV_S = \frac{V_o}{V_s} = AV_1 \times AV_2 \times \frac{R'_{in}}{R'_{in} + R_S} \quad R'_{in} = R_B \parallel h_{ie1}$$

$$AV_1 = \frac{V_{o1}}{V_{B1}} = \frac{\text{مقاومت دیده شده از خروجی} (-\beta)}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}} = \frac{-\beta(R_{C1} \parallel [R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [h_{ie2} + (1 + \beta)R_{E2}]])}{h_{ie1}}$$

$$AV_2 = \frac{V_o}{V_{o1}} = \frac{\text{مقاومت دیده شده از خروجی} (-\beta)}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}} = \frac{-\beta(R_{C2} \parallel R_L)}{h_{ie2} + (1 + \beta)R_{E2}}$$

مثال: در مدار $\frac{V_o}{V_s}$ را محاسبه کنید.



تقویت کننده T_2 : کلکتور مشترک

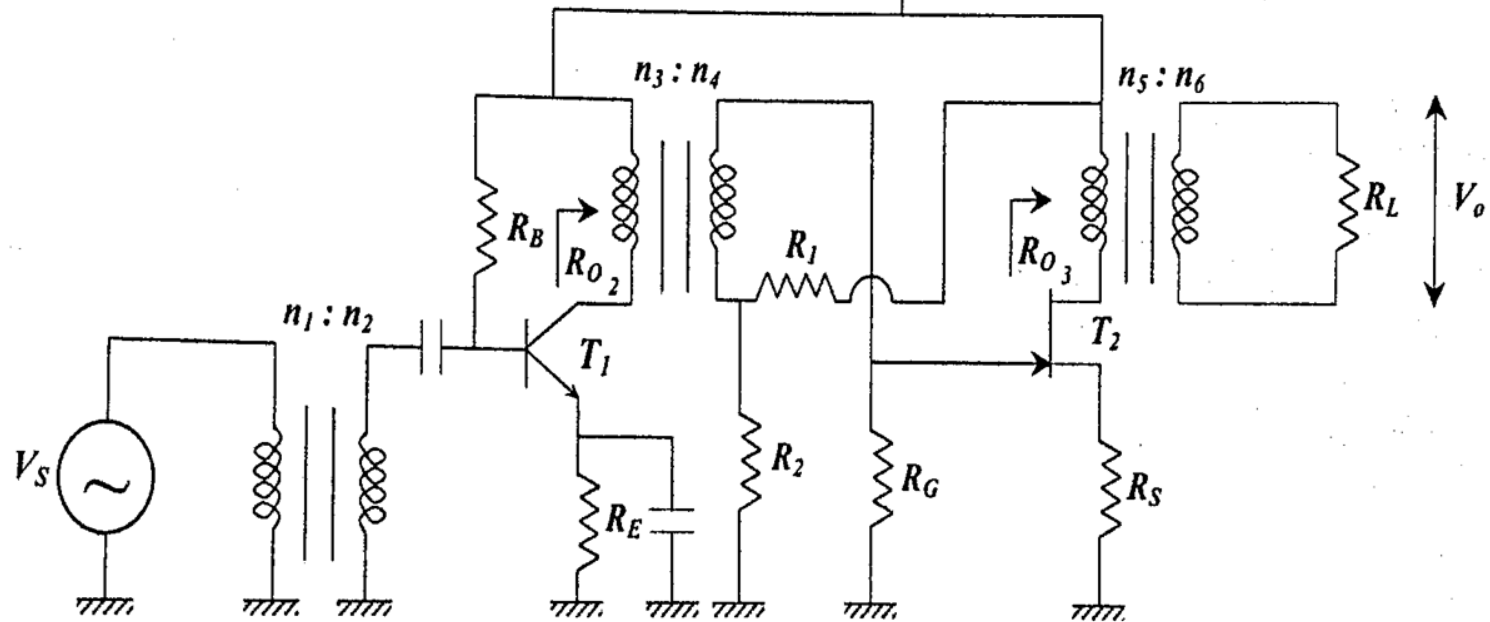
پاسخ: تقویت کننده T_1 : سورس مشترک ☒

$$AV_s = \frac{V_o}{V_s} = AV_1 \times AV_2 \times \frac{R'_{in}}{R'_{in} + R_{SS}} \quad R'_{in} = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$AV_1 = \frac{\text{(مقاومت دیده شده از خروجی)}}{1 + g_m \text{ (مقاومت موجود در سورس)}} = \frac{-g_m [R_D \parallel R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [h_{ie} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)]]}{1 + g_m R_S}$$

$$AV_2 = \frac{V_o}{V_{o1}} = \frac{\beta \text{ (مقاومت موجود در امیتر)}}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}} = \frac{+ \beta (R_L \parallel R_E)}{h_{ie} + (1 + \beta)(R_L \parallel R_E)}$$

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_s}$ را محاسبه کنید.



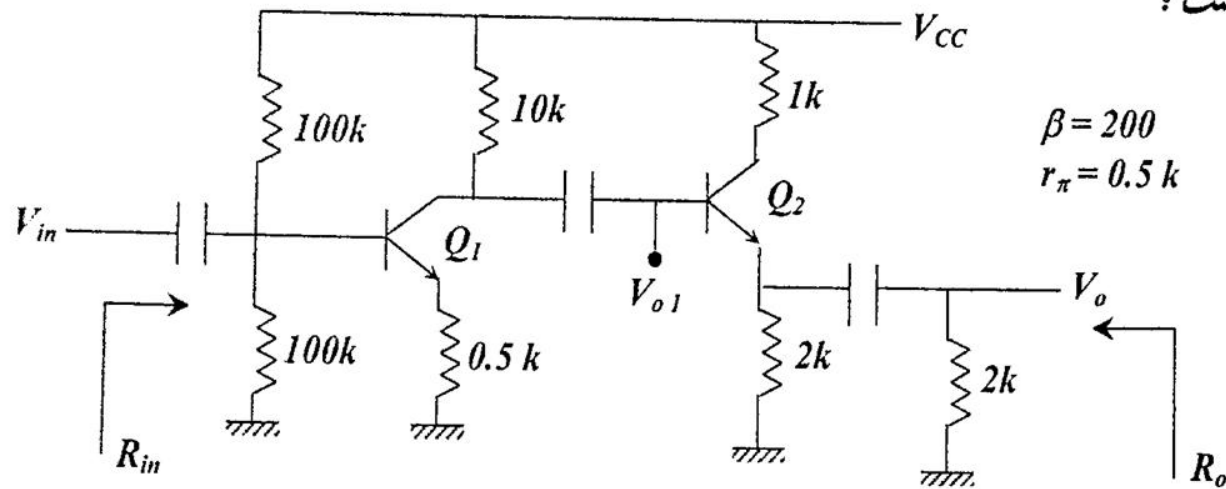
تقویت کننده T_2 : سورس مشترک

پاسخ: ☒ تقویت کننده T_1 : امیتر مشترک

$$AV_s = \frac{V_o}{V_s} = AV_1 \times AV_2 \times \frac{n_2}{n_1} \times \frac{n_4}{n_3} \times \frac{n_6}{n_5}$$

$$AV_1 = \frac{-\beta(R_{or})}{hie_1} = \frac{-\beta \times \left[\left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \times [R_C \parallel R_E + R_G] \right]}{hie_1}, \quad AV_2 = \frac{-g_m(R_{or})}{1 + g_m R_S} = \frac{-g_m \left[\left(\frac{n_6}{n_5} \right)^2 \cdot R_L \right]}{1 + g_m \cdot R_S}$$

مثال: در مدار زیر $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



← تقویت کننده شامل Q_1 امیتر مشترک و تقویت کننده شامل Q_2 کلکتور مشترک است.

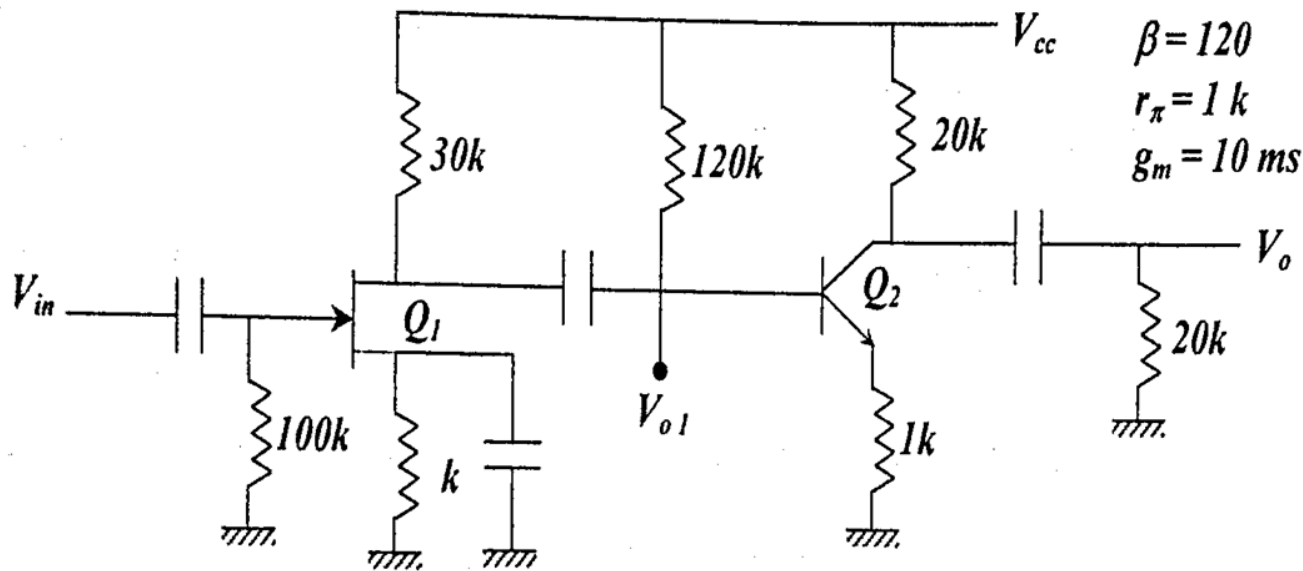
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_{o1}} \times \frac{V_{o1}}{V_{in}}$$

$$\frac{V_o}{V_{o1}} = \frac{\text{مقاومت‌های موجود در امیتر} (+\beta)}{\text{امپدانس دیده شده از بیس } Q_1} = \frac{+200 \times (2k \parallel 2k)}{h_{ie} + (1+200)(2k \parallel 2k)} = \frac{200}{0.5 + 201} \approx 1$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\text{مقاومت خروجی} (-\beta)}{\text{امپدانس دیده شده از بیس } Q_1} = \frac{-200 \times 1k \parallel [0.5 + (1+200)(2k \parallel 2k)]}{0.5k + (1+200)(0.5k)} = \frac{-200}{100} = -2$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_{o1}} = 1 \times -2 = -2$$

مثال: $\frac{V_o}{V_{in}}$ در مدار زیر کدام است؟

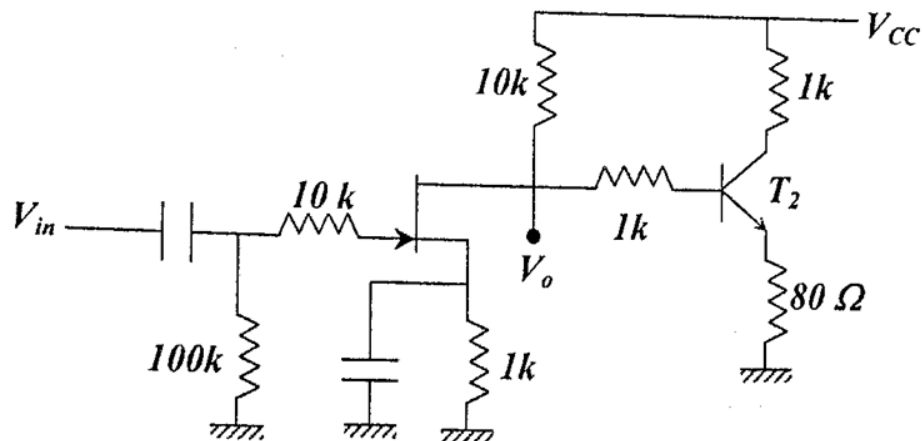


← تقویت کننده شامل Q_1 (C.S) و تقویت کننده شامل Q_2 (C.E) می باشد.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_{o1}} \times \frac{V_{o1}}{V_{in}}, \quad \frac{V_o}{V_{o1}} = \frac{-\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie} + (1 + \beta)R_{E2}} = \frac{-120 \times (20\text{ k} \parallel 20\text{ k})}{1\text{ k} + (121) \times 1} \approx -10$$

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{-g_m(R_D \parallel 6\text{ k})}{1} = -10 \times (30\text{ k} \parallel 6\text{ k}) = -200, \quad \frac{V_o}{V_{in}} = -10 \times -200 = 2000$$

مثال: در مدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



$$\beta = 100$$

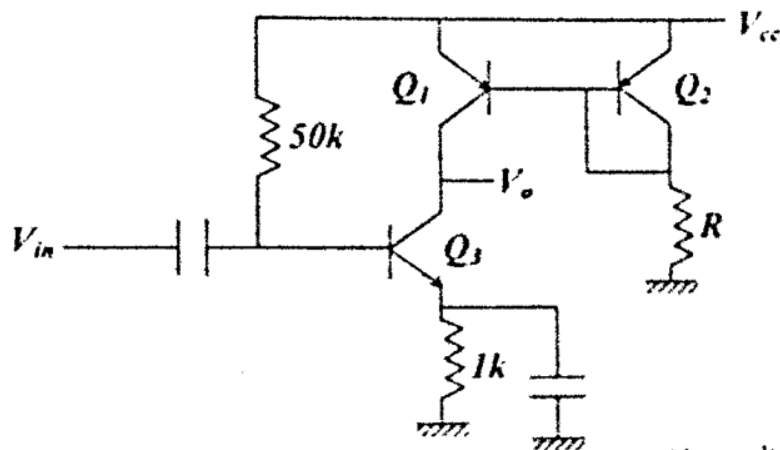
$$r_{\pi} = 1k$$

$$g_m = 10ms$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-g_m (10k \parallel (1k + r_{\pi} + (1 + \beta) \times 10k))}{1 + g_m (1k)}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -g_m (10k \parallel (1k + 1k + 11k)) = -10 \times 5 = -50$$

مثال: در مدار زیر مقدار $\frac{V_o}{V_{in}}$ کدام است؟



$$r_o = 50k$$

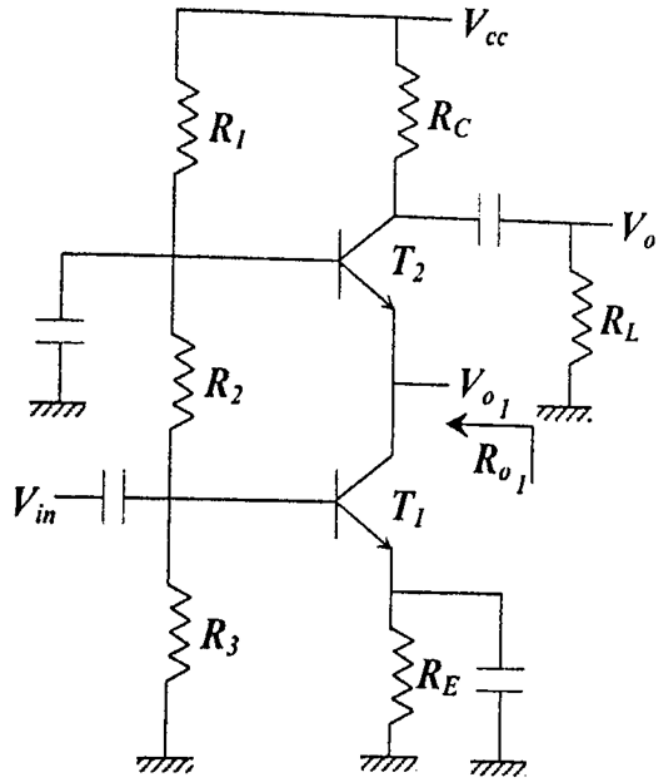
$$\beta = 100$$

$$h_{ie} = 2k$$

مدار شامل Q_3 با تقویت کننده C.E. با بار فعال می باشد.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-\beta (مقاومت خروجی)}{h_{ie_r}} = \frac{-\beta (r_{o1} \parallel r_{o2})}{h_{ie_r}} = \frac{-100 \times (50k \parallel 50k)}{2k} = -1250$$

تقویت کننده کاسکود آبشاری



همان طور که در بخش های قبلی گفته شده تقویت کننده بیس مشترک دارای پهنای باند زیادی می باشد و سیگنال های فرکانس بالا را به خوبی تقویت می کند اما تنها عیب آن این است که مقاومت ورودی این تقویت کننده کم می باشد و باعث از دست رفتن سیگنال ورودی می شود لذا جهت جبران این امر یک تقویت کننده امیتر مشترک با گین ۱- قبل از تقویت کننده بیس مشترک قرار می دهند که امپدانس ورودی زیاد شود. به این مجموعه یک تقویت کننده کاسکود آبشاری می گویند. لازم به ذکر است که از مشخصات این نوع تقویت کننده پهنای باند زیاد را می توان نام برد.

بیس مشترک: AV_r

امیتر مشترک: AV_1

$$AV = \frac{V_o}{V_{in}} = AV_1 \times AV_r, \quad AV_1 = \frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{-\beta (\text{مقاومت دیده شده از خروجی})}{\text{امپدانس دیده شده از بیس}}$$

$$AV_1 = \frac{-\beta R_{o1}}{h_{ie1}} = \frac{-\beta r_{e2}}{\beta r_{e1}} = -\frac{r_{e2}}{r_{e1}}, \quad I_{C1} = I_{C2} \Rightarrow r_{e1} = r_{e2} \Rightarrow AV_1 = -1$$

$$AV_r = \frac{\text{مقاومت دیده شده از خروجی}}{\text{مقاومت دیده شده از امیتر به سمت بیس}} = \frac{R_L \parallel R_C}{r_{e2}} = g_m (R_L \parallel R_C) \Rightarrow AV = -g_m (R_L \parallel R_C)$$

تقویت کننده کاسکود آشاری با استفاده از MOSFET

تقویت کننده سورس مشترک: T_1 تقویت کننده گیت مشترک: T_2

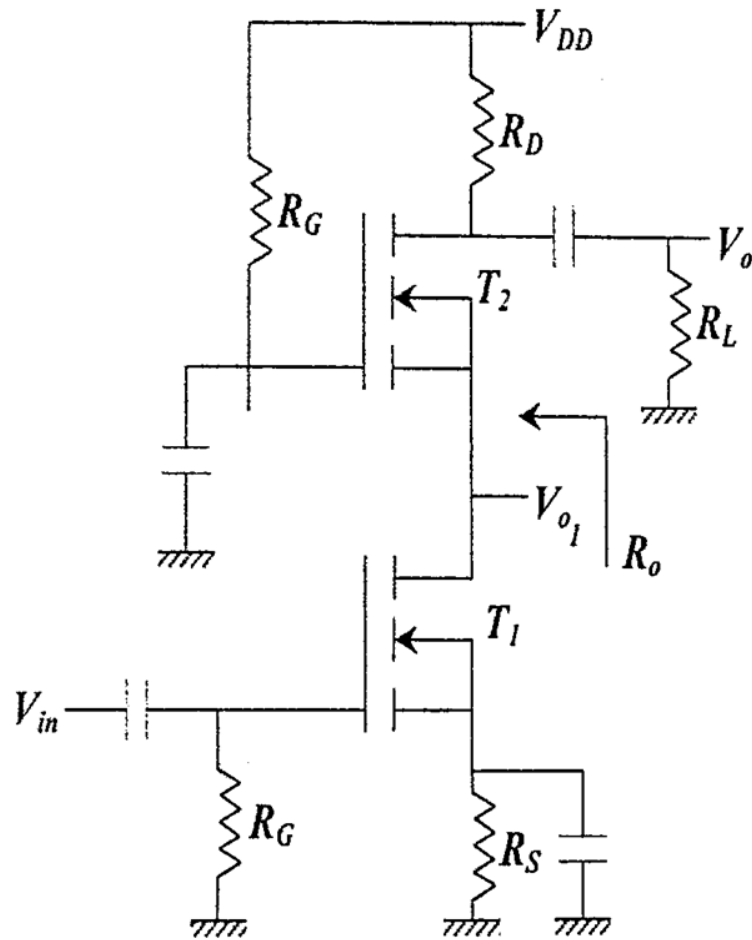
$$\Rightarrow R_o = \frac{1}{g_m} \quad R_o = r_{d1} \parallel \left[\frac{R_D + r_{d2}}{1 + \mu} \right] \approx r_{d2} \parallel \frac{1}{g_m}$$

$$AV = \frac{V_o}{V_{in}} = AV_1 \times AV_2$$

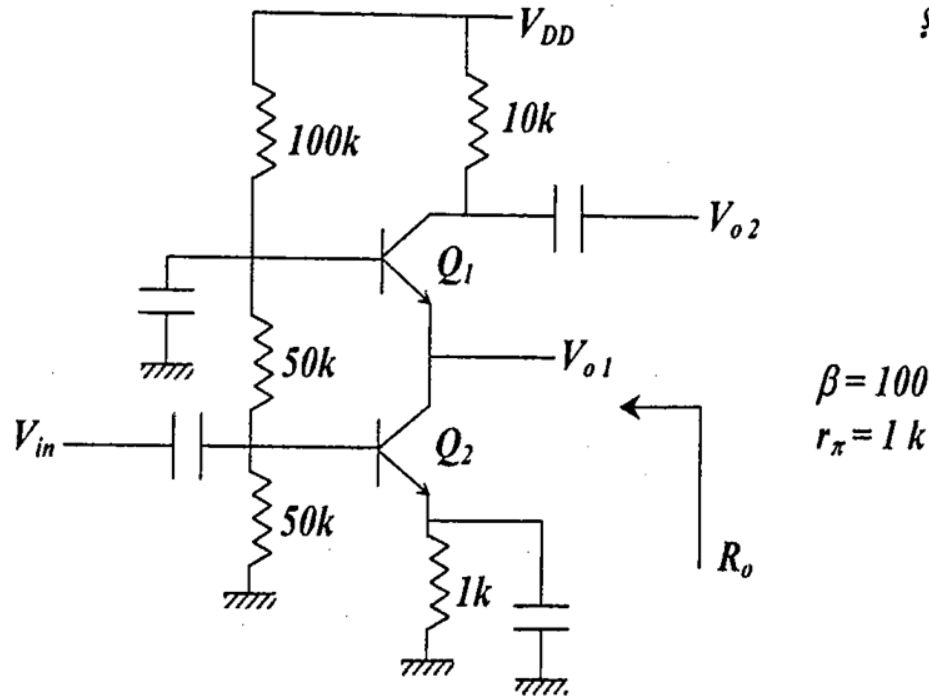
$$AV_1 = \frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{-g_m(R_o)}{1 + g_m(\text{مقاومت سورس})} = \frac{-g_m(\frac{1}{g_m})}{1 + 0 \times g_m}$$

$$\Rightarrow AV_1 = -g_m \times \frac{1}{g_m} = -1$$

$$AV_2 = +g_m (\text{مقاومت دیده شده از خروجی}) = +g_m(R_D \parallel R_L) \Rightarrow AV = -g_m(R_L \parallel R_D)$$



مثال: $\frac{V_o}{V_{in}}$ و $\frac{V_{o2}}{V_{o1}}$ و $\frac{V_{o1}}{V_{in}}$ به ترتیب کد/مند؟



$$\beta = 100$$

$$r_{\pi} = 1k$$

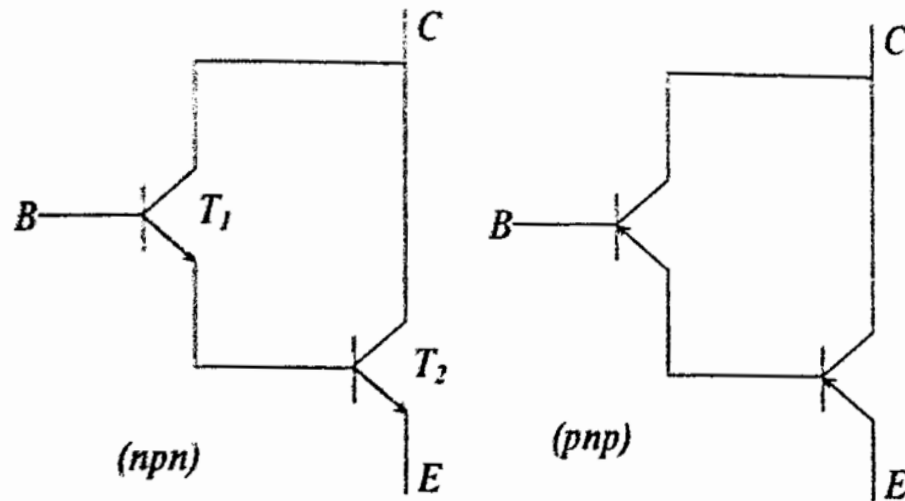
تقویت کننده شامل Q_1 (C.B) و تقویت کننده شامل Q_2 (C.E) می باشد و کل مدار یک کاسکود آبشاری

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} (C.E) = \frac{-\beta R_o}{h_{ie_r}} \quad R_o = \frac{h_{ie_1}}{1+\beta} \approx r_{e1} = 10\Omega \Rightarrow \frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{-100 \times 10}{1k} \approx -1$$

است.

$$\frac{V_{o2}}{V_{o1}} (C.B) = +\frac{R_{c1}}{r_{e1}} = \frac{10k}{10} = 1000 \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_{o2}}{V_{o1}} \times \frac{V_{o1}}{V_{in}} = 1000 \times -1 = -1000$$

زوج دارلینگتون



از اتصال امیتر یک ترانزیستور به بیس دیگری همزمان با اتصال کلکتورهای آنها به یکدیگر زوج دارلینگتون تشکیل می‌شود. زوج دارلینگتون به دو صورت (npn) و (pnp) می‌باشد که به صورت زیر است.

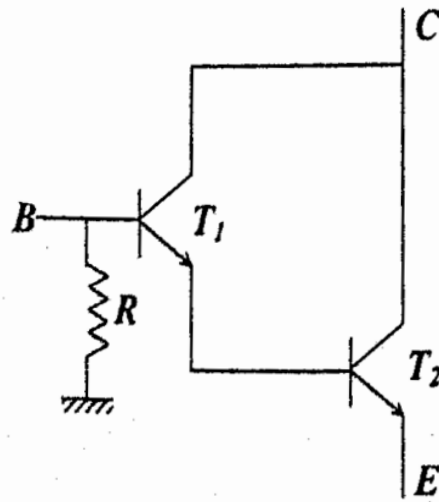
۱) تحلیل DC دارلینگتون

$$I_{E_1} = I_{B_2} \Rightarrow I_{E_1} = \frac{I_{E_2}}{1 + \beta} \Rightarrow I_{E_2} = (1 + \beta) I_{E_1}$$

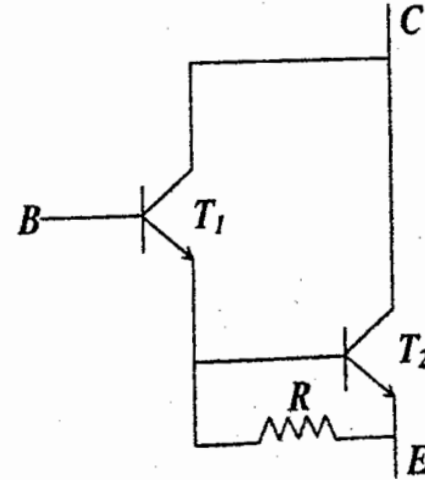
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} \Rightarrow r_{e_1} = (1 + \beta) r_{e_2} \Rightarrow h_{ie_1} = (1 + \beta) h_{ie_2} \quad , \quad \beta_T = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2 \approx \beta_1 \cdot \beta_2$$

لذا زوج دارلینگتون به صورت یک T_r واحد می‌باشد که دارای $(\beta_T = \beta_1 \cdot \beta_2)$ است.

لذا دیده می شود که ضریب تقویت جریان در زوج دارلینگتون به شدت زیاد است. بنابراین با کوچکترین جریان تزریقی به B_1 این مجموعه ترانزیستور on می شود. اگر بیس ترانزیستور اولی یعنی T_1 باز باشد جریان I_{CEO} از T_1 می گذرد که به عنوان جریان بیس وارد T_2 می شود و ممکن است که T_2 را روشن کند لذا از دو روش زیر برای جلوگیری از روشن شدن نابجای T_2 در اثر I_{CEO} استفاده می شود.



«الف»



«ب»

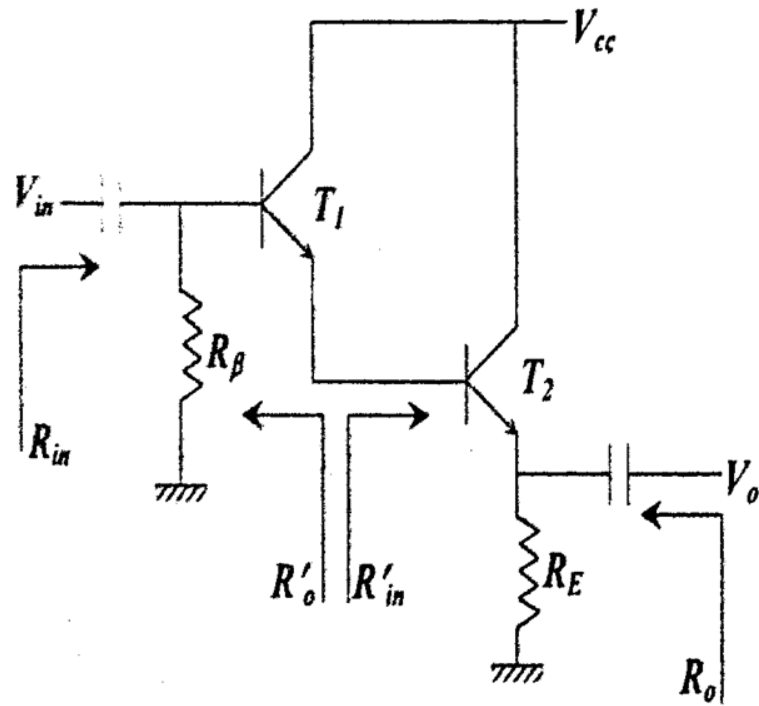
در مدار (الف) با وجود مقاومت (Pull Down) یعنی مقاومت R ولتاژ بیس T_1 زمین شده است و جریان I_{CEO} عبوری از T_1 کاهش یافته است لذا جریان بیس T_2 نیز کم شده است. در مدار (ب) مقاومت R باعث عدم عبور I_{CEO} از بیس T_2 می شود و ایجاد ثبات حرارتی

$$R = \frac{V_{BE}(T_2)}{I_{CQ}(T_1)}$$

برای نقطه کار T_2 می شود. مقدار تقریبی R از فرمول روبرو به دست می آید:

مزیت دیگر R در مدار (ب) افزایش سرعت on و off شدن T_2 می باشد.

۲) تحلیل ac زوج دارلینگتون



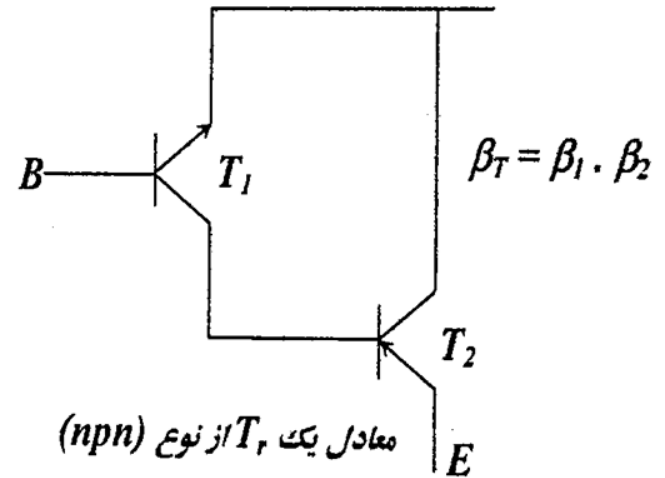
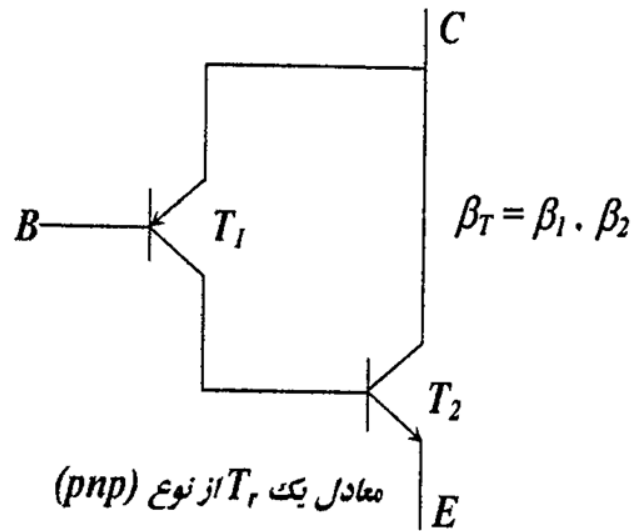
لازم به ذکر است که در هنگام احتساب R_o و R'_o باید منبع ورودی یعنی V_{in} زمین شود. با توجه به تحلیل‌های انجام شده در زیر دیده می‌شود که مقاومت ورودی بسیار زیاد و مقاومت خروجی بسیار کم می‌باشد. همچنین با توجه به نوع تقویت کننده که کلکتور مشترک است گین ولتاژ تقریباً یک می‌باشد.

$$R'_{in} = h_{ie_2} + (1 + \beta) R_E, \quad R'_o = \frac{h_{ie_1}}{1 + \beta} \approx r_{e_1}, \quad R_o = R_E \parallel \left[\frac{h_{ie_2} + R'_o}{1 + \beta} \right] = R_E \parallel \left[\frac{h_{ie_2} + r_{e_1}}{1 + \beta} \right]$$

$$R_{in} = R_B \parallel [h_{ie_1} + (1 + \beta) R'_{in}] = R_B \parallel [h_{ie_1} + (1 + \beta) (h_{ie_2} + (1 + \beta) R_E)]$$

زوج فیدبک

از اتصال یک T_r از نوع (npn) و یک ترانزیستور به صورت (pnp) زوج فیدبک ساخته می شود.



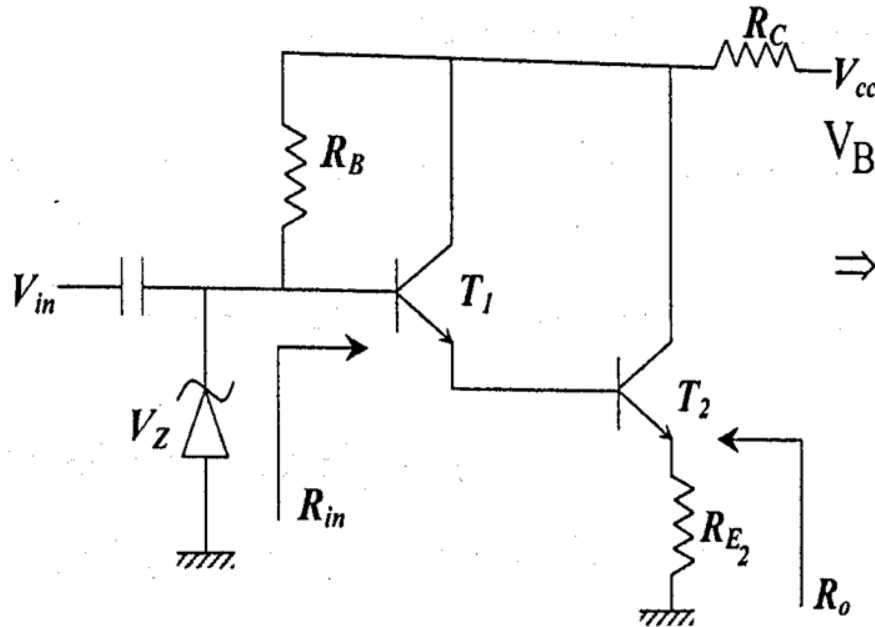
لازم به ذکر است که امپدانس ورودی زوج فیدبک در مقایسه با زوج دارلینگتون کمتر است.

زوج فیدبک به همراه زوج دارلینگتون در یک تقویت کننده پوش پول برای افزایش قدرت جریان دهی مورد استفاده قرار می گیرند.

همچنین این دو المان جهت ساخت بافرها با مشخصات مناسب نیز کاربرد دارند.

مثال: در مدار زیر توان تلفاتی در T_1 و T_2 و R_o و R_{in} را محاسبه کنید؟

پاسخ: ☒



$$V_{B1} = V_Z, V_{B2} = V_Z - V_{BE1} = V_{E1}, V_{E2} = V_Z - 2V_{BE1}$$

$$\Rightarrow V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_C(I_{C1} + I_{C2}) \quad I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta}$$

$$P_{T2} = V_{CE2} \cdot I_{C2} =$$

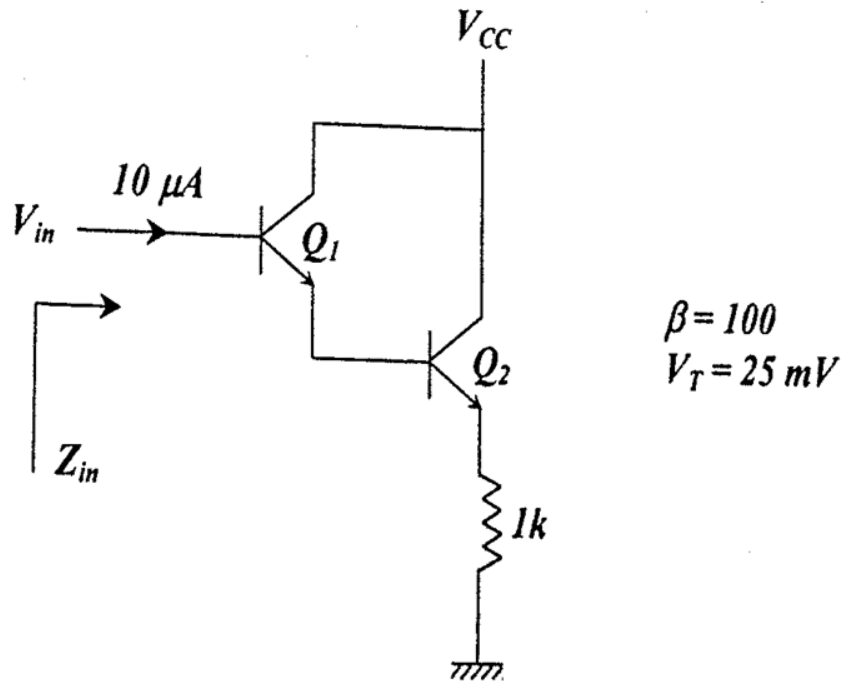
$$[V_{CC} - R_C(I_{C1} + I_{C2})] - (V_Z - 2V_{BE1}) \cdot I_{C2}$$

$$P_{T1} = V_{CE1} \cdot I_{C1}$$

$$= [V_{CC} - R_C(I_{C1} + I_{C2})] - (V_Z - V_{BE1}) \cdot I_{C1}$$

$$R_o = R_{E2} \parallel \left[\frac{h_{ie2} + \frac{h_{ie1}}{1 + \beta}}{1 + \beta} \right], \quad R_{in} = R_B \parallel [h_{ie1} + (1 + \beta)[h_{ie2} + (1 + \beta)R_{E2}]] \approx R_B \parallel \beta^2 \cdot R_E$$

مثال: در مدار زیر Z_{in} کدام است؟



$$R_{in} = h_{ie_1} + (1 + \beta)h_{ie_2} + (1 + \beta)(1 + \beta)R_E$$

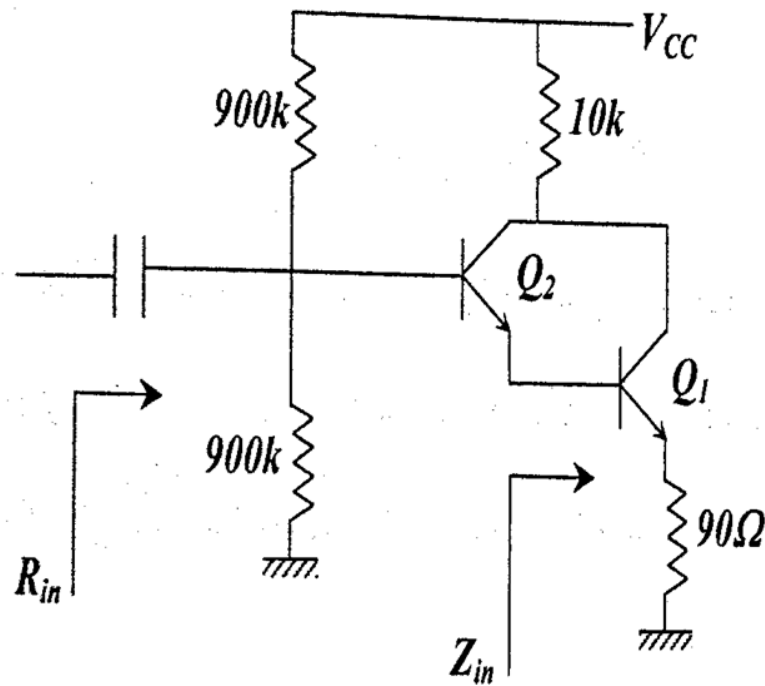
$$h_{ie_1} = \frac{\beta V_T}{I_{E_1}}, \quad I_{E_1} = (1 + \beta)I_B = 10 \mu\text{A} \times 101 \approx 1 \text{ mA} \Rightarrow h_{ie_1} = \frac{100 \times 25 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

$$I_{E_1} = I_{B_2} \Rightarrow I_{E_2} = (1 + \beta)I_{B_2} = 10.1 \times 1 \text{ mA} \approx 10.1 \text{ mA} \Rightarrow h_{ie_2} = \frac{100 \times 25 \text{ mV}}{10.1 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

$$R_{in} = h_{ie_1} + (1 + \beta)h_{ie_2} + (1 + \beta)(1 + \beta)R_E$$

$$\Rightarrow R_{in} = 2.5 \text{ k}\Omega + (101) \times 250 + (101)(101) \times 1 \text{ k} = 10.1 \text{ M}\Omega \Rightarrow R_{in} = 10.1 \text{ M}\Omega$$

مثال: مقدار دقیق امپدانس ورودی کدام است؟



$$\beta = 100$$

$$r_{\pi 1} = 1 \text{ k}$$

$$R_{in} = 900 \text{ k} \parallel 900 \text{ k} \parallel (h_{ie_2} + (1 + \beta)Z_{in})$$

$$Z_{in} = h_{ie_1} + (1 + \beta) \cdot 90 \Omega = 1 \text{ k} + 90 \Omega = 1.09 \text{ k} \quad , \quad R_{in} = 450 \text{ k} \parallel (h_{ie_2} + (1 + \beta) \cdot 1.09 \text{ k})$$

$$h_{ie_2} = (1 + \beta)h_{ie_1} = 100 \times 1 \text{ k} = 100 \text{ k} \Rightarrow R_{in} = 450 \text{ k} \parallel (100 \text{ k} + 100 \cdot 1.09 \text{ k}) = 450 \text{ k} \parallel (100 \text{ k} + 109 \text{ k}) = 450 \text{ k} \parallel (209 \text{ k}) = 132 \text{ k}$$