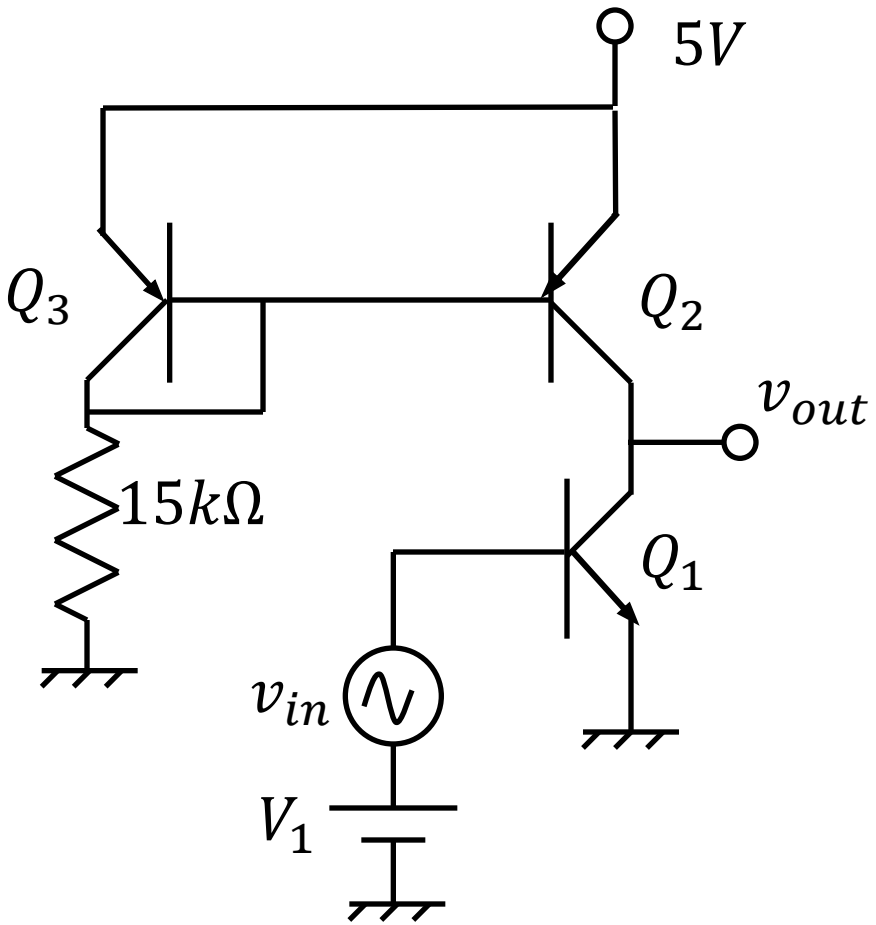
BJT集積回路設計

- 個別BJT回路で適切にバイアスし、大きな利得を得るには大きなC_Eが必要
- 結合キャパシタも大きい

集積回路では

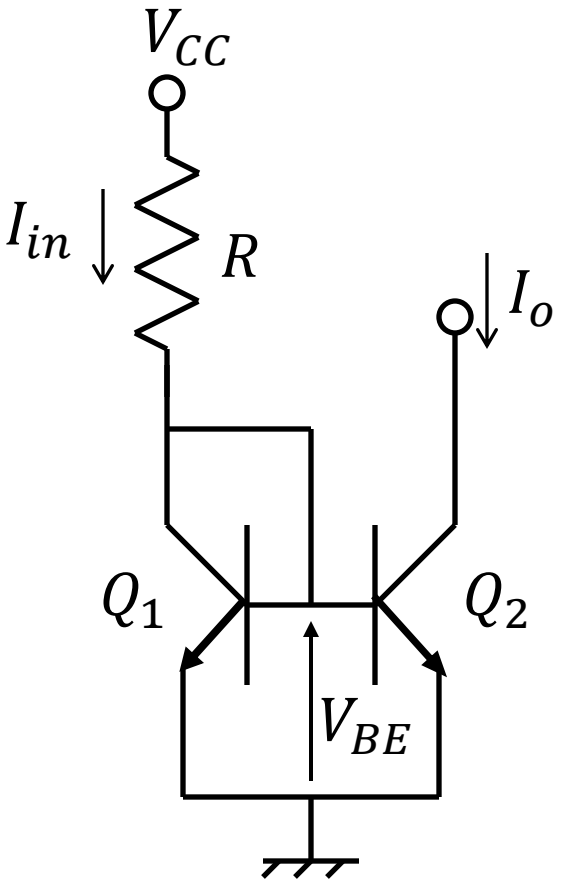
- 電流ミラーによるバイアス
- 差動増幅回路‥‥(次回)

能動負荷をもつ増幅回路



1. 利得
2. 遮断周波数

単純電流ミラー



$$I_{E1} = I_{E2} = I_{E0} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_{E0}}{1+\beta} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$I_{in} = I_{C1} + 2I_B = (2+\beta) I_B$$

一方

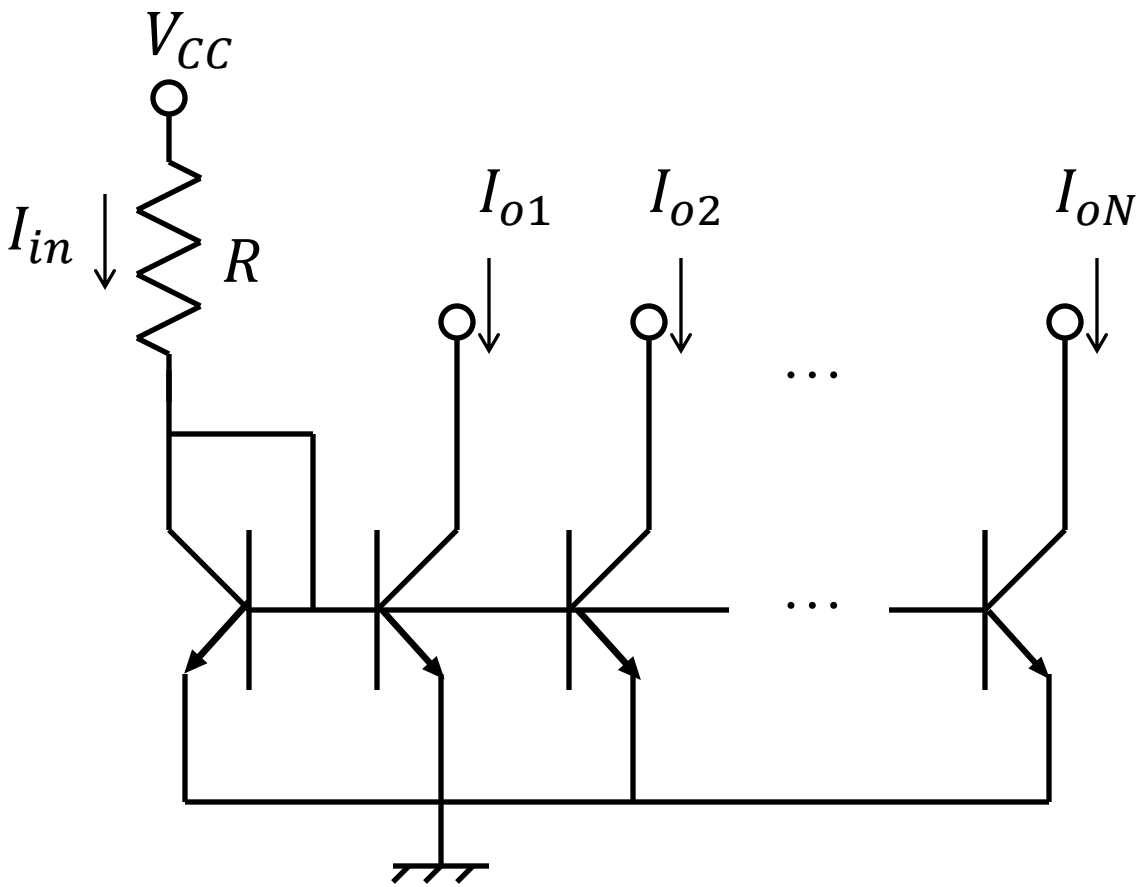
$$I_{in} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

$$I_o = I_{C2} = \beta I_B = \frac{\beta}{2+\beta} I_{in}$$

V_{C2}が高くなるとEarly効果

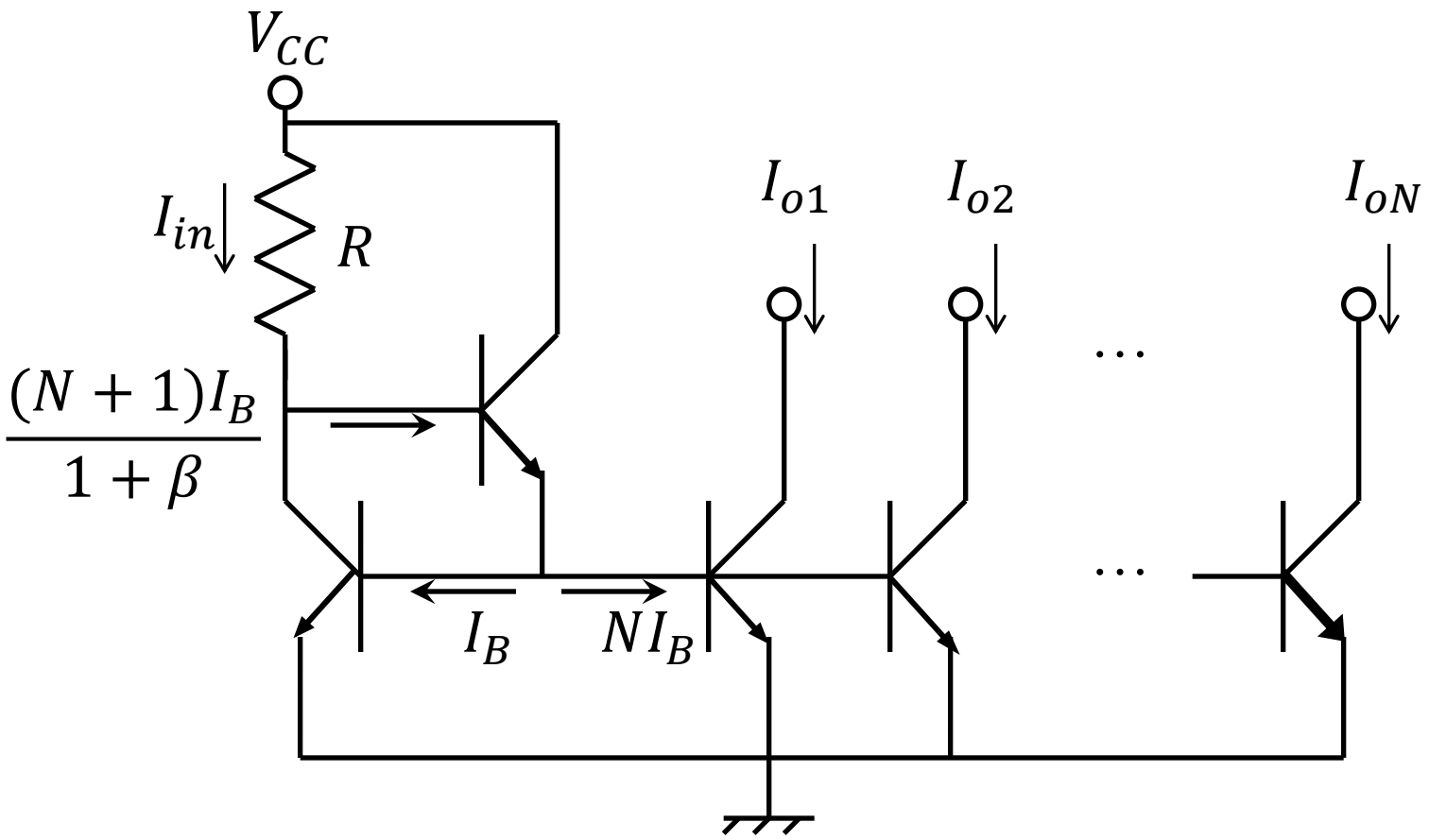
$$I_C = \beta I_B \left(1 + \frac{V_{CB}}{V_A}\right)$$

複数出力電流ミラー

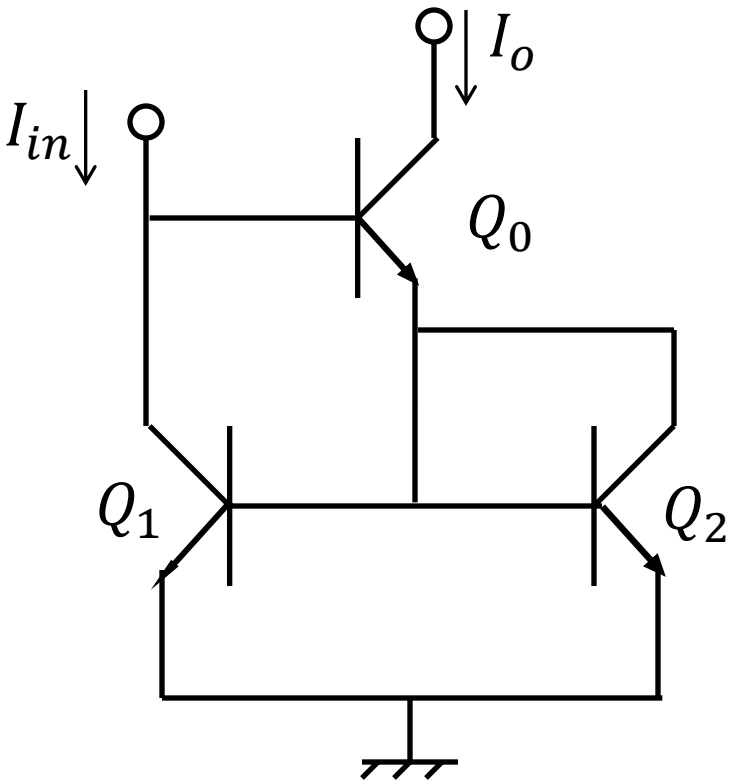


$$I_o = \frac{\beta}{1 + N + \beta} I_{in}$$

複数出力電流ミラーの改良



Wilsonの電流ミラー



$$V_{BE1} = V_{BE2}$$
$$V_{CE1} = V_{BE1} + V_{BE0}$$
$$V_{CE2} = V_{BE1}$$

Q_0のコレクタが高電圧点に接続されてもQ_1とQ_2は0に近いC-E間電圧で動作
出力抵抗が単純電流ミラーのβ/2倍

能動負荷を用いる高利得増幅

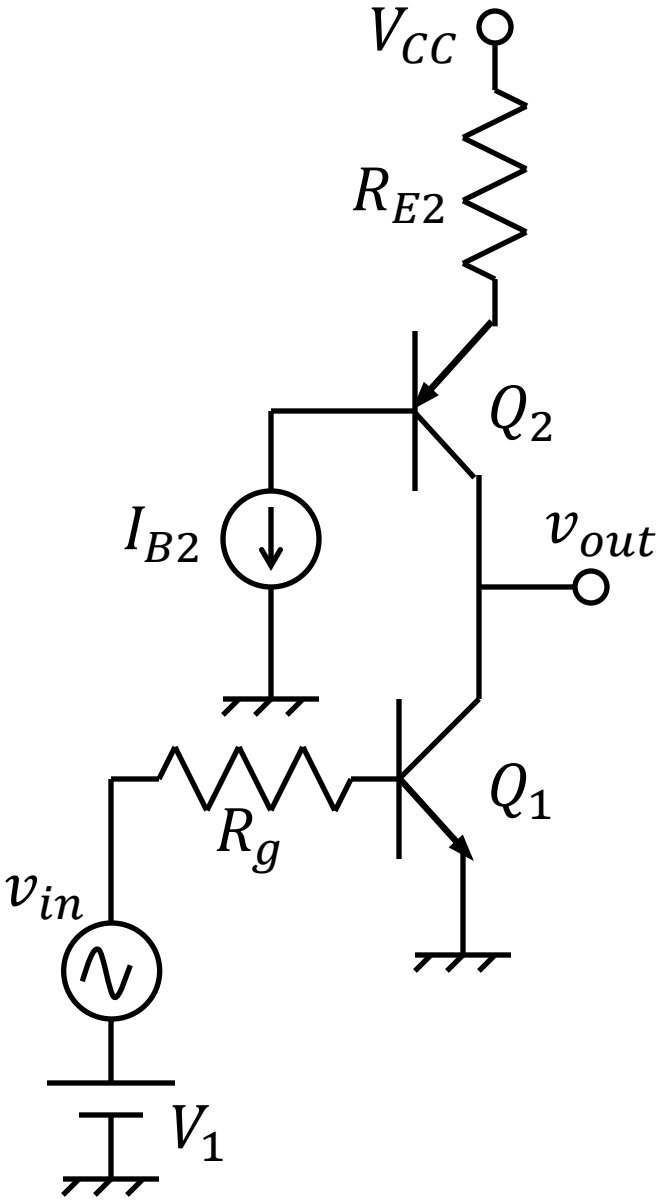
エミッタ共通増幅回路の中域利得

$$A_v = \frac{-\alpha R_C}{r_e + R_E}$$

直流バイアスも関係し、利得を大きくできない

$$R_C \Rightarrow \text{能動負荷} \begin{cases} \text{直流では低抵抗} \\ \text{変化分には高抵抗} \end{cases}$$

電流源負荷



$k\Omega$代のR_{E2}があればQ_2のコレクタから見た抵抗は$500k\Omega$ 以上にでき無視できる

$$A_v = -\frac{\beta r_{ce1}}{R_g + r_{\pi 1}}$$

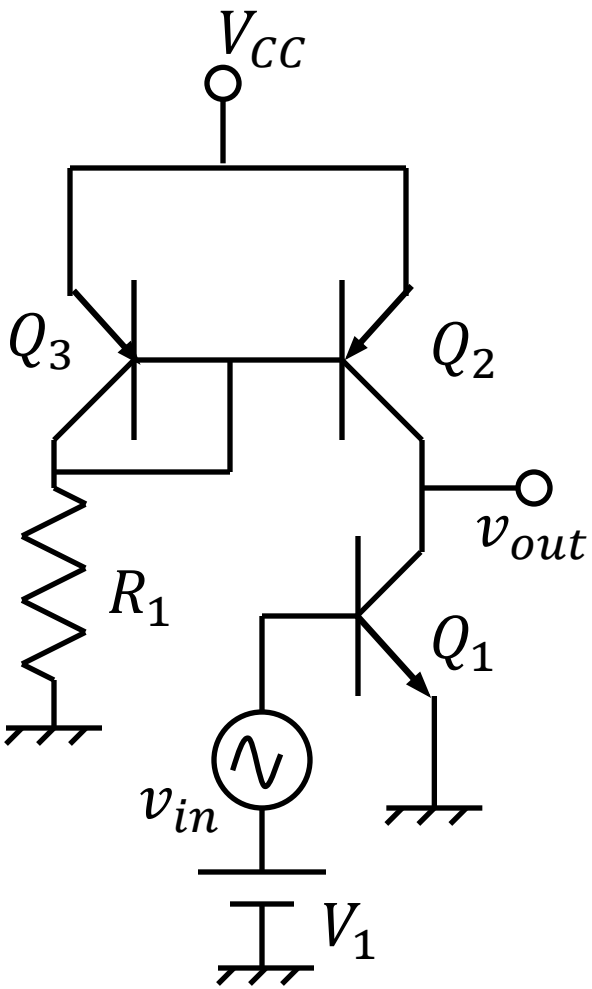
r_{ce1}はQ_1の出力抵抗

R_gが小さくて無視できれば

$$A_v = -\frac{r_{ce1}}{r_{e1}} = \frac{(V_A + V_{CQ1})/I_C}{V_T/I_E} \cong \frac{V_A + V_{CQ1}}{V_T}$$

次段が負荷になるとしても1000倍程度が可能

電流ミラー負荷

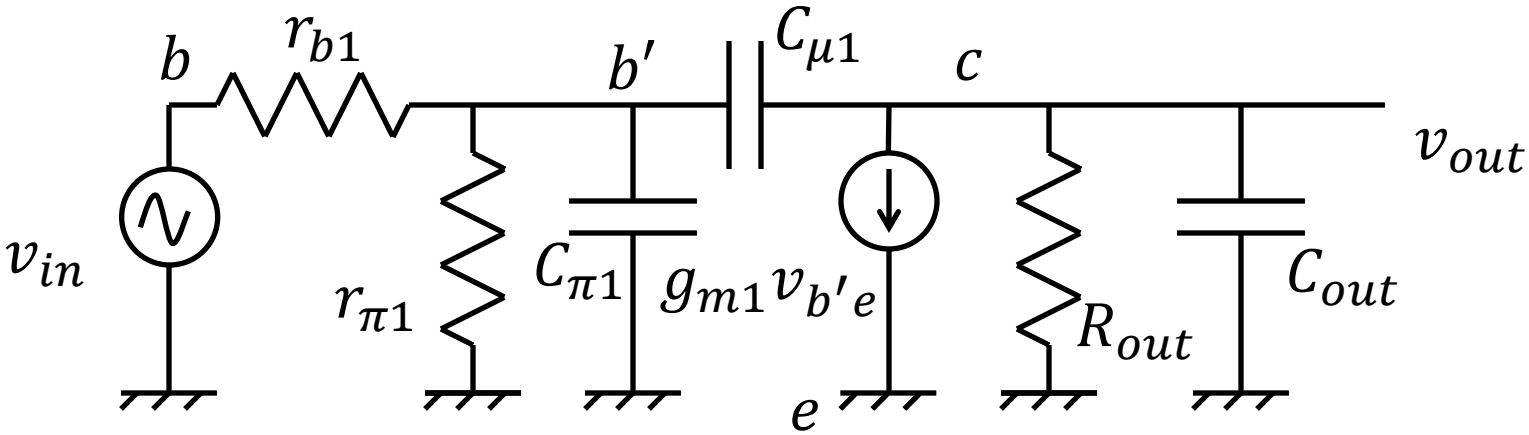


電流ミラーの出力抵抗を無視できない

$$A_v = -\frac{\beta R_{out}}{r_{b1} + r_{\pi 1}}$$

$$R_{out} = r_{o1} // r_{o2} = r_{ce1} // r_{ce2}$$

高域特性



ミラー効果　$C_{in} = C_{\pi1} + (1 + g_{m1}R_{out})C_{\mu1}$

$$f_{in-h} = \frac{1}{2\pi C_{in}R_{in}} \qquad R_{in} = r_{b1} \parallel r_{\pi1}$$

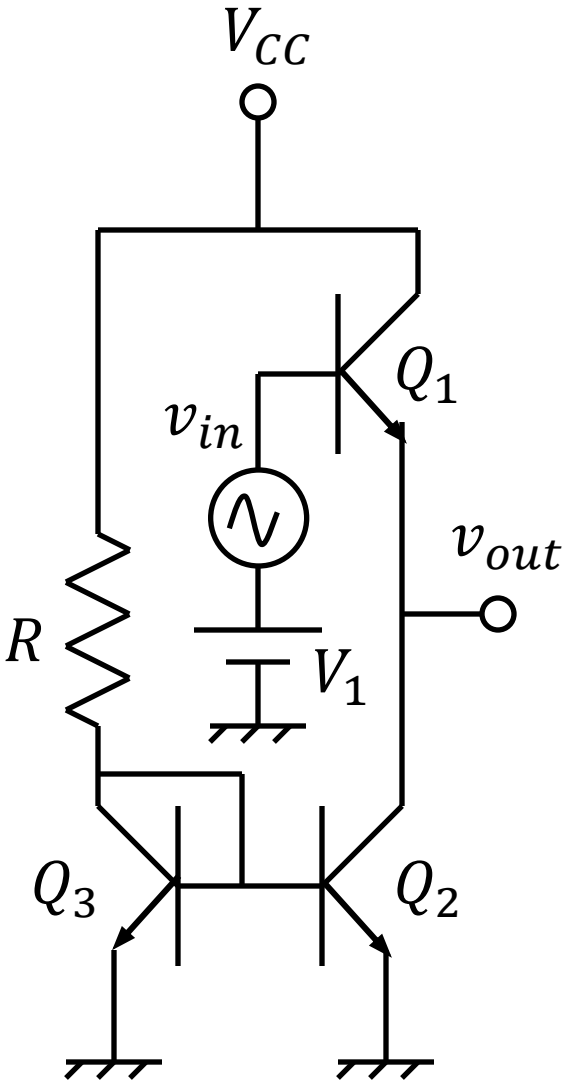
出力容量　$C_{out} = C_{\mu1} + C_{\mu2} + C_{cs1} + C_{cs2}$

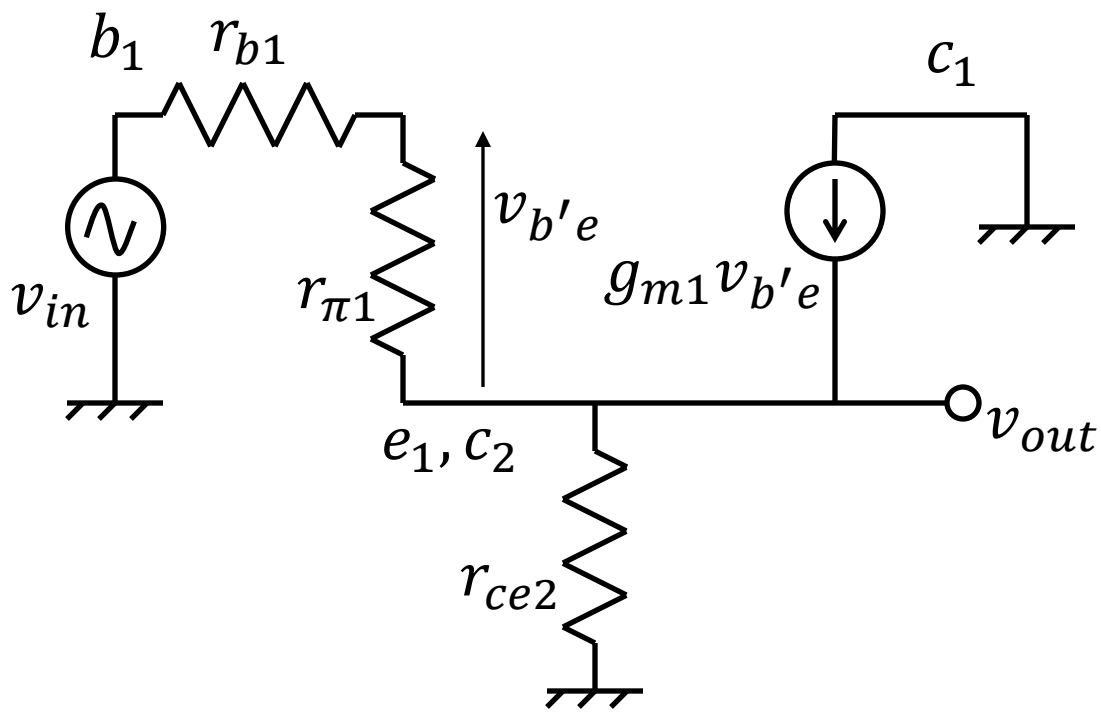
$$f_{out-h} = \frac{1}{2\pi C_{out}R_{out}}$$

全体としての高域遮断周波数f_2は

$$\left[1 + \left(\frac{f_2}{f_{in-h}}\right)^2\right]\left[1 + \left(\frac{f_2}{f_{out-h}}\right)^2\right] = 2$$ より求める

エミッタフォロア

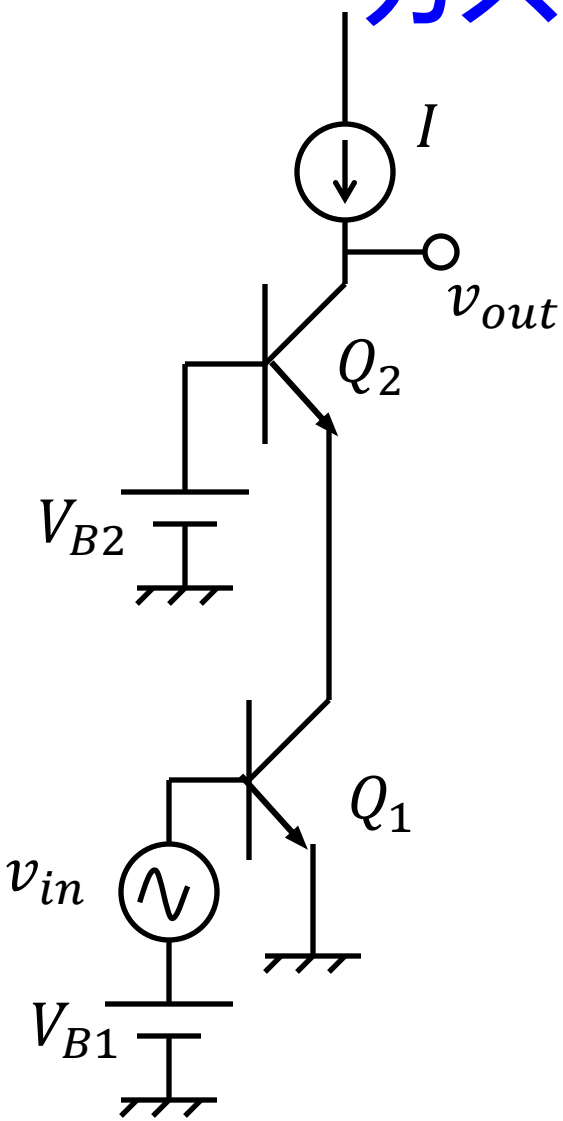




中域利得

$$A_v = \frac{(1 + g_{m1}r_{\pi 1})r_{ce2}}{r_{b1} + r_{\pi 1} + (1 + g_{m1}r_{\pi 1})r_{ce2}}$$

カスコード増幅回路



- Q_1の負荷抵抗は大体$r_{e2} = \frac{V_T}{I_{E2}}$
- Q_1の電圧利得は小さくMiller効果はきかない
- Q_2はベース共通回路でC_μの先はグラウンドとなっており、Miller効果はきかない

中域利得

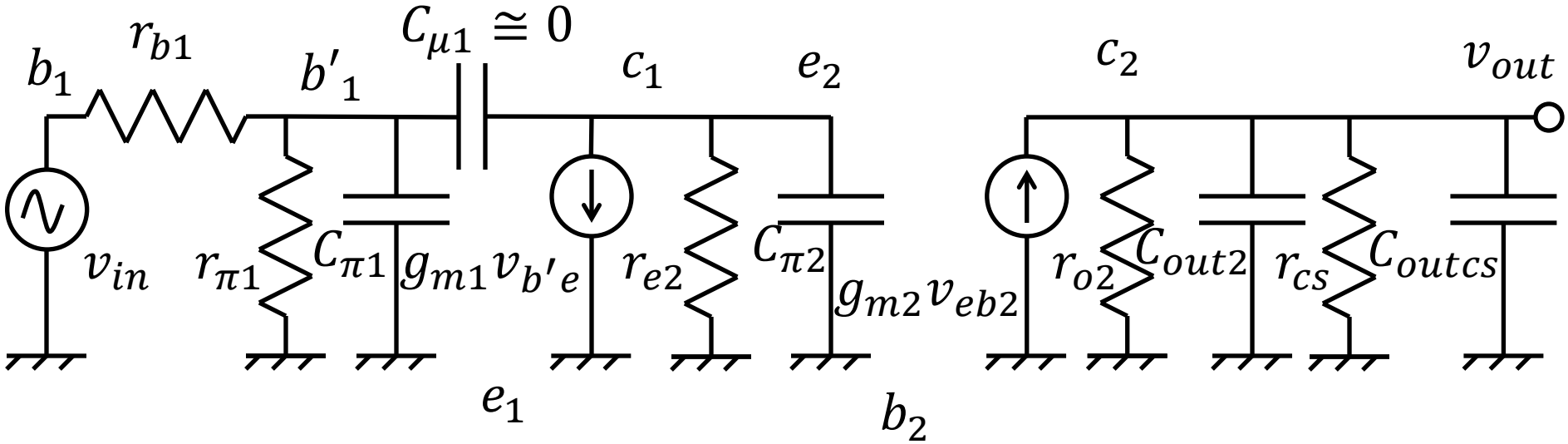
$$i_{b1} = \frac{v_{in}}{r_{b1} + r_{\pi 1}}$$

$$i_{c2} = \alpha_2 i_{e2} = \alpha_2 i_{c1} = \beta_1 \alpha_2 i_{b1}$$

$$v_{out} = -i_{c2} r_{o2} \parallel r_{cs} = -\frac{\beta_1 \alpha_2 r_{o2} \parallel r_{cs}}{r_{b1} + r_{\pi 1}} v_{in}$$

$$r_{o2} \cong \beta_2 r_{ce2}$$

高域特性

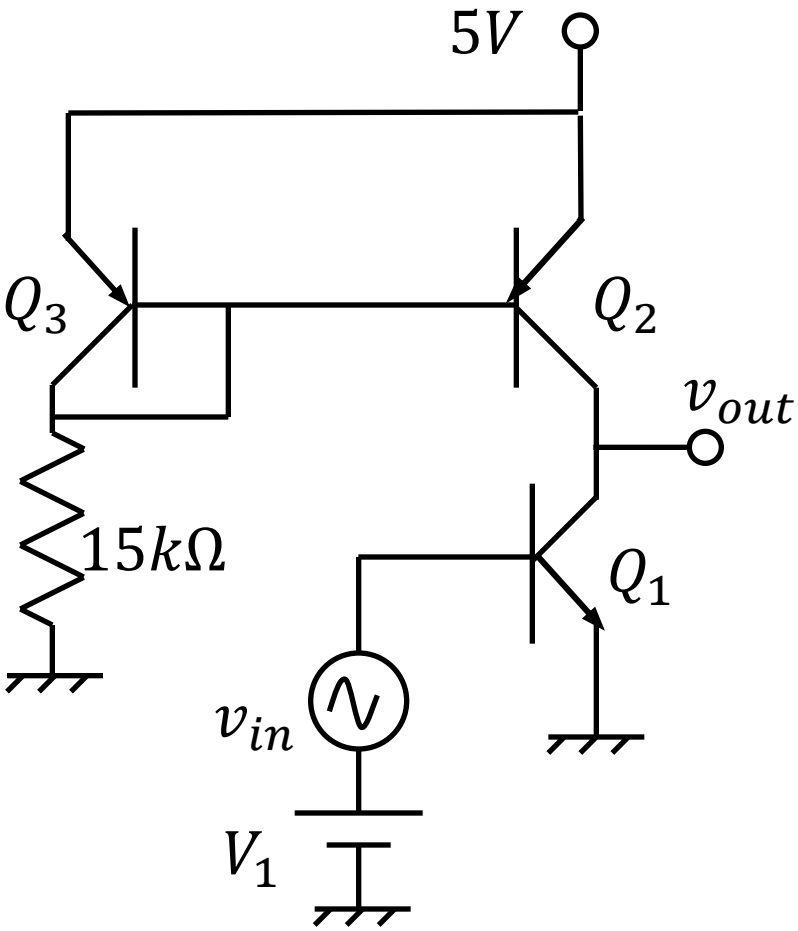


$$A = A_{MB}\frac{1}{1 + j\omega C_{\pi1}(r_{\pi1} \parallel r_{b1})}\frac{1}{1 + j\omega C_{\pi2} r_{e2}}\frac{1}{1 + j\omega C_{out} R_3}$$

$$R_3 = r_{o2} \parallel r_{cs}$$

$$C_{out} = C_{out2} + C_{outcs}$$

宿題8



Q_1, Q_2のコレクタ電流が$290\mu A$
となるようにバイアスされている。
Q_1, Q_2, Q_3のパラメータは
$\beta_1 = 130, r_{b1} = 50\Omega, r_{ce1} = 68k\Omega,$
$C_{\pi 1} = 10pF, C_{\mu 1} = 0.5pF,$
$r_{ce2} = 68k\Omega, C_{\mu 2} = 0.6pF,$
$C_{cs1} = C_{cs2} = 1pF$
とする。

1. 中域利得を求めよ
2. 高域遮断周波数を求めよ

次回は

「差動対と演算増幅器」