線形電子回路中間試験

平成 23 年 11 月 29 日 (火) 西原

1. 図 1 の減算回路において、演算増幅器の入力インピーダンスは ∞，出力インピーダンスは 0 とする。
   (a) 演算増幅器が有限利得 A をもつとして、出力 v_0 を求めよ。
   (b) $A = \dfrac{A_0}{1 + j\omega/\omega_0}$ としたとき $\frac{v_0}{v_1}|_{v_2=0}$ の高域遮断周波数を求めよ。
   (c) 演算増幅器の周波数特性は同相利得には影響しないことを簡単に説明せよ。

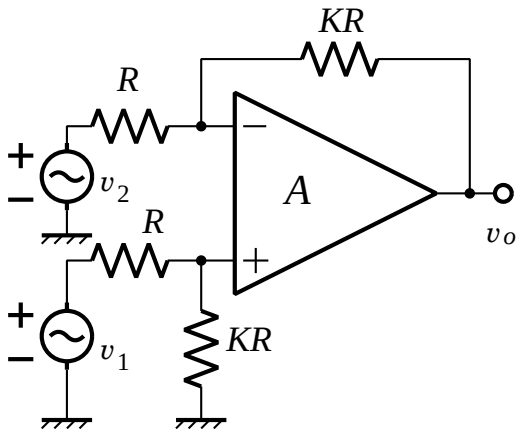


図 1 減算回路

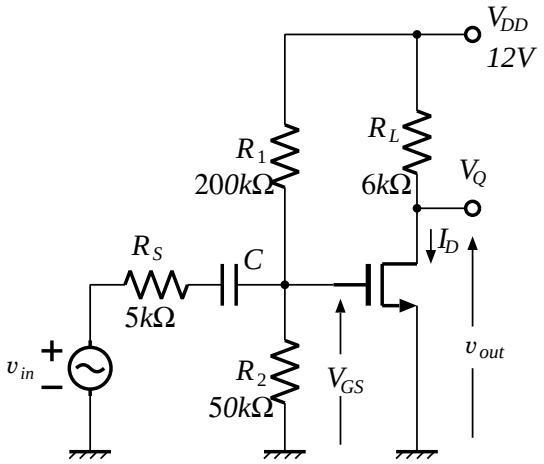


図 2 増幅回路

2. 図 2 の増幅回路で、MOSFET の特性は $I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2$、$K = 0.5mA/V^2$、 $V_{TH} = 0.8V$、$\lambda = 0$ とする。また、ゲート–ドレイン間に $C_{gd} = 1pF$ があるものとする。
   (a) ドレイン電流 I_D を求めよ。
   (b) 出力端子の直流電圧 V_Q を求めよ。
   (c) 相互コンダクタンス g_m を求めよ。
   (d) 中域での小信号等価回路を描け。
   (e) 中域での小信号電圧利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を求めよ。
   (f) 高域遮断周波数を求めよ。
3. 図 3 の増幅回路において、トランジスタは直流においては、ナレータ・ノレータでモデル化でき、$V_{BE} = 0.7V$ とする。小信号においては、図 4 のモデルで表されるとする。C_E のインピーダンスは十分小さいとして良い。
   (a) 中域における電圧利得が -100 となるように R_C の値を定めよ。
   (b) そのときの V_C を求め、トランジスタが順方向能動領域にあることを確かめよ。
   (c) 高域遮断周波数 f_{ch} を求めよ。
   (d) 低域遮断周波数 f_{cl} が $50Hz$ となるように C_1 の値を定めよ。

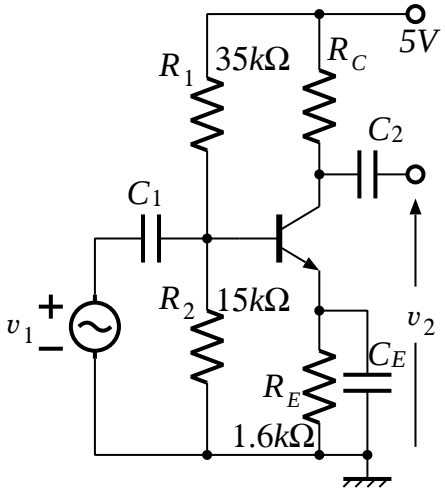
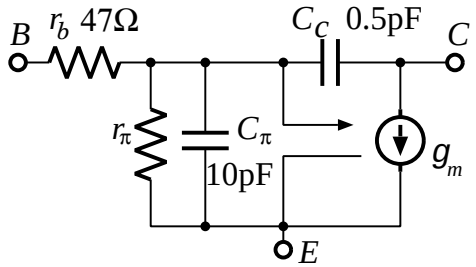


図 3 トランジスタ増幅回路



$r_e = \frac{V_T}{I_E}, V_T = 26mV, r_\pi = \frac{r_e}{1-\alpha_0}$
$\alpha_0 = 0.99, g_m = \frac{\alpha_0}{r_e}$

図 4 小信号トランジスタモデル

4. バイポーラジャンクショントランジスタ (BJT) は二つの pn 接合が背中合わせに接続された構造である。しかし pn 接合ダイオードを二つ背中合わせに半田付けして 3 端子回路を作ってもトランジスタとして動作しない理由を簡単に述べよ。

線形電子回路中間試験

平成 22 年 12 月 14 日 (火) 西原、庄野

1. 図 1 の逆相増幅回路において、

   (a) 中域利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を求めよ。信号源の内部抵抗 R_g は中域利得にどのように影響を与えるか?

   (b) 演算増幅器の差動利得を $\frac{2.4M}{jf}$(GB 積が $2.4MHz$) とするとき、この増幅回路の高域遮断周波数を求めよ。信号源の内部抵抗 R_g は高域遮断周波数にどのように影響を与えるか?

2. 図 2 の正相増幅回路において、1. の (a)(b) を繰り返せ。

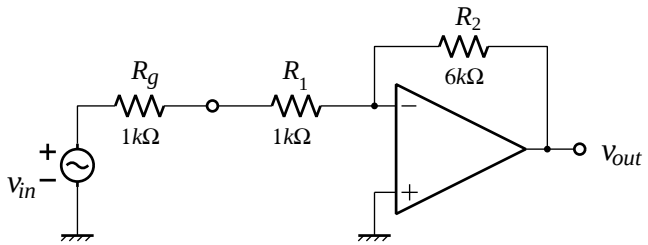


図 1 逆相増幅回路

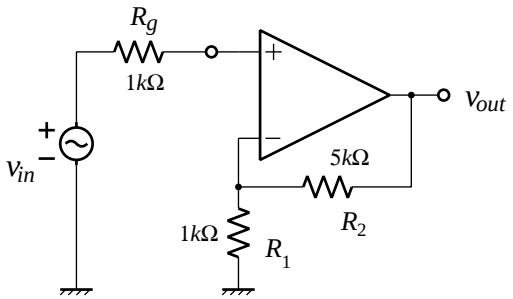


図 2 正相増幅回路

3. 図 3 の増幅回路において、MOSFET は能動領域 (飽和領域) にあり、$I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2, K = 1.6mA/V^2$, $V_{TH} = 1.0V$ とする。$\lambda = 0(r_d = \infty)$ とし、ボディー効果は無視できるものとする。

   (a) ソースの直流電位が $4V$ となるように R_1 の値を定めよ。

   (b) そのときの中域利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を求めよ。

   (c) そのときの低域遮断周波数を求めよ。

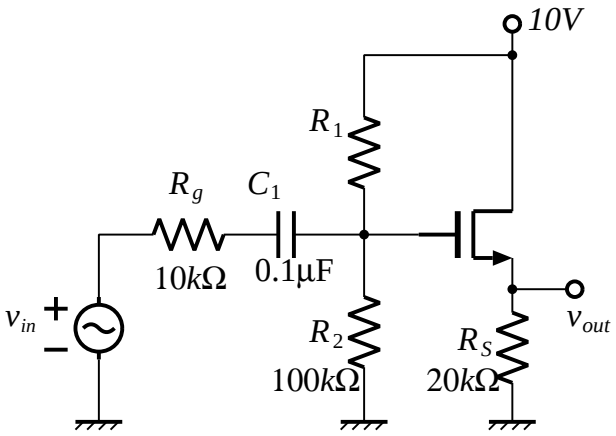


図 3 ソースフォロワ増幅回路

4. ダイオードの電圧-電流特性を折れ線近似でモデル化する方法を 3 種類挙げて，それぞれの電圧-電流特性を描き、簡単に説明せよ。

線形電子回路中間試験

平成 21 年 12 月 15 日 (火) 西原

1. 図 1 の回路で、演算増幅器は理想的 (ナレータ・ノレータモデル) とする。

   (a) 電圧利得 $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ を R_1, R_2, R_3, R_4 を用いて表せ。

   (b) 抵抗 $R_1 = 1k\Omega, R_2 = 10k\Omega$ とし、電圧利得 $A_v = -1000$ となるように抵抗 R_3, R_4 を決めたい。

      i. $R_4 = \infty$(開放) である場合、R_3 はいくらにすれば良いか?

      ii. $R_4 = 1k\Omega$ である場合、R_3 はいくらにすれば良いか?

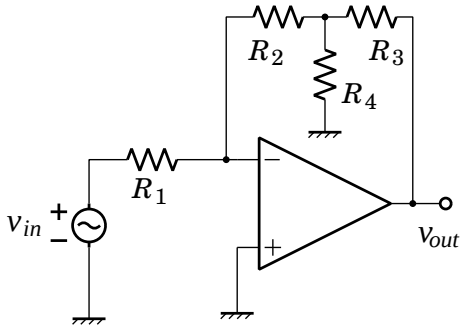


図 1 演算増幅器回路

2. 図 2 の増幅回路において、トランジスタの大信号 (DC) および小信号 (AC) モデルは図 3(a) および (b) とする。C_E の容量は大きく、信号周波数に対してそのインピーダンスは十分小さいとする。

   (a) トランジスタの各電極の直流電圧を求めよ。

   (b) 中域利得 $A_0 = \frac{v_2}{v_1}$ を求めよ。

   (c) 高域遮断周波数 f_{ch} を測定したら 1MHz であった。C_π の値を求めよ。その際 $\frac{1}{\omega C_c} \gg R_C$ と仮定してよいが、その仮定を用いた場合はそれが成立つことを後で確かめよ。

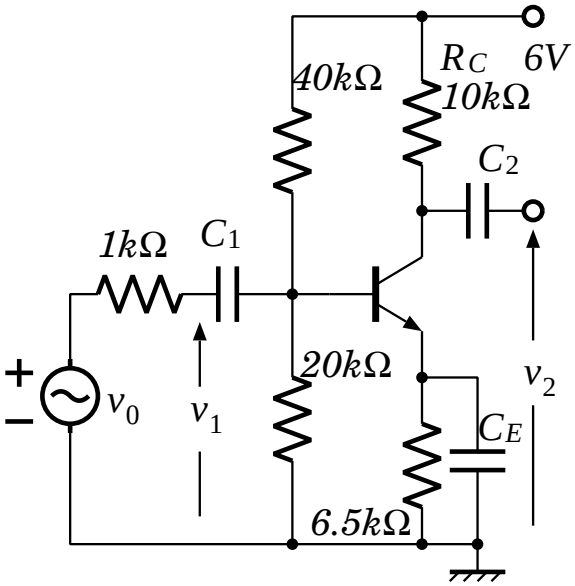
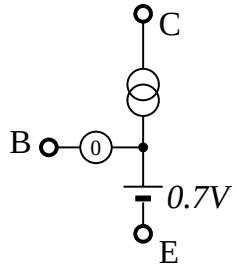
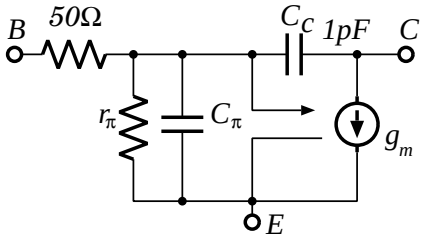


図 2 増幅回路



(a)DC



$$r_e = \frac{V_T}{I_E}, V_T = 26mV, r_\pi = \frac{r_e}{1-\alpha_0}$$
$$\alpha_0 = 0.99, g_m = \frac{\alpha_0}{r_e}$$

(b)AC

図 3 トランジスタモデル

3. 電子回路の解析において、直流動作点解析と小信号解析に (例えば図 3 の (a) と (b) のように) 異なるトランジスタモデルを用いることが多い。1 種類のトランジスタモデルのみを用いるのでは不都合な点を、(1) エバース・モルモデルのみ、(2) 図 3(a) のみ、(3) 図 3(b) のみ、の 3 通りの場合について述べよ。

線形電子回路中間試験

平成 20 年 12 月 16 日 (火) 西原

1. 図 1 の演算増幅器回路について答よ。

   (a) 演算増幅器を理想的として、出力電圧 v_0 を入力電圧 v_1, v_2 を使って表せ。

   (b) 演算増幅器の差動利得が $A = \dfrac{200,000}{1+jf/10}$ であるとき、高域遮断周波数を求めよ。

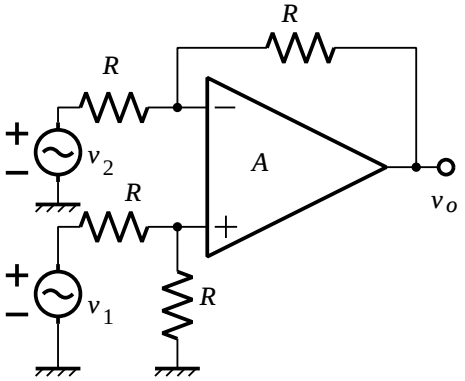


図 1 演算増幅器回路

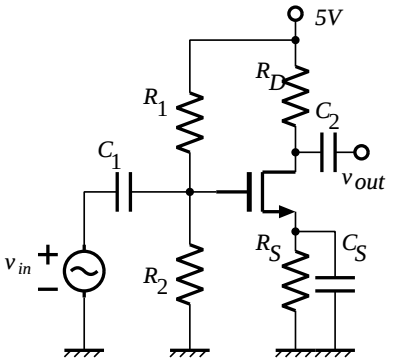


図 2 MOSFET 増幅回路

2. 図 2 の増幅回路で、MOSFET の直流ドレイン電流 I_D は $I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2$ とする。ただし $K = 5 \times 10^{-4} S/V, V_{TH} = 1.2V$ とする。小信号では MOSFET はドレイン–ソース間の $g_m v_{gs}$ の電流制御電流源のみでモデル化でき、$r_d = \infty$ とする。また各 C は信号分に対して十分インピーダンスが小さいとする。

   (a) $R_1 = 60k\Omega, R_2 = 40k\Omega$ として、V_G を求めよ。

   (b) $g_m = \dfrac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = 0.4mS$ となる I_D を求めよ。

   (c) 前問の I_D となるように R_S を定めよ。

   (d) 電圧利得が $A = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -10$ となるように R_D を定めよ。

   (e) 抵抗値は前問までのままとし、MOSFET のパラメータ K が 2 倍となったとき、電圧利得を求めよ。

3. 図 3 の増幅回路について答えよ。ただしトランジスタの大信号動作はナレータ・ノレータでモデル化できるとし、$V_{BE} = 0.7V$ とする。小信号では、$r_b = 50\Omega, r_e = \dfrac{V_T}{I_E}, \beta = 99$ とし、$V_T = 26mV$ とする。また各 C は信号分に対して十分インピーダンスが小さいとする。

   (a) トランジスタの各電極の接地から計った直流電圧を求めよ。

   (b) 電圧利得 $A = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ を求めよ。

   (c) 入力インピーダンス $Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}}$ を求めよ。

   (d) 出力インピーダンス $Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}}$ を求めよ。

   (e) v_{in} として、周波数が $1kHz$ で peak-to-peak 電圧が $10mV$ の正弦波を加えたとき、V_{E1}, V_{E2}, V_{C2} の電圧波形の概略を描け。

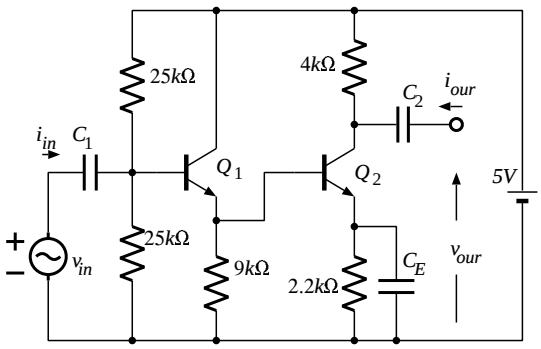


図 3 BJT2 段増幅回路

4. ナレータを 1 個単独で含み、ノレータを含まない回路は、解 (各部の電圧や電流等) に矛盾を生じる可能性があることを、任意の回路例を用いて説明せよ。

線形電子回路中間試験問題

平成 19 年 12 月 4 日 (火) 西原

1. 理想演算増幅器と 159.2pF のキャパシタをそれぞれ複数個使ってよく、また抵抗は任意の値のものを任意の個数使用してよいとして、$A = \dfrac{100}{(1+jf/10^4)(1+jf/10^5)}$ という利得をもつ増幅回路を設計せよ。

2. 図 1 のエミッタ共通増幅回路において、$I_C = I_E$ とし、また $r_b = 0, r_e = \dfrac{V_T}{I_C}, r_o = \dfrac{V_A}{I_C}$ とする。

   (a) 中域利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を、$R_g, R_C, \beta, r_e, r_o$ を用いて表せ。

   (b) 中域利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を、$R_g, R_C, \beta, V_T, V_A, I_C$ を用いて表せ。

   (c) 中域利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ を最大とする I_C を、$R_g, R_C, \beta, V_T, V_A$ の関数として求めよ。

   (d) 小さな I_C と大きな I_C において中域利得が低下する理由を述べよ。

   (e) $R_g = R_C = 10k\Omega, \beta = 100, V_T = 26mV, V_A = 130V$ のとき、利得を最大にする I_C を求めよ。そのとき R_C による直流電圧降下はいくらか?

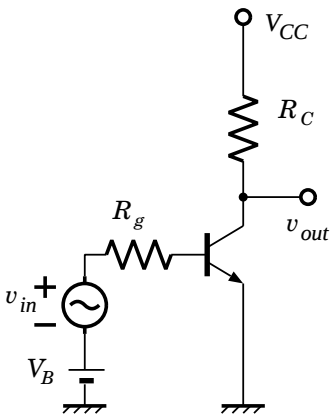


図 1 エミッタ共通増幅回路

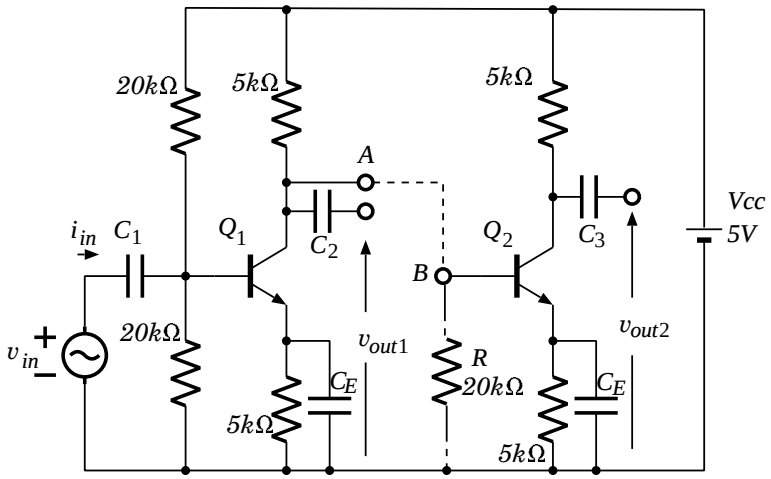


図 2 2 段トランジスタ増幅回路

3. 図 2 の増幅回路において、トランジスタの小信号パラメータは、$V_T = \dfrac{kT}{q} = 26mV, \alpha = 0.99, r_b = 200\Omega, r_c = \infty$ とする。また C_1, C_2, C_3 と C_E との容量は大きく、信号周波数に対してそのインピーダンスは十分小さいとする。

   (a) トランジスタ Q_1 の各電極の電位 V_B, V_E, V_C を求めよ。ただしトランジスタをナレータ・ノレータモデルで表し、$V_{BE} = 0.7V$ とする。

   (b) 中域利得 $A_{v1} = \frac{v_{out1}}{v_{in}}$ を求めよ。ただし、点線部分は切り離されているとする。

   (c) 破線のように端子 A と B を接続したところ (一点鎖線の抵抗 R は接続しない)、正常に動作しなかった。理由を述べよ。

   (d) 破線のように端子 A と B を接続し、さらに一点鎖線のように抵抗 R も接続した。このときの V_{C1}, V_{E2}, V_{C2} を求めよ。

   (e) この状態で総合の中域利得 $A_{v2} = \frac{v_{out2}}{v_{in}}$ を求めよ。

4. 利得が $-A$ の反転増幅器の入出力端子間に接続されたキャパシタ C は、入力側では接地との間に $(1+A)C$ があるように見えること (ミラー効果) を説明せよ。一方、出力側ではキャパシタンスが増大して見えるようなことはないことを示せ。