

東京大学大学院工学系研究科 電気工学・電子工学専攻 入試
平成 19 年 物理 第 4 問

(1)

内部抵抗 r_d と電流源 $g_m v_{gs}$ の並列接続を、内部抵抗 r_d と電圧源 $-r_d g_m v_{gs}$ の直列接続にすれば良い。
(図略)

電圧源と電流源の変換

電流源は、理想電流源 i と内部抵抗 r の並列接続からなる。電圧源は、理想電圧源 v と内部抵抗 r の直列接続からなる。 $v = -ri$ のとき、これらは等価である。

(2)

(図略)

(3)

(3-1)

差動回路

(3-2)

トランジスタ T1 の DS 間に流れる電流を i_1 、トランジスタ T2 の DS 間に流れる電流を i_2 とする。小信号等価回路より、

$$r_d g_m v_1 = R_s (i_1 + i_2) + (r_d + R_L) i_1$$

$$r_d g_m v_2 = R_s (i_1 + i_2) + (r_d + R_L) i_2$$

$$v_3 = -R_L i_1$$

$$v_4 = -R_L i_2$$

が得られる。したがって、

$$r_d g_m v_{in} = (r_d + R_L) (i_2 - i_1)$$

$$v_{out} = -R_L(i_2 - i_1)$$

であり、

$$v_{out} = -\frac{R_L r_d g_m}{r_d + R_L} v_{in}$$

$$\therefore A = -\frac{R_L r_d g_m}{r_d + R_L}$$

別解

大信号も含めた解法。

トランジスタ T1 の GS 間の電圧を v_{gs1} 、DS 間に流れる電流を I_1 とすると、

$$v_{gs1} = v_1 + V_1 - R_S(I_1 + I_2)$$

同様に、トランジスタ T2 の GS 間の電圧を v_{gs2} 、DS 間に流れる電流を I_2 とすると、

$$v_{gs2} = v_2 + V_1 - R_S(I_1 + I_2)$$

$$\therefore v_{gs1} - v_{gs2} = v_1 - v_2 = v_{in}$$

各トランジスタの S 端子から電源までの電位差は等しいので、

$$(R_L + r_d)I_1 - r_d g_m v_{gs1} = (R_L + r_d)I_2 - r_d g_m v_{gs2}$$

$$\therefore I_1 - I_2 = \frac{r_d g_m}{R_L + r_d} (v_{gs1} - v_{gs2})$$

出力電圧は、

$$\begin{aligned} v_{out} &= v_3 - v_4 \\ &= (r_d I_1 - r_d g_m v_{gs1}) - (r_d I_2 - r_d g_m v_{gs2}) \\ &= r_d (I_1 - I_2) - r_d g_m (v_{gs1} - v_{gs2}) \\ &= r_d \frac{r_d g_m}{R_L + r_d} (v_{gs1} - v_{gs2}) - r_d g_m (v_{gs1} - v_{gs2}) \\ &= -\frac{R_L r_d g_m}{R_L + r_d} v_{in} \end{aligned}$$

$$\therefore A = -\frac{R_L r_d g_m}{R_L + r_d}$$

(3-3)

傾き A の線形なグラフになる。(グラフ略)

(4)

(2) の 4 式より、

$$r_d g_m v_{in} = (2R_S + r_d + R_L)(i_1 + i_2)$$

$$v_{out} = -R_L(i_1 + i_2)$$

$$\therefore v_{out} = -\frac{R_L r_d g_m}{2R_S + r_d + R_L} v_{in}$$

$$\therefore A' = -\frac{R_L r_d g_m}{2R_S + r_d + R_L}$$

(5)

A' の方が分子が大きいので、絶対値で考えると、

$$|A'| \leq |A|$$

統合が成立するのは、 $R_S = 0$ の時である。

(6)

v_1 と v_2 を逆位相の電圧とし、その差を信号として扱うことで同相ノイズを除去できる。たとえば同相ノイズ Δv_n が信号電圧に加わった場合、

$$v'_1 = v_1 + \Delta v_n$$

$$v'_2 = v_2 + \Delta v_n$$

であるが、その差をとると

$$v'_1 - v'_2 = (v_1 - v_2) + (\Delta v_n - \Delta v_n) = v_1 - v_2$$

として、同相ノイズを除去できる。