

第4回講義メモ

さて、前回は小信号等価回路にバックゲート効果を入れなかった。考慮に入れよう。

$$I_{DS} = \frac{\mu W C_{OX}}{2L} \left(V_{GS} - V_{th} + \frac{C_{dm}}{C_{OX}} V_{BS} \right)^2 \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right)$$

である。

$$i_{ds} = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} v_{gs} + \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{DS}} v_{ds} + \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{BS}} v_{bs}$$

$$\text{となるが、 } i_{ds} = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} v_{gs} + \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{DS}} v_{ds} + \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{BS}} v_{bs} = g_m v_{gs} + g_{ds} v_{ds} + g_{mb} v_{bs}$$

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = \frac{\mu W C_{OX}}{L} \left(V_{GS} - V_{th} + \frac{C_{dm}}{C_{OX}} V_{BS} \right) \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right)$$

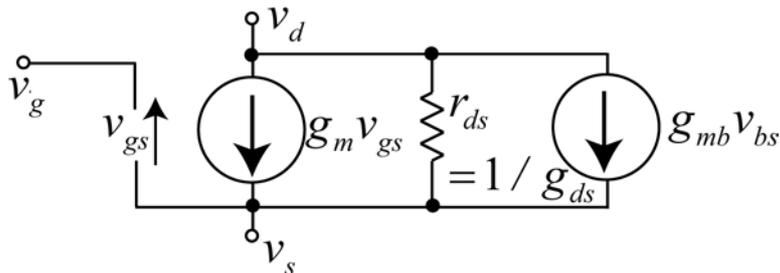
$$\text{とすると } \frac{2I_{DS}}{\left(V_{GS} - V_{th} + \frac{C_{dm}}{C_{OX}} V_{BS} \right)} = \frac{2I_{DS}}{V_{eff}} \quad \text{電流を使い、有効ゲート電}$$

圧 V_{eff} には、基板電位の変動分も含めて考えれば、変わらない。

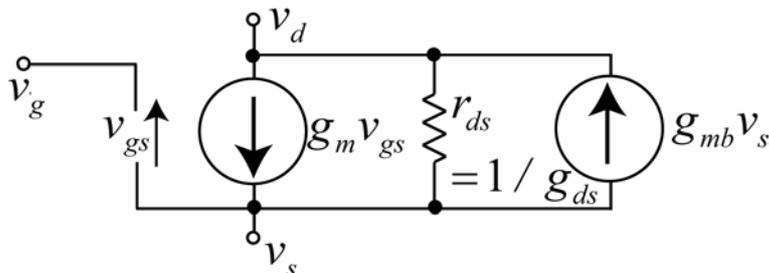
$$g_{mb} = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{BS}} = \frac{\mu W C_{OX}}{L} \frac{C_{dm}}{C_{OX}} \left(V_{GS} - V_{th} + \frac{C_{dm}}{C_{OX}} V_{BS} \right) \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right)$$

$$= \frac{2I_{DS}}{V_{eff}} \frac{C_{dm}}{C_{OX}} \sim g_m \frac{C_{dm}}{C_{OX}} \sim 0.2 g_m \quad \text{である。}$$

そこで、ここまで入れた小信号等価回路は、

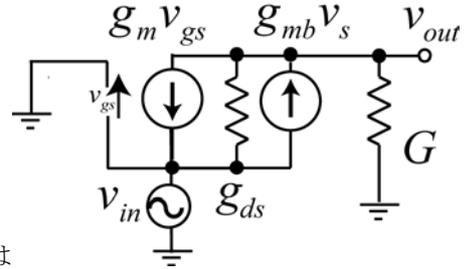
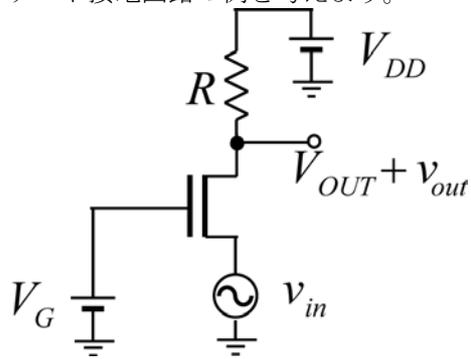


となる。ただし普通は基板電位はアースで、ソースの電位はそれより高くなるので、 $v_{bs} = -v_s$ であり、



$$\text{となる。 } i_{ds} = g_m v_{gs} + g_{ds} v_{ds} - g_{mb} v_s$$

ゲート接地回路の例を考えよう。



小信号回路は

電圧利得 A_V を求めよう。 $v_{in} = -v_{gs} = v_s$ なので、

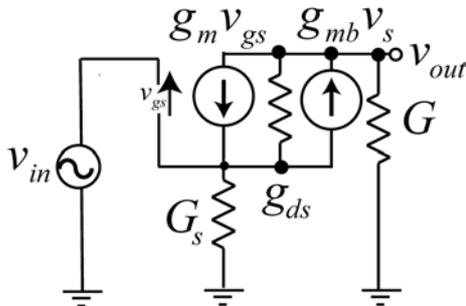
$$-v_{out}G = -g_m v_{in} + g_{ds}(v_{out} - v_{in}) - g_{mb} v_{in}$$

$$\text{整理して } (g_m + g_{ds} + g_{mb})v_{in} = (g_{ds} + G)v_{out}$$

$$\text{整理して } A_V = \frac{g_m + g_{ds} + g_{mb}}{G + g_{ds}}$$

次にソースディジェネレーション付ソース接地 (g_{ds}, g_{mb} 付) の A_V を求めよう。

小信号等価回路書いてみて



G_s の上の電位を v_s とする。

$$\text{電流から } g_m v_{gs} + g_{ds}(v_{out} - v_s) - g_{mb} v_s = -v_{out}G = v_s G_s$$

$$v_s = -v_{out} \frac{G}{G_s} \quad \text{これと } v_{gs} = v_{in} - v_s \text{ を代入して、}$$

$$g_m(v_{in} - v_s) + g_{ds}(v_{out} - v_s) - g_{mb} v_s = -v_{out}G$$

$$g_m v_{in} = (g_m + g_{ds} + g_{mb})v_s - (G + g_{ds})v_{out}$$

$$= -(g_m + g_{ds} + g_{mb})v_{out} \frac{G}{G_s} - (G + g_{ds})v_{out}$$

$$\text{整理して } A_V = \frac{-g_m}{G + g_{ds} + (g_m + g_{ds} + g_{mb}) \frac{G}{G_s}}$$

ここで、いままで回路の特徴として述べてきた電圧増幅率 A_V 以外に、入力インピーダンス Z_{in} と

出力インピーダンス Z_{out} という概念について考えよう。

いままで増幅は電圧だけについて行ってきた。しかし、実際には電力を増幅したい。ということは、電流も考えなければいけない。そこで、小信号回路において、入力と出力の電流を考えるのが入力インピーダンスと出力インピーダンスである。

まず入力インピーダンスである。小信号回路において、入力は電圧源で書いてきた。でも、電流も流れる。入力側からパワーが入ることからも当然である。この電圧/電流の比が入力インピーダンスである。電流が流れないほうが、同じ電圧振幅なら入力パワーが少なくても良い。従って入力インピーダンスは高いほど理想的である。

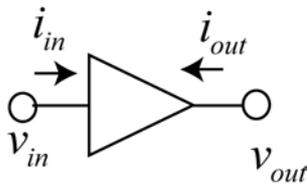
出力インピーダンスは、いままで出力点は電圧だけを見て、電流を取り出さなかったが、実際には電流は流れ出ていく。この電圧/電流の比が出力インピーダンスである。出力側からパワーを取り出すためにも当然である。同じ電圧振幅で取り出すパワーを大きくするためには、出力インピーダンスは小さい方が良い。

面倒なことに入力インピーダンス・出力インピーダンスの計算は複雑である。なぜなら入力にどのような負荷がつながるかで出力インピーダンスは変わり、出力にどのような負荷が加わるかで、入力インピーダンスが変わるからである。

いままで電圧増幅率は、入りに理想電圧源を、出力開放で求めてきた。

次にインピーダンスであるが、ここではまず、テブナンの定理に準じて、入出力につながる部分を電圧源と考え、ここを短絡として考えよう。(実際には、先にも示したようにほかの場合もある。)

もし、増幅器を下記のように書いたなら、

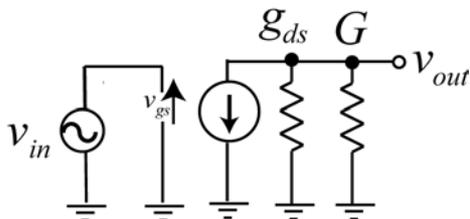


電圧増幅率は、 $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ ただし、入りに電圧源 v_{in} 、 $i_{out} = 0$ である。

入力インピーダンス $Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}}$ ただし、入りに電圧源 v_{in} 、 $v_{out} = 0$ である。

出力インピーダンス $Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}}$ ただし、出力に電圧源 v_{out} 、 $v_{in} = 0$ である。

ここで、この入力インピーダンスと出力インピーダンスをソース接地小信号回路で計算しよう。



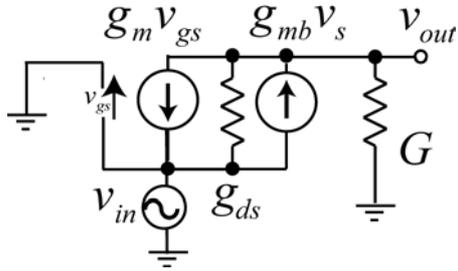
ここで、入力インピーダンスを考えると、小信号源は開放されている。従って入力インピーダンスは無限大である。

次に出力インピーダンスを考えよう。 $v_{in} = 0$ として考えるので、電流源は開放である。

出力端子から流入してくる電流を i_{out} と考えよう。電流から $Gv_{out} + g_{ds}v_{out} = i_{out}$

出力インピーダンスは、 $z_{out} = v_{out} / i_{out} = \frac{1}{G + g_{ds}}$ となる。

次に、例としてゲート接地の例を書いてみよう。
まず小信号回路を描いて。



ここで、入力インピーダンスをまず求める。

$v_{in} = -v_{gs} = v_s$ で $v_{out} = 0$ なので、

$$-i_{in} = g_m v_{gs} + g_{ds}(v_{out} - v_s) - g_{mb} v_s$$

$$= -g_m v_{in} - g_{ds} v_{in} - g_{mb} v_{in}$$

$$\text{整理して } z_{in} = \frac{1}{g_m + g_{ds} + g_{mb}} \sim \frac{1}{g_m}$$

次に出力インピーダンスを考えよう。

$v_{in} = 0$ で考えるので、

$$i_{out} = G v_{out} - g_m v_{in} + g_{ds}(v_{out} - v_{in}) - g_{mb} v_s$$

$$= G v_{out} + g_{ds} v_{out}$$

$$\text{整理して } z_{out} = \frac{1}{G + g_{ds}}$$