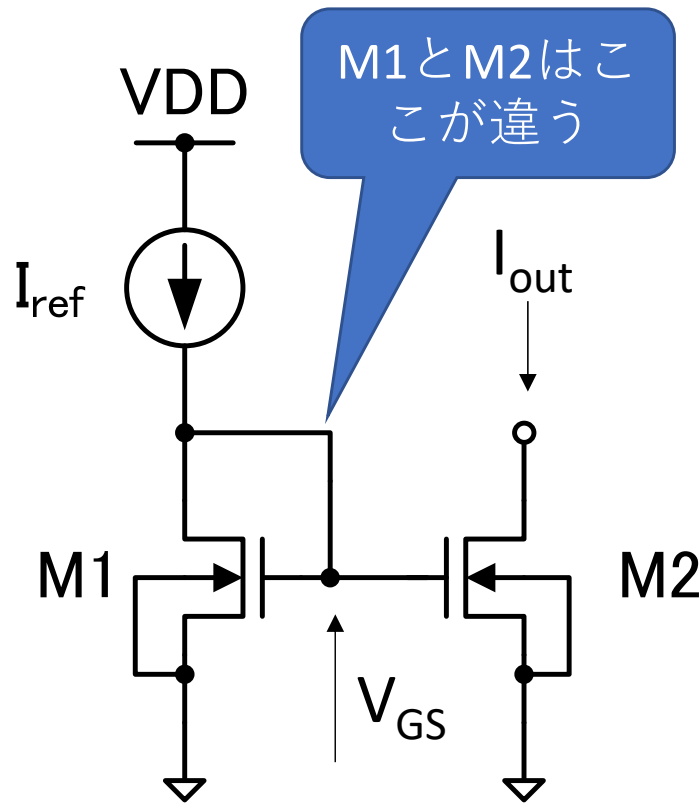


(参考) 小信号等価回路の注意点

厳密さを求める人向けの解説

厳密な直流解析



M1とM2はここが違う

I_{ref} を与えると V_{GS} が決まる

V_{GS} を与えると I_{out} が決まる

M2はM1と異なり、 $V_{DS} = V_{GS}$ ではないため、 I_{out} から V_{GS} が決まらないことに注意

講義での説明

$$I_{ref} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_{ref}}{\beta_n}} + V_{Tn} \quad (1)$$

より正確な解析

$$I_{ref} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \{1 + \lambda_n (V_{DS} - V_{OV})\}$$

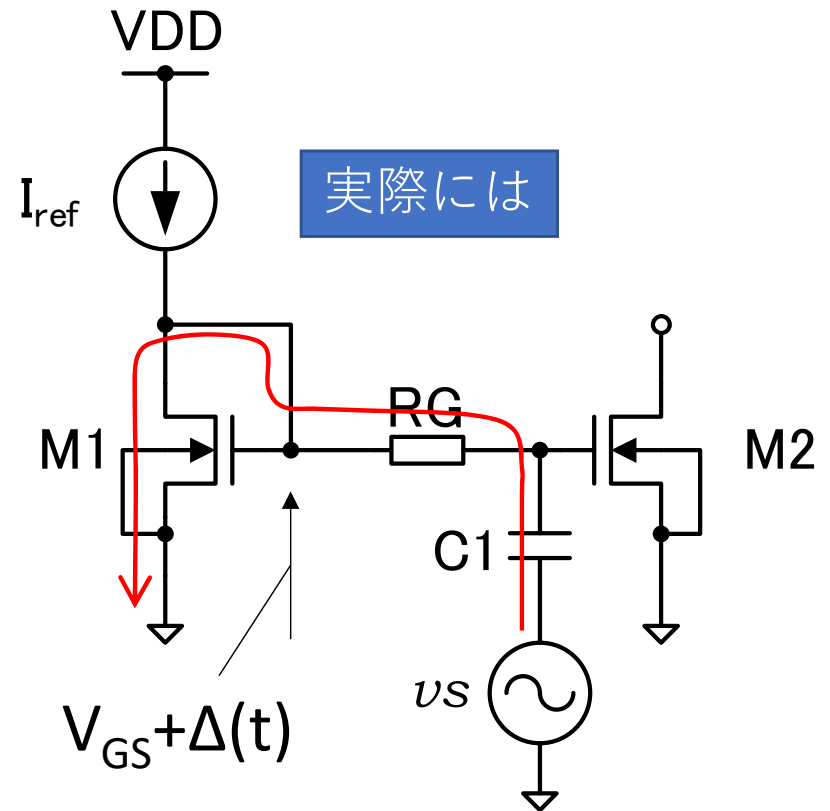
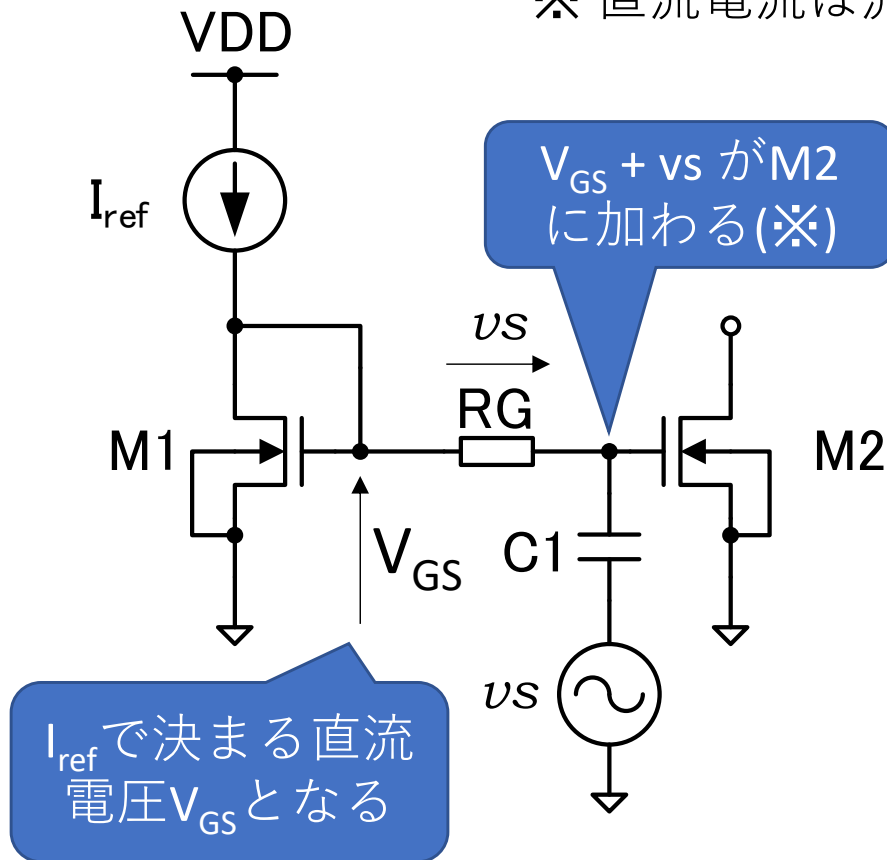
$$= \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \{1 + \lambda_n (V_{GS} - V_{OV})\}$$

$$= \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \{1 + \lambda_n V_{Tn}\}$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_{ref}}{\beta_n (1 + \lambda_n V_{Tn})}} + V_{Tn} \quad (2)$$

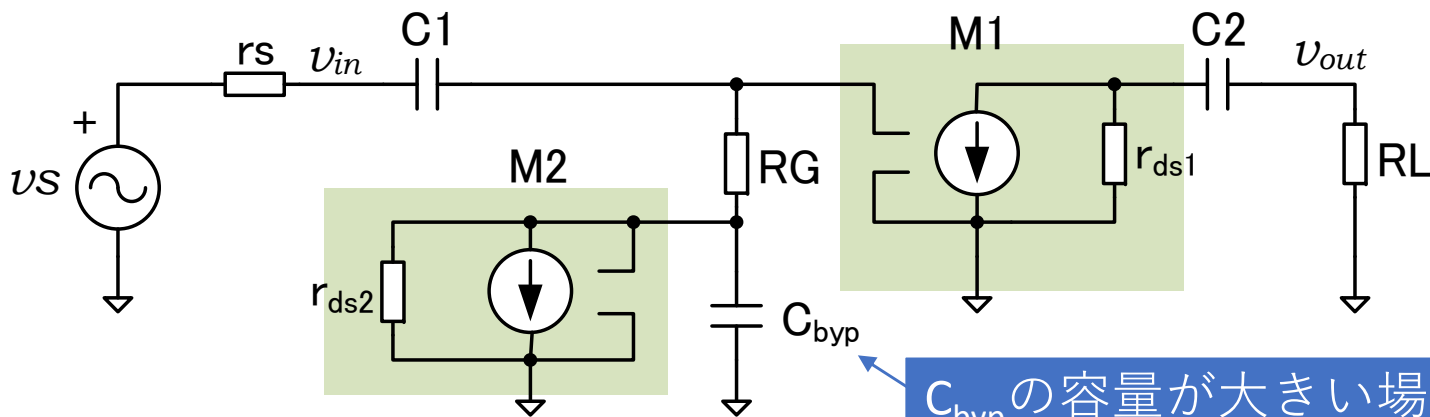
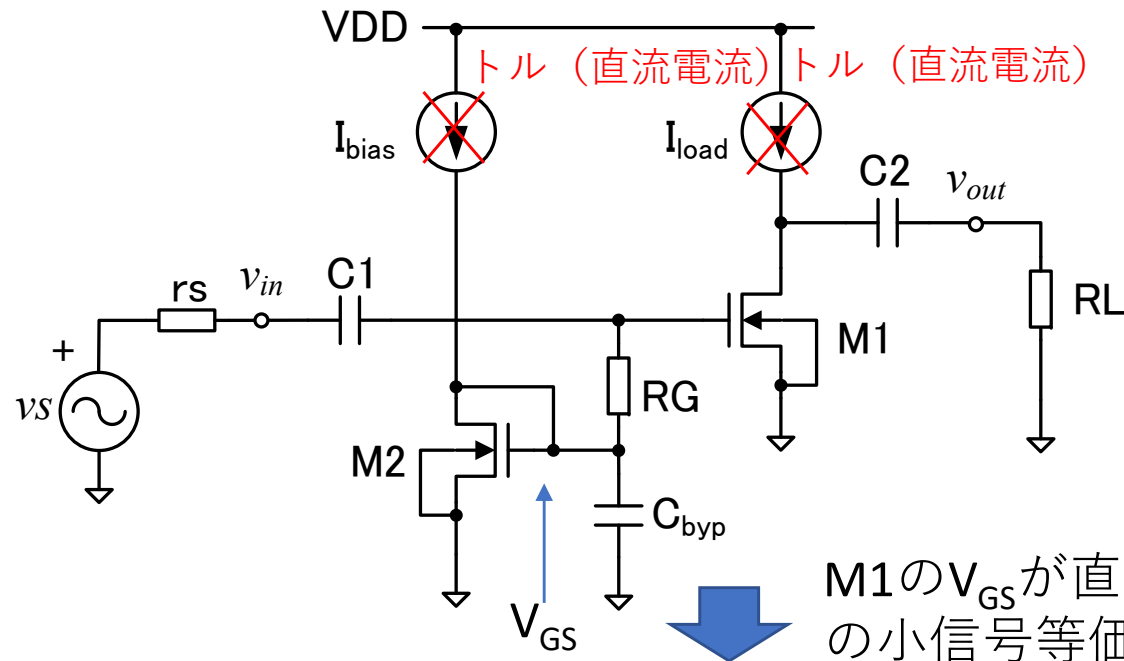
信号を加えた場合の動作

※ 直流電流は流れないため V_{GS} が M2 のゲートに加わる。



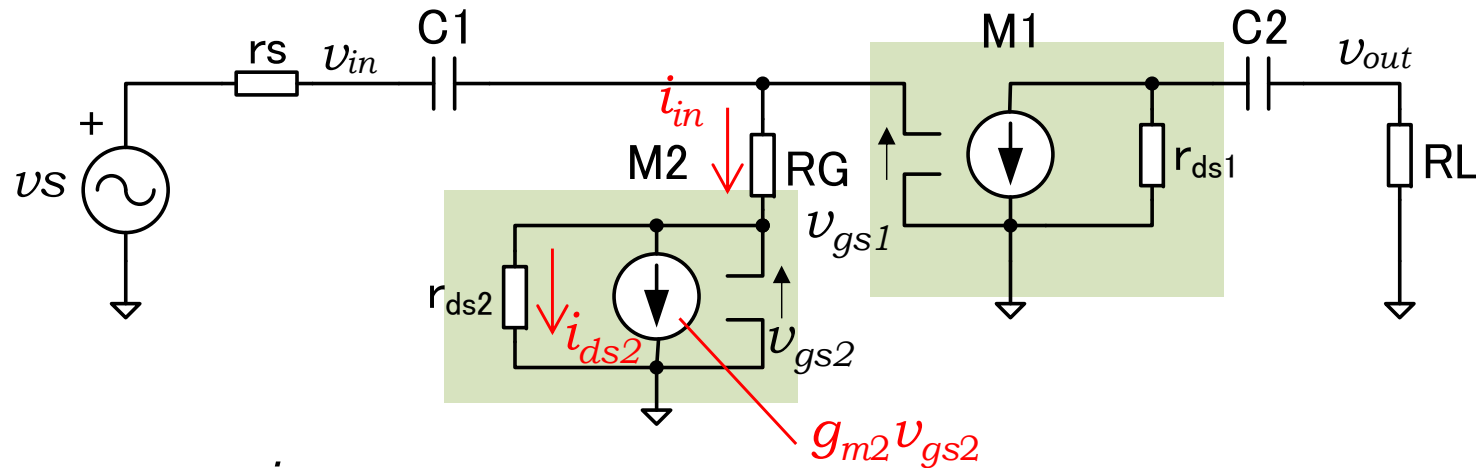
近似的に左図の考え方が成り立つが、実際には右図の交流電流（赤線）が流れるため、M1 の V_{GS} は厳密には一定（直流）でない。

厳密な小信号等価回路



C_{byp} の容量が大きい場合は、 R_G の下を
GNDに接続 (M2は取り外してよい)

C_{byp} がない場合はどうなる？



$$\begin{cases} v_{gs2} = r_{ds2} i_{ds2} \\ i_{in} = i_{ds2} + g_{m2} v_{gs2} \end{cases}$$

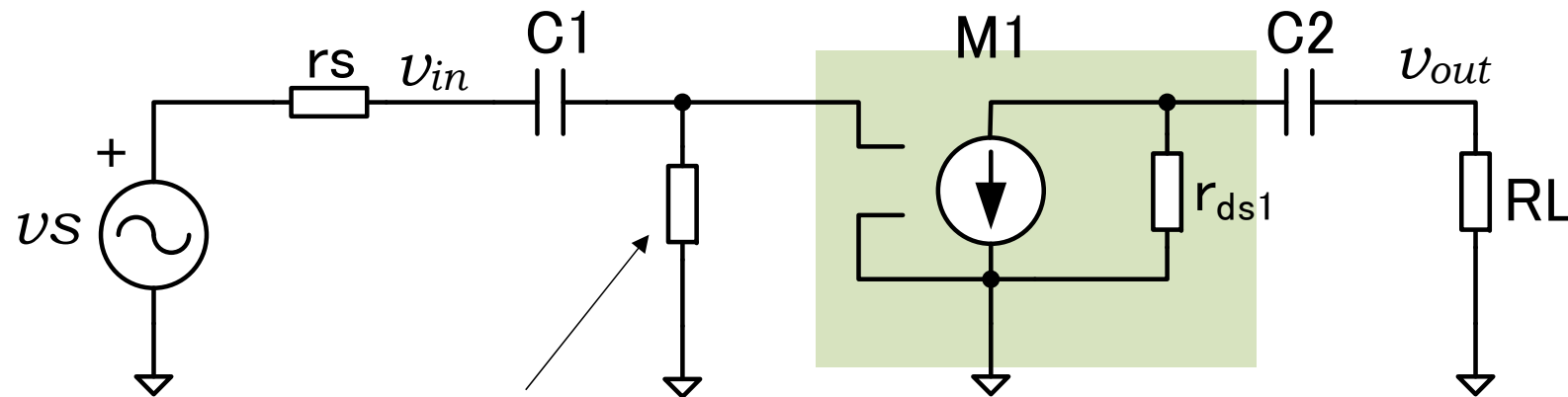
$$i_{in} = \left(\frac{1}{r_{ds2}} + g_{m2} \right) v_{gs2} \quad \Rightarrow \quad v_{in} = RG i_{in} + v_{gs2} = \left(RG + \frac{1}{\frac{1}{r_{ds2}} + g_{m2}} \right) i_{in}$$

C1のインピーダンスが十分小さいとき、

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = RG + \frac{r_{ds2}}{1 + g_{m2} r_{ds2}} \approx RG + \frac{1}{g_{m2}} \approx RG$$

\uparrow $g_{m2} r_{ds2} \gg 1$ \uparrow $RG \gg \frac{1}{g_{m2}}$

厳密な小信号等価回路(C_{byp} がない場合)



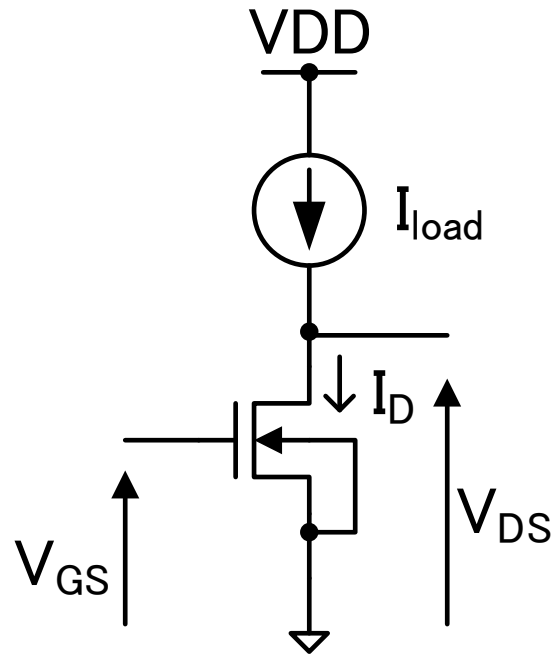
$$RG + \frac{r_{ds2}}{1 + g_{m2}r_{ds2}} \approx RG$$

$RG \gg 1/g_{m2}$ が成り立つ場合に、入力インピーダンスは RG となる (M2は無視できる) ので、 RG が十分大きな値のとき、 V_{GS} を直流と近似した場合の小信号交流等価回路で近似することができる。

(参考) 適切な近似の使用は、モデルを単純化し本質を捉えるために役立つことを覚えておこう。

負荷電流 = 飽和電流でなくともよいのか？

という疑問を持った人のために



電流源負荷の場合は、 $I_D = I_{load}$ (直流) となるため、 $V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_{load}}{\beta_n}} + V_{Tn}$ 以外の値が取れない (V_{GS} に交流電圧を加えることはできない) という疑問を持つかもしれない。

$$I_D = I_{load} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \quad \text{の式を用いた場合、}$$

飽和領域の範囲内で、

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_{load}}{\beta_n}} + V_{Tn} \quad \text{以外の値を取ることはできないはず。}$$

しかし、精密な式で考えると、 $I_{load} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \{1 + \lambda_n (V_{DS} - V_{OV})\}$ のように、

V_{GS} と V_{DS} の2変数の式になっているため、 V_{GS} に交流電圧を加えると、 I_D は一定で、 V_{DS} が時間変化することになる。従って、交流信号を扱う場合には、精密な電流-電圧特性式から導出したMOSFETの小信号等価回路 (g_m , g_{ds} 表記) を使用する必要がある。