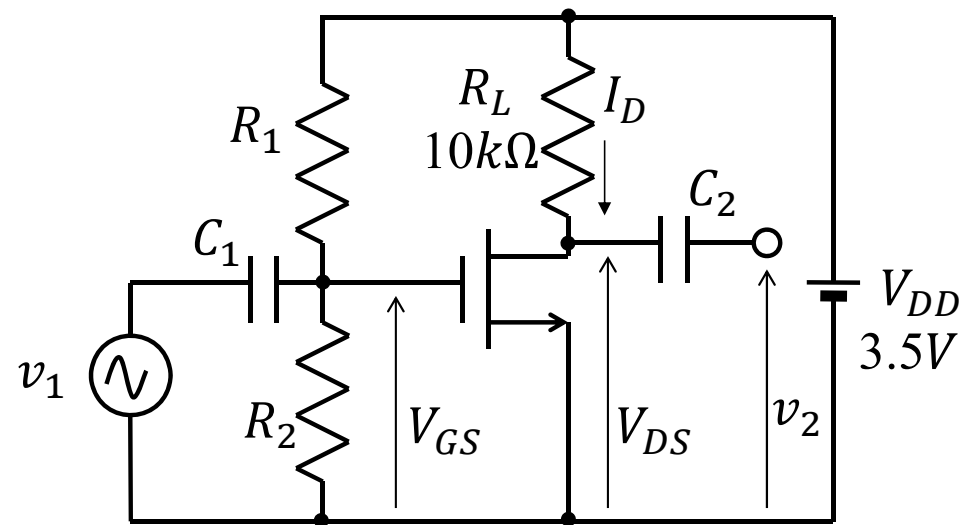


MOSFET

Metal Oxide Semiconductor
Field Effect Transistor

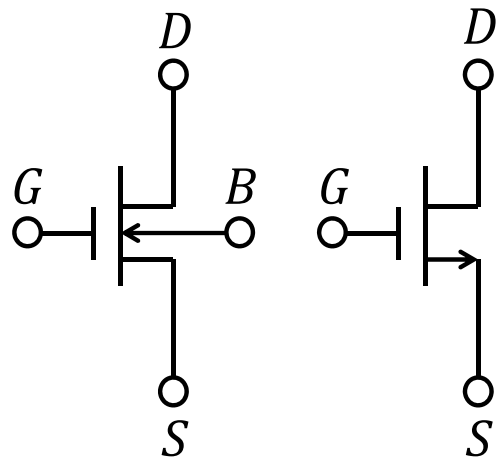
- 基本の増幅デバイス
- デジタル回路で特に重要
- 4つの領域で構成
ゲート、ソース、ドレイン、サブストレート

MOSFET増幅回路

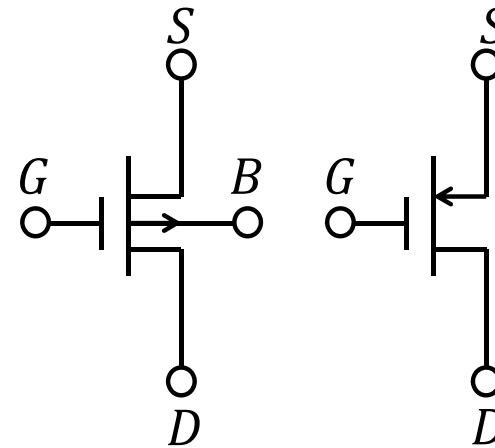


回路を適切に し，利得を求める

MOSFETのシンボル

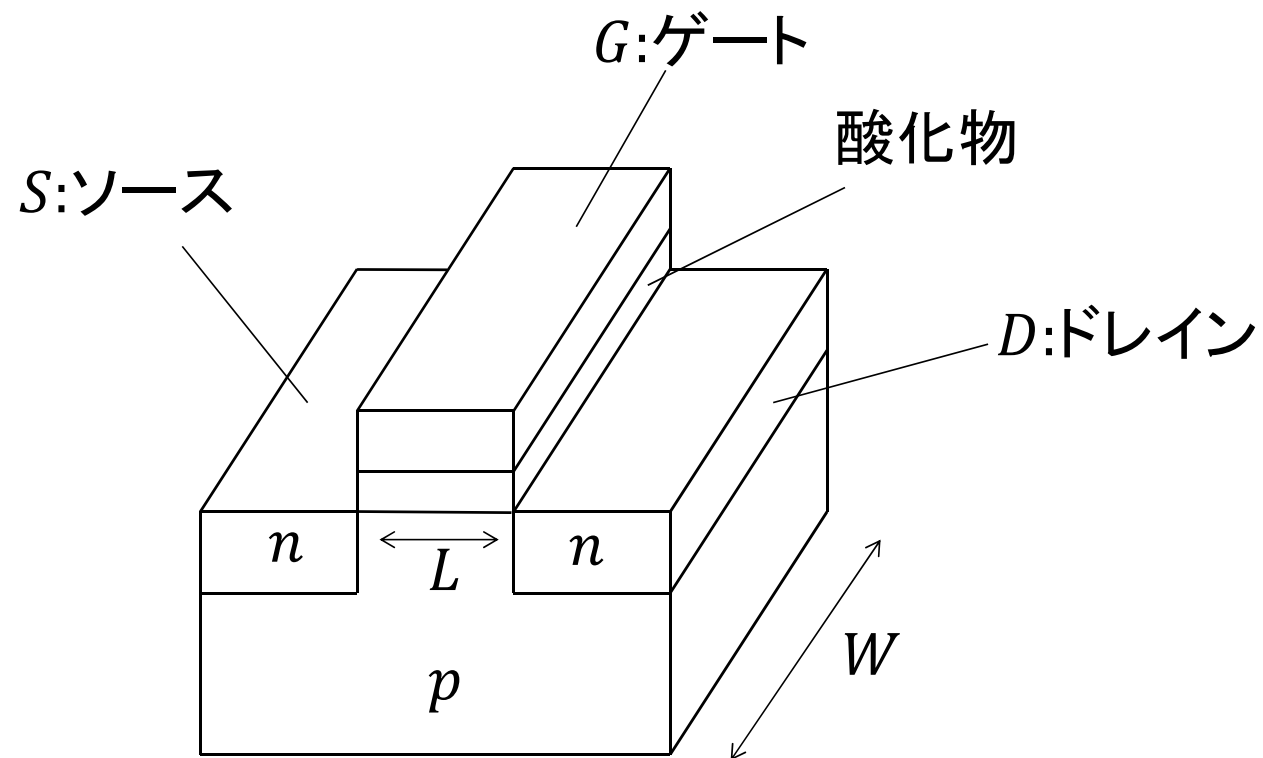


n チャネル



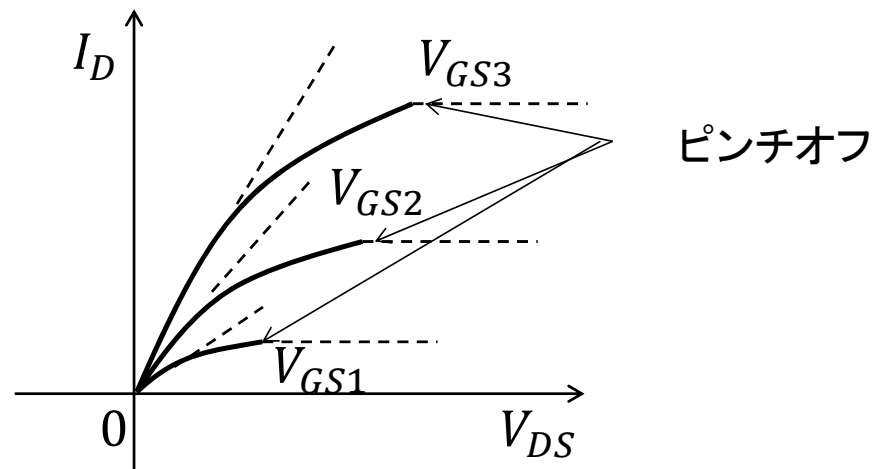
p チャネル

n MOSトランジスタの構造

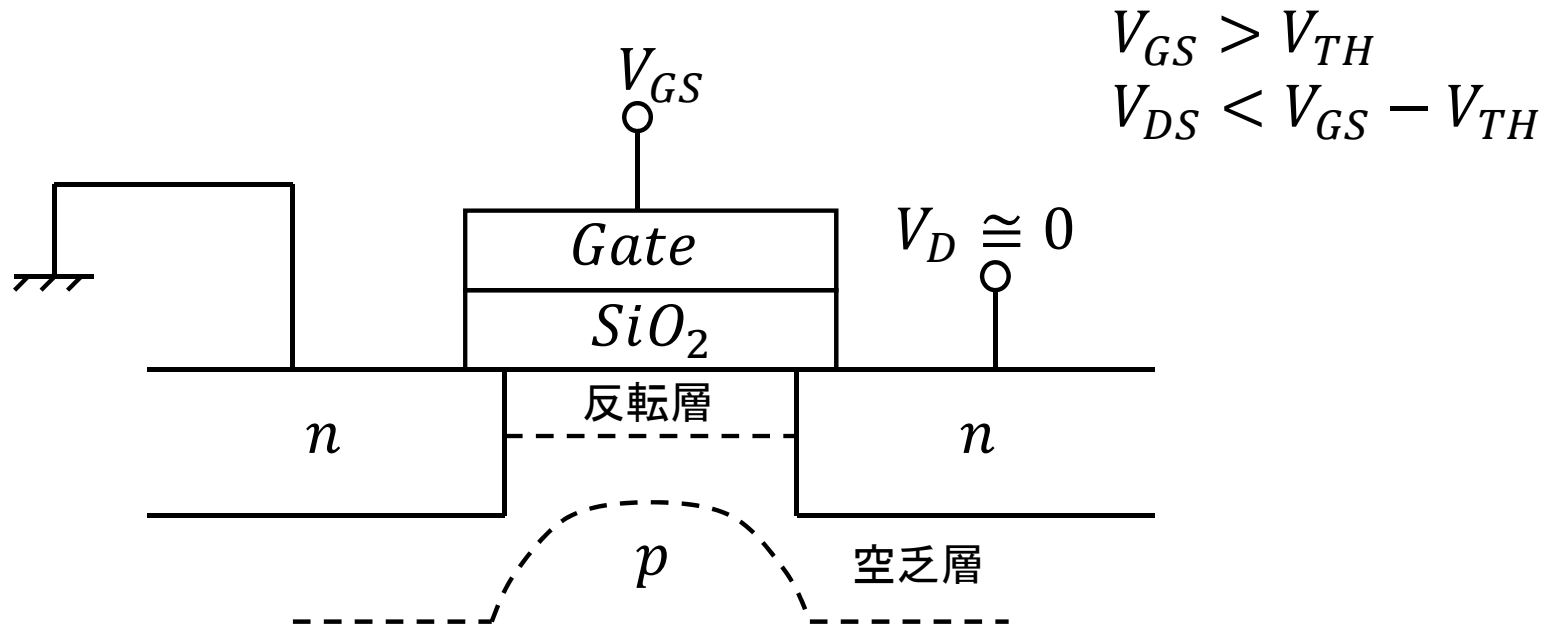


MOSFETの動作領域

- 遮断領域 $I_D = 0, V_{GS} < V_{TH}$
- チャネルの反転 $V_{GS} - V_{TH} \geq 0$
 - 三極管領域 I_D は□の関数
 - 能動領域 I_D は主に□の関数

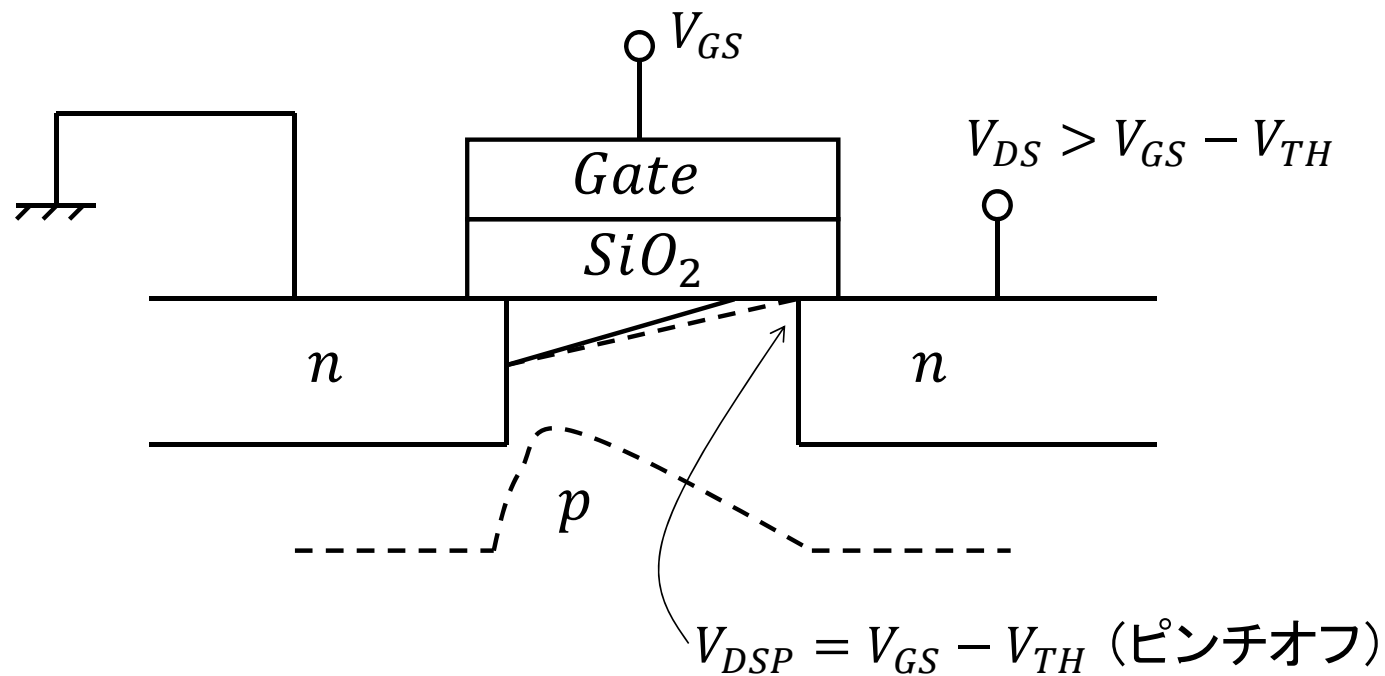


三極管領域(非飽和領域)



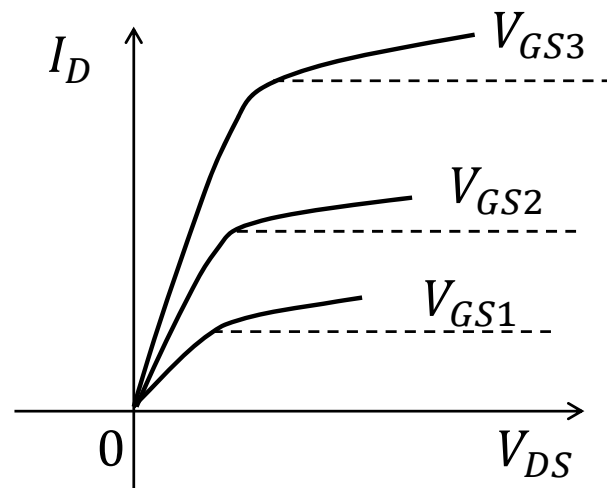
$$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left\{ (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right\}$$

能動領域(飽和領域)



$$I_D = \frac{\mu}{2} \frac{W}{L} C_{OX} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

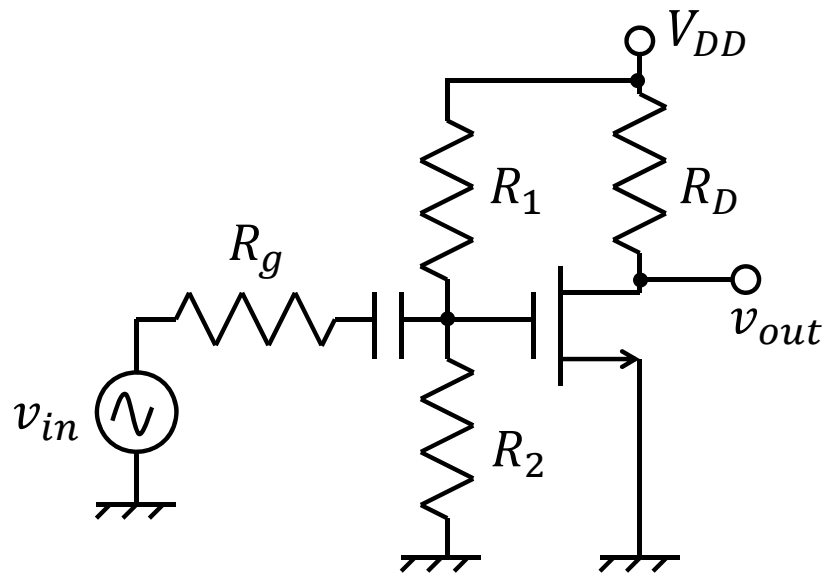
MOSFETの能動領域



$$I_D = \frac{\mu W}{2 L} C_{OX} (V_{GS} - V_{TH})^2 [1 + \lambda (V_{DS} - V_{DSP})]$$

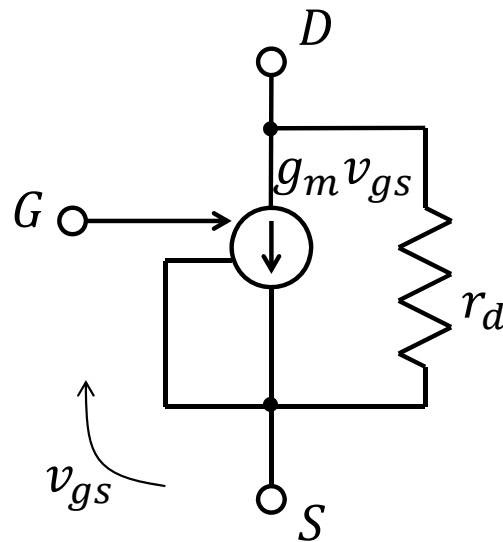
MOSFET増幅回路

ソース共通増幅回路



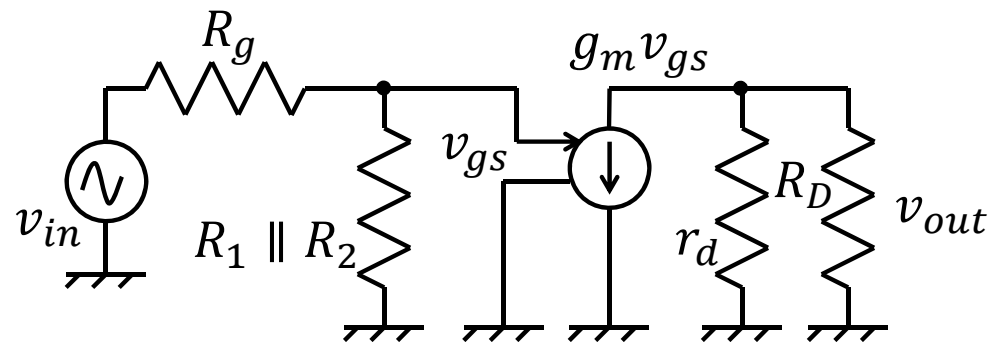
$$V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$
$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

MOSFETの小信号モデル



$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS}=K} = \sqrt{2\mu C_{OX} \frac{W}{L} I_D}$$
$$r_d = \frac{1}{\left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right|_{V_{GS}=K'}} = \frac{1}{\lambda I_{DP}}$$

MOSFET増幅回路の小信号等価回路



$$v_{gs} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} v_{in}$$

$$v_{out} = -g_m \frac{r_d R_D}{r_d + R_D} v_{gs}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} g_m \frac{r_d R_D}{r_d + R_D}$$

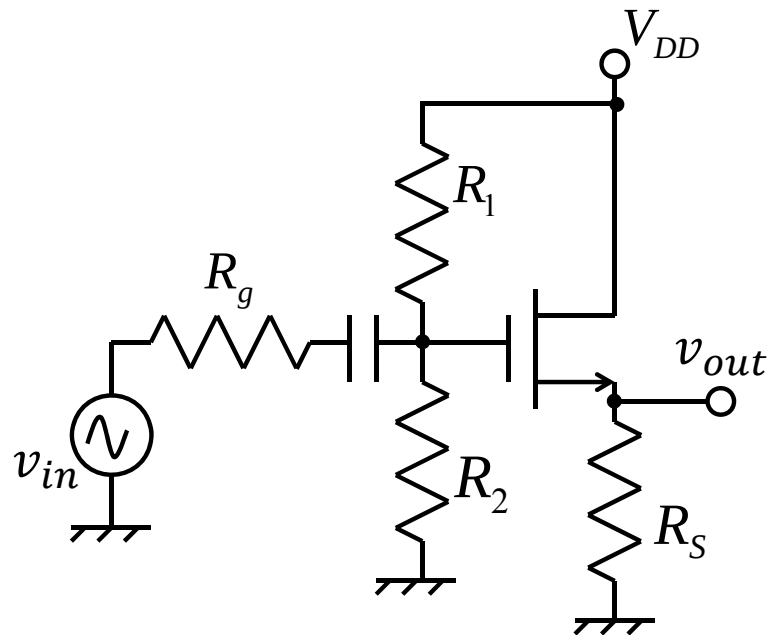
$$R_{in} = R_1 \parallel R_2$$

ゲート端子から見ると $r_{in} = \infty$

$$R_{out} = r_d \parallel R_D$$

ドレイン端子から見ると $r_{out} = r_d$

ソースフォロワ



$$\begin{aligned} V_{GSQ} &= V_{GQ} - V_{SQ} \\ &= V_{GQ} - R_s I_{DQ} \end{aligned}$$

$$V_{DS} = V_D - V_{SQ}$$

基板電位

個別部品：ソースと接続
集積回路：

ソース電位変化

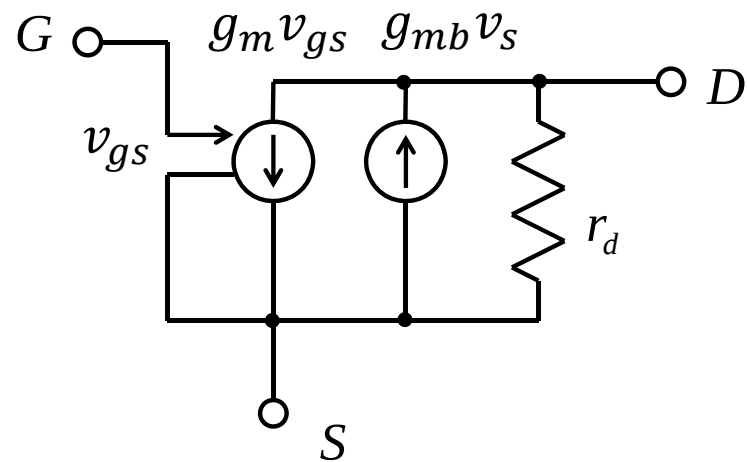


ソース・間電圧変化

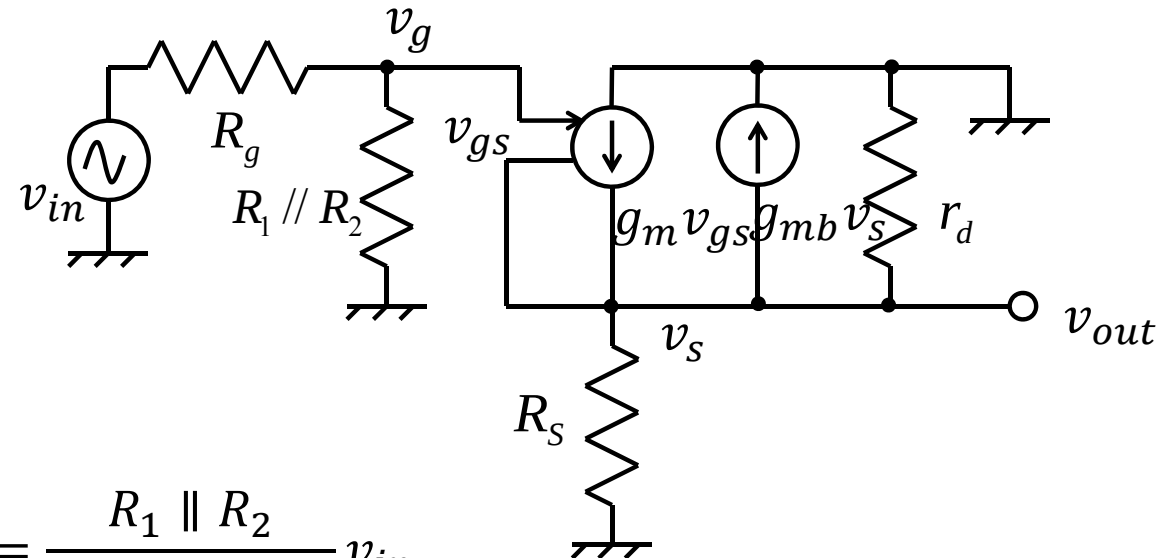


チャネルの伝導変化
ボディー効果、バックゲート効果

ボディ効果



ソースフォロアの小信号等価回路



$$v_g = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} v_{in}$$

$$v_{out} = \frac{g_m v_{gs}}{G} = \frac{g_m (v_g - v_{out})}{G}$$

$$G = g_d + g_{mb} + G_s$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} \frac{g_m}{g_m + G}$$

ソースフォロワの性質

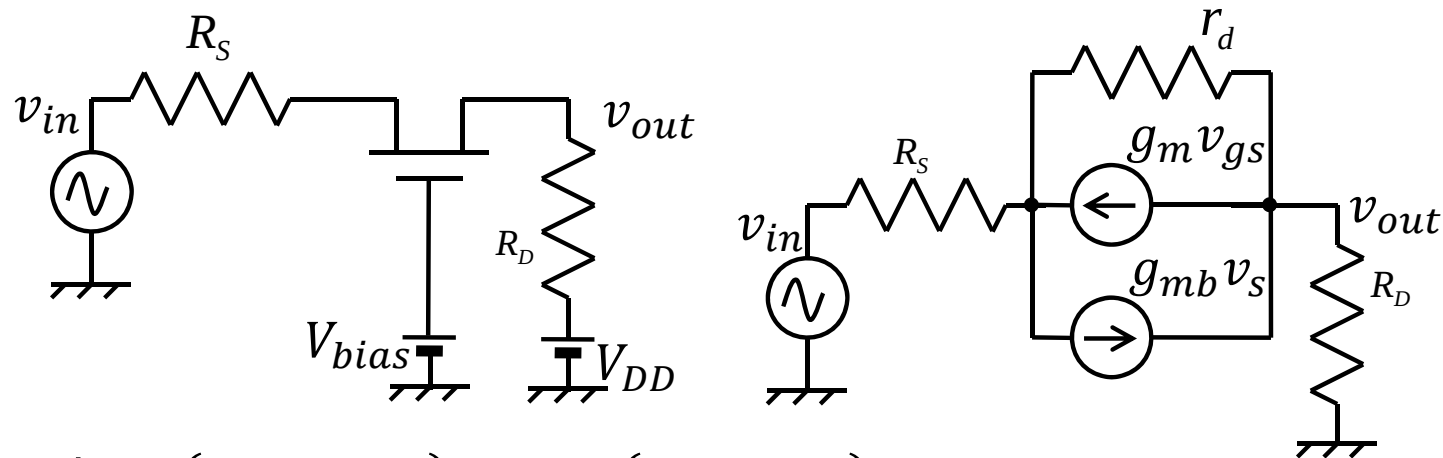
g_{mb} は g_m の 10% ~ 15% 程度

A_v は 0.75 ~ 0.9 ..

$$r_{in} = \infty$$

$$r_{out} = \frac{1}{g_m} \parallel \frac{1}{g_{mb}} \parallel r_d \quad \text{小さい}$$

ゲート共通増幅回路



$$i_d = (g_m + g_{mb})v_s - g_d(v_{out} - v_s)$$

$$v_s = v_{in} - R_S i_d, \quad v_{out} = R_D i_d$$

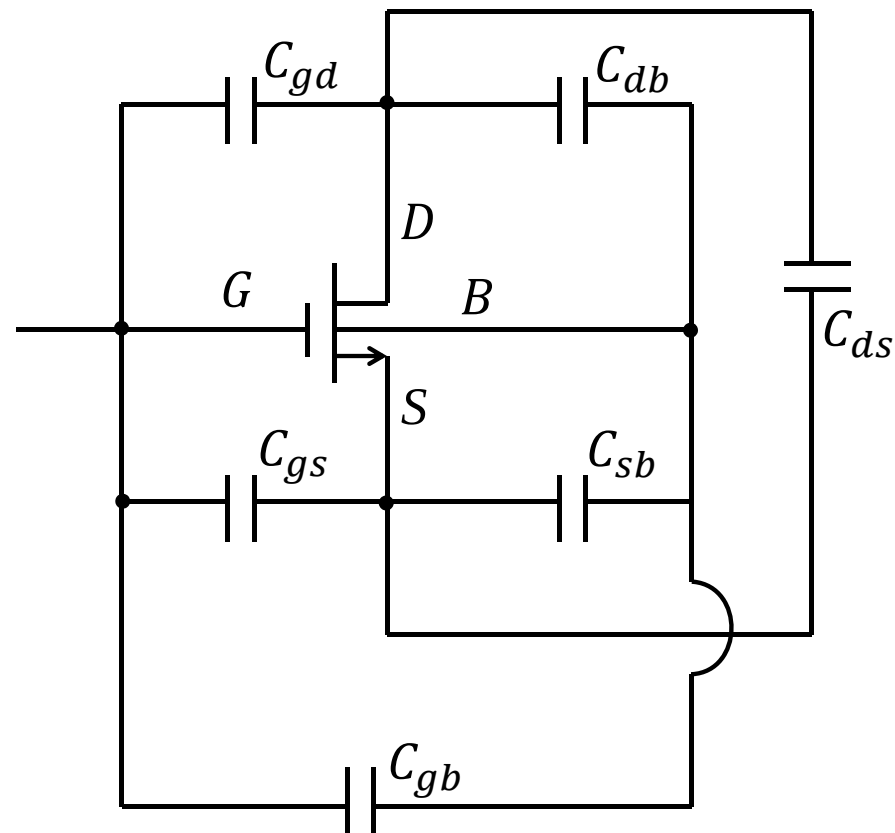
$$A_v = \frac{g_m + g_{mb} + g_d}{G_D + g_d + (g_m + g_{mb} + g_d) \frac{G_D}{G_S}}$$

$$g_d \ll g_m + g_{mb} \text{ ならば}$$

$$A_v \cong \frac{(g_m + g_{mb})R_D}{1 + (g_m + g_{mb})R_S}$$

電流利得は

MOSFETの高周波モデル



練習問題1

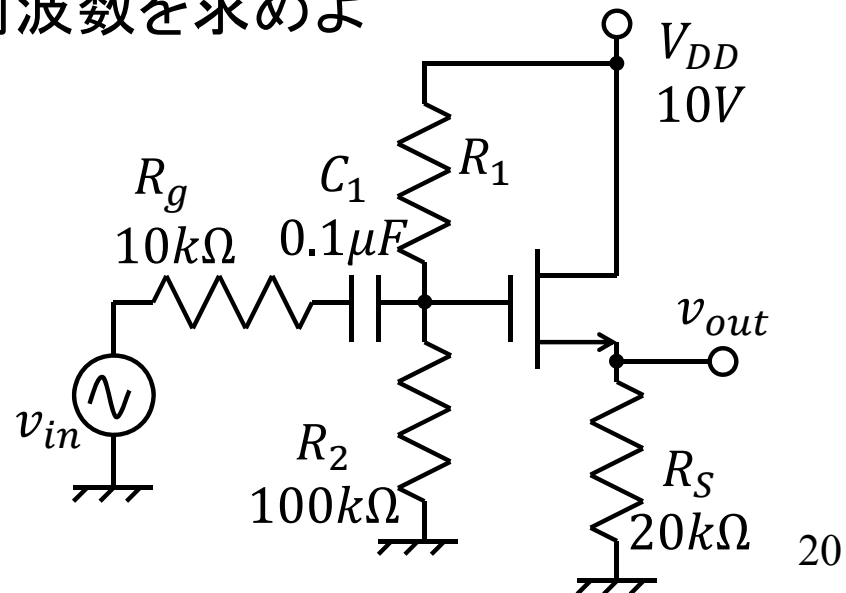
$I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2$, $K = 10^{-4}[S/V]$, $V_{GS} - V_{TH} = 1[V]$
のとき、 g_m 求めよ

$$\begin{aligned}\text{解: } g_m &= \frac{d}{dV_{GS}} I_D = 2K(V_{GS} - V_{TH}) \\ &= 2 \times 10^{-4} \times 1 = 2 \times 10^{-4}[S] = 0.2[mS]\end{aligned}$$

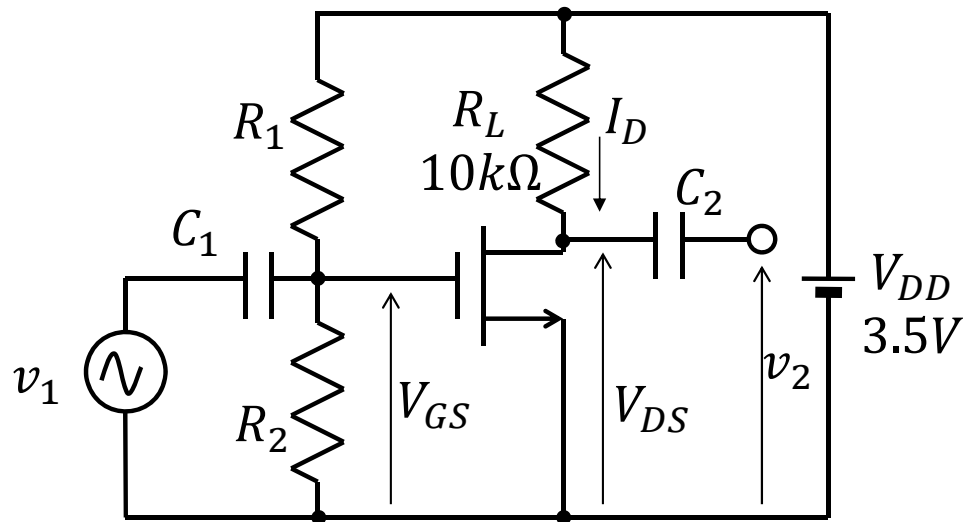
練習問題2

MOSFET は能動領域(飽和領域) にあり、 $I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2$, $K = 1.6m \frac{A}{V^2}$, $V_{TH} = 1V$ とする。

1. ソースの直流電位が $4V$ となるように R_1 の値を定めよ
2. そのときの中域利得を求めよ
3. そのときの低域遮断周波数を求めよ



宿題5



図の回路で $I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2$, $K = 1.5 \times 10^{-4} [\text{S/V}]$, $V_{TH} = 0.5 [\text{V}]$ とする。

1. $V_{DS} = 2\text{V}$ となるように V_{GS} を定めよ。そのときの R_1, R_2 の値を決定せよ。
2. 1.のバイアス点での g_m を求めよ。
3. 2.で求めた g_m を用いて図の回路の中域利得 v_2/v_1 を求めよ。ただし r_d は無限大, C_1, C_2 は十分大きな容量とする。

21