

# 周波数特性劣化の原因となる 端子間の寄生容量の特定

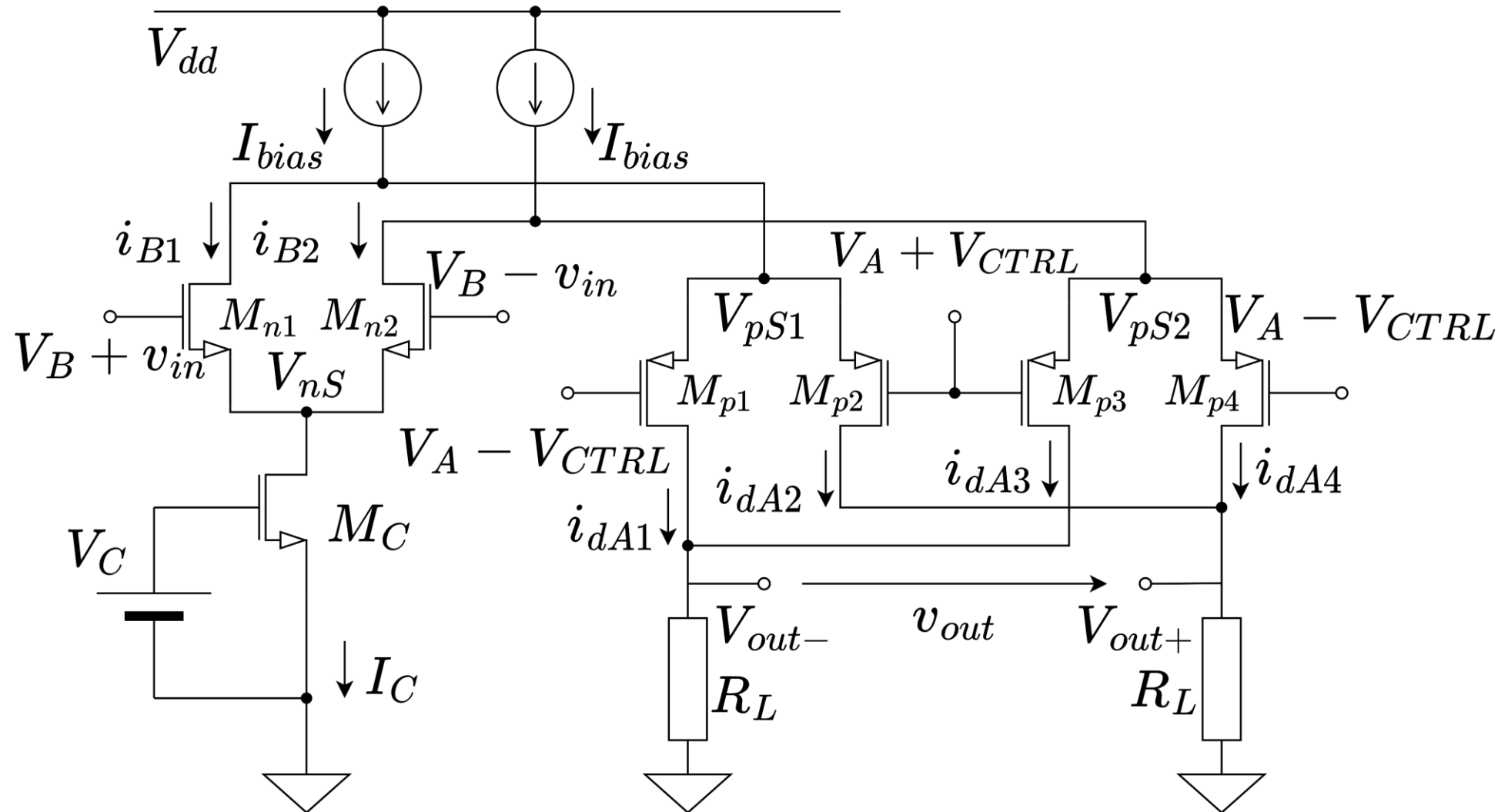
2023/09/25 進捗報告

B4 小島 光

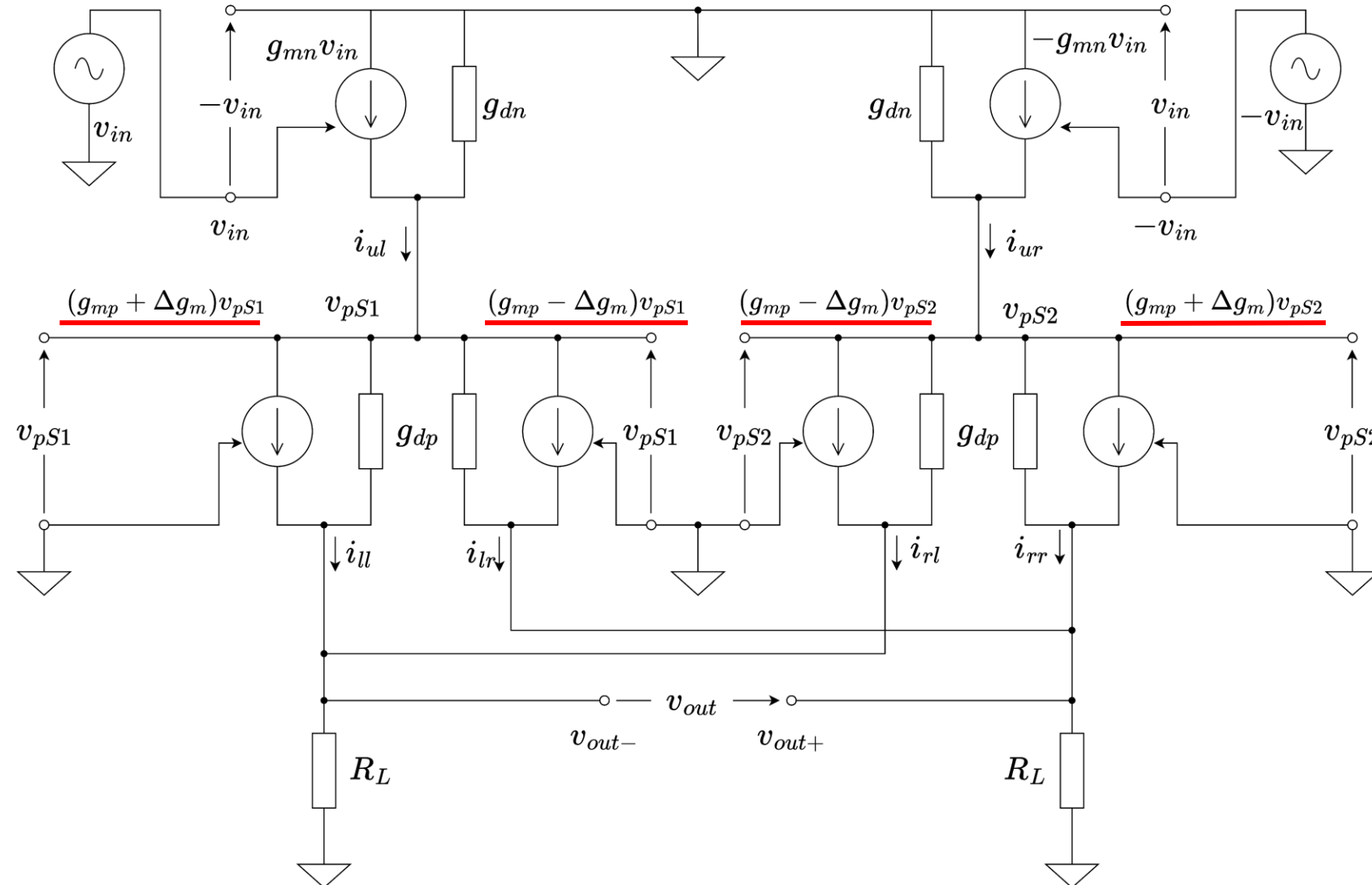
# 目的

- どの端子の寄生容量が周波数特性劣化の原因かを推測する。
- 小信号等価回路の計算をする。

# 折り返し型の回路



# 基本となる小信号等価回路



$V_{CTRL}$ によって $M_p$ の動作点が変わる。  
 $\Rightarrow g_{mp}$ が一定でない。

小信号では $\Delta g_m$ が $V_{CTRL}$ に比例するとすれば  
 出力電圧は $v_{in}$ と $\Delta g_m$ に比例したものになればよいと考えられる。

完全に差動で動作するので左半分の半回路を考える

# 出力電圧の計算

KCLより

$$i_{ul} = g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1}$$

$$i_{ll} = (g_{mp} + \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} - v_{out-})$$

$$i_{lr} = (g_{mp} - \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} + v_{out-})$$

$$i_{ul} = i_{ll} + i_{lr}$$

$$g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1} = 2g_{mp}v_{pS1} + 2g_{dp}v_{pS1}$$

$$v_{pS1} = \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + g_{dn} + 2g_{dp}}v_{in} \approx \frac{g_{mn}}{2g_{mp}}v_{in}$$

差動回路なので  $v_{out+} = -v_{out-}$  となる

$$i_{out-} = i_{ll} + i_{rl} = i_{ll} - i_{rl} = 2\Delta g_m v_{pS1} - 2g_{dp}v_{out-}$$

$$\therefore i_{out+} = -i_{out-} = -2\Delta g_m v_{pS1} - 2g_{dp}v_{out+}$$

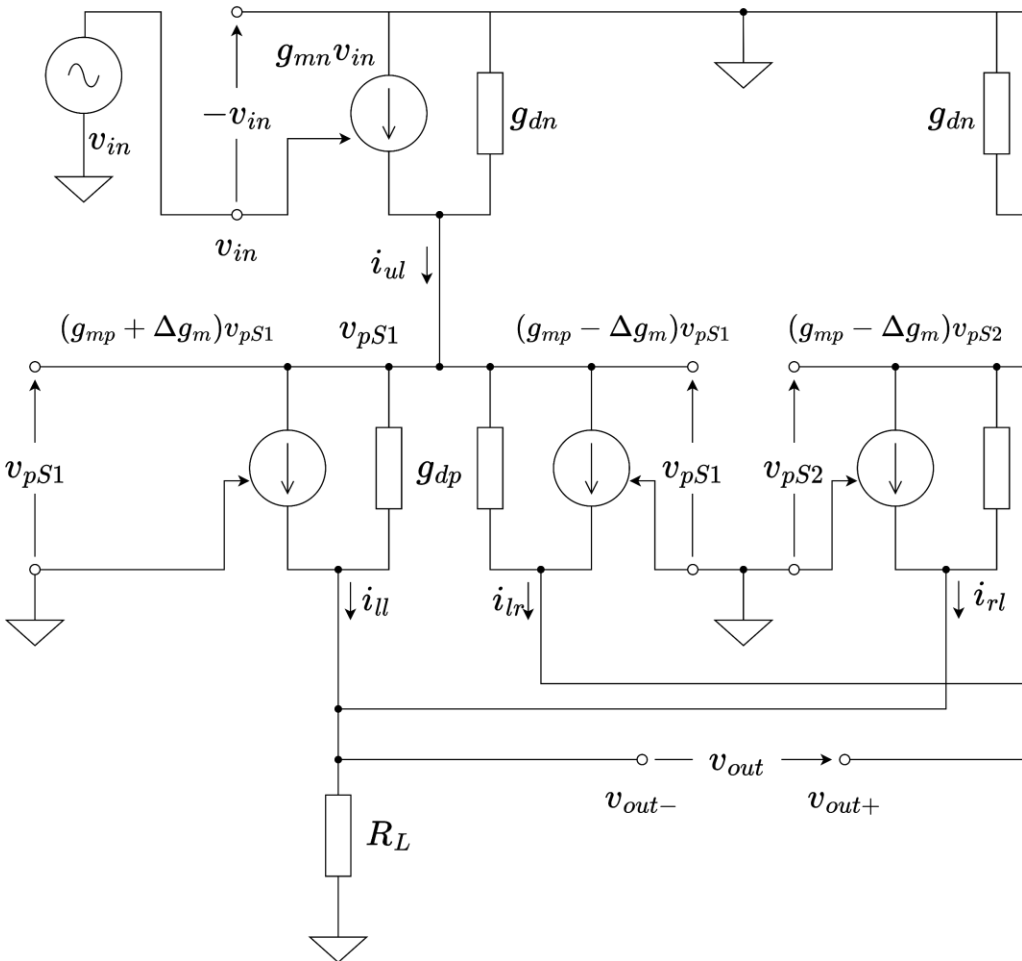
$$v_{out} = v_{out+} - v_{out-}$$

$$= R_L(i_{out+} - i_{out-}) = R_L\{-4\Delta g_m v_{pS1} - 2g_{dp}(v_{out+} - v_{out-})\}$$

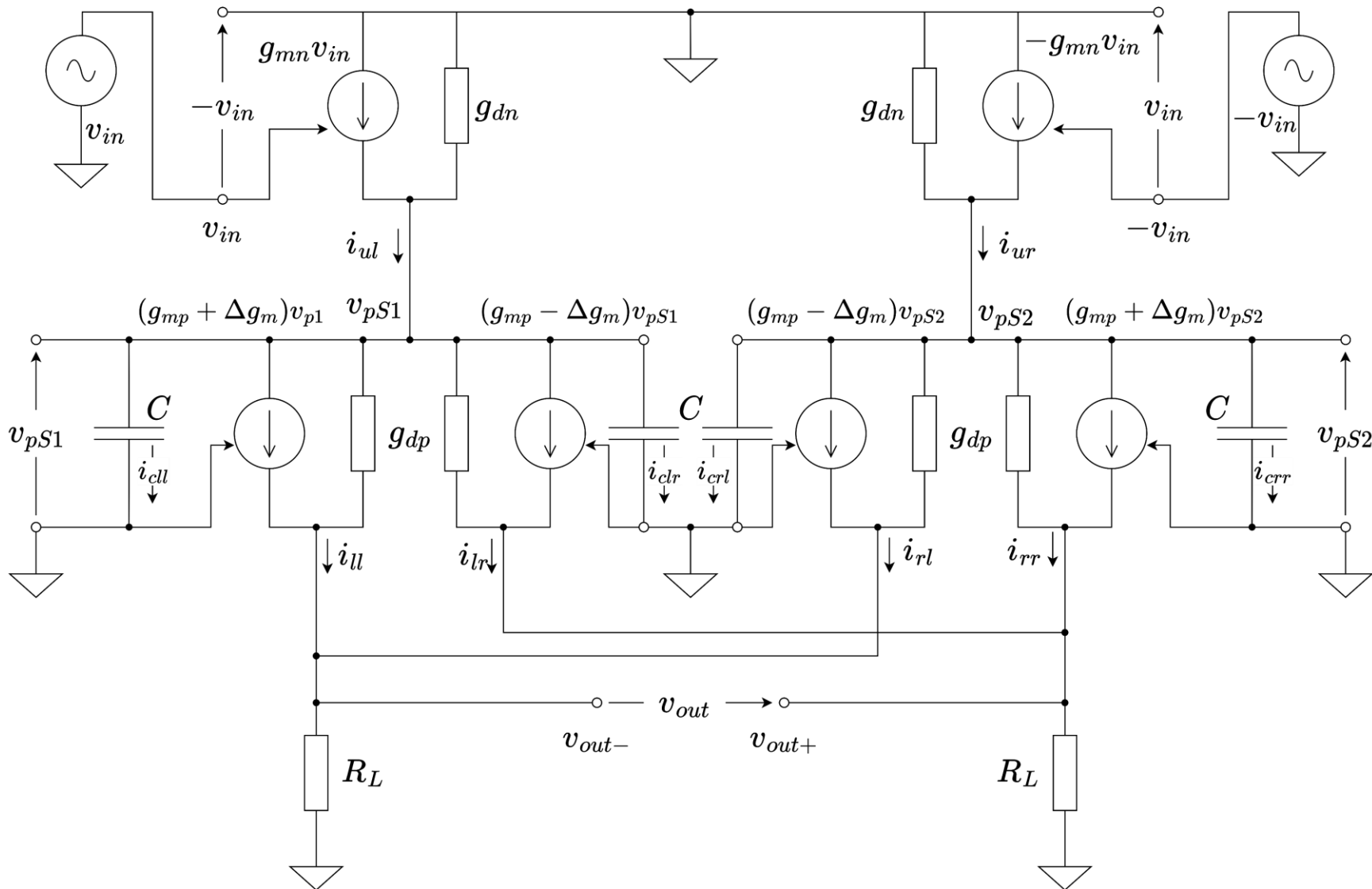
$$= R_L\{-4\Delta g_m v_{pS1} - 2g_{dp}v_{out}\}$$

$$\left(\frac{1}{R_L} + 2g_{dp}\right)v_{out} = -4\Delta g_m v_{pS1}$$

$$v_{out} = \frac{-4R_L}{1 + 2R_Lg_{dp}}\Delta g_m v_{pS1} \approx \frac{-4R_Lg_{mn}}{2g_{mp}(1 + 2R_Lg_{dp})} \boxed{v_{in}\Delta g_m}$$

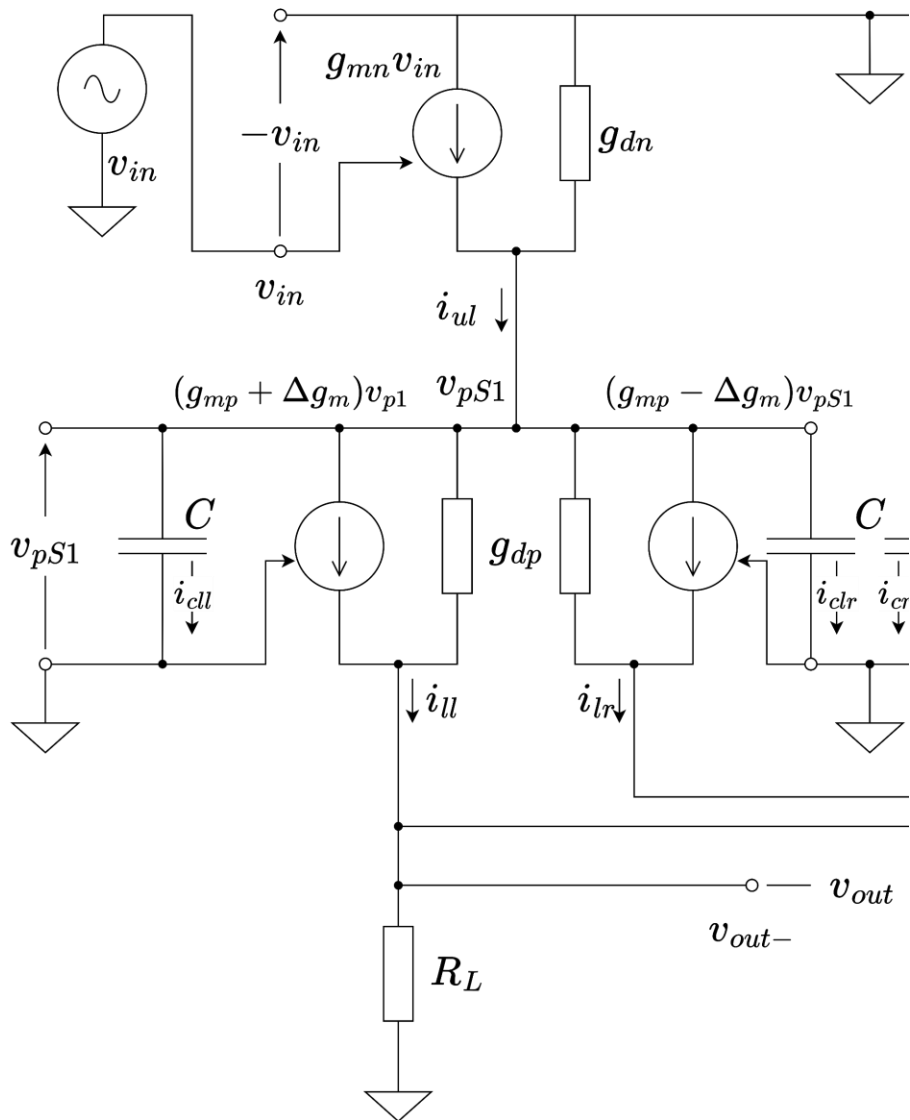


# ゲートソース間に寄生容量がついた場合



Pmos作動対の各ゲートソース間に容量Cがついた時の出力について先ほど同様半回路を用いて考える。

# ゲートソース間に寄生容量がついた場合



KCLより

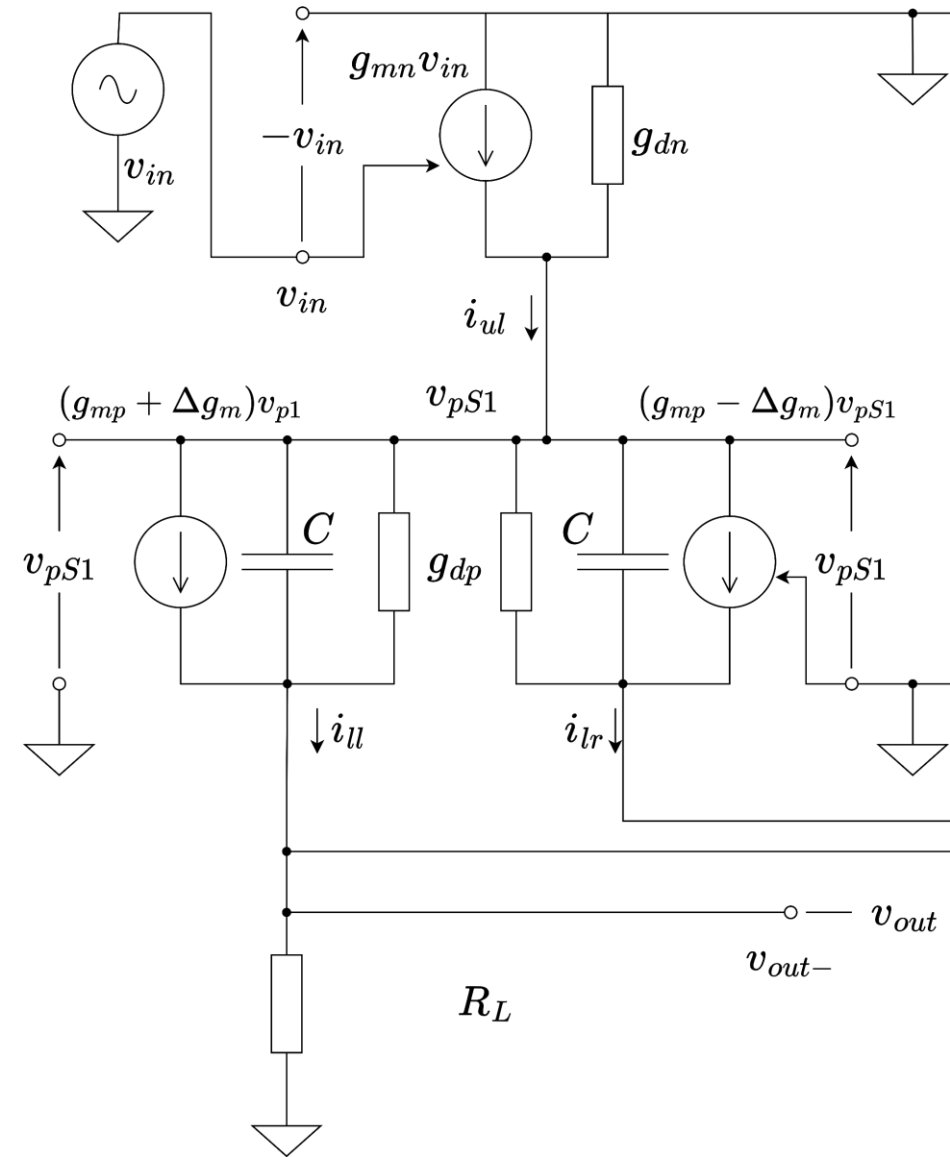
$$\begin{aligned} i_{ul} &= g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1} \\ i_{ll} &= (g_{mp} + \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} - v_{out-}) \\ i_{lr} &= (g_{mp} - \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} + v_{out-}) \\ i_{cll} &= i_{clr} \equiv i_{cl} = j\omega C \cdot v_{pS1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{ul} &= i_{ll} + i_{lr} + 2i_{cl} \\ g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1} &= 2g_{mp}v_{pS1} + 2g_{dp}v_{pS1} + j2\omega C \cdot v_{pS1} \\ v_{pS1} &= \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + g_{dn} + 2g_{dp} + j2\omega C} v_{in} \approx \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + j2\omega C} v_{in} \end{aligned}$$

4ページより

$$\begin{aligned} v_{out} &= \frac{-4R_L}{1 + 2R_Lg_{dp}} \Delta g_m v_{pS1} \\ &\approx \frac{-4R_Lg_{mn}}{(1 + 2R_Lg_{dp})(2g_{mp} + j2\omega C)} \Delta g_m v_{in} \end{aligned}$$

# ドレインソース間に寄生容量がついた場合



KCLより

$$i_{ul} = g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1}$$

$$i_{ll} = (g_{mp} + \Delta g_m)v_{pS1} + (g_{dp} + j\omega C)(v_{pS1} - v_{out-})$$

$$i_{lr} = (g_{mp} - \Delta g_m)v_{pS1} + (g_{dp} + j\omega C)(v_{pS1} + v_{out-})$$

$$i_{ul} = i_{ll} + i_{lr}$$

$$g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1} = 2g_{mp}v_{pS1} + 2(g_{dp} + j\omega C)v_{pS1}$$

$$v_{pS1} = \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + g_{dn} + 2g_{dp} + j2\omega C}v_{in} \approx \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + j2\omega C}v_{in}$$

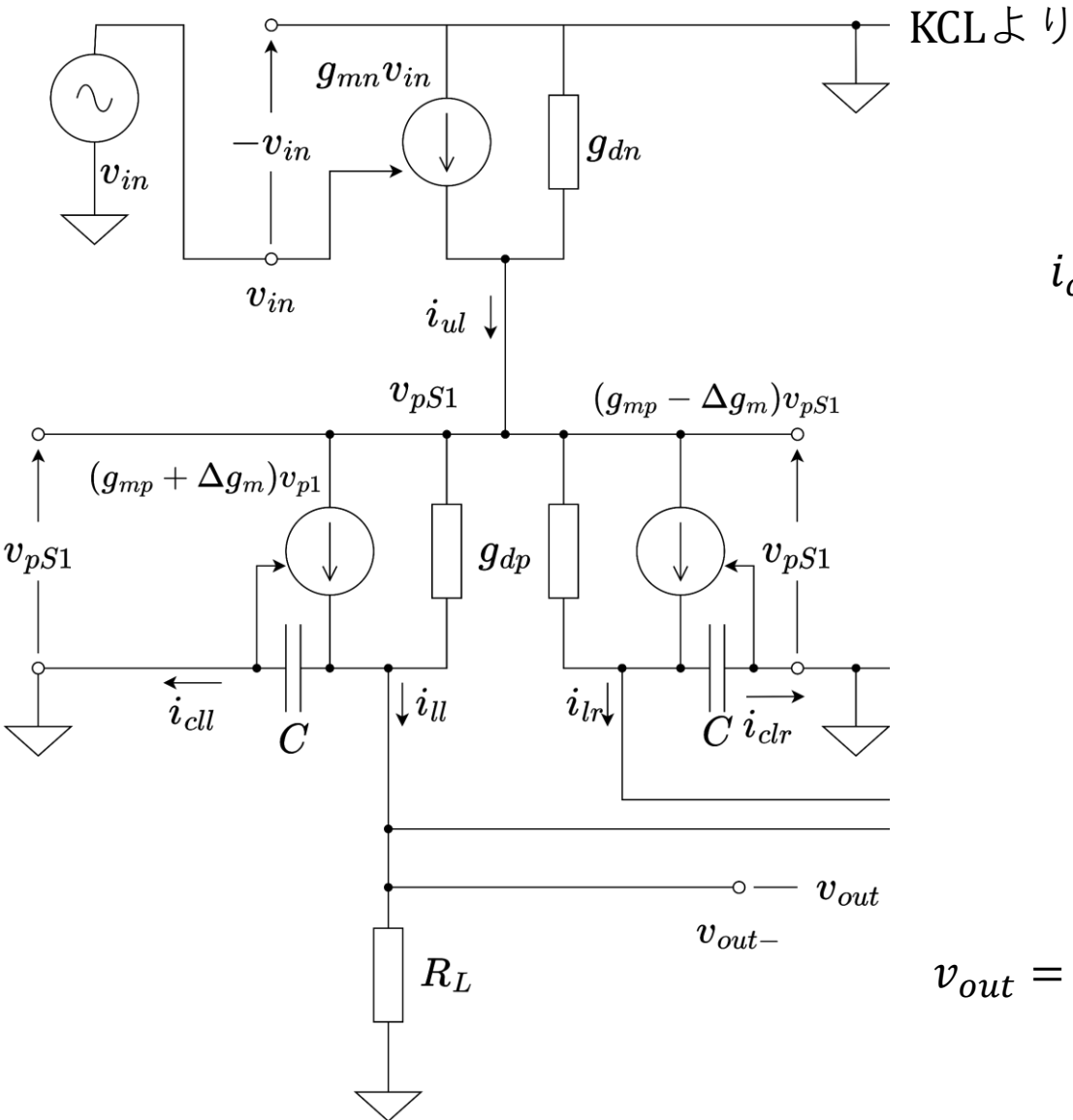
4,7ページ同様

$$v_{out} = \frac{-4R_L}{1 + 2R_Lg_{dp}}\Delta g_mv_{pS1}$$

$$\approx \frac{-4R_Lg_{mn}}{(1 + 2R_Lg_{dp})(2g_{mp} + j2\omega C)}\Delta g_mv_{in}$$



# ゲートドレイン間に寄生容量がついた場合



$$i_{ul} = g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1}$$

$$i_{ll} = (g_{mp} + \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} - v_{out-}) - i_{cll}$$

$$i_{lr} = (g_{mp} - \Delta g_m)v_{pS1} + g_{dp}(v_{pS1} + v_{out-}) - i_{clr}$$

$$i_{cll} = j\omega C \cdot v_{out-}, \quad i_{clr} = j\omega C \cdot v_{out+} = -j\omega C \cdot v_{out-} = -i_{cll}$$

$$i_{ul} = i_{ll} + i_{lr} + i_{cll} + i_{clr}$$

$$g_{mn}v_{in} - g_{dn}v_{pS1} = 2g_{mp}v_{pS1} + 2g_{dp}v_{pS1}$$

$$\therefore v_{pS1} = \frac{g_{mn}}{2g_{mp} + g_{dn} + 2g_{dp}} v_{in} \approx \frac{g_{mn}}{2g_{mp}} v_{in}$$

$$\begin{aligned} i_{out-} &= (i_{ll} - i_{cll}) - (i_{lr} - i_{clr}) \\ &= 2\Delta g_m v_{pS1} - 2g_{dp}v_{out-} - j2\omega C \cdot v_{out-} \end{aligned}$$

$$\frac{v_{out}}{R_L} = i_{out+} - i_{out-} = -4\Delta g_m v_{pS1} - 2(g_{dp} + j\omega C)v_{out}$$

$$v_{out} = \frac{-4R_L}{1 + 2R_L(g_{dp} + j\omega C)} \Delta g_m v_{pS1} \approx \frac{-4R_L g_{mn}}{2g_{mp}\{1 + 2R_L(g_{dp} + j\omega C)\}} \Delta g_m v_{in}$$

# 各寄生容量の影響

ゲートソース間・ドレインソース間

$$A_{SG} = A_{SD} \approx \frac{-4R_L g_{mn}}{(1 + 2R_L g_{dp})(2g_{mp} + j2\omega C)} \Delta g_m = \frac{-4R_L g_{mn}}{2g_{mp}(1 + 2R_L g_{dp}) + j2\omega C(1 + 2R_L g_{dp})} \Delta g_m$$

ゲートドレイン間

$$A_{GD} = \frac{-4R_L g_{mn}}{2g_{mp}\{1 + 2R_L(g_{dp} + j\omega C)\}} \Delta g_m = \frac{-4R_L g_{mn}}{2g_{mp} + 4R_L g_{mp} g_{dp} + j2\omega C \cdot 2R_L g_{mp}} \Delta g_m$$

$g_{mp} \gg g_{dp}$  であるので  $2R_L g_{mp} \gg 1 + 2R_L g_{dp}$  となる。

即ち、寄生容量についてはゲートドレイン間の物が最も影響が大きく、その折れ点角周波数は

$$f = \frac{1}{8\pi C R_L g_{mp}} \quad [\text{Hz}]$$

程度と推測できた。

# まとめ

- 非線形な回路の小信号等価回路の扱いが分かった。
- 周波数特性劣化の原因はおそらくゲートドレイン間の寄生容量であると分かった