

アナログ回路工学

(6月4日, 第05回講義)

電気電子情報工学専攻
情報通信制御システム工学講座
坪根 正

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義） （初めに 1/2 ） 担当：坪根 正

登録時に名前とメールアドレスを入力したと思いますが、
「名前はフルネーム」

「メールアドレスはstnのもの

（sXXXXXX@stn.nagaokaut.ac.jp）」

をお願いします。

もし異なる書式で入った人は、一度出て入り直してください。

（このメールアドレスで出席確認をします）

（受講資格が無い人のチェックも行います）

質問などはチャットに書き込んでみて下さい

（まだ教員側も慣れてないので、

皆さんと一緒に慣れていきたいと思っています）

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義) (初めに 2/2) 担当：坪根 正

とても大切なこと：

**Zoom授業の録画等を
学生が勝手に複製・配布することは禁止です**

十分に注意して下さい

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義） （講義予定）

担当：坪根 正

5/ 7（木）： 講義ガイダンス・電子回路の基礎確認

5/14（木）： MOSTランジスタの特性

5/21（木）： MOSTランジスタの増幅作用

5/28（木）： 基本増幅回路の小信号特性(1)

6/ 4（木）： 基本増幅回路の小信号特性(2)

6/11（木）： 増幅回路の高周波特性

6/18（木）： 前半のまとめと演習（レポート作成日）

6/22（月）： 第1回レポート提出締め切り

6/25（木）： 差動増幅回路(1)

7/ 2（木）： 差動増幅回路(2)

7/ 9（木）： 電流源回路, バイアス回路

7/16（木）： 負帰還回路

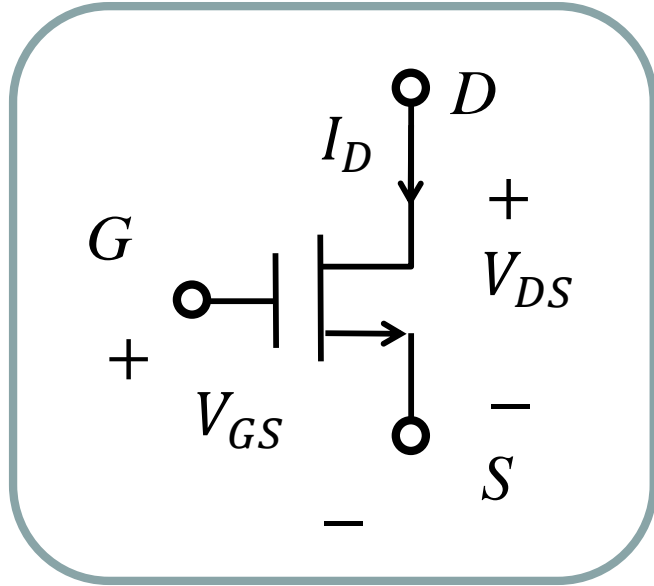
7/23（木）： MOS集積回路, 演算増幅器

7/30（木）： （予備日）（レポート作成日）

8/ 3（月）： 第2回レポート提出締め切り

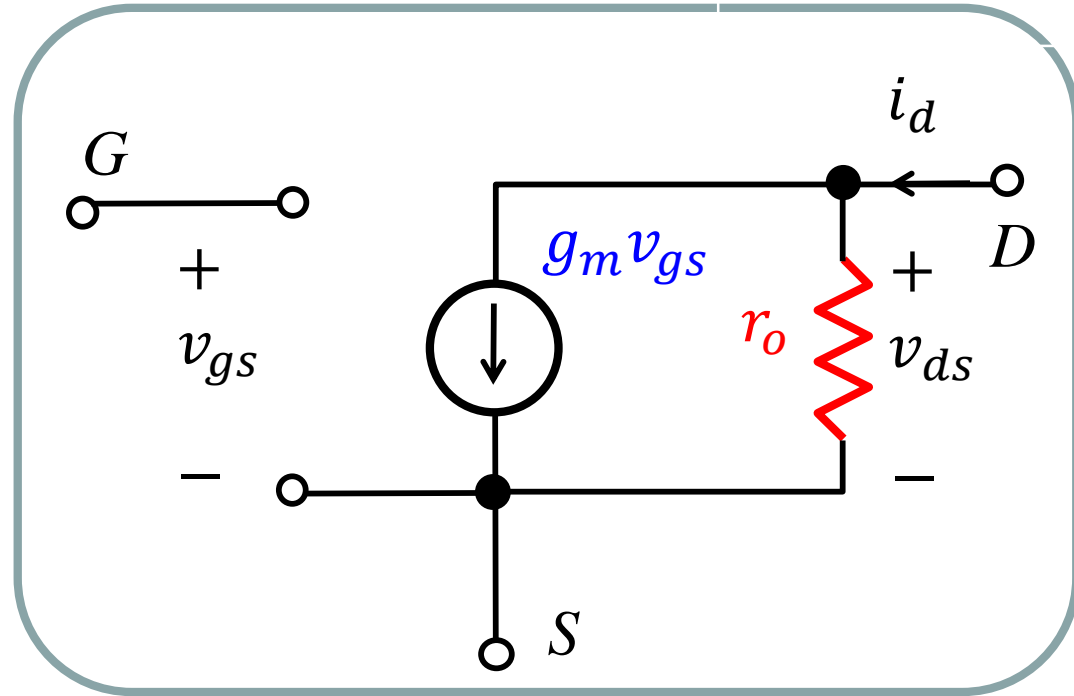
アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義, 前回の復習) (MOSFETの小信号モデル) 担当: 坪根 正

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$



nMOSの小信号モデル

$$i_d = g_m v_{gs} + \frac{1}{r_o} v_{ds}$$



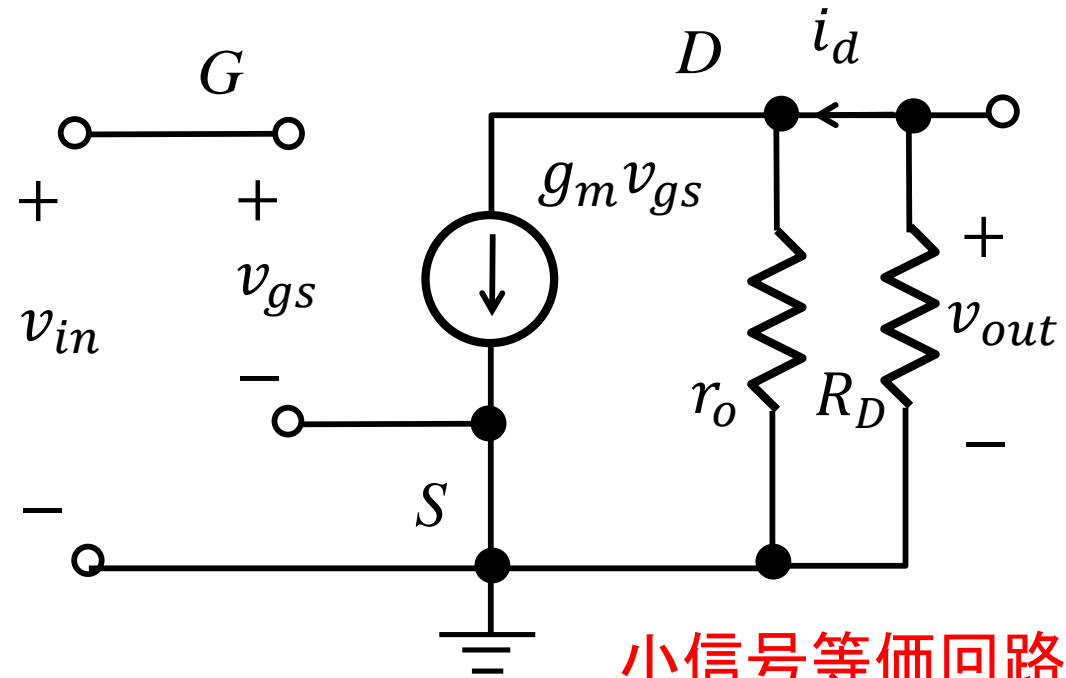
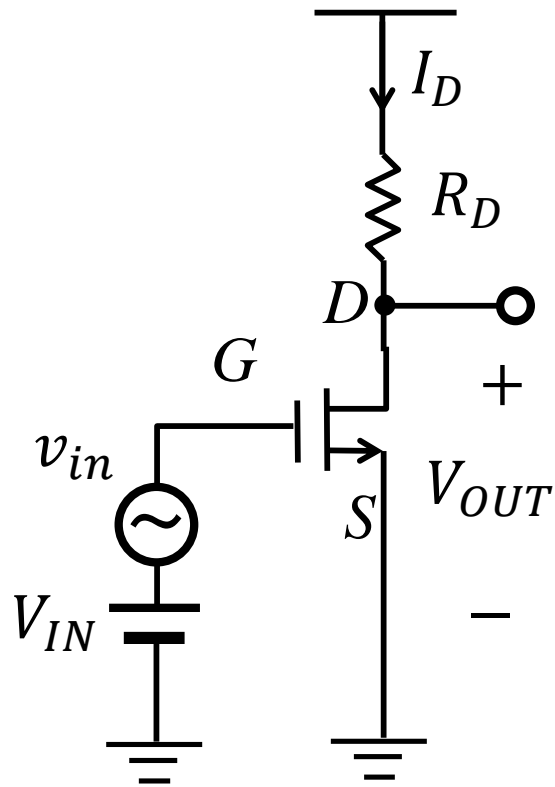
g_m : トランス(伝達)コンダクタンス

$$g_m = \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th}) (1 + \lambda V_{DS})$$

r_o : 出力抵抗

$$\frac{1}{r_o} = \lambda \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2$$

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義, 前回の復習)
 (ソース接地増幅回路, 抵抗負荷) 担当: 坪根 正



小信号等価回路

小信号電圧利得: $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m \frac{r_o R_D}{r_o + R_D}$

入力インピーダンス: $Z_{in} = \infty$

出力インピーダンス: $Z_{out} = \frac{r_o R_D}{r_o + R_D}$

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義） （本日の内容） 担当：坪根 正

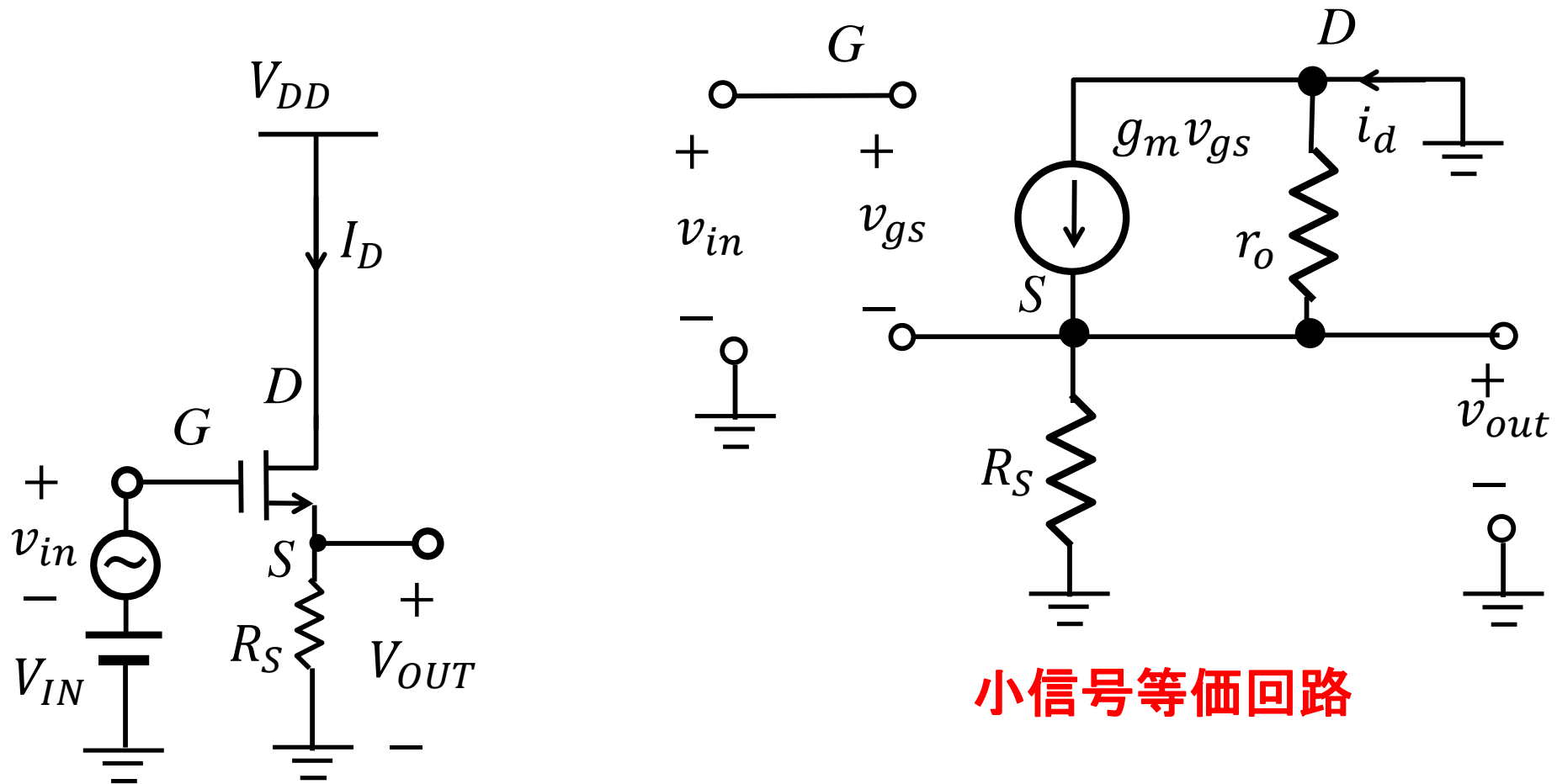
ドレイン接地増幅回路を理解する
（ソースフォロワ）

ゲート接地増幅回路を理解する
（カスコード接続）

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ドレイン接地増幅回路の小信号等価回路)

担当：坪根 正



小信号等価回路

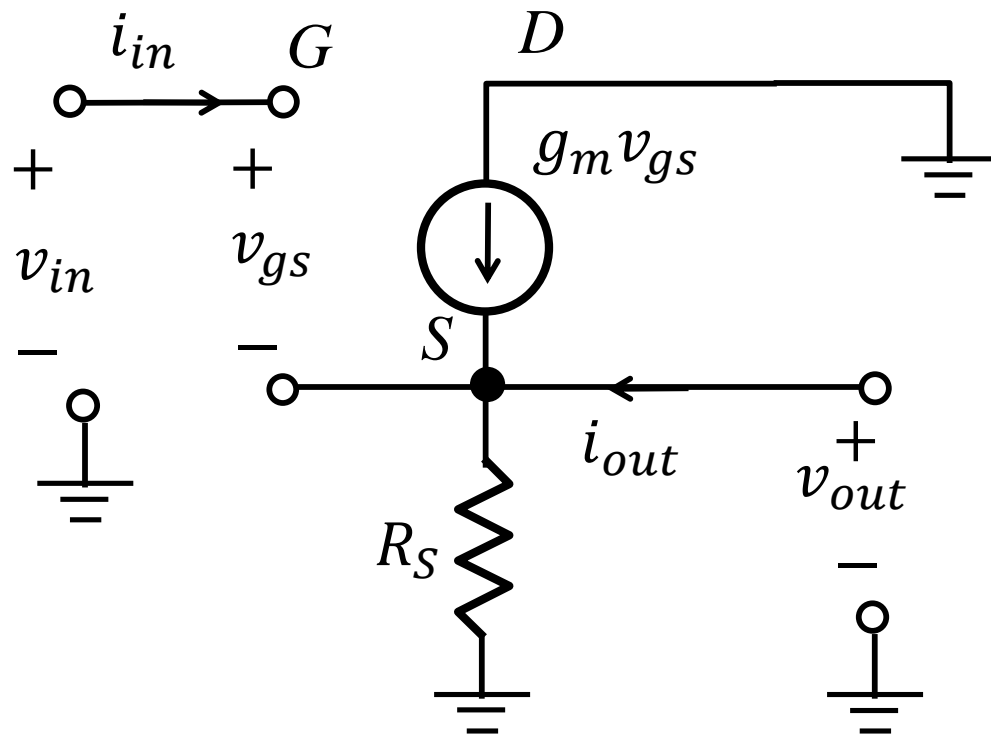
$$\text{小信号電圧利得: } A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \approx 1$$

(チャネル長変調効果を見捨てした ($r_o \rightarrow \infty$) 場合)

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ドレイン接地増幅回路の入出力インピーダンス) 担当: 坪根 正

(チャネル長変調効果は無視した場合)



小信号等価回路
(チャネル長変調効果は無視)

入力インピーダンス

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \infty$$

出力インピーダンス

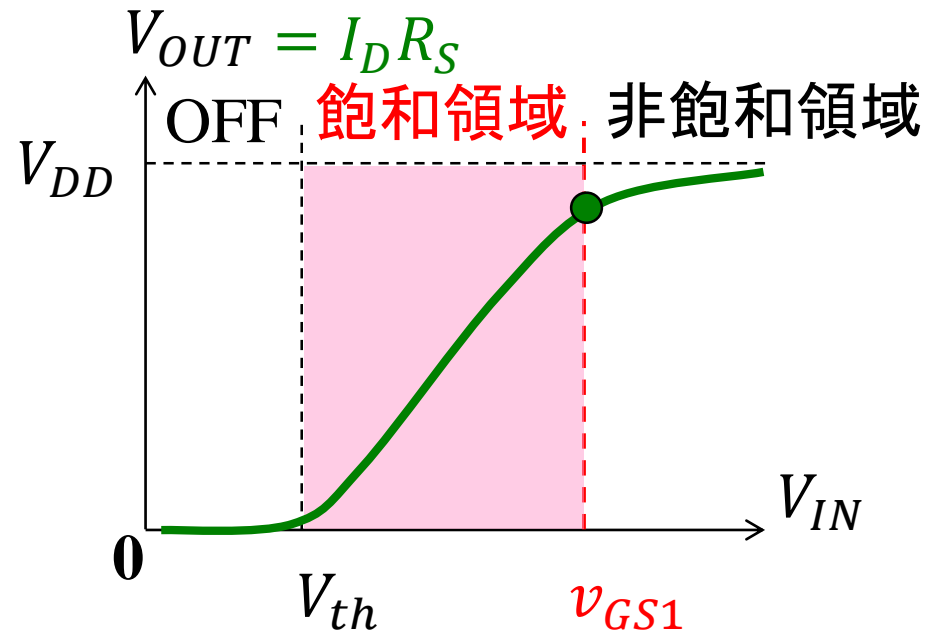
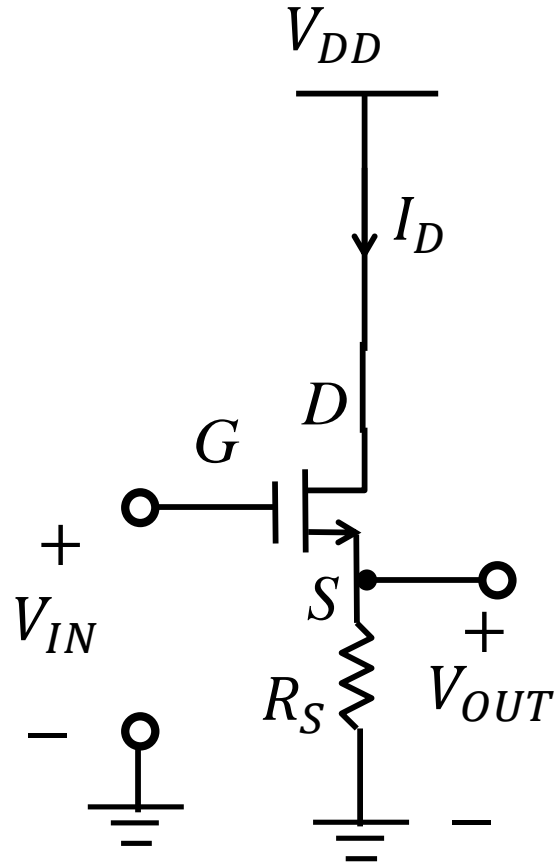
$$\begin{aligned} Z_{out} &= \left. \frac{v_{out}}{i_{out}} \right|_{v_{in}=0} \\ &= \frac{R_S}{1 + g_m R_S} \\ &\approx \frac{1}{g_m} \end{aligned}$$

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ドレイン接地増幅回路の大信号解析)

担当：坪根 正

(チャネル長変調効果は無視した場合)



飽和領域 $I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{IN} - V_{th} - V_{OUT})^2$

$$V_{OUT} = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{IN} - V_{th} - V_{OUT})^2 R_S$$

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義）

（ドレイン接地増幅回路の大信号解析）

担当：坪根 正

（チャネル長変調効果は無視した場合）

$$V_{OUT} = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{IN} - V_{th} - V_{OUT})^2 R_S$$

電圧利得：

$$A_v = \frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \approx 1$$

ドレイン接地増幅回路：

- ・ 電圧利得はたかだか1程度

しかし,

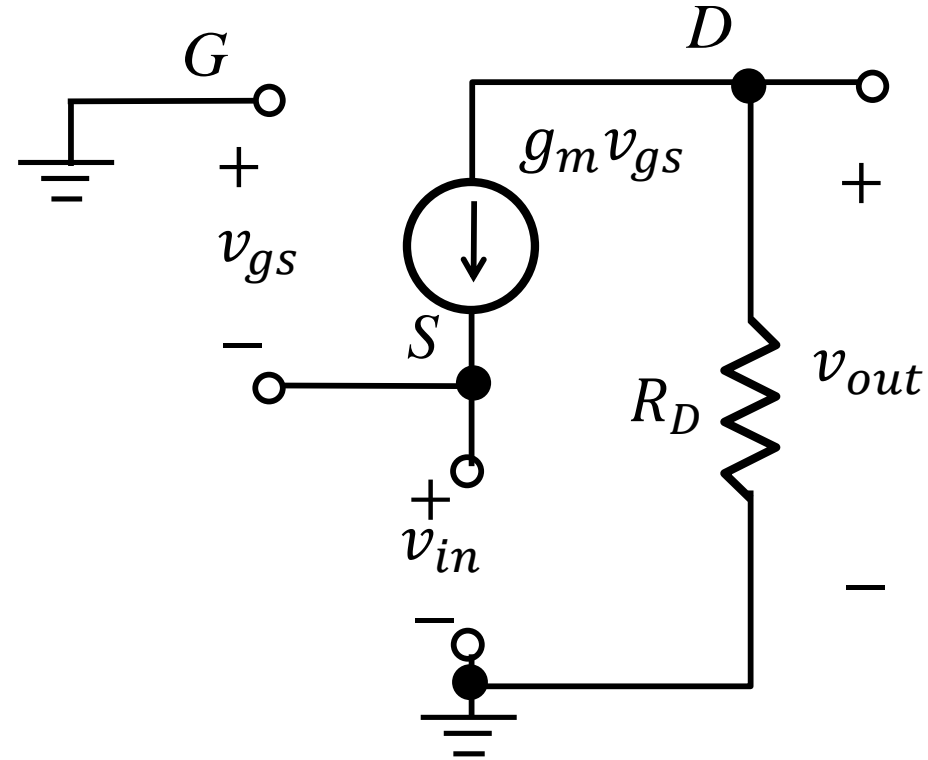
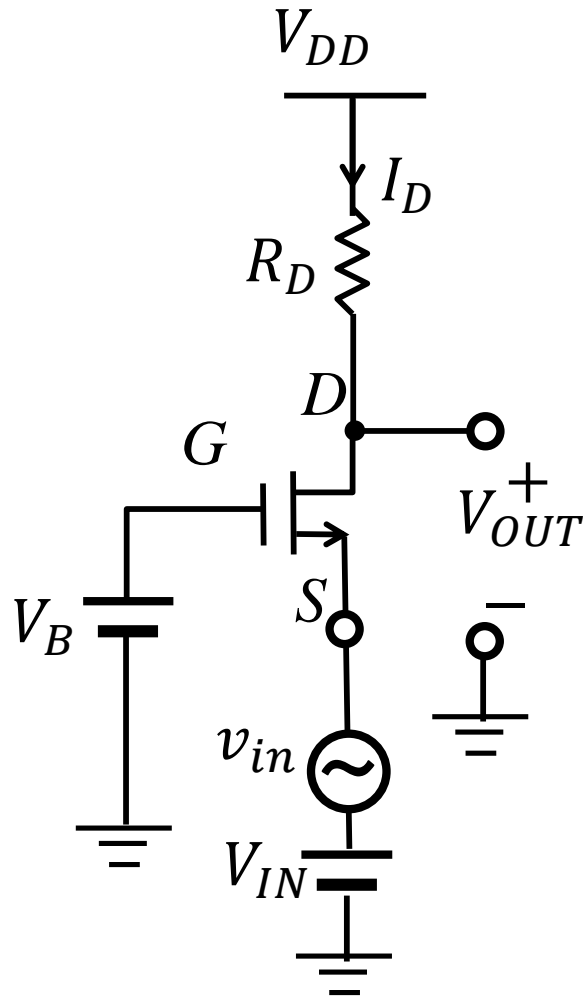
- ・ 低出力インピーダンス
- ・ 高入力インピーダンス

が実現できる

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ゲート接地増幅回路の小信号等価回路) 担当: 坪根 正

(チャネル長変調効果は無視した場合)



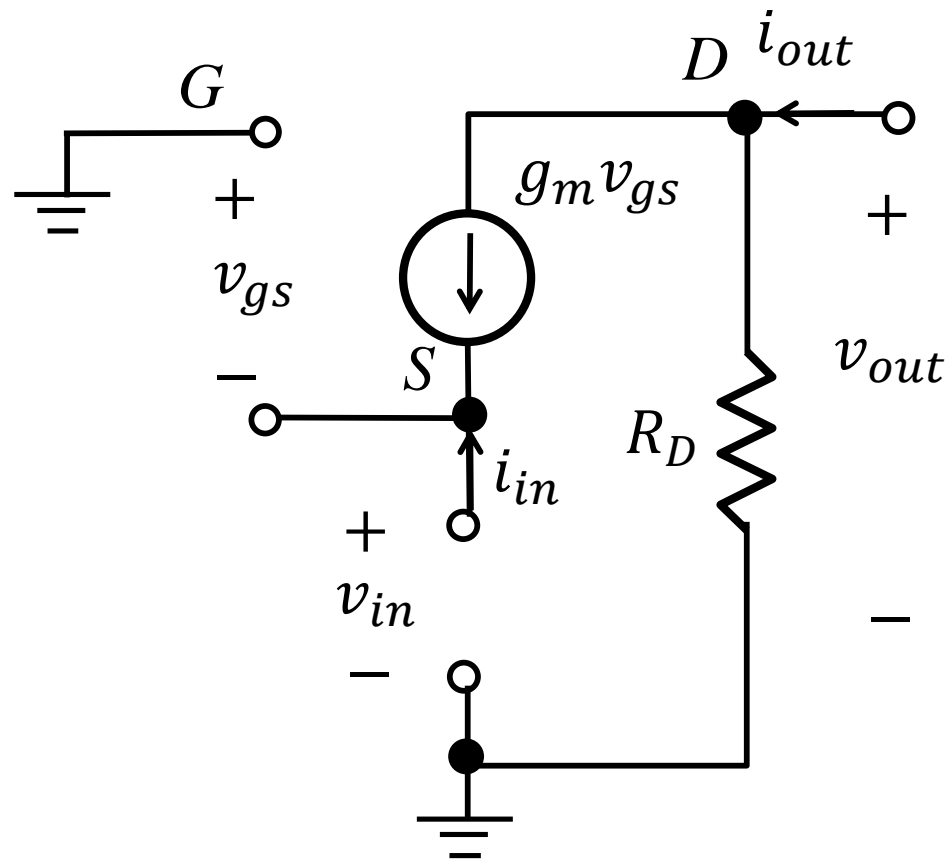
小信号等価回路

小信号電圧利得: $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = g_m R_D$

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ゲート接地増幅回路の入出力インピーダンス) 担当: 坪根 正

(チャネル長変調効果は無視した場合)



入力インピーダンス

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{g_m}$$

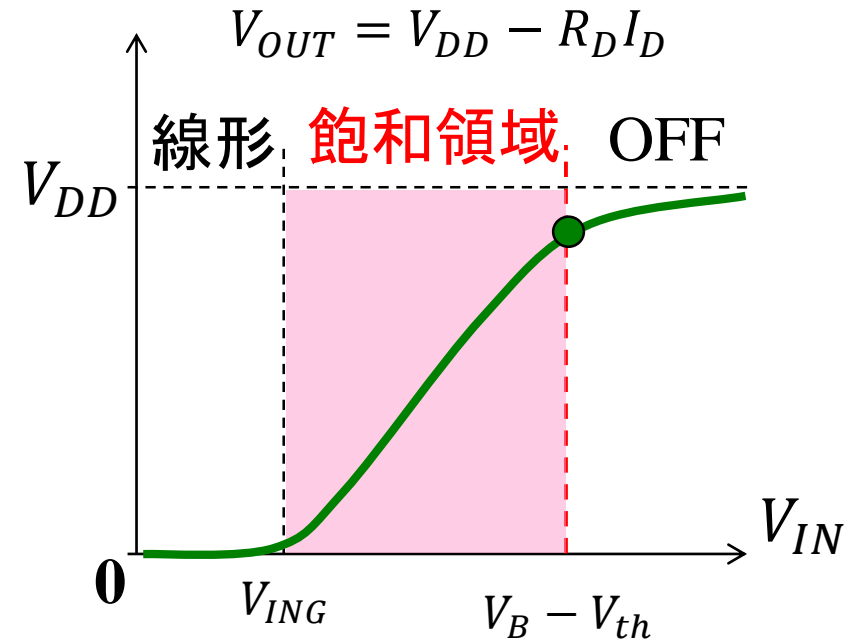
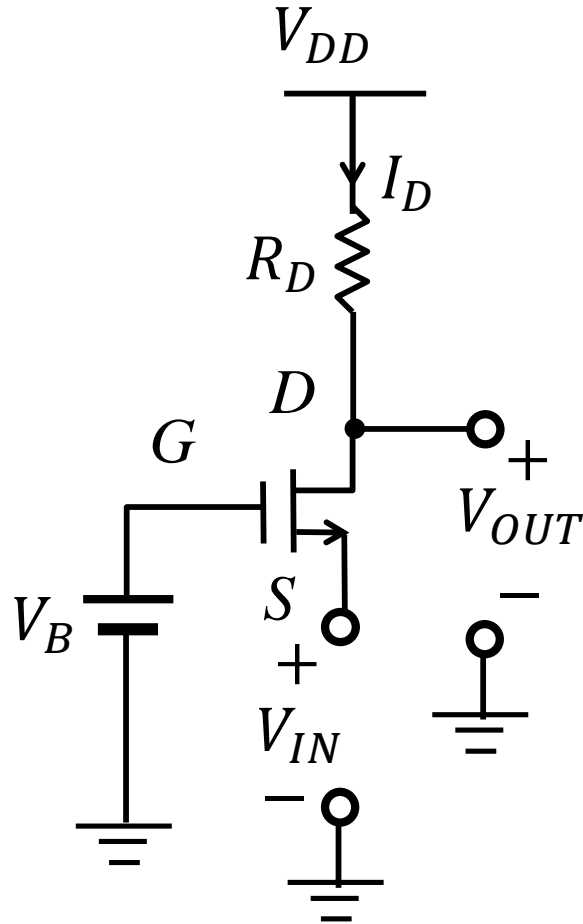
出力インピーダンス

$$Z_{out} = \left. \frac{v_{out}}{i_{out}} \right|_{v_{in}=0} = R_D$$

アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(ゲート接地増幅回路の大信号解析) 担当: 坪根 正

(チャネル長変調効果は無視した場合)



飽和領域 $I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_B - V_{IN} - V_{th})^2$

$$V_{OUT} = V_{DD} - \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_B - V_{IN} - V_{th})^2 R_D$$

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義）
（ゲート接地増幅回路の大信号解析） 担当：坪根 正
（チャネル長変調効果は無視した場合）

$$V_{OUT} = V_{DD} - \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_B - V_{IN} - V_{th})^2 R_D$$

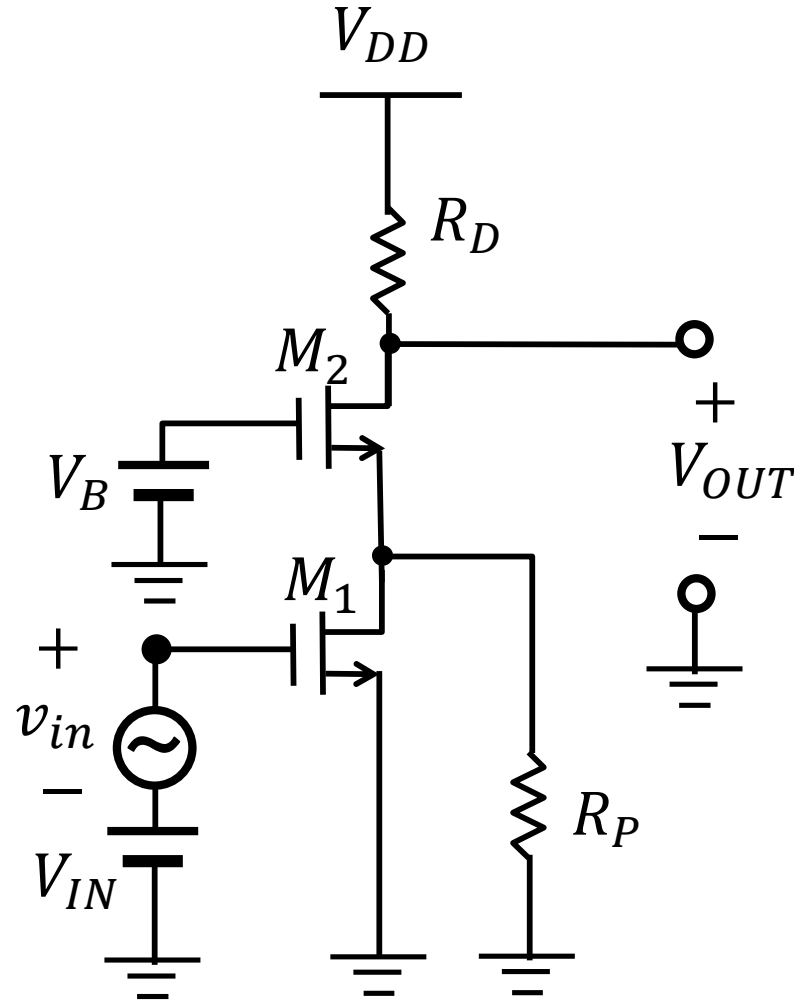
電圧利得：

$$A_v = \frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} = g_m R_D$$

ゲート接地増幅回路：

- ・ 電圧利得は $g_m R_D$ で非反転増幅が実現できる
- しかし、
- ・ 出力インピーダンスは大きく
 - ・ 入力インピーダンスは小さく
なってしまう

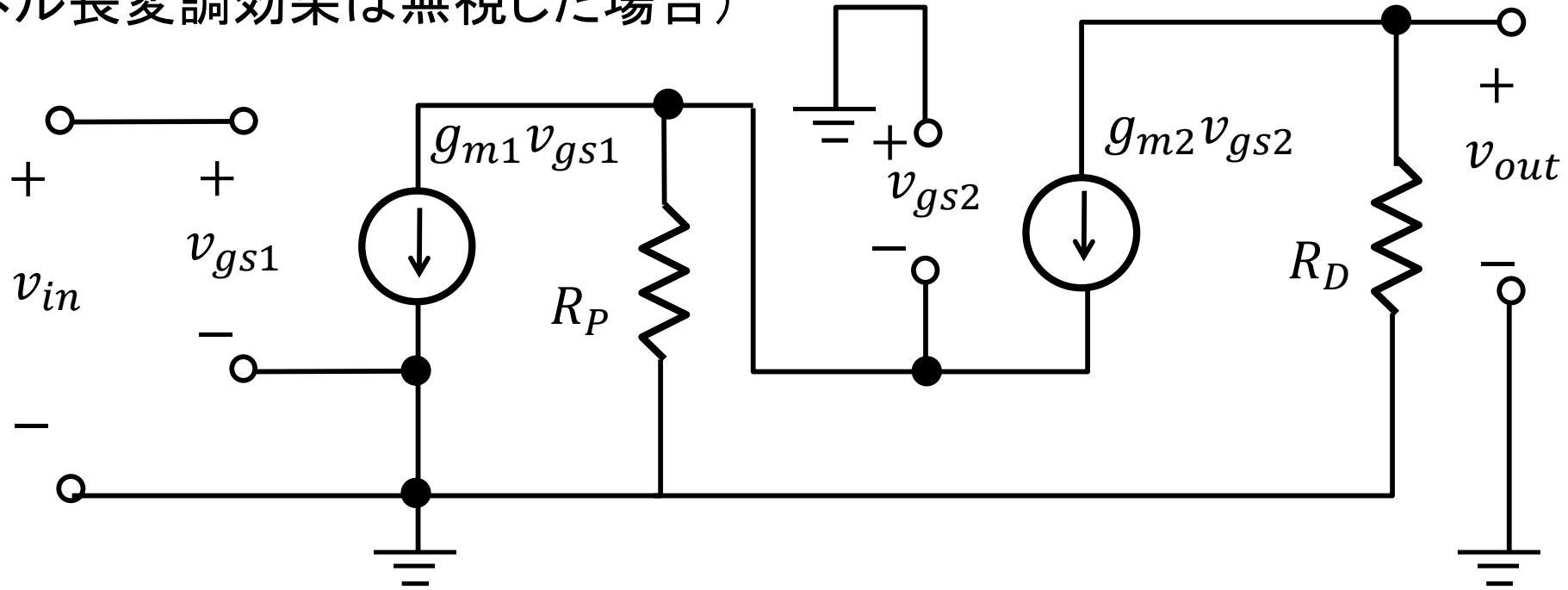
アナログ回路工学（6/4, 第05回講義）
（カスコード接続, ソース接地とゲート接地の縦続接続） 担当：坪根 正



アナログ回路工学 (6/4, 第05回講義)

(カスコード接続の小信号等価回路) 担当: 坪根 正

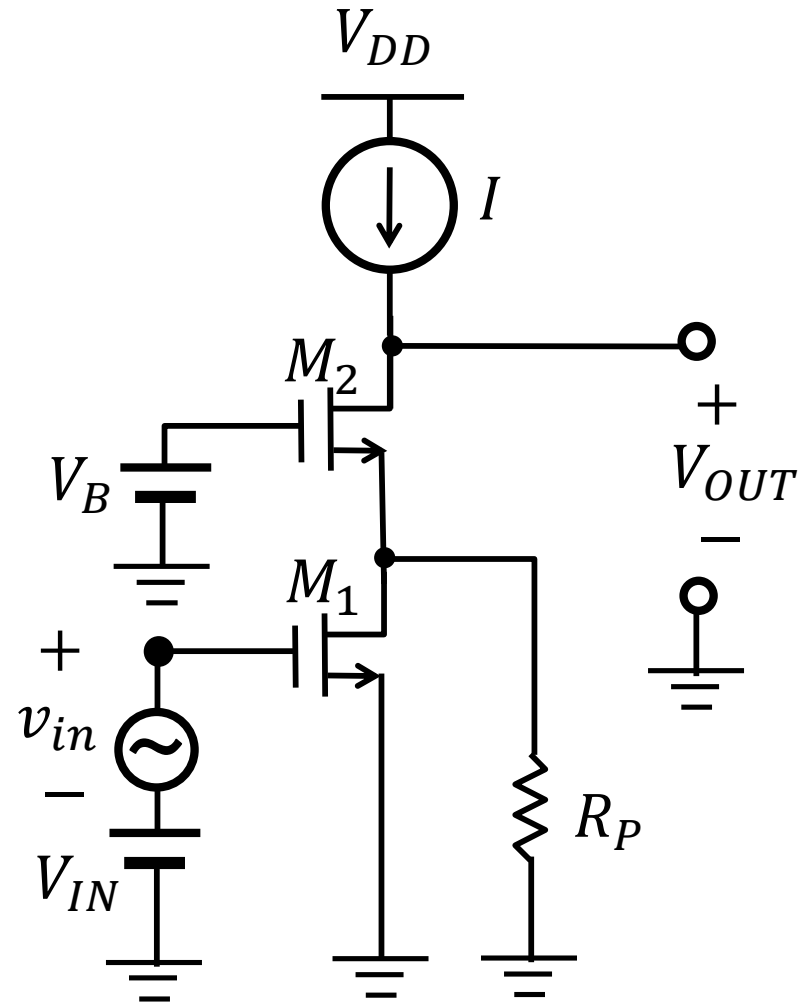
(チャネル長変調効果は無視した場合)



小信号電圧利得

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_{m1}g_{m2}R_DR_P}{1 + g_{m2}R_P}$$

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義）
（ソース接地増幅回路, カスコード接続, 定電流源負荷） 担当：坪根 正



アナログ回路工学（6/4, 第05回講義） （講義予定）

担当：坪根 正

5/ 7（木）： 講義ガイダンス・電子回路の基礎確認

5/14（木）： MOSTランジスタの特性

5/21（木）： MOSTランジスタの増幅作用

5/28（木）： 基本増幅回路の小信号特性(1)

6/ 4（木）： 基本増幅回路の小信号特性(2)

6/11（木）： 増幅回路の高周波特性

6/18（木）： 前半のまとめと演習（レポート作成日）

6/22（月）： 第1回レポート提出締め切り

6/25（木）： 差動増幅回路(1)

7/ 2（木）： 差動増幅回路(2)

7/ 9（木）： 電流源回路, バイアス回路

7/16（木）： 負帰還回路

7/23（木）： MOS集積回路, 演算増幅器

7/30（木）： （予備日）（レポート作成日）

8/ 3（月）： 第2回レポート提出締め切り

アナログ回路工学（6/4, 第05回講義） （最後に）

担当：坪根 正

本日の演習問題の締め切りは 6月8日(月) 23:59 です

- 演習問題の解答をILIASへ提出して下さい
- ファイル形式はpdfにして下さい)
- ファイル名は全て半角で
学籍番号-analog-2桁の講義番号.pdf として下さい
例：2031XXXXanalog05.pdf のように)

繋げて

繋げて

協力をお願いします