

アナログ回路工学

(5月21日, 第03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 (5/21, 第03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 (5/21, 第03回講義) (初めに 2/2) 担当：坪根 正

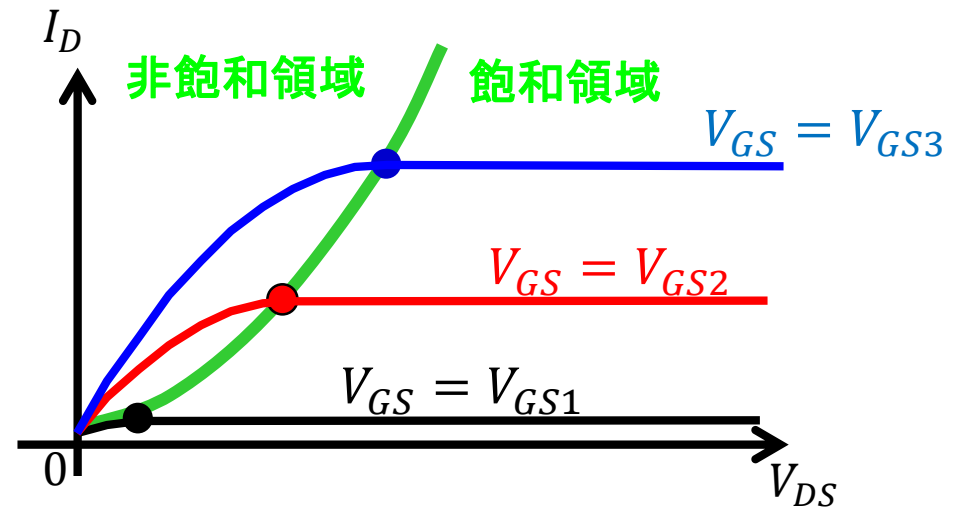
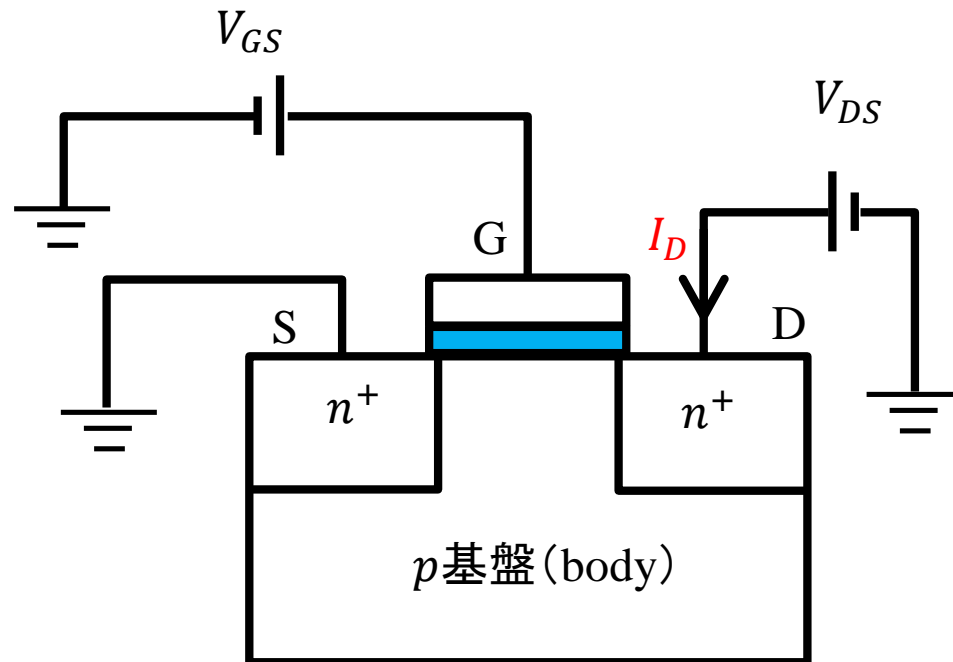
とても大切なこと：

**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**

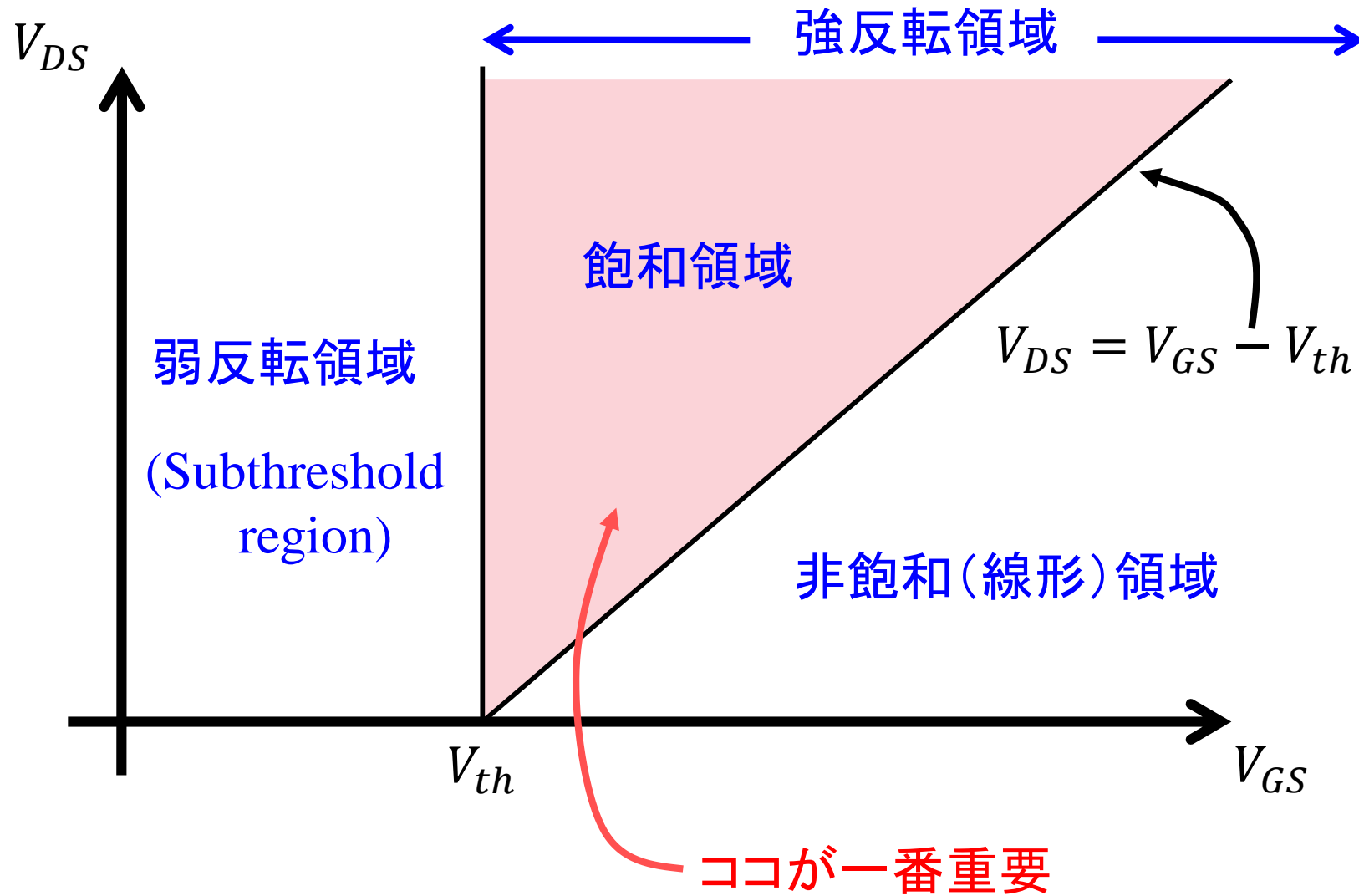
十分に注意して下さい

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義, 前回の復習) (MOSFETの電流電圧特性) 担当: 坪根 正

MOSFETの電流電圧特性 (ドレイン電流 I_D)



アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義, 前回の復習) (MOSFETの動作領域) 担当: 坪根 正



アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義, 前回の復習)

(MOSFETのドレイン電流 担当: 坪根 正)

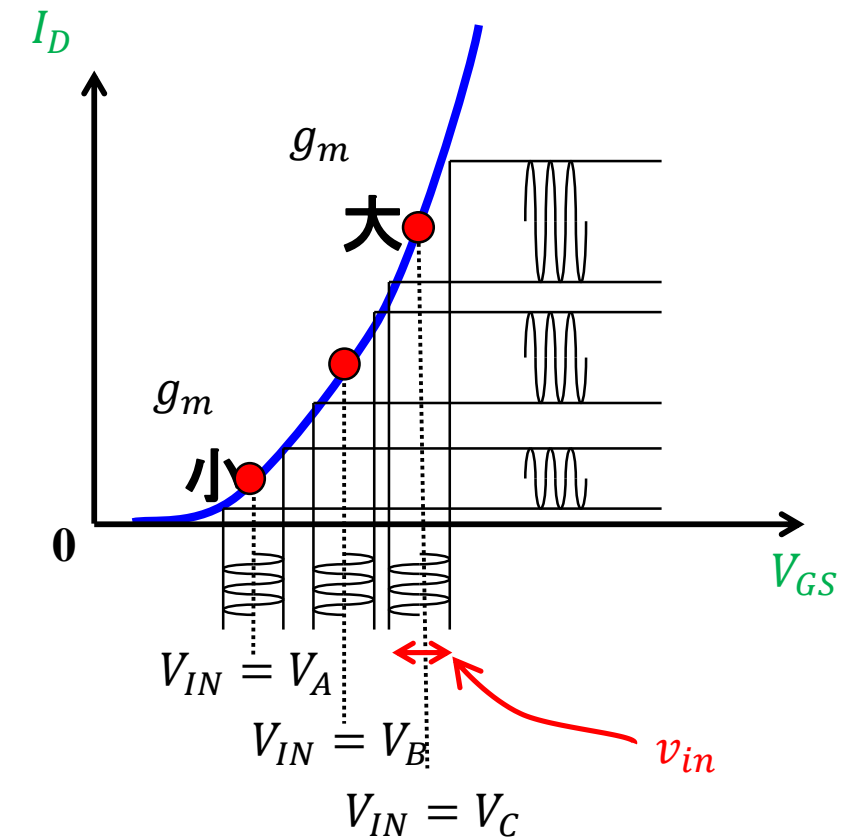
V_{DS} V_{GS}	$V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$	$V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$
$V_{GS} > V_{th}$ 強反転	$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left\{ (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right\}$ 非飽和(線形)	$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2$ 飽和
$V_{GS} < V_{th}$ 弱反転	$I_D \approx 0$	

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(本日の講義内容) 担当: 坪根 正

電流電圧特性の2次効果を理解する
チャンネル長変調効果

MOSFETの増幅作用を理解する

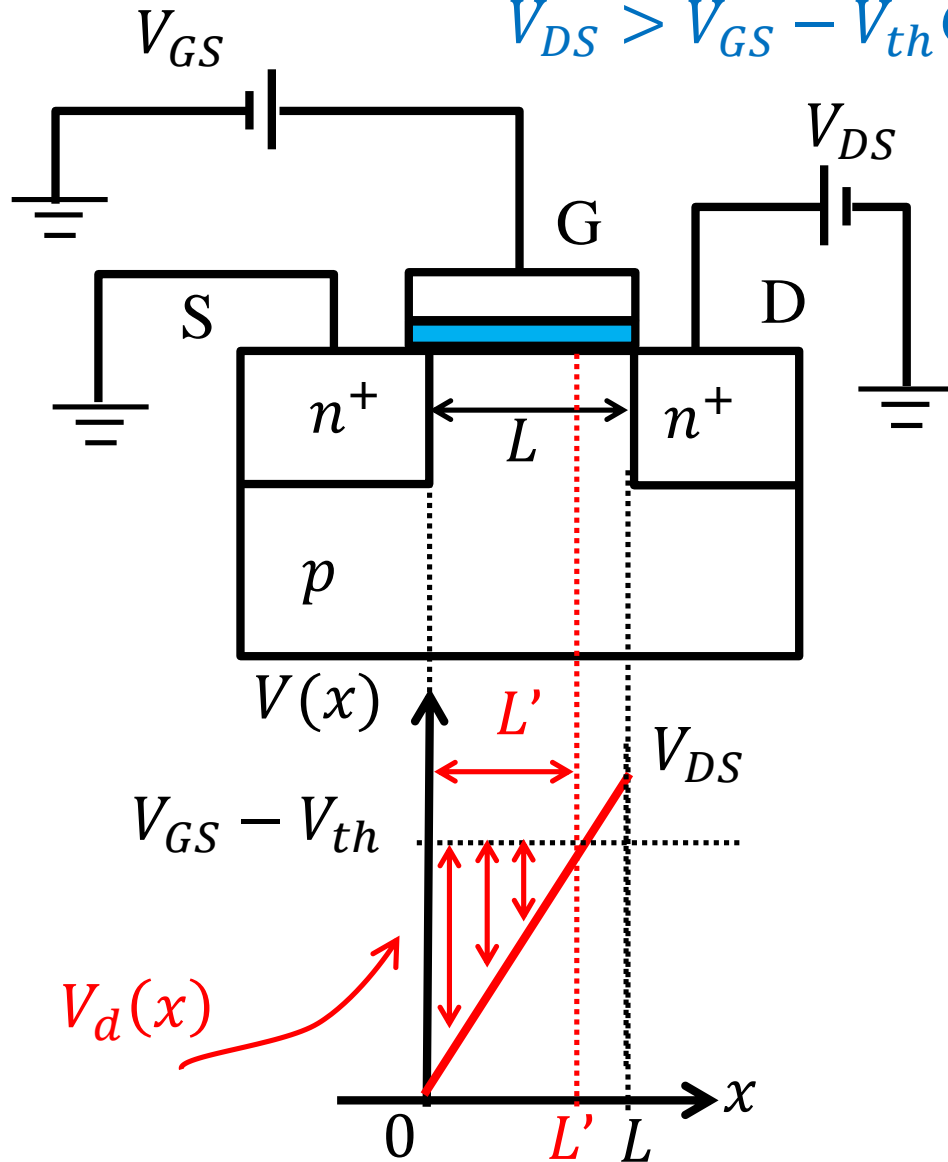


アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(チャネル長変調効果)

担当：坪根 正

$V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ の場合 (飽和領域)



ピンチオフが発生
($x = L'$ で反転層が止まる)

ドレイン電流:

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

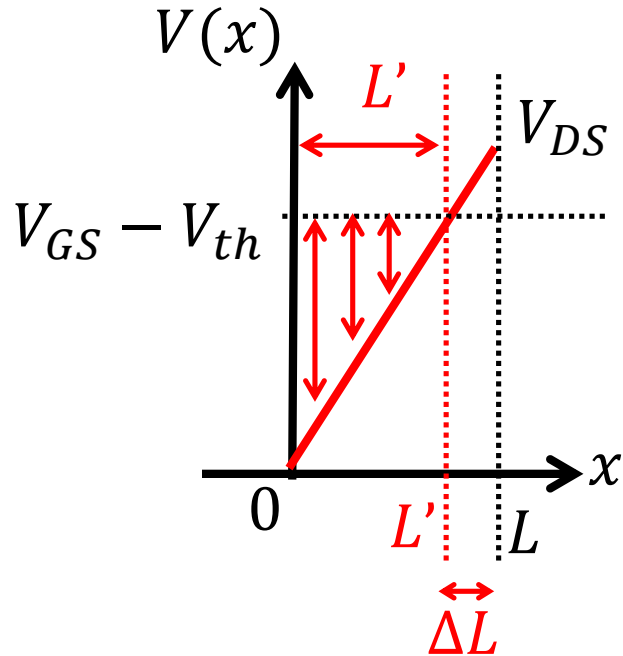
L' にする必要がある

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(チャネル長変調効果)

担当: 坪根 正

$V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ の場合 (飽和領域)



$$(L' = L - \Delta L)$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L'} (V_{GS} - V_{th})^2$$
$$\frac{1}{L'} = \frac{1}{L} \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta L}{L}\right)} = \frac{1}{L} \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right)$$

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 \dots$$

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

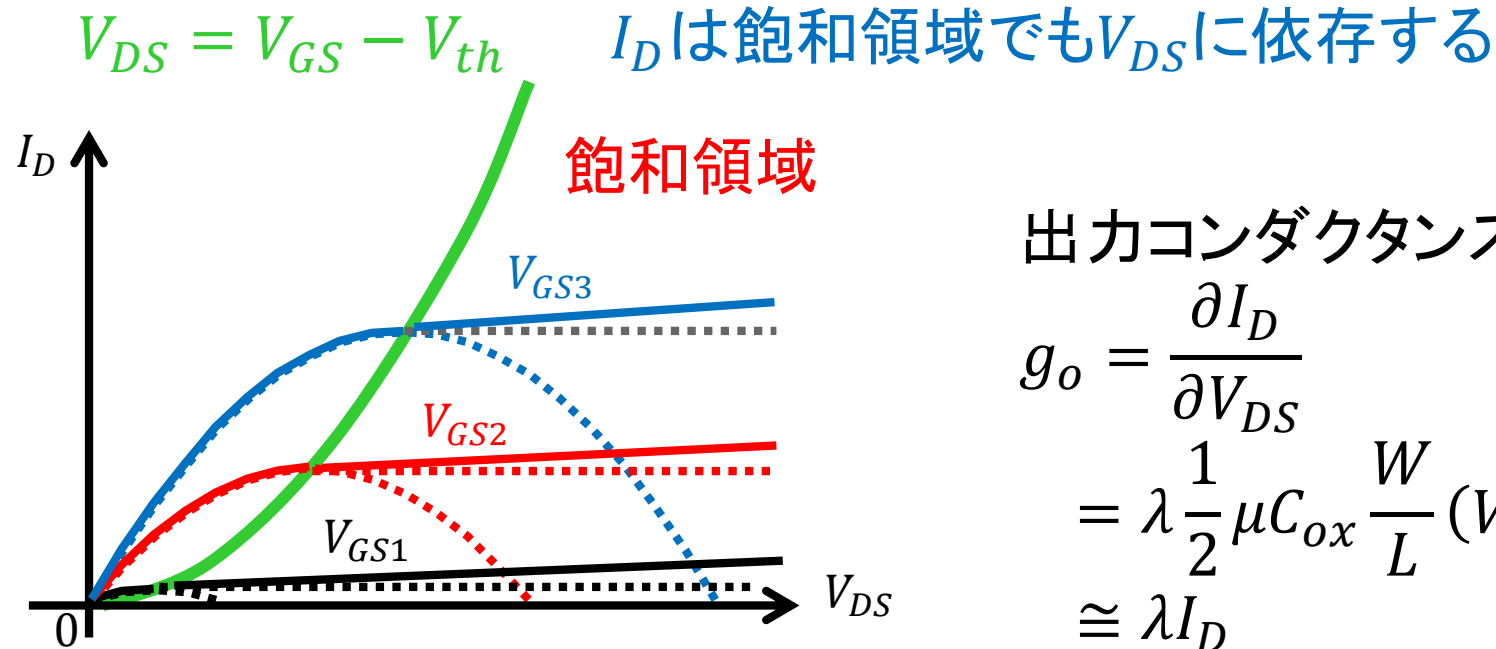
$$\frac{\Delta L}{L} \cong \lambda V_{DS} \text{ とする}$$

λ : チャネル長変調係数

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(チャネル長変調効果)

担当：坪根 正



出力コンダクタンス: g_o

$$\begin{aligned} g_o &= \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \\ &= \lambda \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 \\ &\cong \lambda I_D \end{aligned}$$

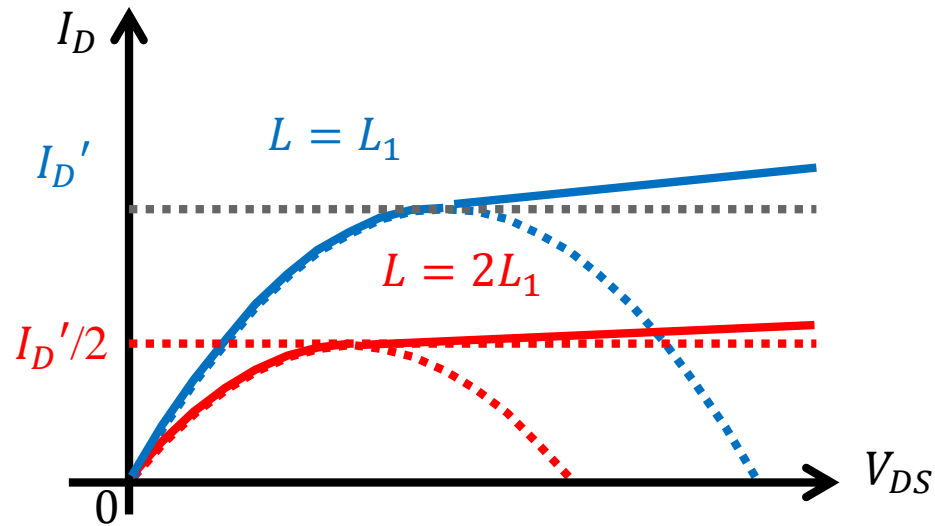
出力コンダクタンス g_o は V_{GS} に依存して変化

→ この飽和領域での I_D の V_{DS} 依存性は誤差と扱われることも多い

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(チャネル長と出力コンダクタンス) 担当：坪根 正

チャネル長が $L = L_1$ の時と $L = 2L_1$ の時の特性の違いは？



出力コンダクタンス: g_o

$$g_o = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \propto \frac{1}{L^2}$$

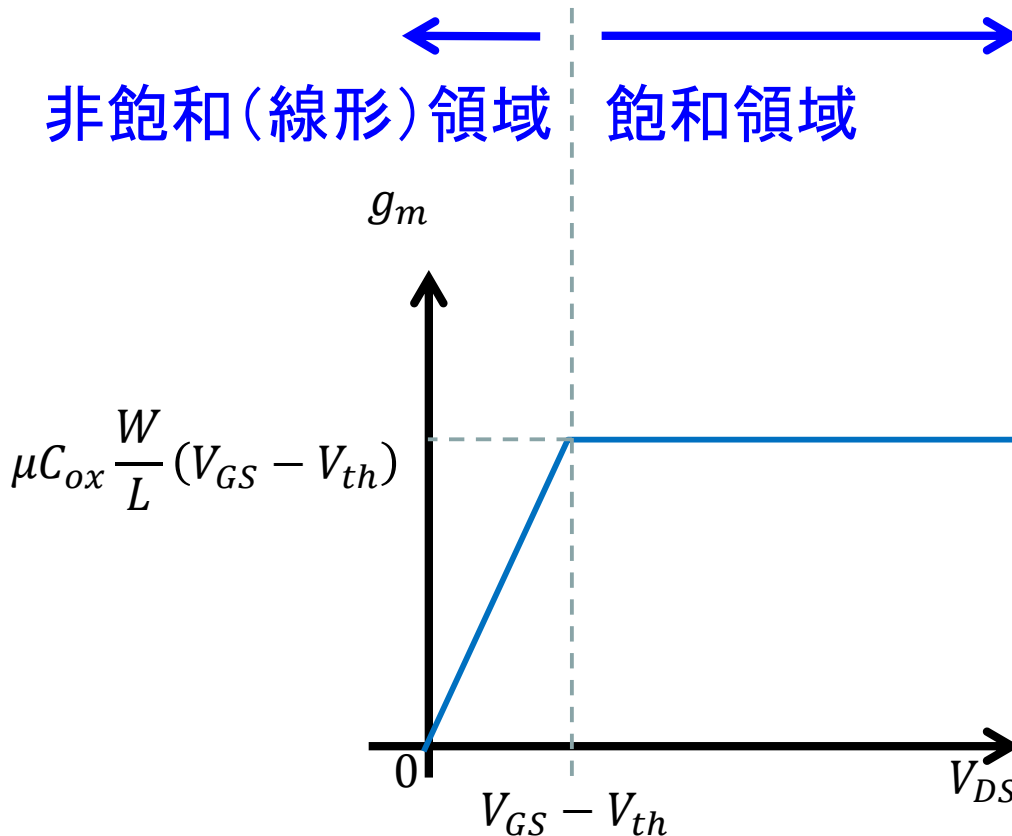
L が大きいほど出力コンダクタンス g_o は小さくなる
→ 電流駆動能力は低下

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(トランス(伝達)コンダクタンス g_m)

担当：坪根 正

V_{DS} の関数として g_m を図示すると？(チャネル長変調効果は無視した場合)



$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}$$

線形領域:

$$\mu C_{ox} \frac{W}{L} V_{DS}$$

飽和領域:

$$\mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})$$

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(MOSFETのバイアス)

担当：坪根 正

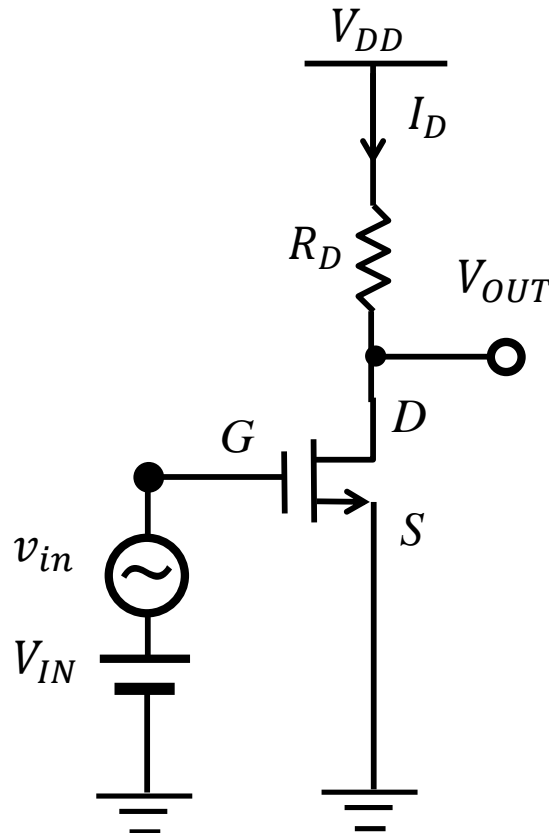
MOSFETが飽和領域で動作していることを確認するには？

チャネル長変調効果を見捨てる場合、

$$\text{飽和領域: } I_D = \frac{1}{2} g_m (V_{GS} - V_{th})$$

$V_{OUT} > V_{GS} - V_{th}$ であれば良いので、

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{DD} - R_D I_D \\ &= V_{DD} - \frac{1}{2} g_m (V_{GS} - V_{th}) R_D \\ &> V_{GS} - V_{th} \end{aligned}$$



$$\text{よって, } V_{DD} > (V_{GS} - V_{th}) \left(1 + \frac{1}{2} g_m R_D \right)$$

(必要なバイアスの大きさが分かる)

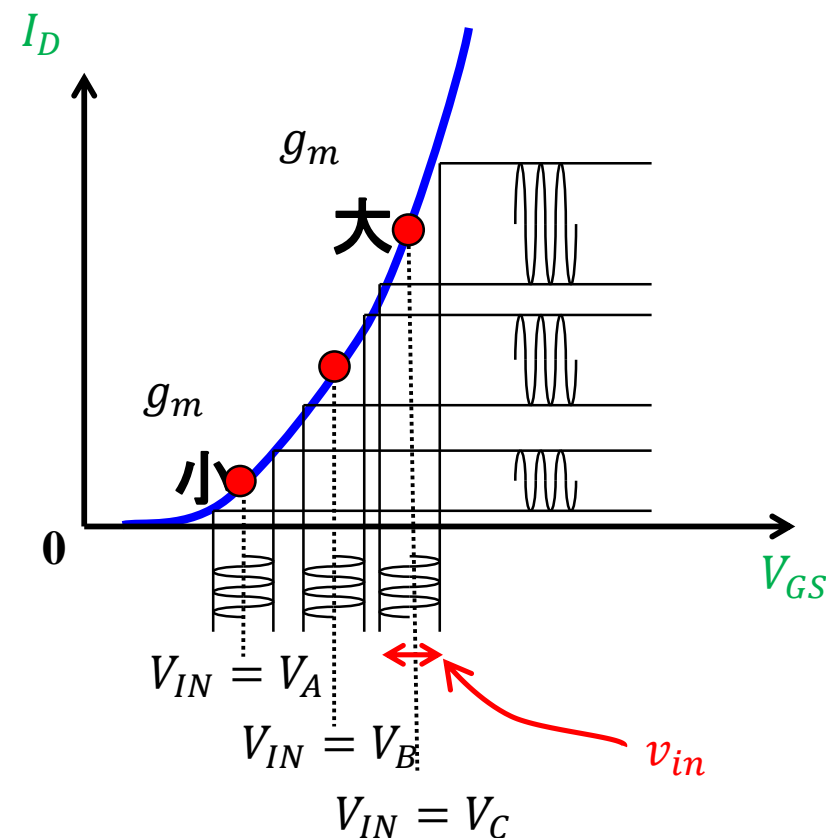
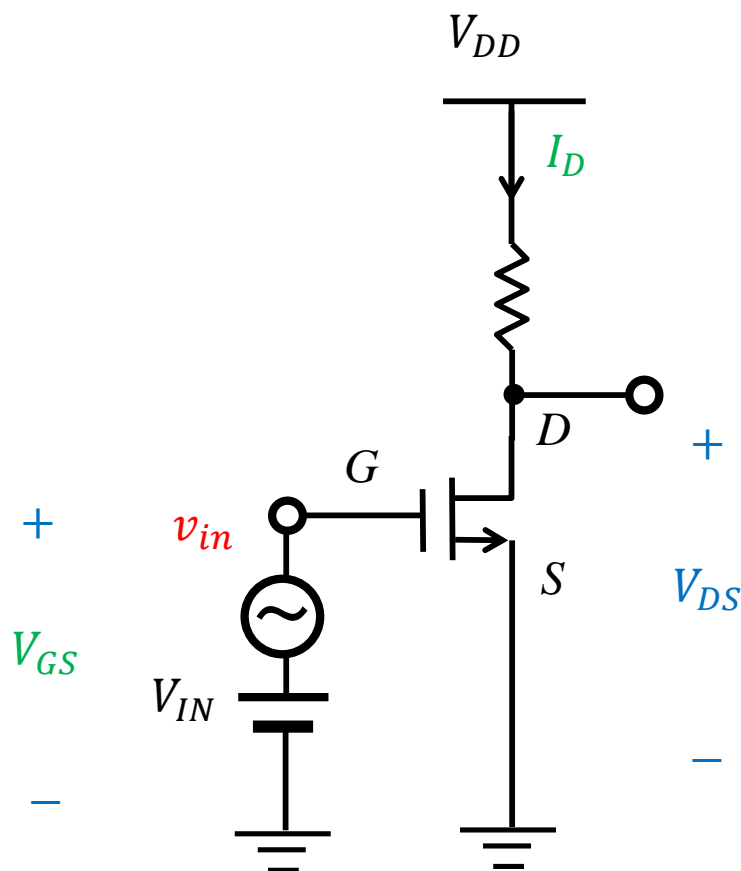
アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(まとめ1/3, MOSFETの増幅作用)

担当：坪根 正

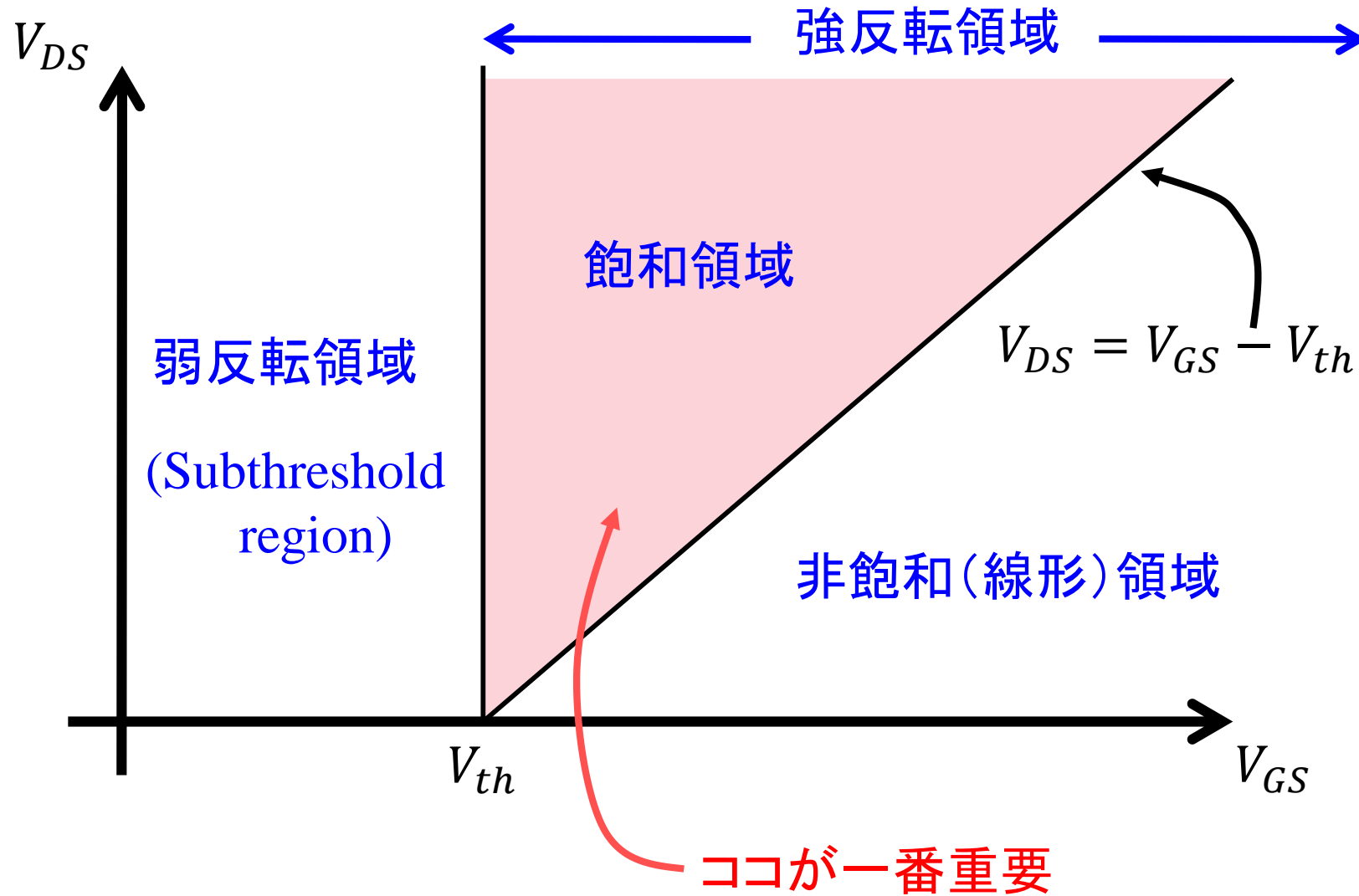
微小な入力摂動(ゲート電圧信号の変化)を
大きな出力変動(ドレイン電流の変化)として取り出す

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



アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(まとめ2/3) 担当: 坪根 正



アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義)

(まとめ3/3) 担当：坪根 正

V_{DS} V_{GS}	$V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$	$V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$
$V_{GS} > V_{th}$ 強反転	$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left\{ (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right\}$ 非飽和(線形)	$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS})$ 飽和
$V_{GS} < V_{th}$ 弱反転	$I_D \approx 0$	

アナログ回路工学 (5/21, 第03回講義) (最後に) 担当：坪根 正

本日の演習問題の締め切りは 5月25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：2031XXXX-analog-03.pdf のように)

半角ハイフン

半角ハイフン

協力をお願いします