

第7章 インピーダンス変換回路

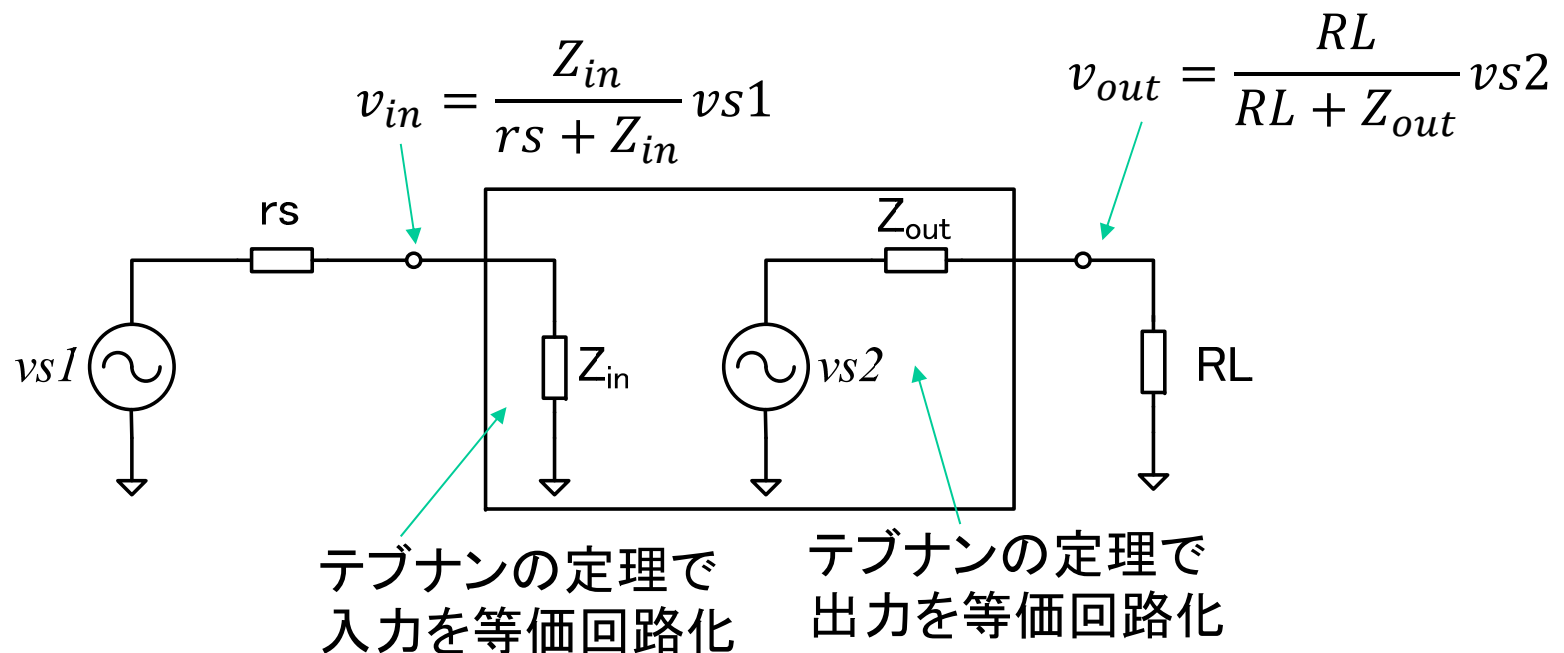
入力インピーダンスと出力インピーダンス

入カインピーダンス、出カインピーダンスの電圧利得への影響

7.1 入カインピーダンスと出カインピーダンス

入出カインピーダンス

回路の入カインピーダンス Z_{in} 、出カインピーダンス Z_{out} は、回路と回路の接続特性を示す重要な指標。



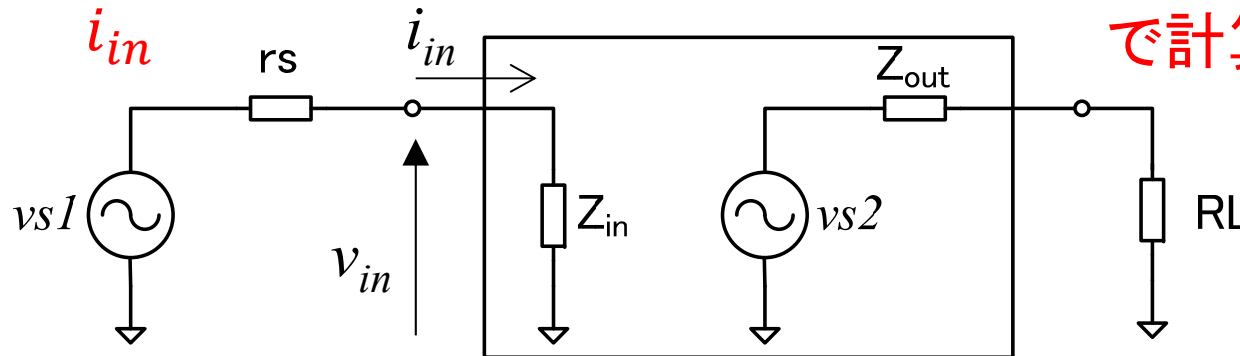
$Z_{out} = 1\text{MEG}$, $RL = 1\text{k}$ の場合、 $v_{out} = 0.001v_{s2}$ しか出力できない。

入出カインピーダンスの計算法

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

入カインピーダンス

RLを付けたままで計算する。

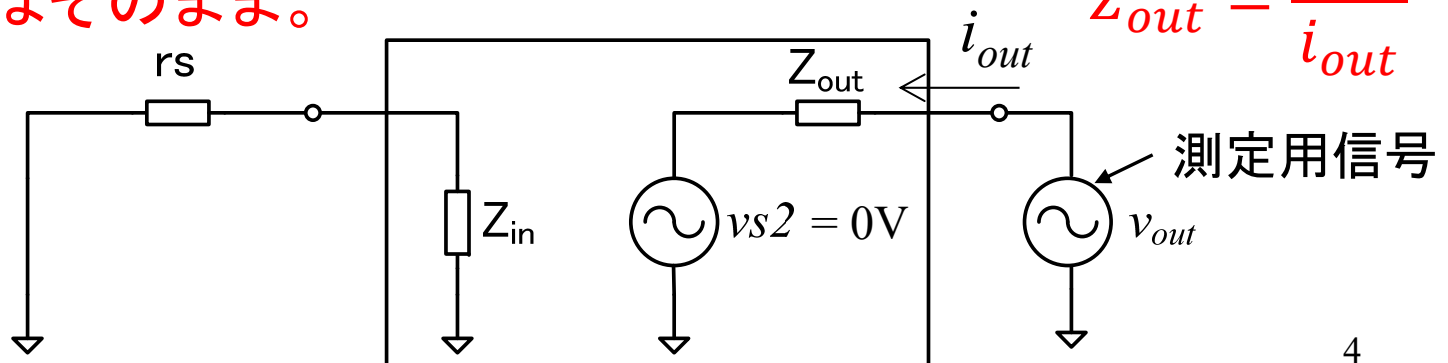


信号をストップして計算する。rsはそのまま。

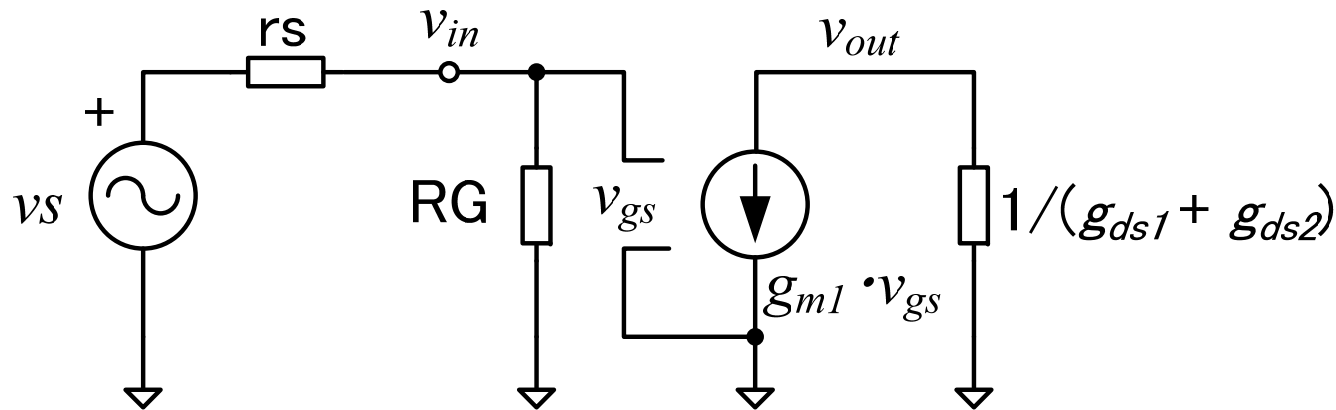
出カインピーダンス

RLは外す。

$$Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}}$$



ソース接地増幅回路の入出力インピーダンスの計算



入力インピーダンス

小信号等価回路より、 $Z_{in} = R_G$ (R_G に依存)

出力インピーダンス

$v_S = 0V$ のとき、 $v_{gs} = 0V$ 、 $g_{m1}v_{gs} = 0A$

従って、 $Z_{out} = 1/(g_{ds1} + g_{ds2}) = r_{ds1} // r_{ds2}$ (非常に大きい)

入力インピーダンスの影響

- 信号源の出力端子に何も接続しないで測定すると v_S の電圧が観測される。
- しかし、増幅回路を接続すると信号が減衰してしまう。

$$v_{gs} = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + r_S} v_S = \frac{RG}{RG + r_S} v_S = \frac{1}{1 + \frac{r_S}{RG}} v_S$$

- $RG \gg r_S$ の場合は、 $v_{gs} = v_S$
- $RG = r_S$ の場合は、 $v_{gs} = 0.5v_S$
- $RG \ll r_S$ の場合は、 $v_{gs} = 0V$
- 信号源の出力インピーダンスが高い場合（センサなどに多い）、 RG を十分大きな抵抗にする必要がある。

出カインピーダンスの影響

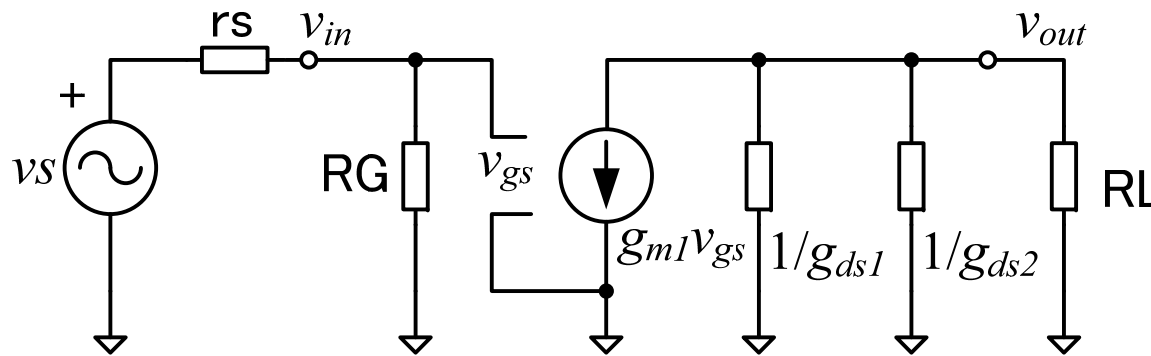
- 増幅回路の出力端子に何も接続しないで測定すると、増幅された信号(ここでは、 v_{S2} とする)が観測される。
- しかし、外部負荷を接続すると信号が減衰してしまう。

$$v_{out} = \frac{RL}{RL + Z_{out}} v_{S2} = \frac{RL}{RL + r_{ds1} // r_{ds2}} v_{S2} = \frac{1}{1 + \frac{r_{ds1} // r_{ds2}}{RL}} v_{S2}$$

- $RL \gg r_{ds1} // r_{ds2}$ の場合は、 $v_{out} = v_{S2}$
 - $RL = r_{ds1} // r_{ds2}$ の場合は、 $v_{out} = 0.5v_{S2}$
 - $RL \ll r_{ds1} // r_{ds2}$ の場合は、 $v_{out} = 0V$
- 出力端子に抵抗をつなぐためには、出カインピーダンスを下げる必要となる(次スライド参照)

並列接続数による出カインピーダンスの変更

並列接続数Mを変えると、電圧利得を変えずに、出カインピーダンスを低くすることができる。



$$g_{m1} = K\sqrt{2\beta_n I_D}$$

$$g_{ds} = K\lambda I_D$$

$$Gain = -\frac{g_{m1}}{g_{ds1} + g_{ds2}} = \sqrt{\frac{2\beta_n}{I_D}} \frac{1}{\lambda_n + \lambda_p} \quad (\text{変更なし})$$

$$Z_{out} = \frac{1}{g_{ds1} + g_{ds2}} = \frac{1}{K(\lambda_n I_D + \lambda_p I_D)} \quad (1/K \text{倍})$$

7.1節のまとめ

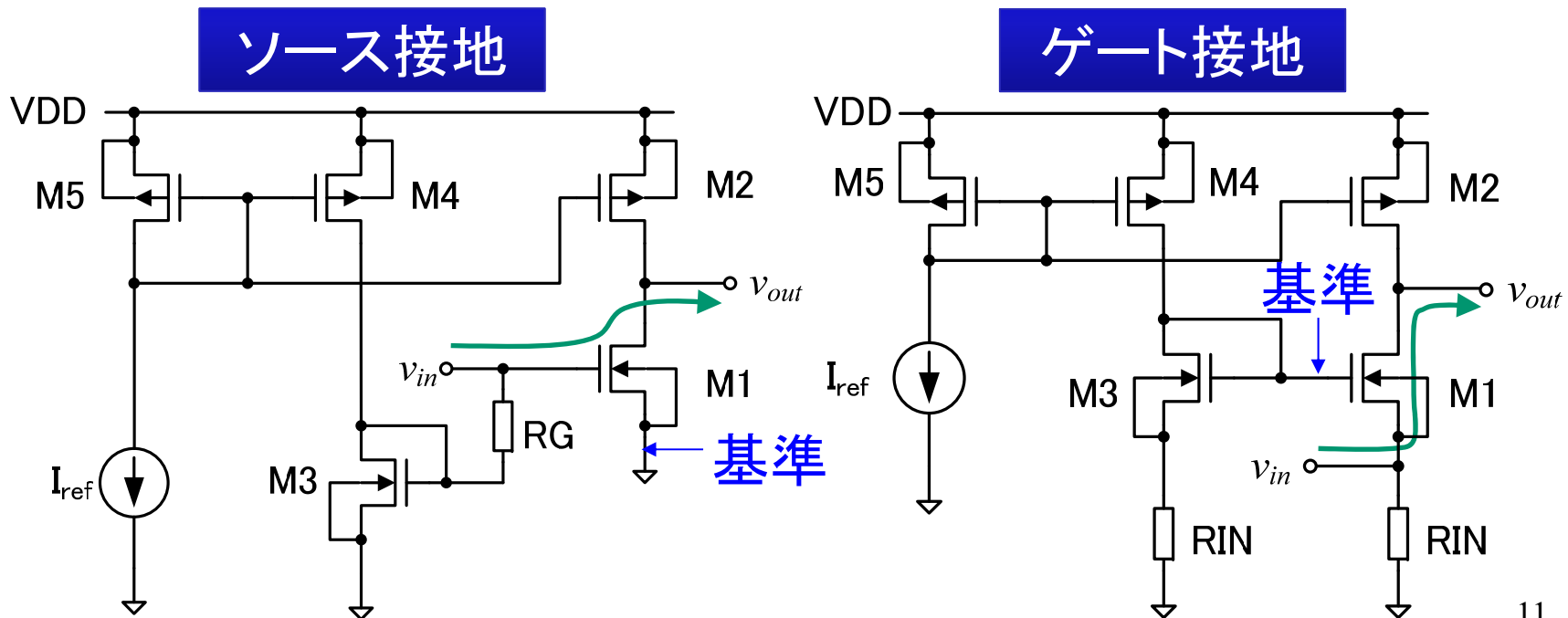
- 小信号等価回路を用いて、電圧利得、入力インピーダンス、出力インピーダンスなどを求めることができる
- ソース接地電圧増幅回路の電圧利得、入力インピーダンス、出力インピーダンスは下記の性質を持つ
 - 電圧利得は、 $I_D^{-1/2}$ に比例、並列接続数 M に依存しない
 - 入力インピーダンスは、 R_G に比例
 - 出力インピーダンスは、 I_D^{-1} に比例、 M^{-1} に比例

インピーダンスを上げる回路

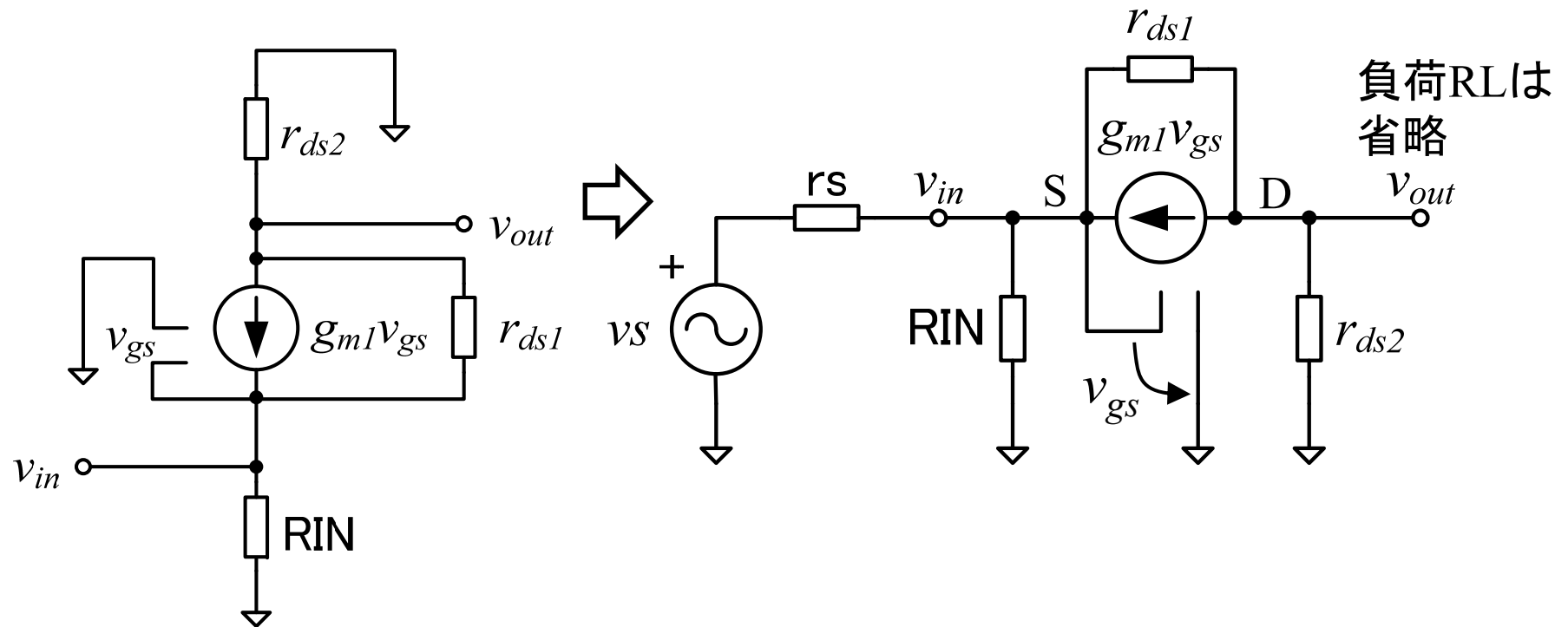
7.2 ゲート接地増幅回路

ゲート接地増幅回路

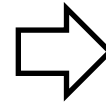
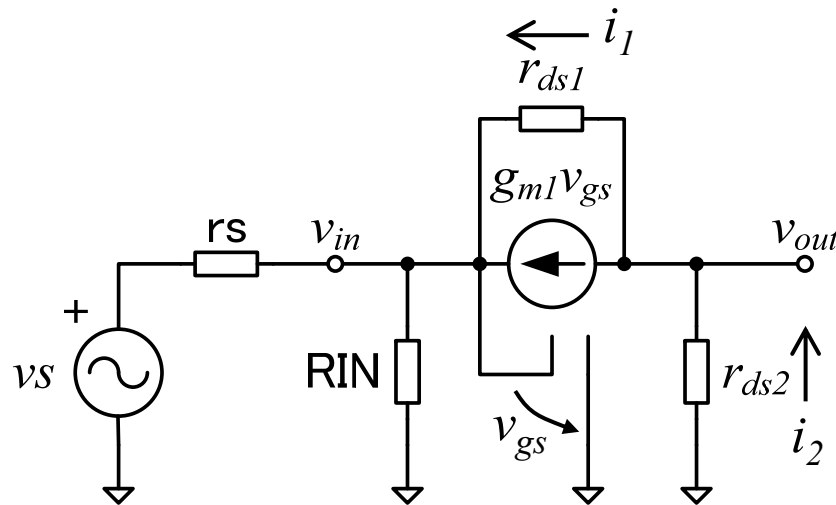
これまでは、ソース電位を基準(一定電圧)とした電圧増幅回路について学んだが、ゲート電位を基準として電圧増幅することもできる。**ゲート接地増幅回路(Common-gate amplifier, CG amplifier)**と呼ばれる。



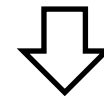
ゲート接地増幅回路の小信号等価回路



ゲート接地増幅回路の電圧利得



$$\begin{cases} v_{gs} = -v_{in} \\ v_{out} - v_{in} = r_{ds1} i_1 \\ v_{out} = r_{ds2} (-i_2) \\ i_2 = i_1 + g_{m1} v_{gs} \end{cases}$$



自分で解いてみること ソース
接地と
の差

$$Gain = \frac{v_{out}}{v_{in}} = (g_{m1} r_{ds1} + 1) \frac{r_{ds2}}{r_{ds1} + r_{ds2}} = \frac{g_{m1} + g_{ds1}}{g_{ds1} + g_{ds2}}$$

- 非反転増幅(入力と出力の波形が反転しない)
- ソース接地増幅回路よりも少し利得が大きい

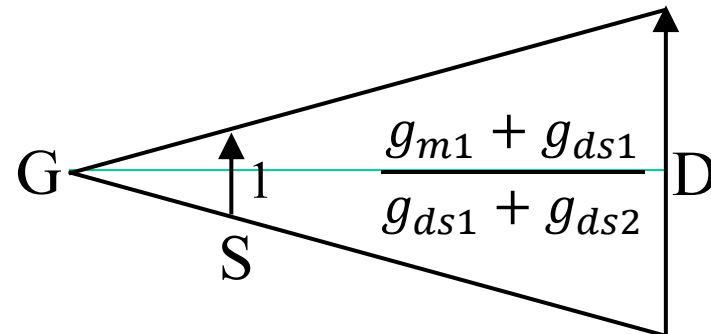
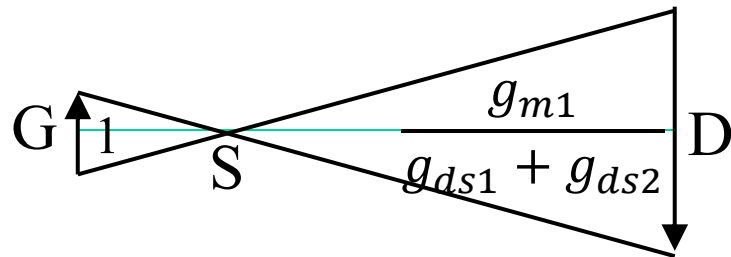
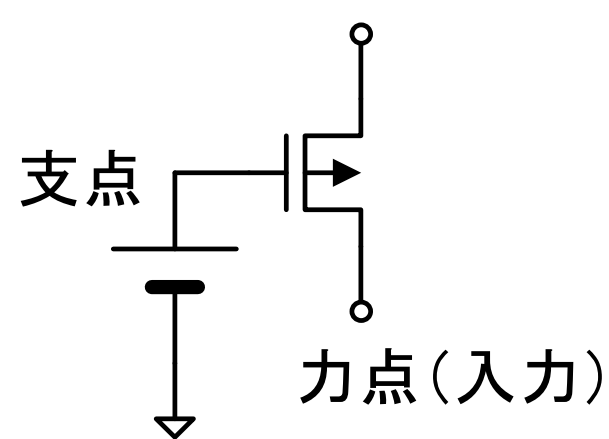
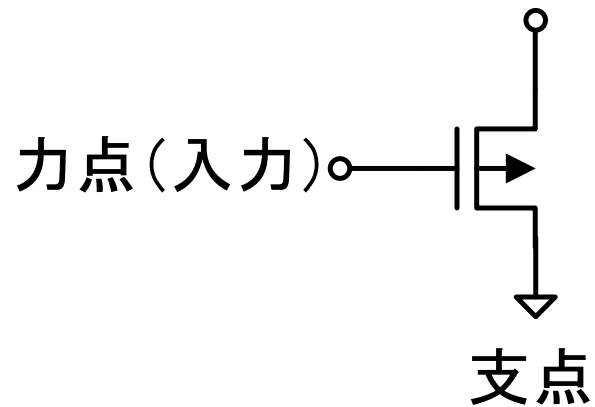
てこの原理1？

ソース接地

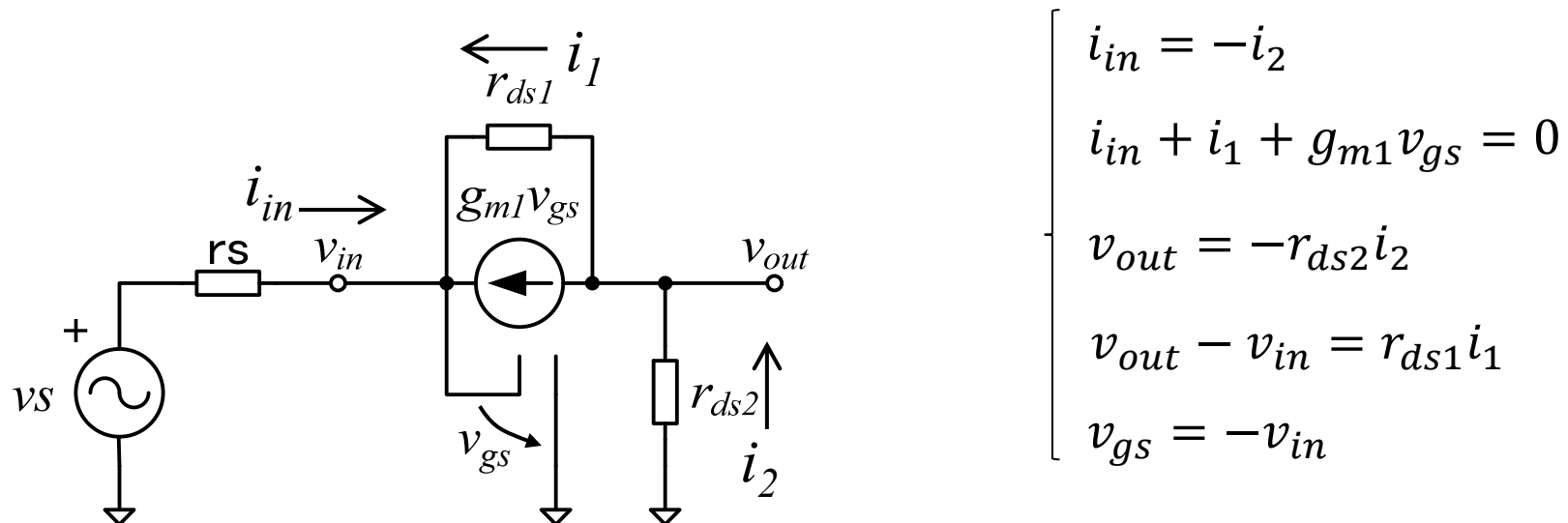
ゲート接地

作用点(出力)

作用点(出力)



ゲート接地増幅回路の入カインピーダンス

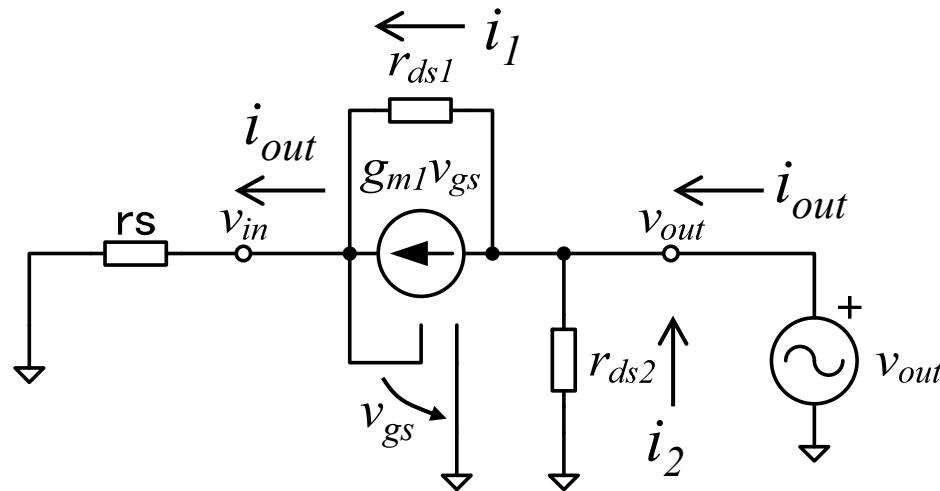


入カインピーダンス測定回路 ($R_{IN} \doteq \infty$ として無視した)

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{r_{ds1} + r_{ds2}}{1 + g_{m1}r_{ds1}} \cong \frac{r_{ds1} + r_{ds2} \quad r_{ds1}=r_{ds2}}{g_{m1}r_{ds1}} \rightarrow \frac{2}{g_{m1}} = \frac{2}{\sqrt{2\beta_n I_D}}$$

$$I_D = 12\mu\text{A} \text{ のとき、} Z_{in} = 16\text{k}\Omega$$

ゲート接地増幅回路の出カインピーダンス



$$\begin{cases} v_{gs} = -r_s \cdot i_{out} \\ i_{out} + i_2 = i_1 + g_{m1} v_{gs} \\ v_{out} = -r_{ds2} i_2 \\ v_{out} = r_{ds1} i_1 + r_s \cdot i_{out} \end{cases}$$

出カインピーダンス測定回路

$$Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{r_{ds1} r_{ds2}}{r_{ds1} + r_{ds2}} \left(1 + g_{m1} \cdot r_s + \frac{r_s}{r_{ds1}} \right) = \frac{1 + g_{m1} \cdot r_s + g_{ds1} \cdot r_s}{g_{ds1} + g_{ds2}}$$

Z_{out} は、信号源の内部インピーダンス r_s に依存する。また、ソース接地増幅回路の出カインピーダンス $1/(g_{ds1} + g_{ds2})$ よりも大きい値になる。

インピーダンスの増加

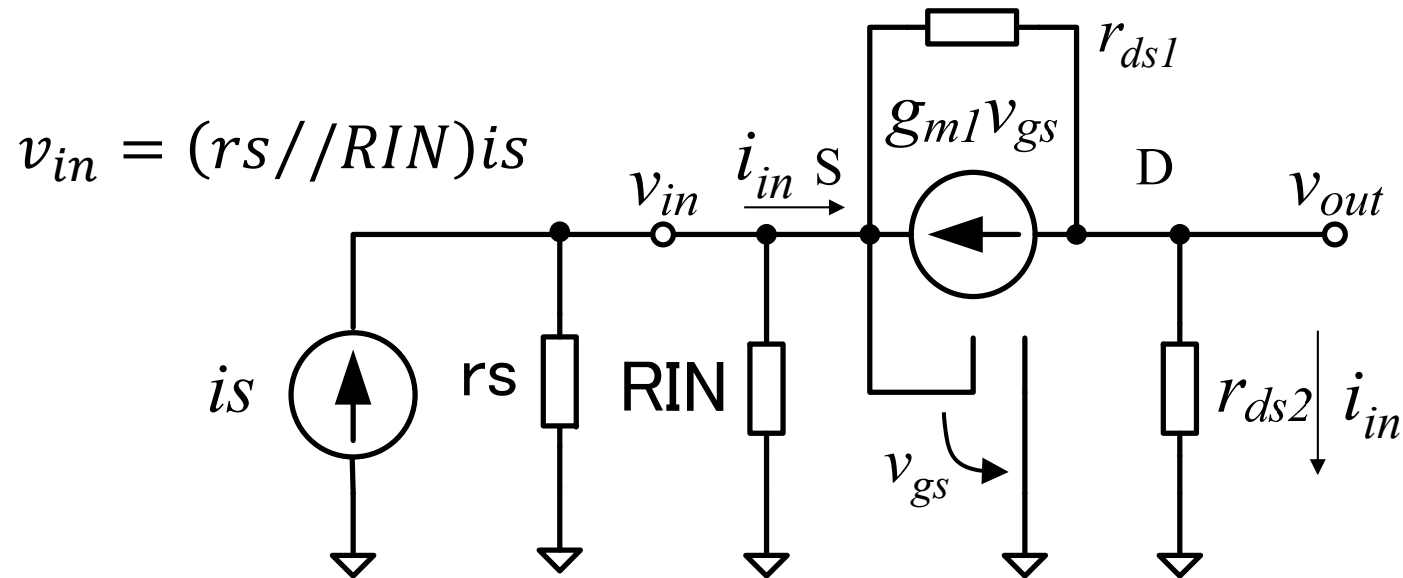
ゲート接地増幅回路の出カインピーダンス Z_{out} は、入力に接続されたインピーダンス r_s に依存している。言い換えると、ゲート接地増幅回路は、インピーダンス変換機能を持つ。
前スライドの結果より、

$$Z_{out} = \frac{1 + (g_{m1} + g_{ds1})r_s}{g_{ds1} + g_{ds2}} \xrightarrow{(g_{m1} + g_{ds1})r_s \gg 1} \underbrace{\frac{g_{m1} + g_{ds1}}{g_{ds1} + g_{ds2}}}_{\text{電圧利得と同じ値}} r_s$$

$$Z_{out} = \text{Gain} \cdot r_s$$

従って、入力端子に接続された r_s を、電圧利得倍に増大させる働きがある。

トランスインピーダンスアンプ (Trans-impedance Amplifier)



ゲート接地臓腑迂回路では、入力信号電流 i_{in} と等しい電流が、 r_{ds2} に流れるため、微少な電流信号が大きな電圧信号 v_{out} に変換される。

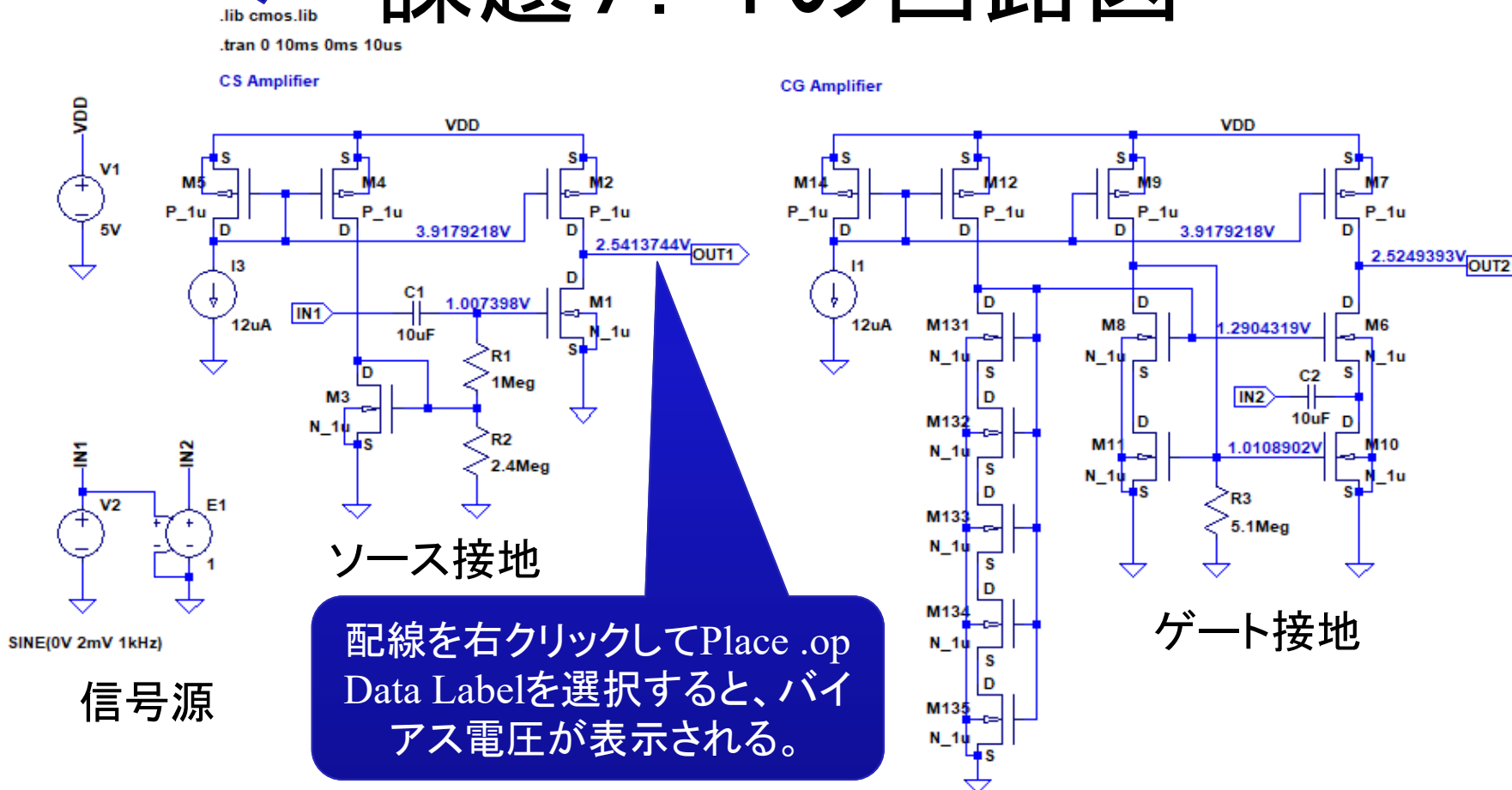
$$\text{変換利得} \quad G_{iv} = \frac{v_{out}}{i_s} = \frac{g_{m1} + g_{ds1}}{g_{ds1} + g_{ds2}} (r_s // R_{IN})$$

課題7. 1 電圧増幅回路の過渡応答解析 (Transient response analysis)

1. ソース接地増幅回路、ゲート接地増幅回路について、過渡応答解析のシミュレーションを行い、出力波形のグラフを作成せよ。
2. シミュレーション結果から電圧利得の値を求めよ。ただし、波形の歪みは考慮しなくてもよい。
3. (1) 回路図、(2) シミュレーション結果のグラフ、(3) ネットリスト(Expanded List)、(4)シミュレーション結果から得られた電圧利得を提出せよ。

自分のモデル
ファイルに変更

課題7.1の回路図



信号源の出力抵抗 r_s と負荷 R_L は無視(ここでは、理想状態での増幅回路の特性を求める)。バイアスが設計通りか確認することが重要。

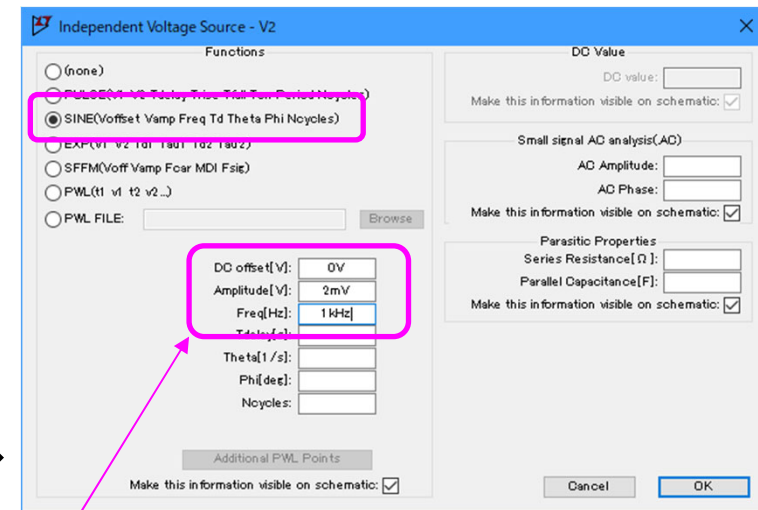
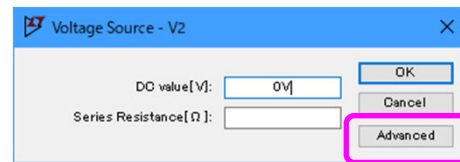
回路の説明

- ソース接地増幅回路
 - R2は、バイアスの微調整用
- ゲート接地増幅回路
 - R3は、バイアスの微調整用
 - スライド8の原理回路では、入力抵抗RSを通してM1のバイアス電流を流していたが、実際には、RSを大きい値にすると、M1のソース電位 $V_S = RS \cdot I_D$ が高くなりすぎて、出力の電圧振幅範囲(Output swing)が狭くなる
 - ここでは、RSの代わりに、カレントミラー電流源を使ってバイアス電流 I_D を流しているため、M6のソース電位は、M10の V_{OV} だけでよい
 - M6, M10のバイアスのため、カスコードカレントミラーを使用している
 - M131~M135は、カスコードカレントミラーの $\beta/5$ のトランジスタの代用

信号源の設定

- 信号源V2

- 過渡応答解析を実行するためには波形の設定が必要
- V2を右クリック

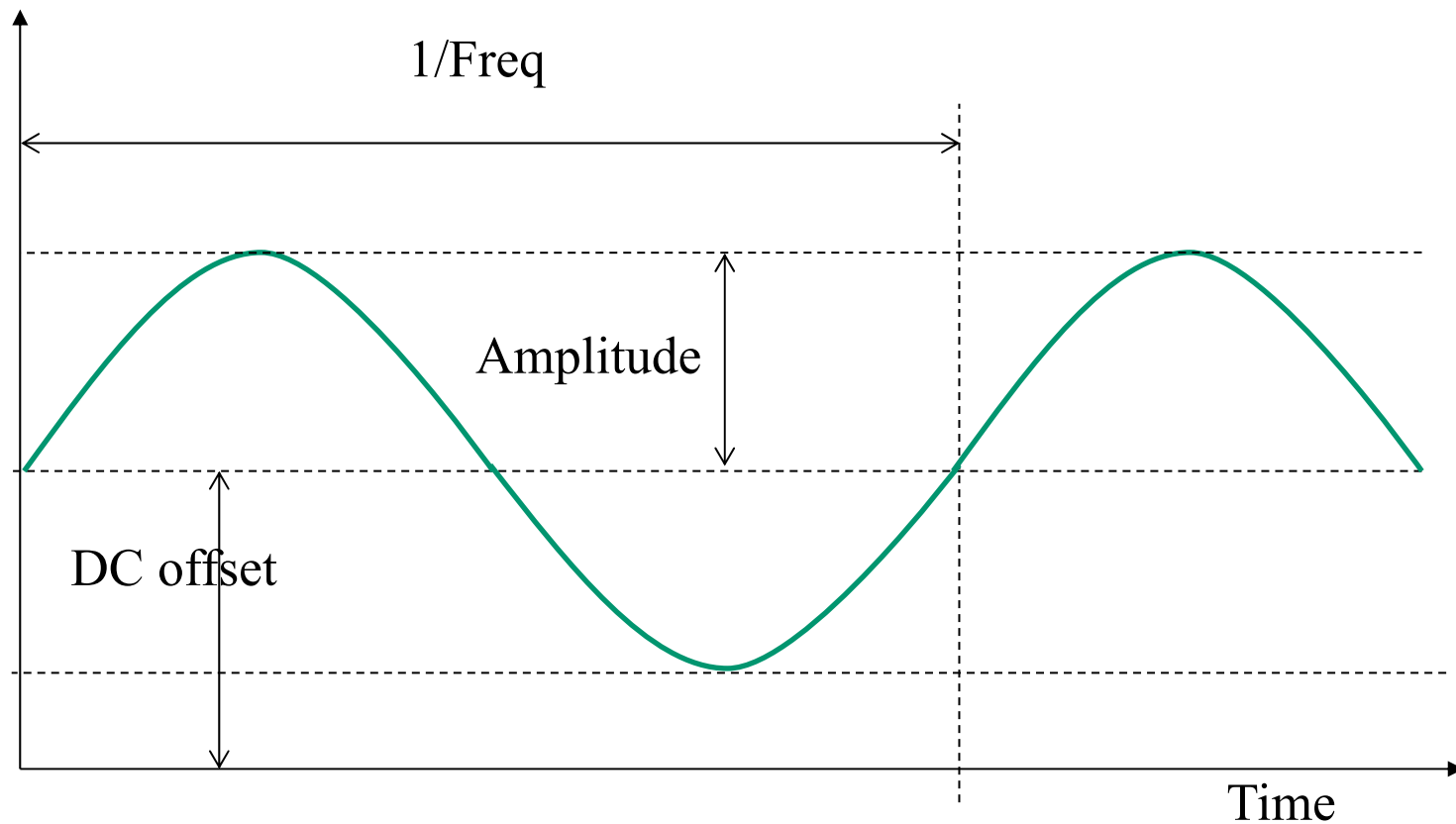


(注意) スペースを入れないこと。

- 電圧制御電圧源E1

- 1つの信号源を2つの回路に接続すると、2つの回路の入力端子がショートしてしまうため、信号源の出力を2つに分ける(今回は、信号源出力抵抗 r_s がないため、信号源出力を分けなくても問題ない)
- E1は、電圧制御電圧源である。右クリックして、value = 1 に設定する
- 入力(制御電圧)をvalue倍した電圧(被制御電圧)が出力される

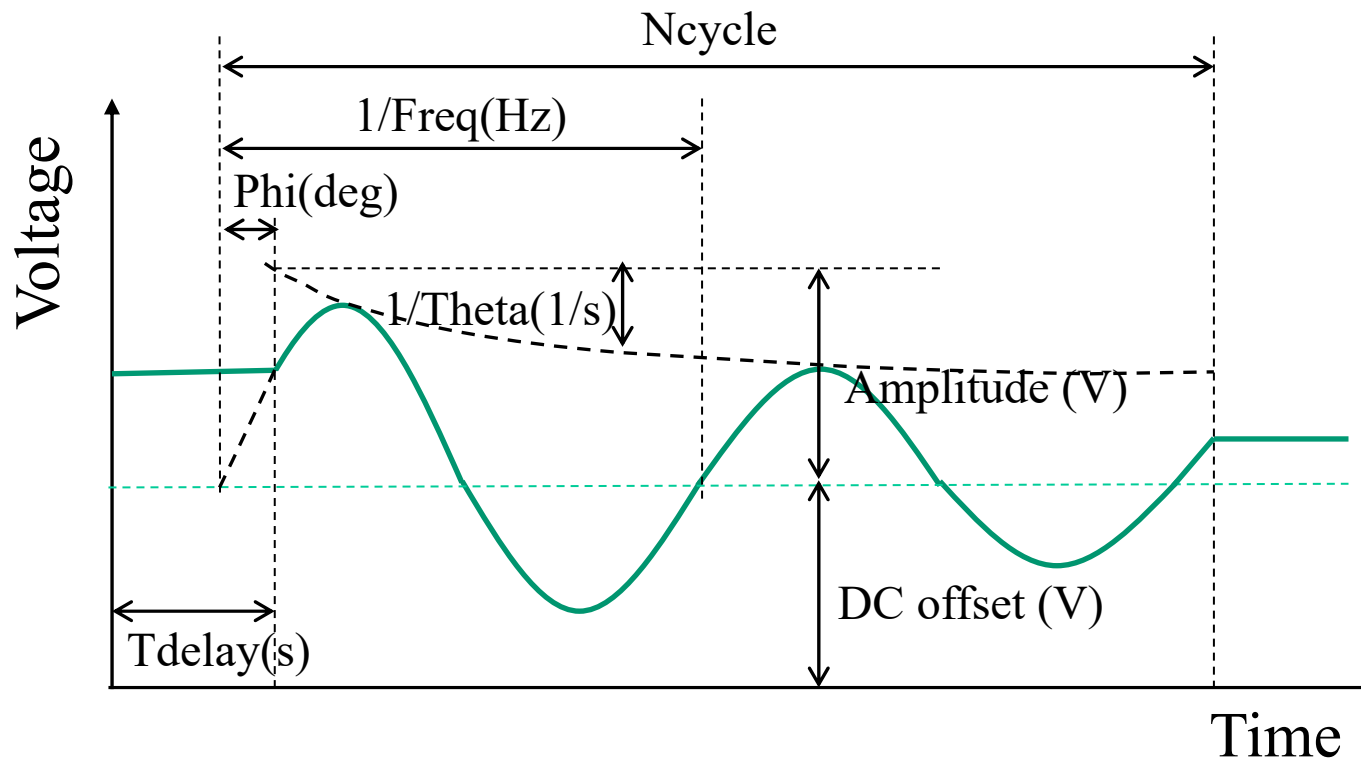
sine波のパラメータ(基本パラメータ)



Freq は周波数(Hz)。角周波数(rad/s)ではないので注意。

sine波のパラメータ(詳細)

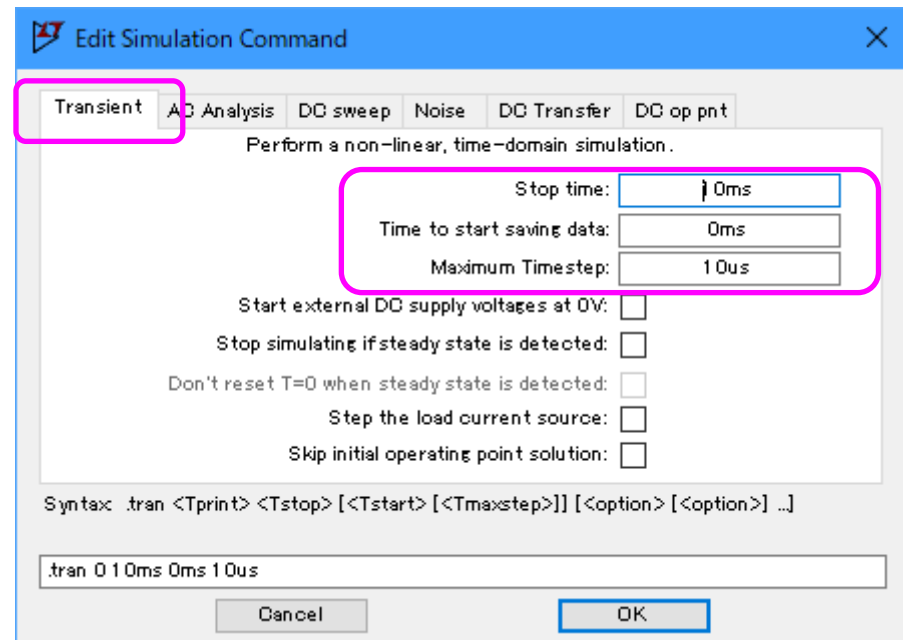
- sine波のパラメータはやや複雑なので、TRAN解析の際に、sine波を設定した信号源の出力波形も確認しておくとい



SPICEディレクティブの説明1

- .tran 0 10ms 0ms 10us
 - Stop time: シミュレーション終了時間
 - Time to start saving data: データの保存、表示開始時間(シミュレーションは、0sから実行される)
 - Maximum time step: 時間刻み幅の最大値(LTspiceが時間刻み幅を自動調整する)は、たまに粗くなりすぎるので、最大値を設定すると波形が滑らかになる)

1. 回路図を右クリック
2. Edit Simulation Cmd.



SPICEディレクティブの説明2

- 振幅を自動測定する場合は、下記の命令を回路図に追加

```
.meas TRAN vpp1 PP V(OUT1) TRIG V(OUT1)=2.5 RISE=5 TARG V(OUT1)=2.5 RISE=6  
.meas TRAN vpp2 PP V(OUT2) TRIG V(OUT2)=2.5 RISE=5 TARG V(OUT2)=2.5 RISE=6
```

↑	↑	↑	↑	↑	↑
過渡応答 解析の結果 を使用	測定結 果保存 用変数	Peak-to- peak測 定	測定対象 の式(出 力電圧)	測定開始箇所 (V(OUT1)=2.5を5回目に 下から上に通過する時刻)	測定終了箇所 (V(OUT1)=2.5を6回目に 下から上に通過する時刻)

- 出力端子電圧のPeak-to-peakを測定する
 - vpp1/2, vpp2/2 が振幅を表す
 - 直流成分をカットすれば、PPの代わりにRMSでもよい
- 結果は、グラフウィンドウを右クリック→View→SPICE Error Log で表示

7.2節のまとめ

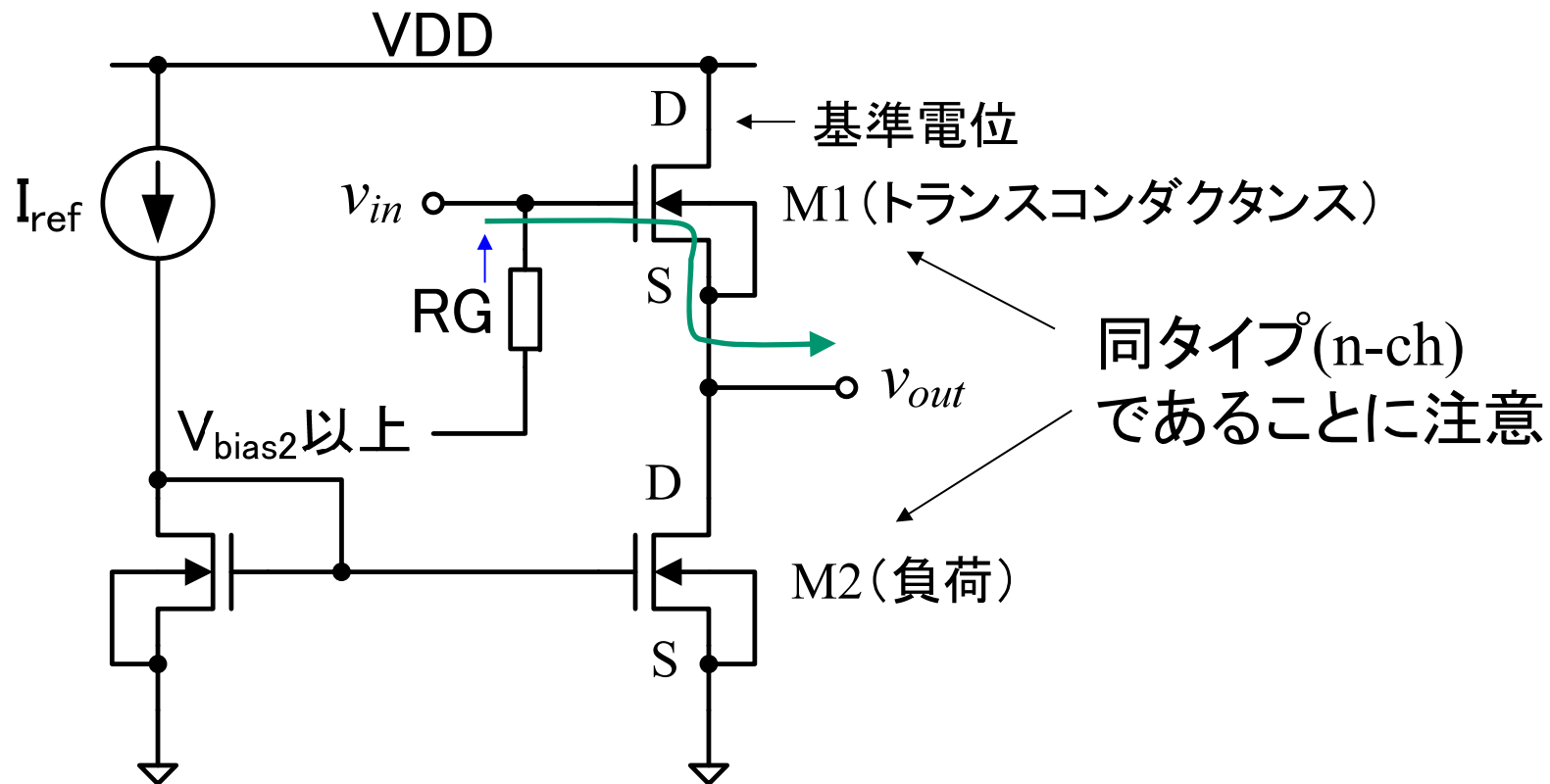
- 電圧増幅回路には、ソース接地増幅回路の他に、ゲート接地増幅回路がある
 - ゲート接地増幅回路＝非反転増幅回路(Non-inverting amplifier)
 - ソース接地増幅回路＝反転増幅回路(Inverting amplifier)
- ゲート接地増幅回路は、入りに接続されたインピーダンスを電圧利得倍にするインピーダンス変換機能がある
 - 小さな入力インピーダンスが、大きい出力インピーダンスに変換されるので、トランスインピーダンスアンプとも呼ばれる
 - 小さな電流信号を入力すると、大きい出力電圧に変換されるので、電流増幅回路とも呼ばれる

インピーダンスを下げる回路

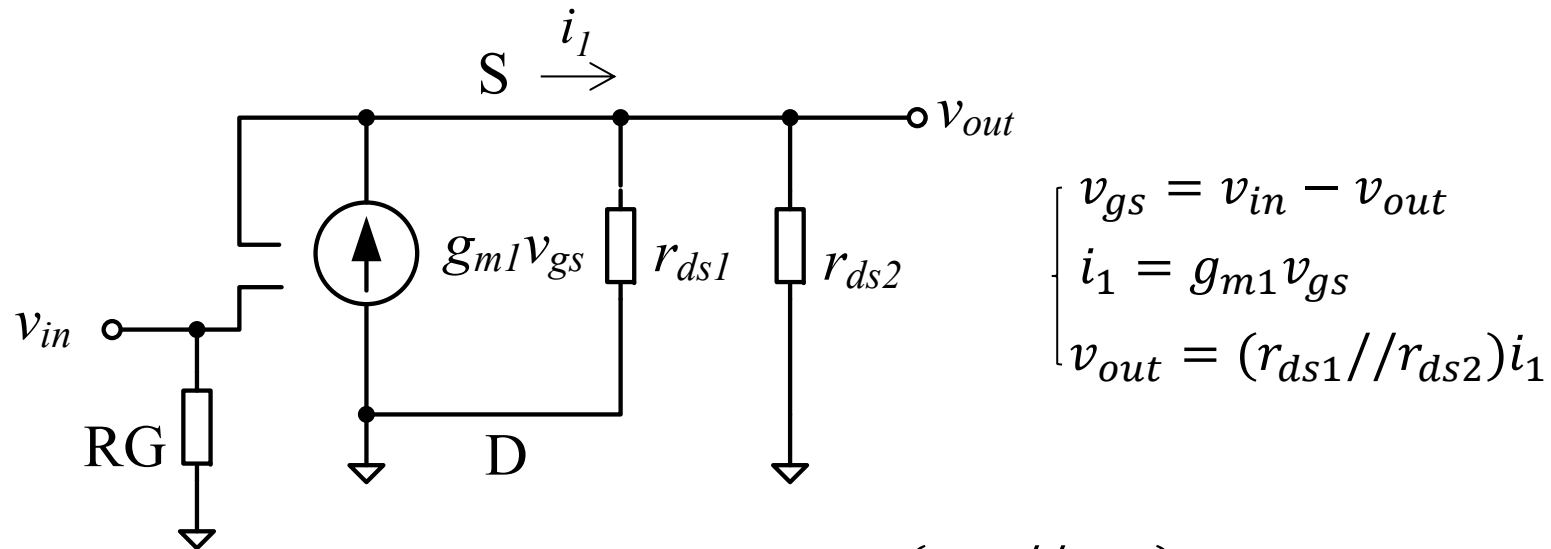
7.3 ソースフォロワ

ソースフォロワ

ドレインを基準電位とする増幅回路は、ドレイン接地増幅回路(Common-drain amplifier, CD amplifier)またはソースフォロワ(Source follower, SF amplifier)と呼ばれる。



電圧利得

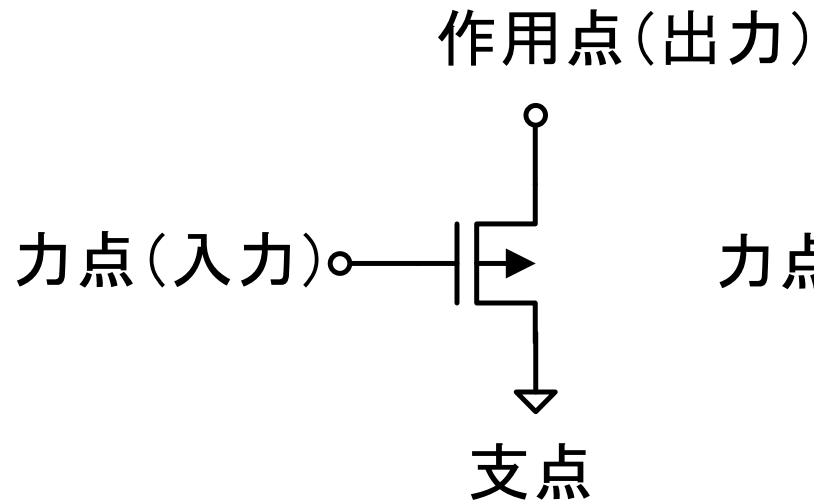


$$Gain = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})}{1 + g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})} \cong 1$$

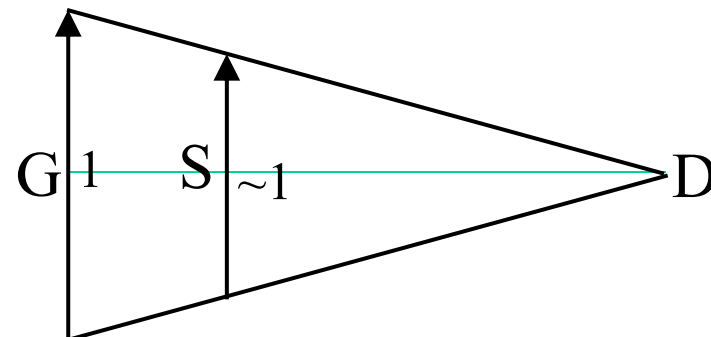
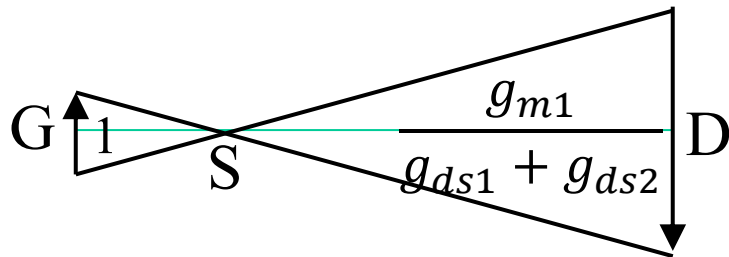
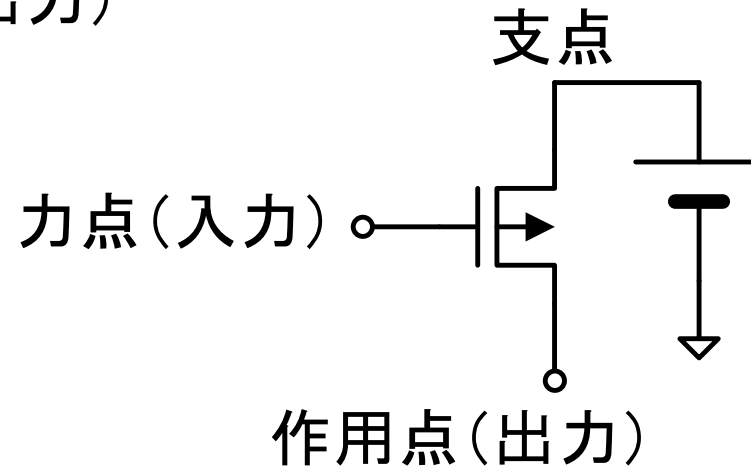
電圧利得は約1倍(0dB)だが、電流増幅(または電力増幅)を行っている。電力利得(倍) = 電圧利得(倍) × 電流利得(倍)

てこの原理2？

ソース接地

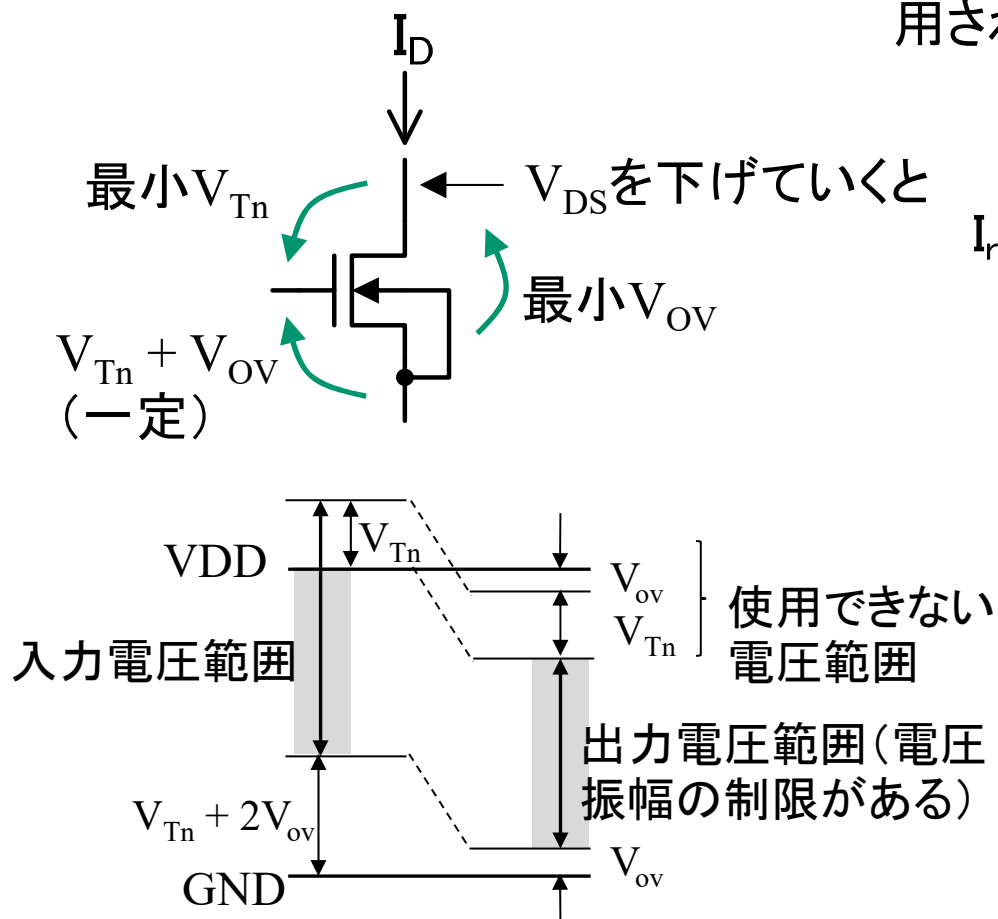


ソースフォロワ

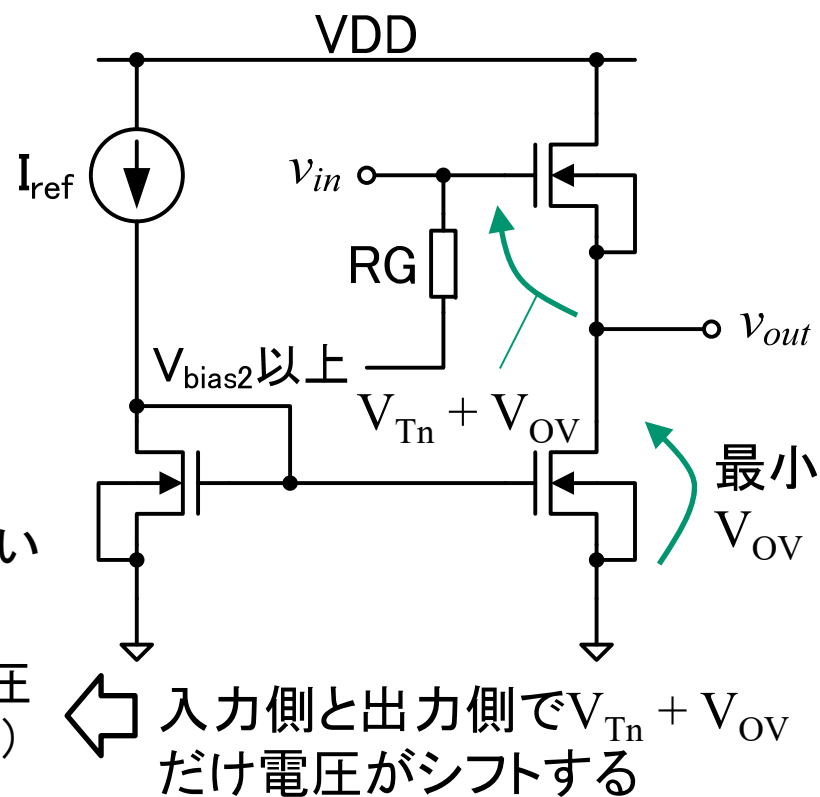


(参考) 直流レベルシフト

飽和領域動作に必要な最小電圧

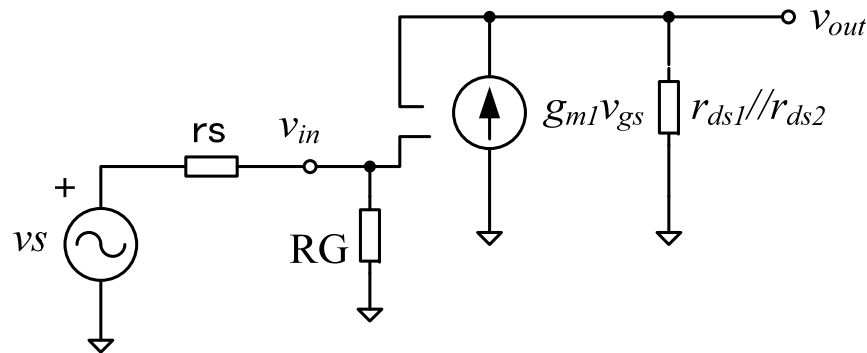


直流バイアス電圧のレベルシフトにも使用される。欠点：出力の振幅が小さい



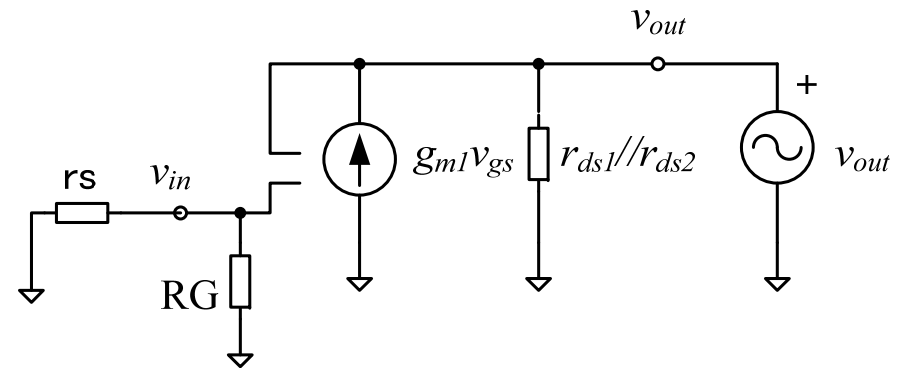
入出カインピーダンス

入カインピーダンス測定回路



$$Z_{in} = R_G$$

出カインピーダンス測定回路



$$\begin{cases} v_{gs} = -v_{out} \\ g_{m1}v_{gs} + i_{out} = i_1 \\ v_{out} = (r_{ds1} // r_{ds2})i_1 \end{cases}$$

$$Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{r_{ds1} // r_{ds2}}{1 + g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})} \cong \frac{1}{g_{m1}}$$

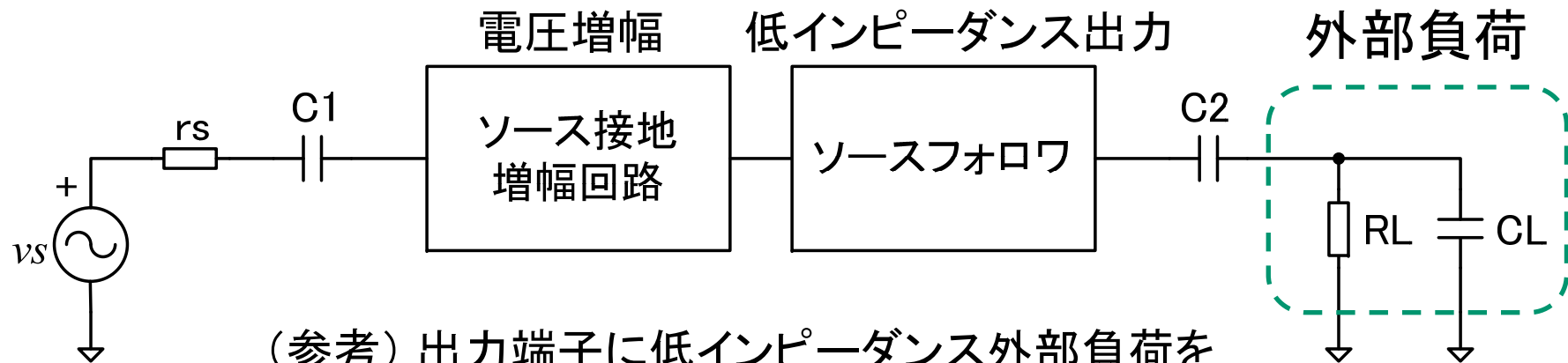
Z_{out} が小さいため、インピーダンスバッファ(電圧信号用)として使用できる。

各増幅回路のまとめ

回路形式	ソース接地	ゲート接地	エミッタフォロウ
電圧利得	$-\frac{g_{m1}}{g_{ds1} + g_{ds2}}$	$\frac{g_{m1} + g_{ds1}}{g_{ds1} + g_{ds2}}$	1
入カインピーダンス	RG (高) ↓	$\frac{2}{g_{m1}}$ (低) ↓	RG (高) ↓
出カインピーダンス	$\frac{1}{g_{ds1} + g_{ds2}}$ (高)	$\frac{g_{m1} + g_{ds1}}{g_{ds1} + g_{ds2}} r_S$ (高)	$\frac{1}{g_{m1}}$ (低)

ソースフォロワの応用

電圧増幅回路に対するRLの影響を無くすためには、ソース接地増幅回路で、 $Z_{out} = 1/(g_{ds1} + g_{ds2}) = 0\Omega$ としたい。しかし、電圧増幅率 $= -g_m \cdot Z_{out}$ なので、 $Z_{out} \sim 0\Omega$ では電圧増幅率がなくなってしまう。そこで、ソース接地増幅回路で電圧増幅した後で、出力抵抗が低いソースフォロワを接続する。



(参考) 出力端子に低インピーダンス外部負荷を接続しない場合は、ソースフォロワは不要。

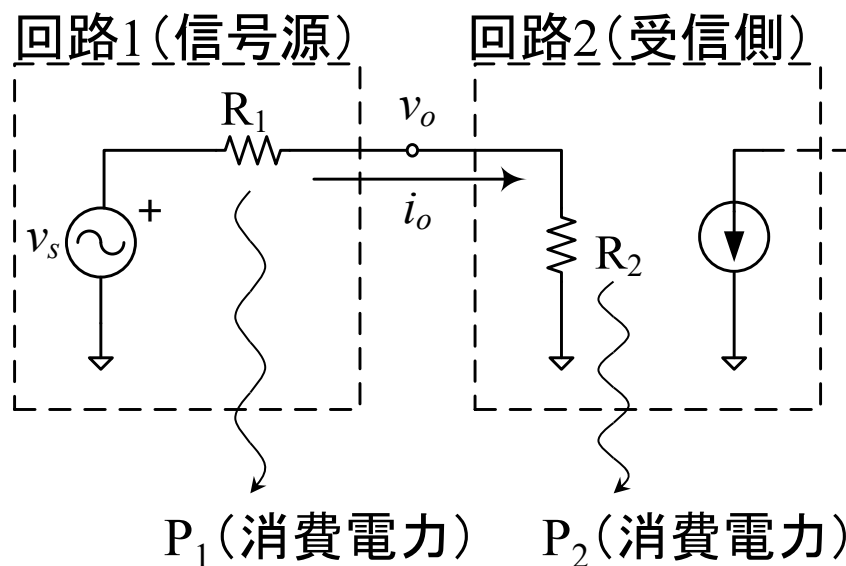
7.3節のまとめ

- 電流または電力増幅回路として、ソースフォロワがある
 - ゲート接地増幅回路＝非反転増幅回路(Non-inverting amplifier)
 - ソース接地増幅回路＝反転増幅回路(Inverting amplifier)
 - ソースフォロワ＝非反転増幅回路(Non-inverting amplifier)
- ソースフォロワは、高入力インピーダンス、低出力インピーダンスの特性を持つ
 - 出力インピーダンスが小さいので、出力端子に小さい値の抵抗を接続しても、電圧利得が下がらない
 - 入力バイアス電圧と出力バイアス電圧のレベル変換にも使用可能
 - (参考) 直流バイアスレベルシフトのため、出力電圧の振幅が制限される問題があるが、出力電圧の振幅が制限されない別方式の増幅回路は後で扱う

信号電力の伝送効率の最適化

7.4 インピーダンス整合

インピーダンス整合



インピーダンスマッチング条件下で、全消費電力の1/2が、受信側の回路に伝達できる。

$$\begin{cases} P_2 = \frac{1}{4R_2} v_s^2 \\ P_1 = \frac{1}{4R_1} v_s^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s \\ i_o = \frac{1}{R_1 + R_2} v_s \end{cases}$$

回路2内での消費電力

$$P_2 = v_o \cdot i_o = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2} v_s^2$$

変数 R_2 に対する P_2 の最大条件

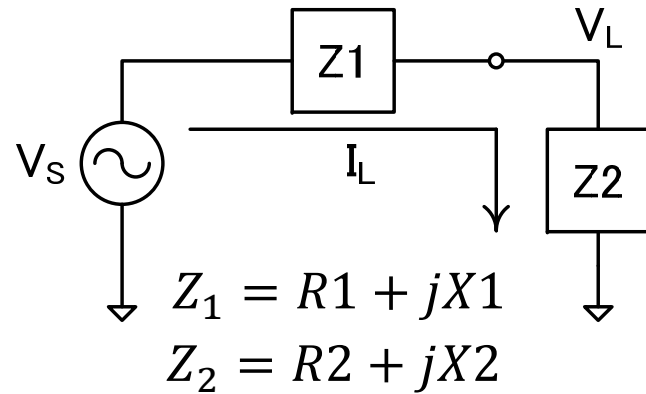
$$\frac{\partial P_2}{\partial R_2} = \frac{R_1 - R_2}{(R_1 + R_2)^3} v_s^2 = 0$$

$R_1 = R_2$ のとき P_2 は最大となる。
Impedance matching という。

クイズ

一般的に電子回路の入出力インピーダンスはRLCの成分を含んでおり、複素数で表される。信号源のインピーダンス Z_1 、出力インピーダンス Z_2 が複素数の場合、インピーダンスマッチングの条件(信号電力の伝送が最大となる条件)を求めよ。

クイズの解答

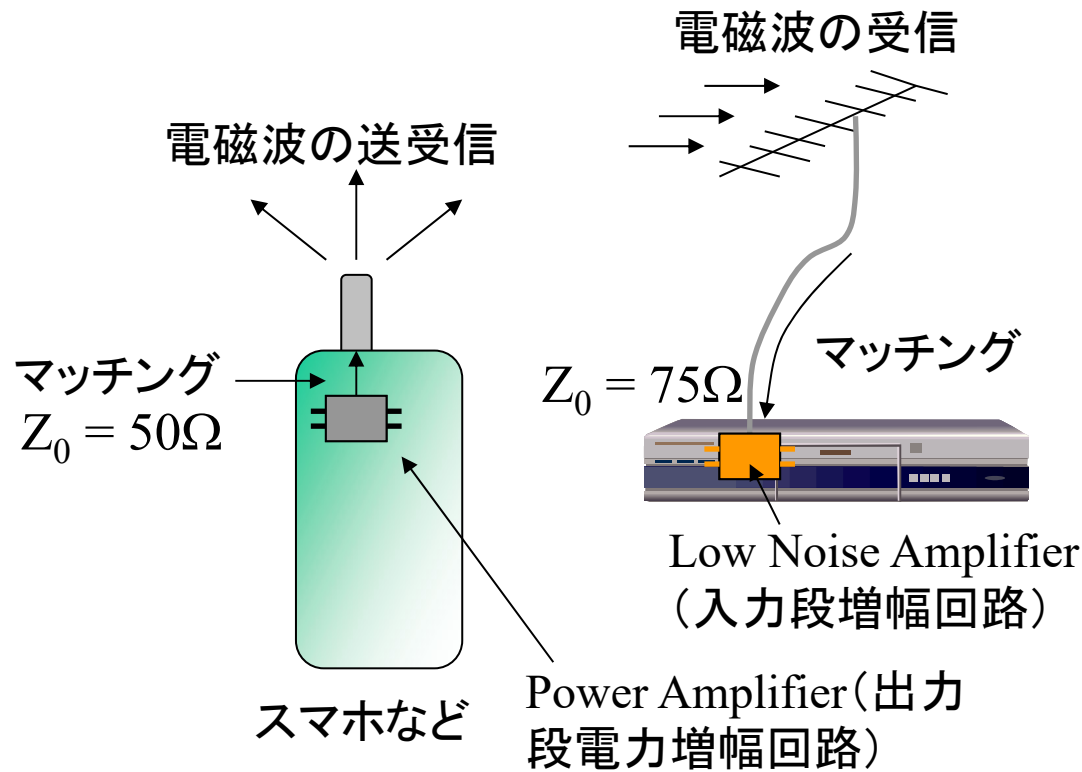


$$\left\{ \begin{array}{l} V_L = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_s \\ I_L = \frac{1}{Z_1 + Z_2} V_s \end{array} \right.$$

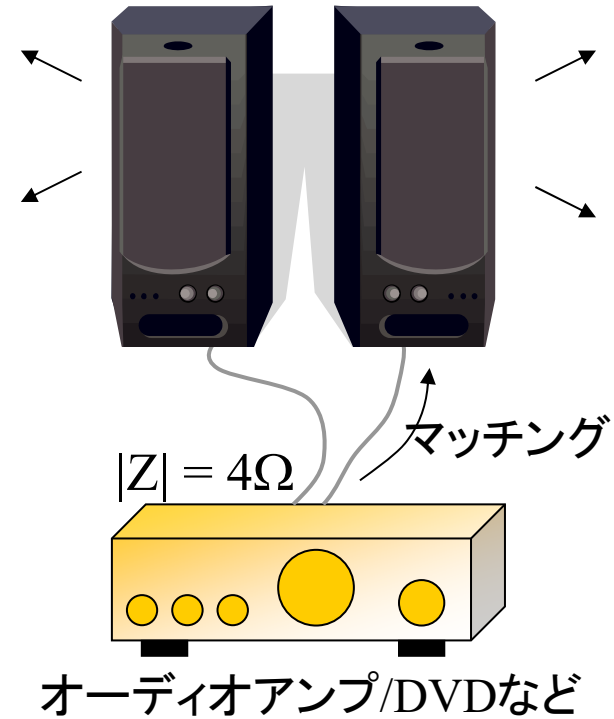
インピーダンスマッチングの例

アンテナ

スピーカ/イヤホン/マイク



音 (機械的エネルギー) の放射



(参考) 高周波信号のインピーダンス整合

- 高周波信号の伝送に必要な条件
 - アンテナなどの高周波用ケーブルや高周波対応のプリント基板には特性インピーダンスという値が示されている
 - ①信号源インピーダンス(送信用増幅器など)→②伝送路の特性インピーダンス→③負荷インピーダンス(アンテナなど)は、インピーダンス整合させる必要がある
 - 特性インピーダンスは、インピーダンスと定義が異なるので、伝送回路、無線工学などで別途学ぼう
 - ①-②-③がインピーダンス整合していないと、伝送されなかった電力が反射波となり戻ってくるため、波形が乱れる

7.4節のまとめ

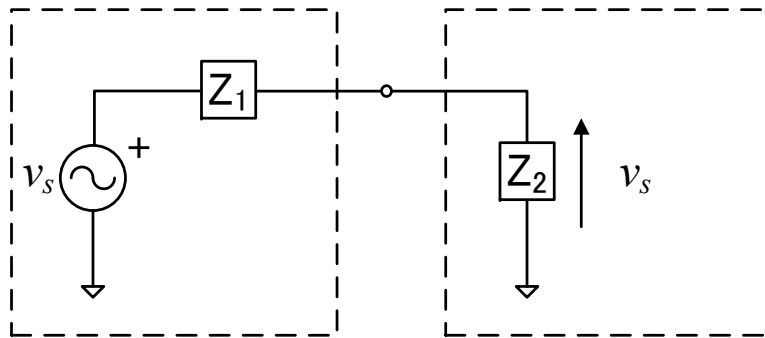
- インピーダンス整合
 - インピーダンス整合条件は、 $Z_{source} = Z_{load}^*$
 - インピーダンス整合条件を満足するとき、回路間の信号電力伝送が最大の50%となる

信号電圧の伝送効率を高める回路

7.5 インピーダンスバッファ

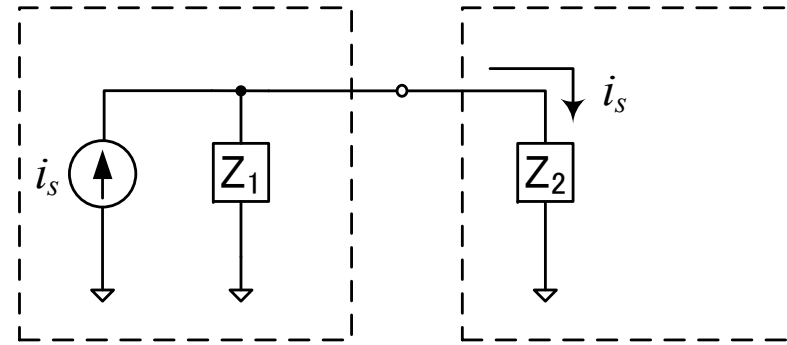
情報伝送のための条件

- 広い周波数帯域でインピーダンスマッチングを行う整合回路を設計することは難しい(特定周波数なら可能)
- 信号情報の伝送を行えばよい場合は、電力を伝送しなくても、電圧信号か電流信号のどちらか一方を伝送すればよい



$$Z_1 = 0 \text{ または } Z_2 = \infty$$

電圧信号 v_s が100%伝送される条件。

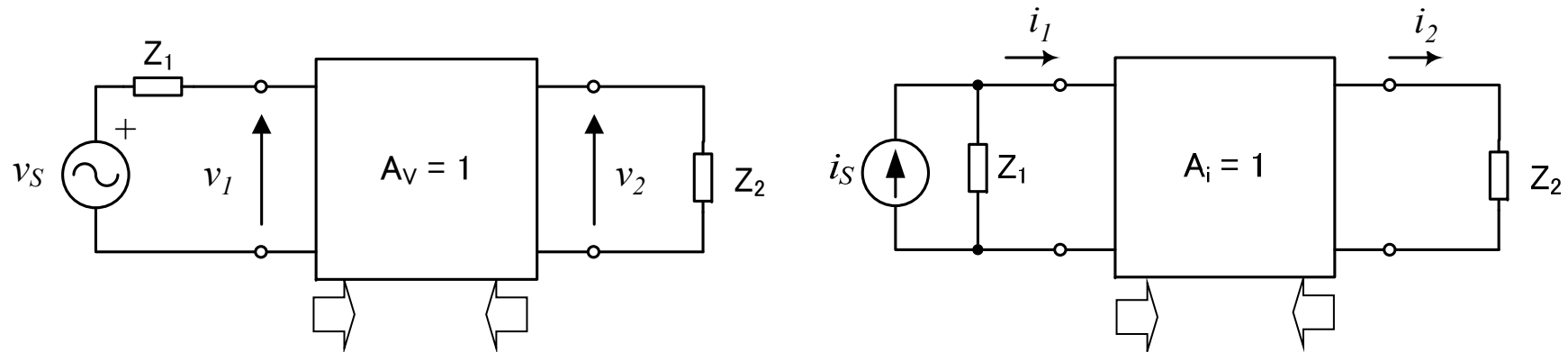


$$Z_1 = \infty \text{ または } Z_2 = 0$$

電流信号 i_s が100%伝送される条件。

インピーダンスバッファ (Impedance Buffer)

- 入力と出力のインピーダンスが大きく異なる増幅回路をインピーダンスバッファという
- 利得は必要ないが(1倍でよい)、動作周波数帯域が広いことが必要
- インピーダンスバッファは、電圧信号または電流信号を100%伝送するために使用される(インピーダンス整合はしない)

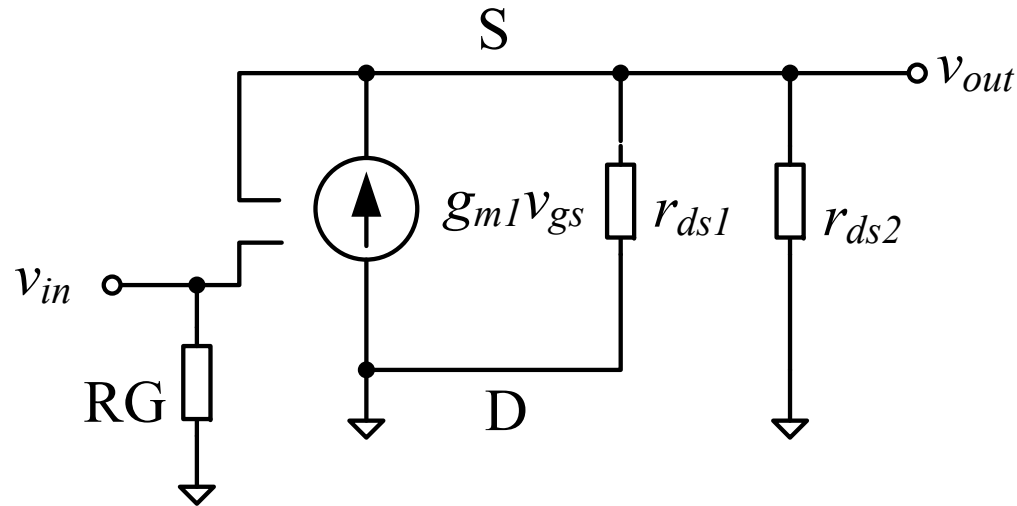


入力インピーダンス $\doteq \infty$ 出力インピーダンス $\doteq 0$ 入力インピーダンス $\doteq 0$ 出力インピーダンス $\doteq \infty$

$$Z_1, Z_2 \text{ に関係なく常に } v_2 = v_S$$

$$Z_1, Z_2 \text{ に関係なく常に } i_2 = i_S$$

ソースフォロウインピーダンスバッファ



ソースフォロウの小信号交流等価回路

$$Gain = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})}{1 + g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})} \cong 1$$

$$Z_{in} = R_G \quad (R_G \text{の抵抗値を大きくする})$$

$$Z_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{r_{ds1} // r_{ds2}}{1 + g_{m1}(r_{ds1} // r_{ds2})} \cong \frac{1}{g_{m1}} = \frac{1}{\sqrt{2\beta_n I_{D1}}} \quad (I_{D1} \text{を大きくする})$$

ソース接地インピーダンスバッファ

ソースフォロワは、出力インピーダンスが小さいが、出力電圧の振幅が小さいため、ソース接地増幅回路のインピーダンスバッファも使用される。ただし、Mを大きくするため、回路面積が大きくなる。

並列接続数を、M = 1から M = K に変更

$$g_m = K\sqrt{2\beta_n I_D} \quad g_{ds} = K\lambda I_D \quad (I_D \text{は、} M = 1 \text{の場合の値})$$

$$\text{Gain} = -\frac{g_m}{g_{ds1} + g_{ds2}} = -\frac{K\sqrt{2\beta_n I_D}}{K(\lambda_n I_D + \lambda_p I_D)} = -\frac{\sqrt{2\beta_n I_D}}{\lambda_n I_D + \lambda_p I_D}$$

$$Z_{out} = \frac{1}{g_{ds1} + g_{ds2}} = \frac{1}{K(\lambda_n I_D + \lambda_p I_D)} \quad (K \text{を大きくする})$$

電圧利得と出力インピーダンスの関係

|電圧利得| = トランスコンダクタンス g_m × 出力インピーダンス

- ソースフォロワ
 - 出力インピーダンスが $1/g_m$ に比例するため、電圧利得 = 1 に保ったまま、出力インピーダンスを下げられる
- ソース接地増幅回路
 - I_D を増やすと出力インピーダンスが下がるが、電圧利得も下がる
 - 並列接続数 M を増やすと、電圧利得を保ったまま、出力インピーダンスが下げられる (g_m が M に比例、 r_{ds} が M に反比例)

オーディオアンプの例 (電圧増幅とインピーダンスバッファを分割)

コントロールアンプ
(電圧増幅 + 補正)

パワーアンプ
(インピーダンスバッファ)

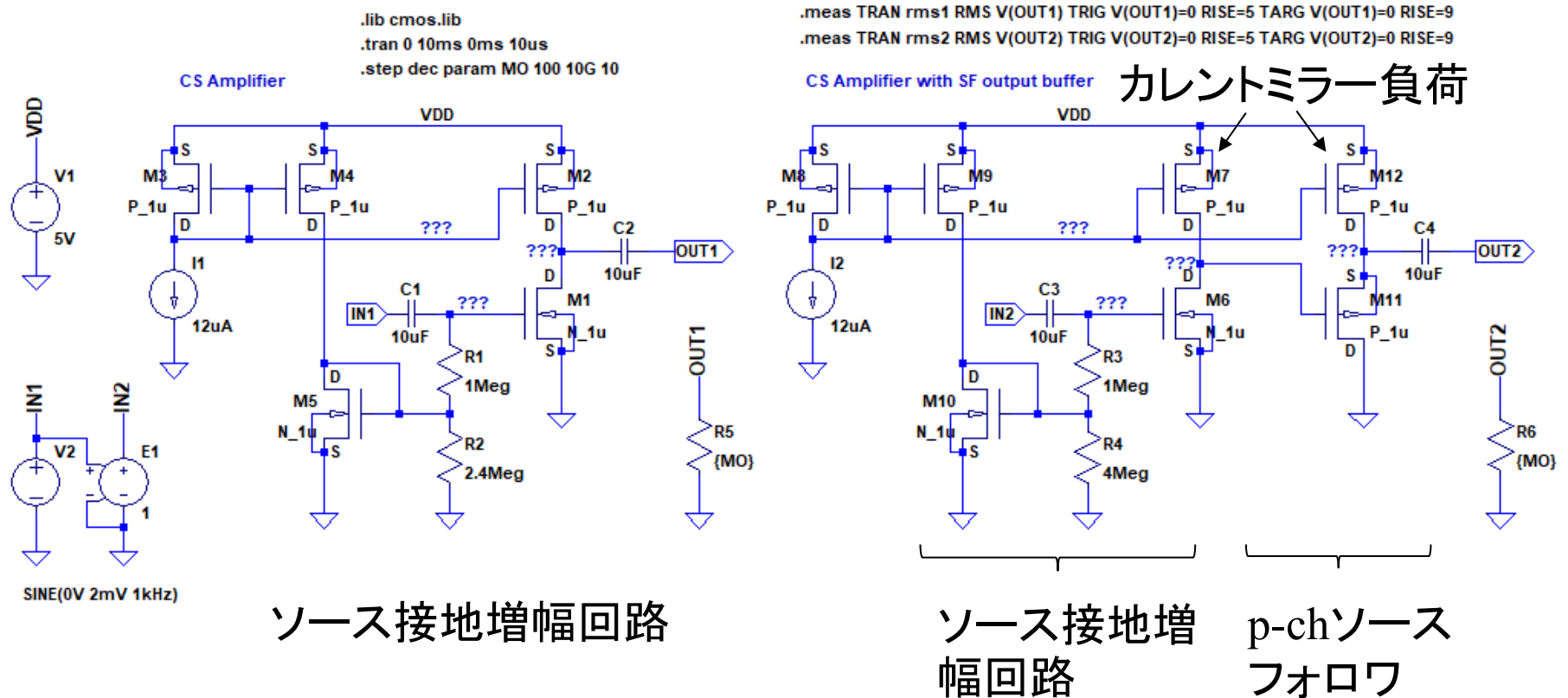
スピーカ、ヘッドホン
(低インピーダンス負荷)

インテグレートッドアンプ (プリメインアンプ)

課題7. 2 インピーダンスバッファ の効果

1. 次スライドの回路図において、M11, M12を $M = 100$ に設定したとき、出力インピーダンスは何 Ω か、計算により求めよ。
2. 出力端子に接続した負荷抵抗(R5およびR6)の値を変更しながら、ソース接地増幅回路単体とソース接地増幅回路+ソースフォロワ(インピーダンスバッファ)の過渡応答解析のシミュレーションを実施し、出力波形のグラフを作成せよ。
3. 出力電圧振幅(RMS値)対負荷抵抗のグラフを作成せよ。グラフの作成手順は、後出のスライドを参照。
4. (1) 回路図、(2) シミュレーション結果のグラフ(出力波形と、RMS値の負荷抵抗依存性)、(3) ネットリスト(Expanded List)を提出せよ。
5. 負荷抵抗が $10G\Omega$ のときの出力電圧(RMS)と比較して、出力電圧(RMS)10%減少する負荷抵抗の値をそれぞれの回路について求めよ。

課題7.2 回路図



M11, M12 はシンボルを右クリックして、No. Parallel Devices M=100に設定。

課題7. 2 RMS対負荷抵抗の グラフ作成

1. 波形ウィンドウを右クリック、View→SPICE Error Log で計算結果が表示される
2. 計算結果が表示されたウィンドウを右クリック、Plot .step'ed .meas data を選択
3. 新規にグラフウィンドウが表示されるので、これを右クリック、Add Tracesを選択
4. rms1とrms2を選んで、OKボタンをクリック
5. 横軸数値の行を右クリック、Logarithmic にチェックを入れて、OKボタンをクリック

7.5節のまとめ

- インピーダンスバッファ
 - 電圧信号または電流信号だけを伝送する場合は、インピーダンスバッファが使用される
 - 理想的なインピーダンスバッファの信号伝送効率は100%
 - (参考) ただし、無線通信回路などのように、雑音の発生を最小にする必要がある場合は、回路間の電力伝送(適切な入出力インピーダンスの設定)が必要になる
- 高入力インピーダンス、低出力インピーダンスの回路として、ソースフォロワやMOSFETの並列接続数を増やしたソース接地増幅回路が利用可能
 - さらに出力インピーダンスを下げる場合は、フィードバックやプッシュプル増幅回路が使用される(後述)