

第13章 高利得増幅回路

電圧増幅回路の多段化

従属接続による電圧増幅回路の高利得化

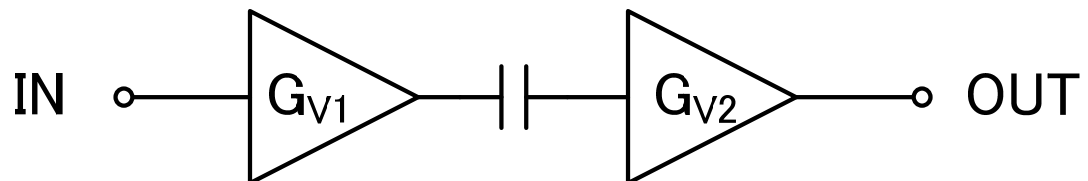
13.1 多段ソース接地増幅回路

多段増幅回路(Multistage amplifier)

- 通常、増幅回路1段の電圧利得は40dB程度が限度
- 複数の増幅回路の縦続接続(Cascade connection)により高利得電圧増幅回路を実現できる
 - 回路の接続により各増幅回路の電圧利得が変化することに注意
- 2段以上結合した増幅回路は、不安定化する可能性がある所以对策が必要(第14章で説明)
- 増幅回路の結合方式
 - 容量結合: バイアスの再設計が必要ない。直流～低周波は増幅できない
 - 直接結合: 回路間の直流電位を合わせ込む必要がある。直流の増幅ができる

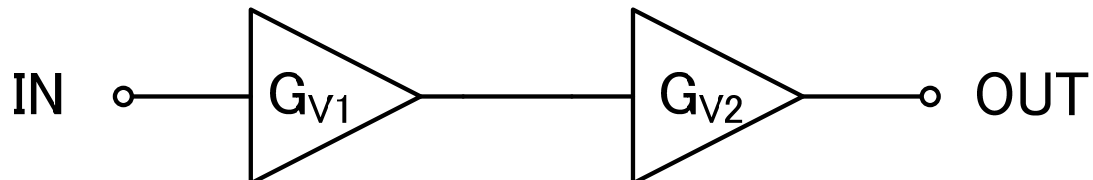
容量結合

(Capacitive coupling)



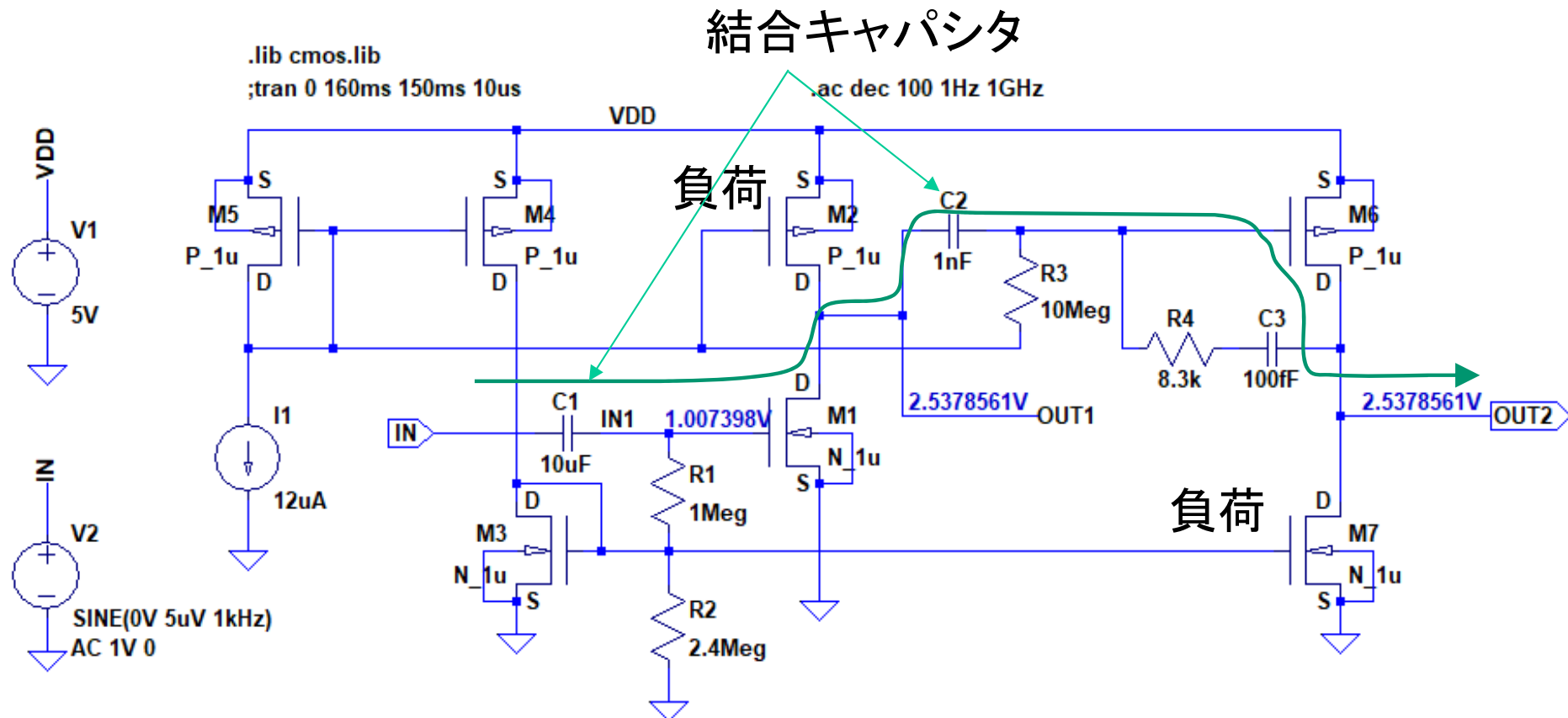
直接結合

(Direct coupling)



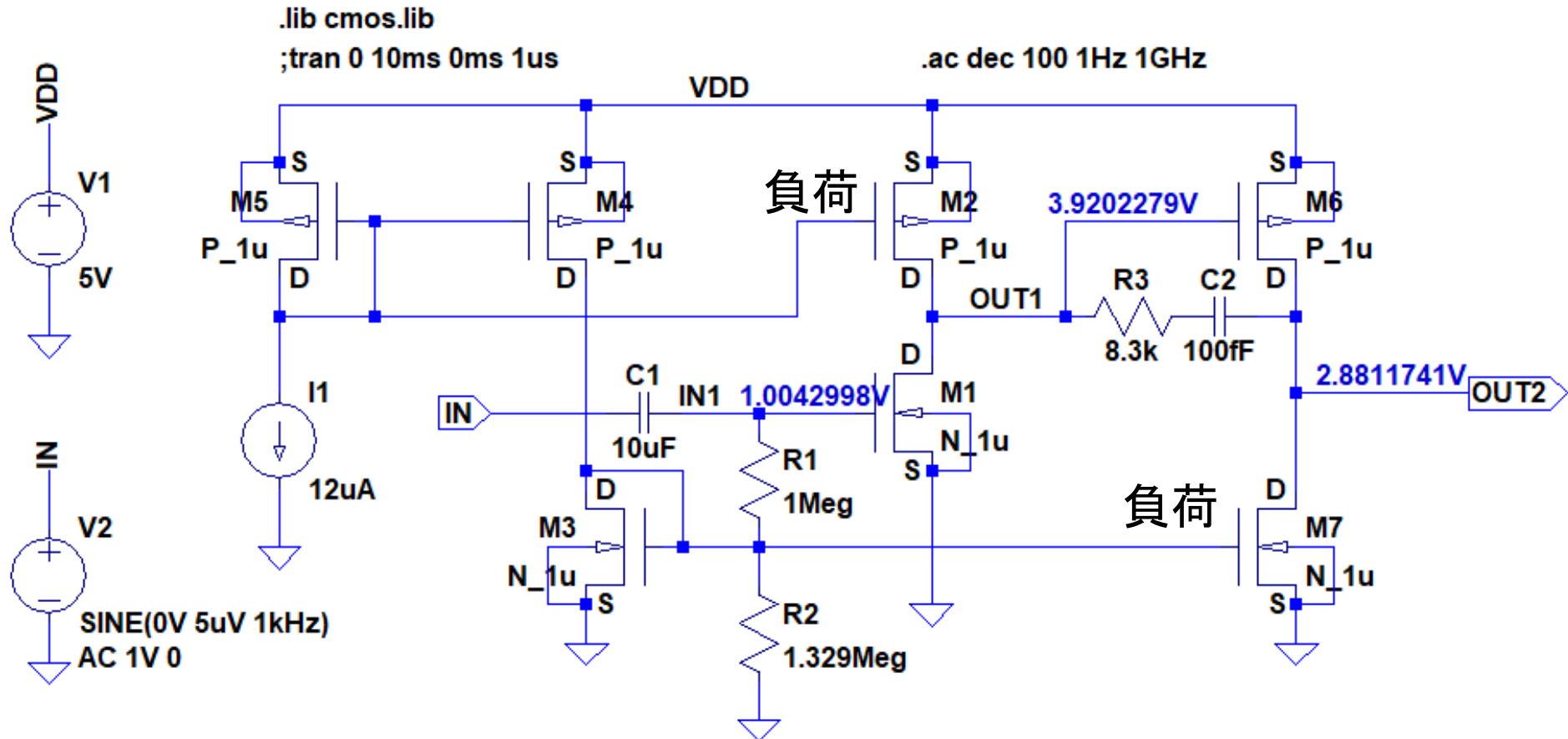
$$G_{total} = G_{V1}G_{V2}$$

容量結合ソース接地増幅回路



電圧利得 86.7dB。R1, R3 を通してバイアス印加。R4, C3の役割は後章で説明(なくても動作する)。R3の抵抗値が小さいと、M1の負荷抵抗が低くなり、電圧利得が下がるが、R3の抵抗値が大きいと、C2の充電時定数が長いため、バイアスの印加に時間がかかるのでR3の値は調整が必要。

直接結合ソース接地増幅回路

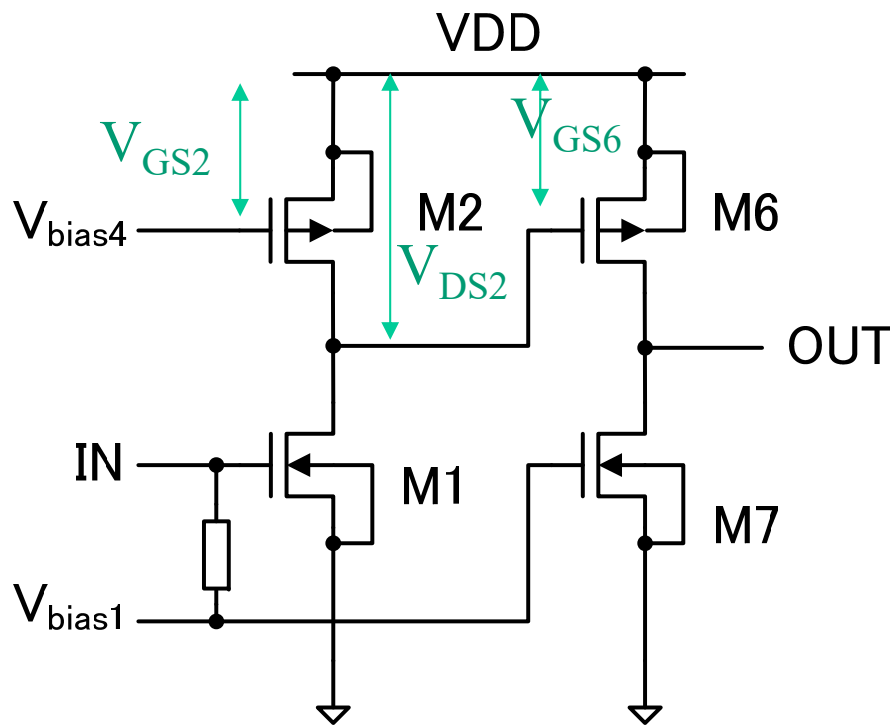


電圧利得 89.7dB。R1を通してバイアス印加。R3, C2の役割は後章で説明(なくても動作する)。

青色数字は、動作点の電圧を示す。[表示方法] 配線を右クリック → Place .op Data Label

ソース接地増幅回路の直接結合

初段の出力バイアス電圧を2段目の入力バイアス電圧として使用。



$$V_{DS2} = V_{GS6} = V_{GS2}$$

のようにバイアスを加えるためには？

$$\frac{I_{D6}}{I_{D2}} = \frac{\beta_{p6}}{\beta_{p2}}$$

$$V_{GS1} = V_{GS7} = V_{bias1} \quad \text{なので} \quad \frac{I_{D7}}{I_{D1}} = \frac{\beta_{n7}}{\beta_{n1}}$$

$$I_{D6} = I_{D7}, I_{D1} = I_{D2} \quad \text{より} \quad \frac{I_{D7}}{I_{D1}} = \frac{I_{DS6}}{I_{DS2}}$$

従って、 $\frac{\beta_{p6}}{\beta_{p2}} = \frac{\beta_{n7}}{\beta_{n1}}$ とするとよい。

13.1節のまとめ

- 増幅回路を縦続接続することにより、増幅率を高めることができる
- 増幅回路を接続する方法には容量結合と直接結合がある
 - 容量結合は、バイアスの再設計が必要ないため簡単だが、直流は増幅できない
 - 直接結合は、前段の出力バイアス電圧が後段の入力バイアス電圧になるためバイアスの再設計が必要だが、直流増幅ができる

ソース接地とゲート接地を組み合わせた高利得増幅回路

13.2 カスコード増幅回路

カスコード増幅回路

ソース接地増幅回路の電圧利得

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} \frac{1}{g_{ds1} + g_{ds4}} \\ &= -g_{m1} \frac{r_{ds1} r_{ds4}}{r_{ds1} + r_{ds4}} = -g_{m1} (r_{ds1} // r_{ds4}) \end{aligned}$$

抵抗 r_{ds1} と r_{ds4} をゲート接地増幅回路で高抵抗に変換することで高利得化。

長所

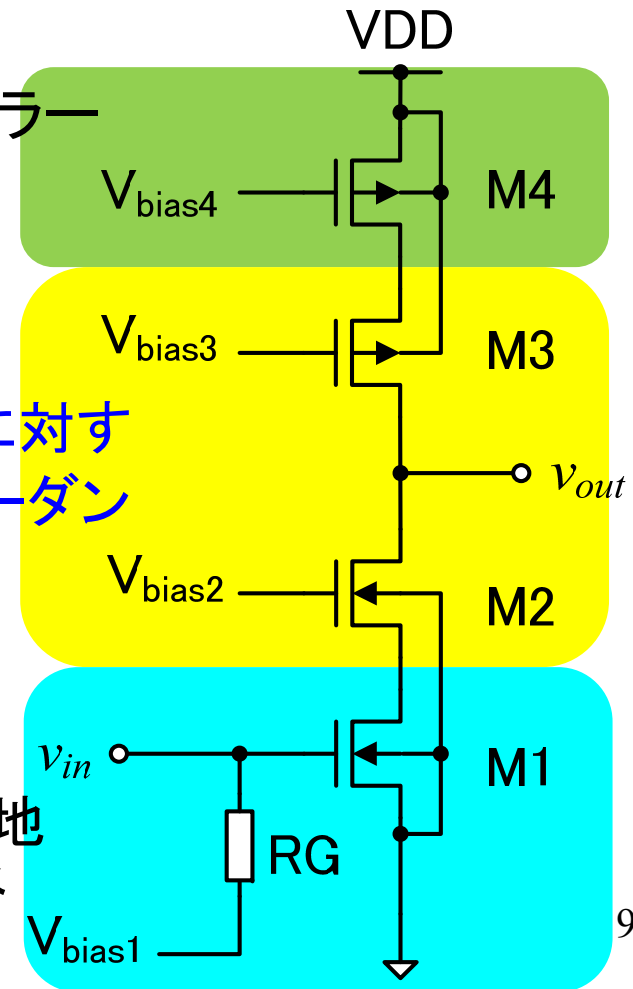
- ゲート接地とソース接地の組み合わせで電流 I_D が再利用されるので低消費電力
- ソース接地増幅回路2段で増幅するよりも、高周波増幅が可能(理由は後章で説明する)。

カスコード増幅回路 (Cascode amplifier)

カレントミラー
負荷

M1, M4に対するインピーダンス変換

ソース接地増幅回路



カスコード増幅回路の電圧利得

M2で高抵抗化したM1の r_{ds1}

M3で高抵抗化したM4の r_{ds4}

$$Z_{out} = (g_{m2}r_{ds2}r_{ds1}) // (g_{m3}r_{ds3}r_{ds4})$$

M1, M4がコンプリメンタリ、M2, M3がコンプリメンタリとすると、

$$r_{ds1} = r_{ds4} \quad r_{ds2} = r_{ds3} \quad g_{m2} = g_{m3}$$

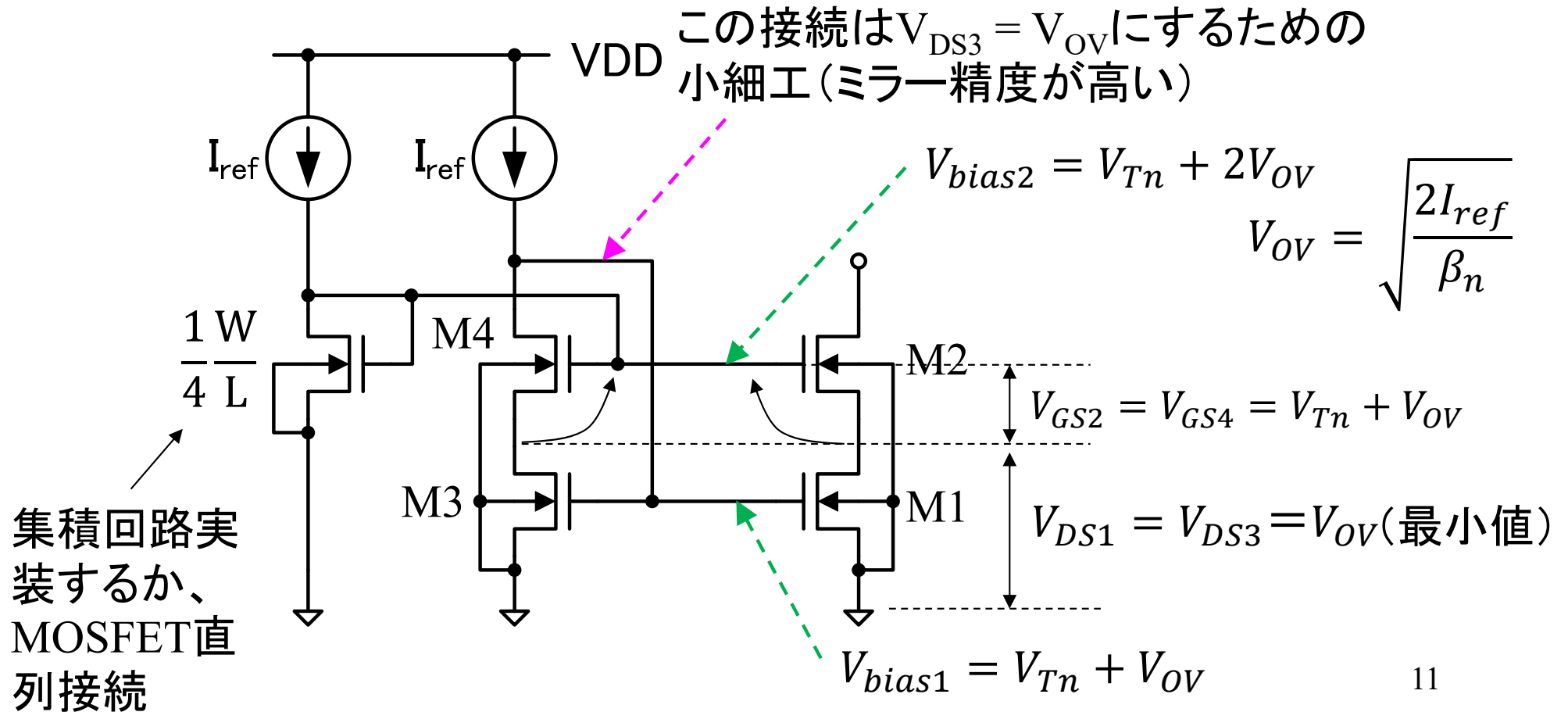
$$Gain = -g_{m1}Z_{out} = -\frac{1}{2} \underbrace{g_{m1}r_{ds1}}_{\text{Stage 1}} \underbrace{g_{m2}r_{ds2}}_{\text{Stage 2}}$$

2段(2 stages)の増幅をしたのと同様

通常、ソース接地増幅回路 ~40dB, カスコード増幅回路 ~80dB

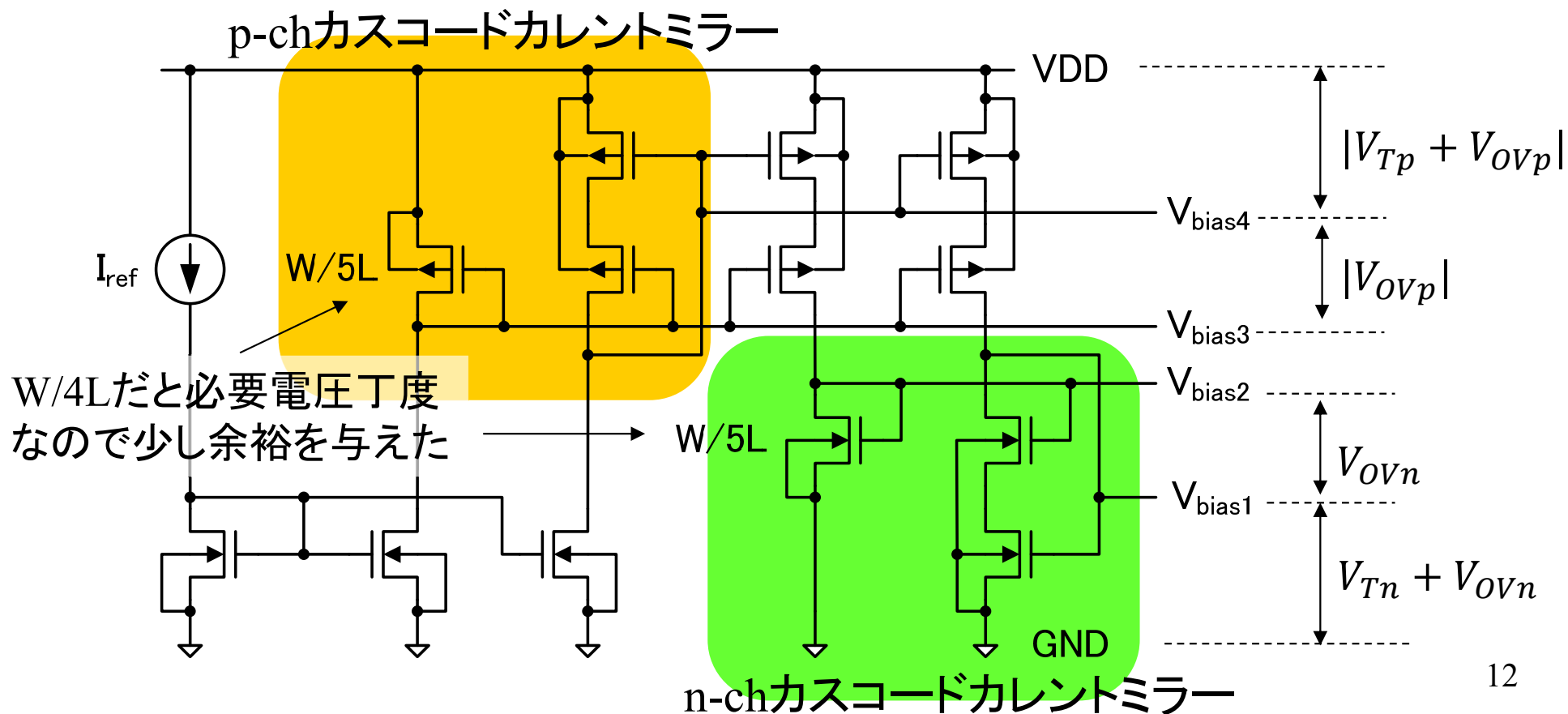
カスコードカレントミラー

カスコード増幅回路の $V_{bias1\sim4}$ を発生させるためにカスコードカレントミラーを使用する。



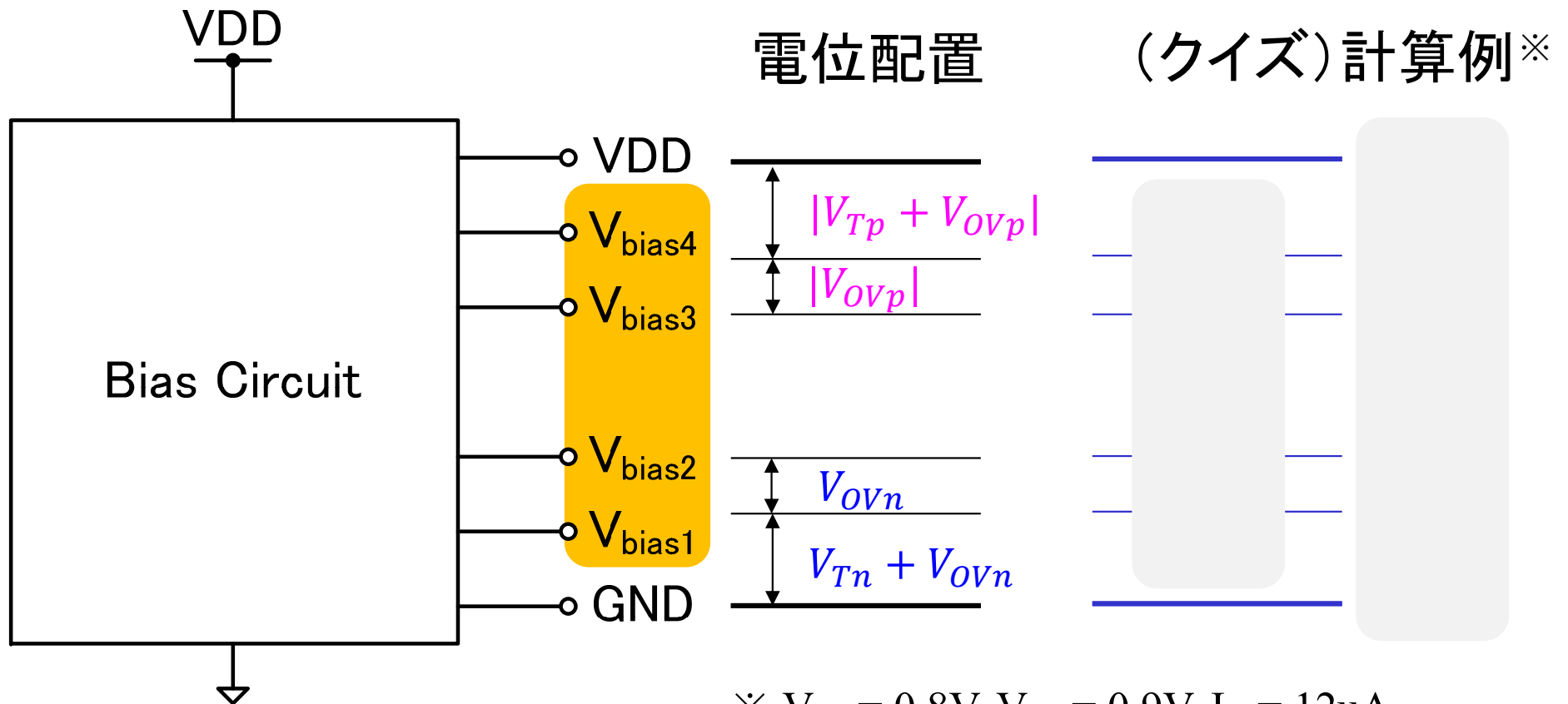
カスコード増幅回路のバイアス回路の設計例

カスコード増幅回路のM1~M4それぞれに適切なバイアス電圧 $V_{bias1\sim4}$ を与えるため、カスコードカレントミラーを使ったやや複雑なバイアス回路が必要になる。



バイアス回路の省略表記

以降の章では、カスコードバイアス回路を省略して、ブロックまたは変数表記を行うので記憶しておこう。



* $V_{Tn} = 0.8V$, $V_{Tp} = 0.9V$, $I_D = 12\mu A$

13.2節のまとめ

- カスコード増幅回路
 - ゲート接地増幅回路のインピーダンス変換機能を利用して、入カステージMOSFETとカレントミラー負荷のMOSFETの r_{ds} を大きくする
 - 電圧利得は、ソース接地増幅回路2段分と同じになる
 - ゲート接地増幅回路の電流バイアス I_D をソース接地増幅回路の電流バイアス I_D として再利用する
 - ソース接地増幅回路よりも高周波まで増幅できる(理由は、後の章で説明)