

1. オペアンプの直流利得

下図のオペアンプにおいて、 M_9 の電流 I_9 はオペアンプの直流での利得に影響を与えます。 I_9 は M_2 の電流 I_2 とカレントミラーの関係にあり、次式ようになる。

$$I_9 = I_2 (W/L)_{M9} / (W/L)_{M2} \quad \text{-----}$$

オペアンプ全体の利得 G_V は、差動増幅回路の利得と出力回路の利得の合計になります。差動増幅回路の増幅度 A_{Vr} は

$$A_{Vr} = -g_{m5} (r_{o7} // r_{o5}) \quad \text{-----}$$

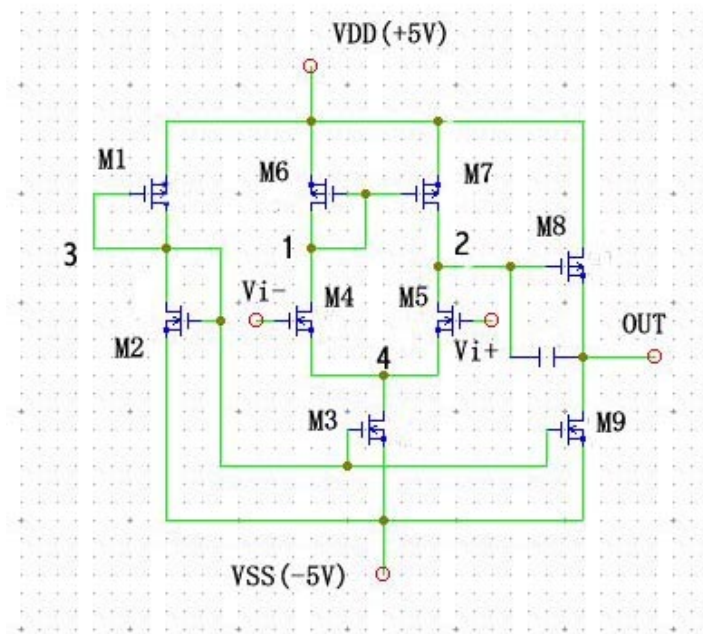
出力回路の増幅度 A_{Vo} は

$$A_{Vo} = -g_{m8} (r_{o8} // r_{o9}) \quad \text{-----}$$

従って全体の利得 G_V 〔dB〕

$$G_V = 20 \log A_{Vr} + 20 \log A_{Vo} \quad \text{-----}$$

実際の設計では、オペアンプの直流利得を上げるために、差動部の g_m を高くしたり、出力部の能動負荷(M_9)に流れる電流 I_9 を下げるなどの方法がとられています。ただ、周波数特性や消費電流等も考慮しながら設計する必要があります。



2 . オペアンプの周波数特性

利得が 0 dB になる周波数をユニティ・ゲイン帯域幅 f_T といい、次の式で表されます。

$$f_T = g_{m5} / 2 \pi C_1 \dots\dots\dots$$

高速なオペアンプを設計したい時は、 f_T が高くなるよう差動部の入力 MOSFET (M_4, M_5) のサイズ (W/L) を大きくとる必要がある。

また不安定動作を避けるためには位相余裕をなるべく大きくとる必要があります。

位相余裕は利得が 0 dB になった時の 180° までの位相の余裕ですが、 180° 以上回ると発振してしまい動作が安定しません。位相余裕に最も影響するのが位相補償容量 (出力と M_8 のゲートにつながっているコンデンサ) です。このコンデンサの容量はスルーレートも考慮しながら決定します。位相余裕を手計算で求めるのは難しいので、本ページで紹介しているような回路シミュレータ (SPICE など) を使って検証する必要があります。

下図に実際の SPICE で得られた開ループ特性を示しました。位相余裕は最低 30° 以上必要です。これは配線の浮遊容量などが影響してシミュレーション値より実際には大きく位相が回るためです。 f_T は高いほどよいが、利得が 0 dB になるまでの傾き、また直流利得をどの周波数まで維持しているかということも重要なので、各用途により当然設計のアプローチは変わってくる。

