

# 高性能演算増幅器の設計

電気電子工学科 桑沢 龍亮

指導教員: 小林 春夫 教授

## 1. はじめに

演算増幅器(Operational Amplifier)は増幅回路、フィルタ回路、発振回路など様々なアプリケーションで使用されている。特に集積回路には多くの演算増幅器が使用されており、これらは各々の用途に最適な性能に設計する必要がある。しかし、演算増幅器の設計には、基礎的な電気回路・電子回路から電子デバイス・制御工学などの幅広い知識が必要となり容易ではない。本研究では高性能な演算増幅器を設計すること、およびその過程を通じてアナログ集積回路技術を習得することを目的とする。

## 2. 演算増幅器の目標性能と評価方法

目標性能・評価方法は応用科学学会主催の演算増幅器設計コンテスト<sup>[1]</sup>で公開されている仕様要件・評価方法を用いた。演算増幅器の設計・評価には Linear Technology 社の回路シミュレータ LTSpice を使用し、シミュレーションモデルは TSMC 社 CMOS 0.18 $\mu\text{m}$  のプロセスパラメータを用いた。

## 3. 2 段構成演算増幅器の設計

設計する演算増幅器は、前段に差動増幅回路、後段に nMOS 能動負荷のソース接地増幅回路を用いた 2 段構成とした。図 1 に設計した演算増幅器を示す。各 MOS のサイズは W/L 比で示しており、基本単位は  $\mu\text{m}$  とする。図中の番号の順番に設計することで、すべての MOS のサイズを決定した。手順は以下の通りである。初めに、①負荷容量から位相補償容量を決定する。次に、②目標のスルーレートから差動入力回路のテール電流を決定する。そして、③目標の利得帯域幅積から差動入力段の  $g_m$  を決定し、④・⑤目標の同相入力範囲の上下限から差動入力段の上下の MOS のサイズを決定する。最後に、⑥出力段 pMOS は入力段との  $g_m$  比から、⑦出力段 nMOS は M4 の飽和条件からサイズを決定した。

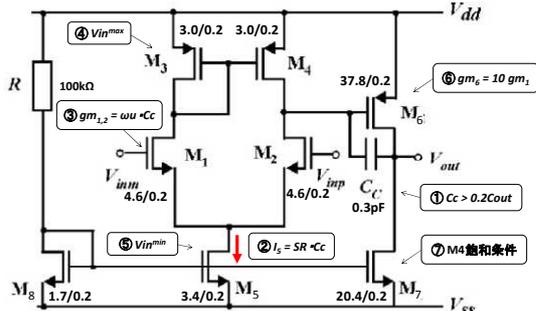


図 1. 設計した演算増幅器 (番号は設計手順)

## 4. 結果および考察

図 2 に評価結果の例として、周波数特性のシミュレーション結果を示す。表 1 に設計した演算増幅器の全項目の評価結果を示す。結果はすべて目標性能を満たしている。しかし、一般的な演算増幅器の性能と比べると、直流利得が低く、出力抵抗を高いといえる。これらは、直流利得誤差によるオフセットや、負荷抵抗を接続した時の出力電圧誤差の要因となる。今後は、能動負荷のカスコード化やソースフォロワ段の追加によりこれらの性能改善を試みる予定である。

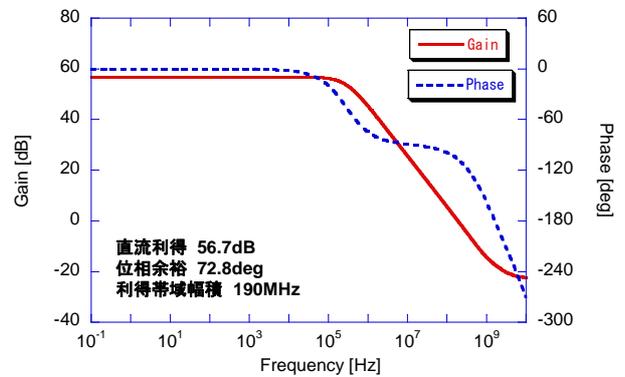


図 2. 周波数特性のシミュレーション結果

表 1. 設計した演算増幅器の評価結果

評価項目	目標性能	結果	判定
電源電圧(VDD)	$\leq 3\text{V}$	3V	OK
消費電流	$\leq \Delta 50\%$	$\Delta 17\%$	OK
消費電力	$\leq 100\text{mW}$	1.30mW	OK
出力抵抗	なし	944 $\Omega$	OK
直流利得	$\geq 40\text{dB}$	56.7dB	OK
位相余裕	$\geq 45\text{deg}$	72.8deg	OK
利得帯域幅積	$\geq 1\text{MHz}$	190MHz	OK
入力換算雑音	なし	0.01mV/Hz <sup>0.5</sup>	OK
スルーレート	$\geq 0.1\text{V/us}$	78.1V/us	OK
同相除去比	$\geq 40\text{dB}$	62.0dB	OK
全高調波歪	なし	0.001%以下	OK
電源電圧除去比	$\geq 40\text{dB}$	72.2dB	OK
出力電圧範囲	$\geq \text{VDD} \cdot 5\%$	VDD $\cdot 93\%$	OK
同相入力範囲	$\geq \text{VDD} \cdot 5\%$	VDD $\cdot 98\%$	OK
占有面積	$\leq 1\text{mm}^2$	0.027 mm <sup>2</sup>	OK

## 5. まとめ

2 段構成演算増幅器を設計し、目標性能を満たす結果を得ることができた。なお、今回設計した演算増幅器はコンテストの要件をすべて満たしている。今後改良を加え、来年度はコンテストに挑戦しようと思う。

## 6. 参考文献

- [1]平成 26 年度演算増幅器設計コンテスト <http://www.ec.ce.titech.ac.jp/opamp/2014/>
- [2]谷口研二・『CMOS アナログ回路入門』・CQ 出版