

Nauta OTA のビヘイビアモデルにおける位相補償と評価

Phase compensation and evaluation in behavior model of Nauta OTA

高知工科大学システム工学群電子工学専攻

1180074 榎原 伊織 (回路工学研究室)

(指導教員 橋 昌良 教授)

1. はじめに

橋研究室では従来、トランジスタレベルで $\Delta\Sigma$ 変調器の設計を行ってきた。その設計を行う上で、 $\Delta\Sigma$ 変調器も積分系の特性や時定数、コンパレータの時間の遅れなどをトランジスタレベルでシミュレーションするには時間がかかってしまう。そこで先行研究で設計された Nauta OTA の増幅段を 2 段にすることで、高利得化することが目的である。そして高利得化することによって、 $\Delta\Sigma$ 変調器内の SN 比(シングルノイズ比)が改善すると考えられる。

2. Nauta OTA とは

OTA とは Operational Trans - conductance Amplifier の略で、2 つの入力電圧の差に比例した電流を出力する回路のことで、内部では増幅する回路になっている。Nauta OTA の特徴として、ユニティゲイン周波数が高いため、高速動作が期待できる。また 6 つのインバータで構成されており、非常に単純な構造である。[1]

3. 設計したビヘイビアモデル

本研究では設計する Nauta OTA の増幅段を 2 段にしたため、電圧利得は大きくなったが、位相余裕がなくなった。そのため、位相補償を行うにあたり、周波数特性に注目し、ビヘイビアモデルでの設計を行った。先行研究の、『ビヘイビアモデルを用いて設計したオペアンプ』[2]から、2 つのポールを持つオペアンプのビヘイビアモデルとして以下の図 1 に示す。A1, A2 が利特段、R1, C1 が第 1 ポール、R2, C2 が第 2 ポール、C が位相補償キャパシタである。A3 がバッファ、D1, D2 は振幅リミッターとしてのダイオードである。そして 58.9MHz 付近に第 1 ポール、440MHz 付近に第 2 ポールを配置している。

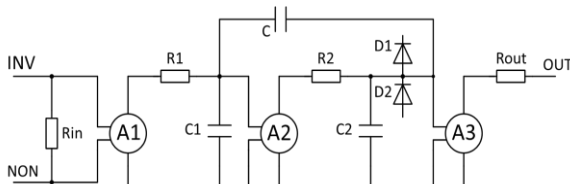


図 1 2つのポールを持つオペアンプのビヘイビアモデル

表 1 ビヘイビアモデル設定値

項目	数値
Rin	1.0[M Ω]
A1	15.5
A2	15.3
A3	1
R1	7.30[k Ω]
C1	0.37[pF]
R2	362[Ω]
C2	1.0[pF]
C	7.0[pF]
Rout	60[Ω]

4. シミュレーション結果

図 2 は図 1 に示した LTSpice におけるビヘイビアモデルを

用いた Nauta OTA と、その位相補償を行った 2 つの周波数特性を示す。図 3 は LTSpice で行った位相補償を、Virtuoso で Nauta OTA を設計し、HSpice でシミュレーションを行い、得られた周波数特性を示す。図 4 に Virtuoso で設計した回路を示す。表 2 より位相余裕が増加し、出力信号をフィードバックした際に発振する可能性があった。また、表 2.3 を比較すると、全体的に差があった。これは、図 1 のビヘイビアモデルが利得と遮断周波数のみ抽出にしたものに対し、トランジスタモデルは利得段以外に回路を安定動作させるためのインバータが存在するためだと考えられる。

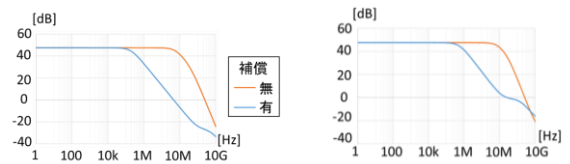


図 2 LTSpice の周波数特性

図 3 HSpice の周波数特性

表 2 周波数特性の詳細

項目	補償無し	補償有り
利得	47.5[dBV]	47.5[dBV]
ユニティ・ゲイン周波数	2.45[GHz]	45[MHz]
位相余裕	11.5[°]	87.1[°]

表 3 周波数特性の詳細

項目	補償無し	補償有り
利得	47.5[dBV]	47.5[dBV]
ユニティ・ゲイン周波数	2.65[GHz]	107[MHz]
位相余裕	-10.6[°]	18.0[°]

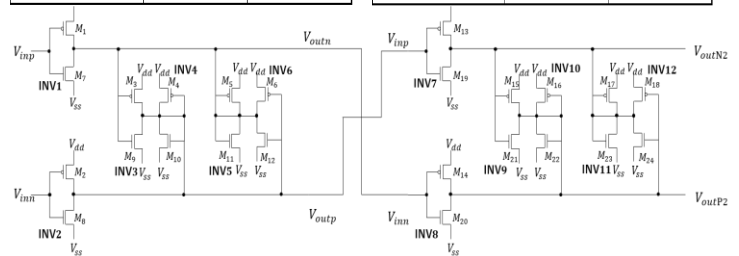


図 4 設計した増幅段 2 段の Nauta OTA(補償無し)

5. 実測結果

オフセット 0.9V、周波数 22kHz の sin 波をプラスの入力端子、反転した sin 波をマイナス端子側に入力した。シミュレーション結果と比較すると、入力電圧の波形は確認できたが、出力電圧が 0V に落ち込んでおり出力波形 (VoutP2, VoutN2) が確認できなかった。

6. まとめ

本研究では、先行研究で用いられた Nauta OTA の増幅段を 2 段にし、位相補償と評価を行った。増幅段 2 段の Nauta OTA はシミュレーションにおいては動作を確認できたが、実測ではシミュレーションのように出力波形を確認することができなかった。電圧利得においては増幅段を 2 倍にしたことによって、高利得化することができた。また位相補償を行ったことによって、ユニティゲイン周波数を目標値まで下げることができた。

7. 参考文献

- [1] 岡崎 泰士 著：「Nauta OTA を用いた 1 次 $\Delta\Sigma$ 変調器の設計と評価」 高知工科大学 学位論文 2016 年
- [2] 山中 康平 著：「 $\Delta\Sigma$ 変調器の設計の為のシミュレータの開発」 高知工科大学 学位論文 2015 年