

明治大学 理工学部

2024 年度

卒業論文

カレントミラーを組み合わせた折り
返し型アナログ乗算回路の出力範囲
を拡大する回路構成

学生番号：1512201217

電気電子生命学科

小島 光

指導教員：和田 和千

実家住所：〒124-0006 東京都葛飾区堀切 8-8-3-306

電話番号：070-3614-1189

概要

フォトリソグラフィの学習・計算の際に必要なアナログ的な積和演算を可能とする乗算回路の構成を提案する。KCL を利用することで、多数の信号の和を電流的に実現することができるが、信号線を共有するため和の出力振幅は単体の乗算回路と共有される。即ち、積和演算回路の出力振幅は乗算回路単体の出力振幅と等しくなり、和をとる信号の数が多くなればなるほど乗算回路一つあたりの入力範囲が限られてしまうため信号対雑音比 (S/N 比) の劣化が懸念される。そこで、従来のギルバート乗算回路を応用した乗算回路を提案しギルバート乗算回路同様、アナログ信号の乗算ができることを、小信号解析を用いて確認した。また、乗算器が動作する条件として、MOSFET が遮断しない条件を使い出力範囲を示した。そして、今後集積化を行い出力範囲拡大ができていることを確認するための素子値を設計し、パッケージでの測定を踏まえたシミュレーションを行った。

目 次

第 1 章	カレントミラーを組み合わせた折り返し型アナログ乗算回路	1
1.1	回路構成	1
1.2	小信号解析	6
1.3	出力範囲	6
1.4	シミュレーションによる確認	6
謝辞		7

第1章 カレントミラーを組み合わせた折り返し型アナログ乗算回路

1.1 回路構成

序論で述べたS/N比向上のための方針として、折り返しカスコードの構成をとることが考えられる。図1.1に折り返しカスコード型の乗算回路を示す。この構造では定電流源を用いることで各 M_B に流れる信号電流の増減が M_p に反転して伝えられる。ゲート接地増幅回路としてはpMOSFET($M_{p1} \sim M_{p4}$)を用いることで制御電圧に比例したトランスコンダクタンスを得る。このような折

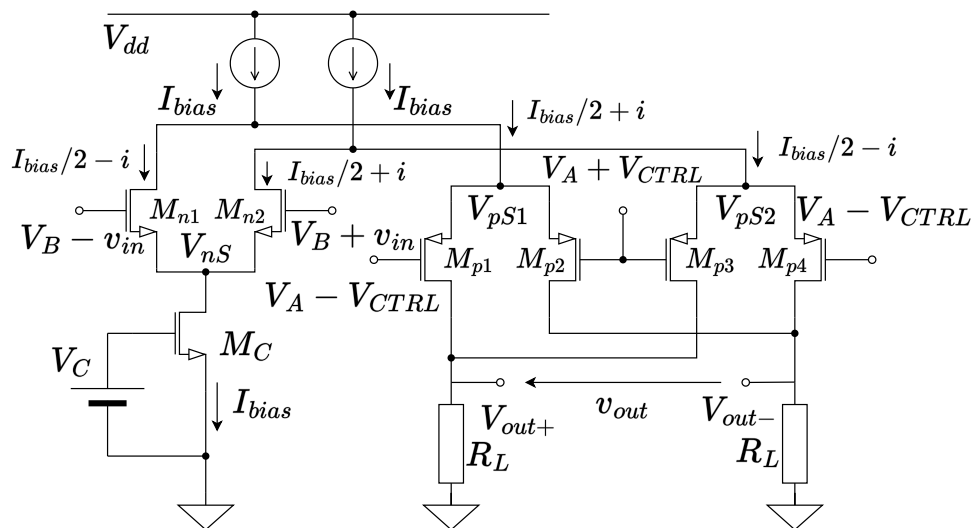


図 1.1: 折り返しカスコード型乗算回路

り返しカスコード型の構造をとることで出力電圧は M_p と電流源の pMOSFET で分圧するため、入力電圧分出力振幅が広がることが予測される。しかし左右それぞれにバイアス電流を流すため消費電流が増加する。さらに pMOSFET を小信号に使用するためどうしても nMOSFET のみのギルバート乗算回路よりも遮断周波数が下がってしまう。RHOM 0.18 μ m Process にてギルバート乗算回路と折り返しカスコード型の乗算回路をバイアス電流が同じになるように設計したときのそれぞれの素子値を表 1.1、表 1.2 に示す。またこの素子値におけるシミュレーションでの周波数特性を図 1.2、図 1.3 にそれぞれ示す。

表 1.1: 比較用に設計したギルバート乗算回路

Gilbert		Value
M_A	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	4.27 μ m
	Multifinger	10
M_B	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	4.27 μ m
	Multifinger	20
M_C	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	11.6 μ m
	Multifinger	40
V_{dd}		1.8 V
V_A		1.59 V
V_B		1.09 V
V_C		0.65 V
R_L		300 Ω

表 1.2: 設計した折り返しカスコード型乗算回路

Folded Cascode		Value
M_p	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	20 μ m
	Multifinger	10
M_B	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	4.27 μ m
	Multifinger	20
M_C	Channel Length	0.72 μ m
	Channel Width	11.6 μ m
	Multifinger	40
V_{dd}		1.8 V
V_A		1.59 V
V_B		1.09 V
V_C		0.65 V
R_L		300 Ω

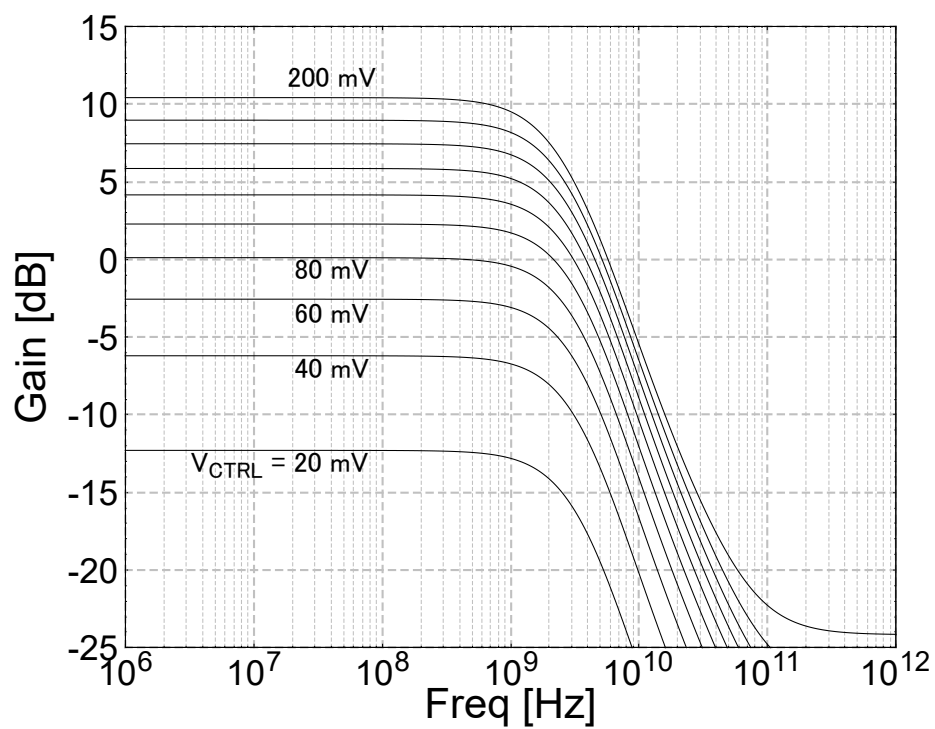


図 1.2: ギルバート乗算回路の周波数特性

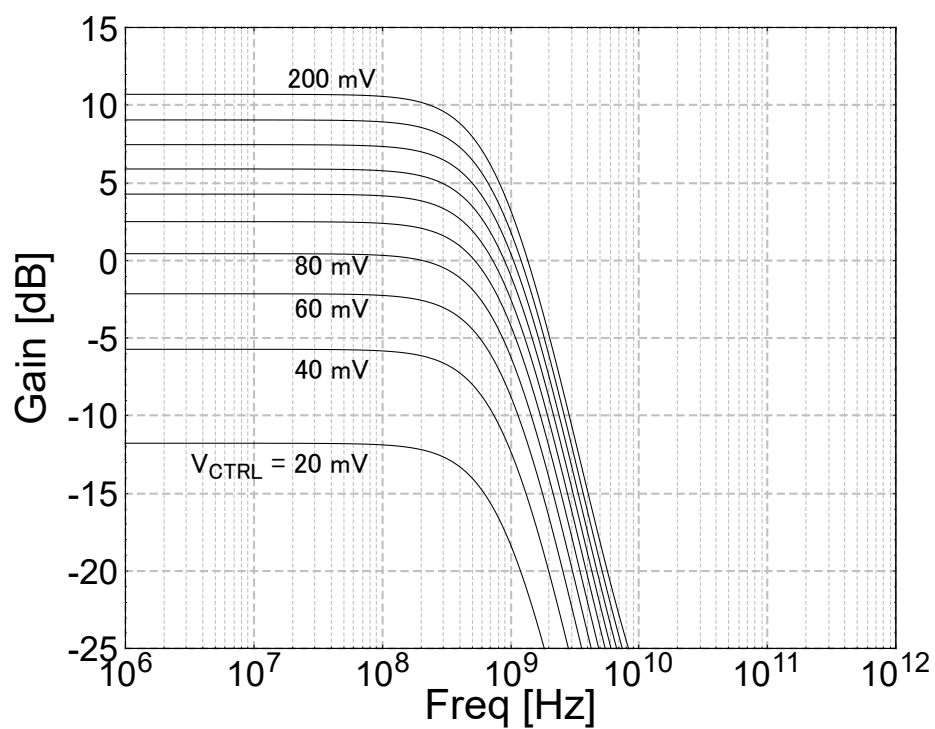


図 1.3: 折り返しカスコード型の周波数特性

考えた。

1.2 小信号解析

前節では今回提案する構成によって乗算ができると考える理由を述べたが、本節では小信号解析により提案回路によって乗算が可能であることを示す。

図 1.4 の小信号半回路を図 1.5 に示す。

1.3 出力範囲

1.4 シミュレーションによる確認

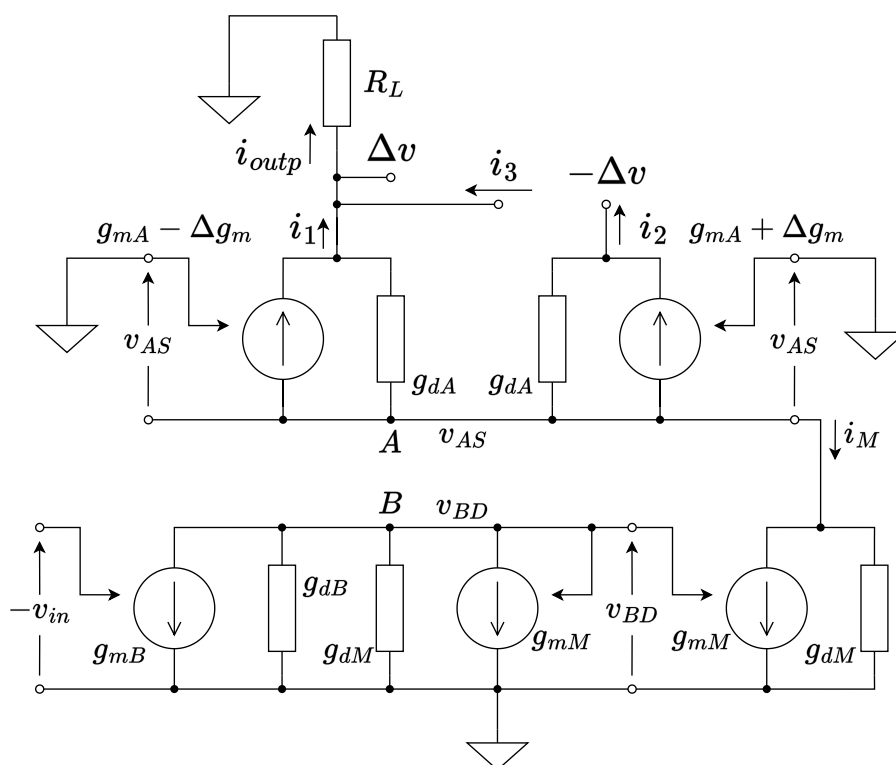


図 1.5: カレントミラーを組み合わせた折り返し型アナログ乗算回路の小信号半回路

謝辞

本研究を遂行するにあたり，大変手厚く御指導頂いた本学電気電子生命学科和田和千准教授に深く感謝する．併せて，本論文の執筆にあたり有益なる御助言を頂いた同学科通信伝送グループの井家上哲史教授，関根かをり教授，中村守里也准教授に深く感謝する．また，日頃の研究において，議論を通じて多くの御助言を頂いた波動信号処理回路研究室諸氏に厚く感謝する．

2024 年 2 月日
明治大学 理工学部 電気電子生命学科 4 年
波動信号処理回路研究室
小島 光