

64QAM ミリ波無線受信機に向けた広帯域高利得高線形増幅器

A Wideband High-Gain High-Linearity Amplifier for 64QAM Millimeter Wave Receiver

リム キムスルン
Kimsrun Lim

岡田 健一
Kenichi Okada

松澤 昭
Akira Matsuzawa

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理学専攻
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

64QAM 変調の通信を行うミリ波無線通信を実現するためには非常に良好な信号対雑音歪比 (SNDR) が要求されている. 高い SNDR を実現するために高い利得, 高い線形性, および広帯域にわたる利得の平坦性を持った低周波増幅器 (BBamp) の実現が必要である.

2 回路構成

本研究で設計した BBamp の基本回路構成を図 1 に示す. 利得と線形性のトレードオフ関係を考慮した結果, この基本回路を二段で使用した. 前段に 16dB の高い利得で設計することで後段に要求される利得を緩和し, 高い線形性を実現しやすくする. この回路の電圧利得は下式で近似される.

$$A_v \approx \alpha \left(\frac{g_{m5}}{g_{m3}} \right) \left(\frac{g_{dsn3} + \frac{1}{R_s} + sC_s}{g_{dsn5} + g_{dsp3} + \frac{1}{R_L}} \right) \quad (1)$$

α は比例係数, g_m と g_{ds} はトランジスタのトランスコンダクタンスとドレインコンダクタンスである. この式の 3 項目ではゼロ点が挿入され, 利得をピーキングすることによって利得補償とともに広帯域化を狙っている. 利得を高くするには $\frac{g_{m5}}{g_{m3}}$ のミラー比を上げることも考えられるが, この方法だと帯域を劣化させるので, 要求した帯域を下回らない程度で適切に選ぶ. 次に, 負荷抵抗比を上げることが考えられるが, R_s を下げると線形性が劣化するので, R_L を上げることが望ましい. しかし, 全体の出力抵抗において R_L とトランジスタ Mn5 と Mp3 の出力抵抗の 3 つの並列抵抗の中で一番低いものが支配的である. そのため, R_L が上げられる限界が見えてくる. 本研究では, Mn5 をカスコード構成にすることで g_{dsn5} を小さく見せかけ, R_L の上限を伸ばすため, 線形性を犠牲せずに高い利得が得られる. また, これによって新たに発生した問題として, カスコードトランジスタ Mn7 のゲート抵抗による利得及び帯域の劣化が考えられる. これを解決するために, Mn7 のゲートに容量 C_{cas} を追加した.

3 シミュレーション結果

この BBamp を TSMC65nm の CMOS プロセスで設計試作した. LPE シミュレーション結果は図 2 に示す. 利得は 20.6dB, 3dB 落ち周波数帯域は 7.1dB, 入力インターセプトポイントは -14.2dBm となっている. この BBamp を取り入れた Rx の SNDR は 28.4dB となっており, 64QAM 変調の通信のために最低限必要な 22.5dB の SNDR を約 6dB 上回っている.

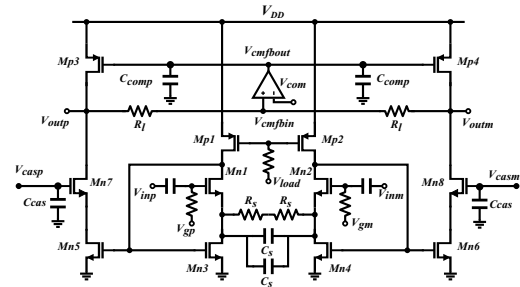
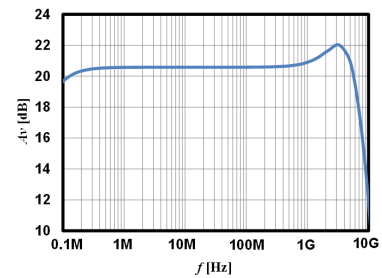
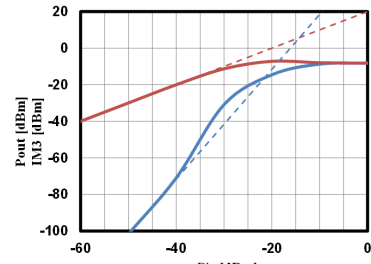


図 1 BBamp の基本回路構成



(a) 電圧利得



(b) 線形性

図 2 LPE シミュレーション結果

4 まとめ

本研究では高い利得, 高い線形性, および広帯域にわたる利得の平坦性を持った BBamp を設計し, これを取り入れた受信機では SNDR=28.4dB という 64QAM 変調の通信に十分な SNDR を実現した.

謝辞

本研究の一部は, 総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』, 総務省 SCOPE, 科学研究費補助金, 半導体理工学研究センター, キヤノン財団, 並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し, 日本ケイデンス株式会社およびアジレント・テクノロジー株式会社の協力で行われたものである.

参考文献

- [1] K. Okada, et al., "A Full 4-Channel 6.3Gb/s 60GHz Direct-Conversion Transceiver with Low-Power Analog and Digital Baseband Circuitry", *IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC)*, 2012, pp. 218-220.