

# 64QAM全4チャンネル対応60GHz帯CMOS無線送信回路

64QAM 60 GHz CMOS Transmitter

佐藤 慎司  
Shinji Sato

瀬尾 有輝  
Yuki Seo

津久井 裕基  
Yuki Tsukui

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

近年、CMOS プロセスを使用した 60 GHz 帯の無線送受信器の研究が盛んに行われている。60 GHz 帯は空気中での減衰が大きい、世界各国で幅広い帯域が無免許で解放されており、近距離用高速無線通信への応用が期待されている。本研究では CMOS 65 nm プロセスを用いてダイレクトコンバージョン型 60 GHz 無線送信回路の試作を行った。

## 2 回路構成

図 1 に送信回路のブロック図を示す。送信回路は 6 段電力増幅器、IQ2 つの RF 帯差動増幅器、IQ2 つのアップコンバージョンミキサ、60 GHz 注入同期型直交局部発振器、LO 差動増幅器から構成されている。図 2 にアップコンバージョンミキサと RF 帯差動増幅器を示す。送信回路において、幅広い帯域を使った高速通信を実現するためには広帯域で利得の平坦性を保つことが重要となる。本研究の送信回路では入力側において mixer-first の構成を採用することで広帯域で利得の平坦性を実現した。また、入力インピーダンスを広帯域で 50 Ω に合わせるために 60 GHz 帯の RF 帯差動増幅器の広帯域に平坦な入力インピーダンスをベースバンド帯入力インピーダンスにダウンコンバートする手法を用いた。そしてベースバンド帯入力側に 200 Ω のシャント抵抗入れ、入力インピーダンスを 50 Ω に調整した。

## 3 測定結果

全ての回路は一枚のチップに集積されており、アンテナは 14 dBi のホーンアンテナを用いた。測定の結果、変換利得は約 15 dB、飽和出力電力は 10.3 dBm であった。LO リークは -45 dBc 以下、IQ キャリブレーションを行った後の SRR (Sideband rejection ratio) は 40 dB 以下を達成した。発振器部分を含めた送信回路の消費電力は 250 mW であった。図 3 にコンスタレーションとスペクトラムを示す。IEEE802.11ad の規格に則った全てのチャンネルにおいて BER が  $10^{-3}$  という条件で 64QAM の通信を実現した。測定をする際は任意波形発生器を用いて変調信号を入力し、オシロスコープを用いて EVM と BER の評価を行った。シンボルレートは 1 チャンネル分では 1.76 GS/s、4 チャンネル分では 7.04 GS/s であり、ロールオフ率は 25% である。測定の結果、64QAM において Tx EVM は最高で -28.8 dB、Tx-Rx 貫通 EVM は最高で -26.3 dB を達成し、10.56 Gb/s のデータレートを達成した。また、16QAM において 4 チャンネルボンディングしたシンボルレートを用いて 28.16 Gb/s のデータレートを達成した。

## 4 まとめ

60GHz 無線送信回路の試作を行い、64QAM において通信規格に則ったすべてのチャンネルで通信可能なことを確認した。また 16QAM において 4 チャンネル分の帯域を用いて 28.16 Gb/s の通信を達成した。

## 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、キャノン財団、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

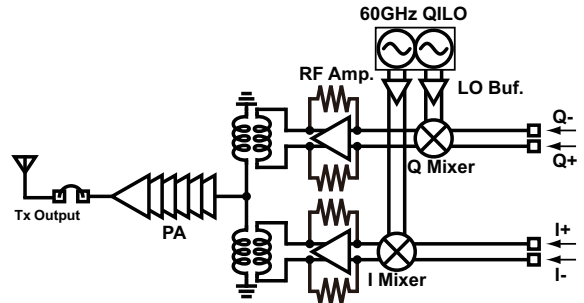


図 1 送信回路のブロック図

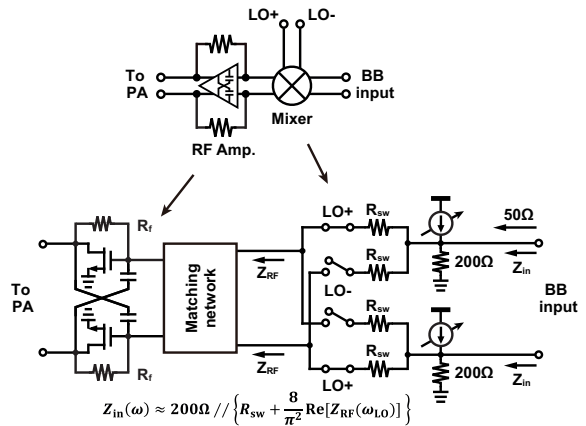


図 2 アップコンバージョンミキサと RF 帯差動増幅器

Channel/Carrier	ch.1 58.32GHz	ch.2 60.48GHz	ch.3 62.64GHz	ch.4 64.80GHz	ch.1-ch.4 Channel bond
Modulation	64QAM				16QAM
Data rate**	10.56Gb/s	10.56Gb/s	10.56Gb/s	10.56Gb/s	28.16Gb/s
Constellation**					
Spectrum**					
Back-off	12.3dB	12.0dB	10.3dB	12.0dB	8.9dB
Tx EVM**	-27.1dB	-27.5dB	-28.0dB	-28.8dB	-20.0dB
Tx-to-Rx EVM***	-24.6dB	-23.9dB	-24.4dB	-26.3dB	-17.2dB

図 3 コンスタレーションとスペクトラム

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 6.3 Gb/s 60 GHz Direct-Conversion Transceiver With Low-Power Analog and Digital Baseband Circuitry," ISSCC, Feb. 2012.
- [2] S. Kawai, *et al.*, "A digitally-calibrated 20-Gb/s 60GHz direct-conversion transceiver in 65-nm CMOS," RFIC Symp., June. 2013.