

# 60 GHz 帯送信回路におけるイメージ波の検出技術

Image Detection Technique for 60 GHz Transmitters

眞木 翔太郎  
Shotaro Maki

瀬尾 有輝  
Yuki Seo

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、60 GHz 帯無線通信の研究が盛んに行われている [1]。送信機においては、帯域内の出力に現れる不要波が EVM 劣化の原因となるため、除去することが必要である。本研究では主に不要波のより低電力・小面積な検出回路について検討する。

## 2 不要波の検出手法

図 1(a) のように、送信機に 1 トーンの信号を入力すると、所望波のほかに LO リーク、イメージ波と呼ばれる 2 つの不要波が発生する。前者はミキサの DC オフセットやばらつき、後者は I/Q ミスマッチが原因となって発生する。64QAM 変調方式で送受信することを想定し、不要波は所望波に比べて -40 dBc 以下であることが求められる。

送信機の出力に現れる不要波の検出には、二乗検波器 (DET) を用いることが有効である。二乗検波器に送信機の出力信号を通すと、不要波の信号成分をベースバンド帯に落として観測することが可能になる。式 (1) は送信機出力を表しており、これを二乗検波器に入力すると式 (2) のような出力が得られる。この関係は図 1(b) のようにも表される。ただし、 $A_O$ 、 $A_{LO}$ 、 $A_{IM}$  はそれぞれ、所望波、LO リーク、イメージ波の大きさである。

$$x(t) = A_O \cos(\omega_{LO} - \omega_{BB})t + A_{LO} \cos \omega_{LO}t + A_{IM} \cos(\omega_{LO} + \omega_{BB})t \quad (1)$$

$$x(t)^2 \approx \frac{A_O^2}{2} + A_O A_{LO} \cos \omega_{BB}t + A_O A_{IM} \cos 2\omega_{BB}t \quad (2)$$

図 2 に従来回路 [2] を示す。この回路では、二乗検波器の出力を直接 A/D 変換、FFT することで不要波を解析している。しかし 60 GHz 帯の送信機は高周波の BB 信号を利用するため、二乗検波器の出力が高周波になる。このことから高速な A/D 変換器が必要になり、消費電力が大きいという課題がある。

本研究では、検波器出力を DC に変換し、これを A/D 変換する手法を提案する。これにより、低速・高精度な A/D 変換器を利用でき、さらに FFT 回路を取り除くことができるため、消費電力の削減と、小面積化を達成することができる。

## 3 実測の方法と結果

図 3 に提案回路による、不要波の検出結果を示す。図 3(a) が LO リーク、図 3(b) がイメージ波の検出結果である。横軸が所望波と不要波の比であり、縦軸が A/D 変換器の出力である。このグラフより、-40 dBc 以下の不要波を検出することが可能であることが分かる。

図 4 に 60 GHz 帯送信機における不要波検出回路の性能比較を示す。提案する検出回路の消費電力は 2.8 mW、面積は 0.111 mm<sup>2</sup> であり、従来回路 [2] と比べそれぞれ 1/10 以下となった。

## 4 まとめ

60 GHz 帯送信機における不要波校正手法について検討した。提案手法により、従来比 1/10 以下の低電力・小面積の回路で不要波の検出が行えることを実測により確認した。

## 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、半導体理工学研究センター、東工大基金、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、メンター株式会社およびキーサイト・テクノロジー合同会社の協力で行われたものである。

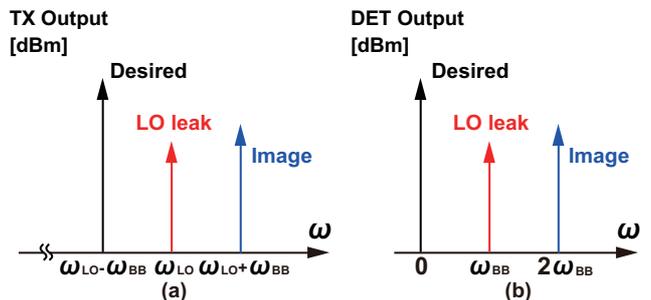


図 1 送信機出力および検波器出力における不要波成分

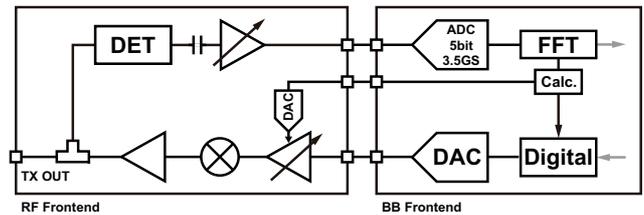


図 2 従来回路

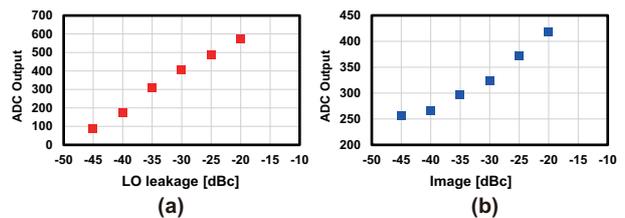


図 3 不要波の検出結果

	Power [mW]	Area [mm <sup>2</sup> ]	Image Calibration
Panasonic[2]	140*	1.28*	-37.7 dBc
This Work	2.8	0.111	< -40 dBc

\*回路構成から推定したものを含む。

図 4 60 GHz 送信機における不要波検出回路の性能比較

## 参考文献

- [1] K. Okada, et al., "A 64-QAM 60GHz CMOS Transceiver with 4-Channel Bonding," in ISSCC, Feb. 2014.
- [2] T. Tsukizawa, et al., "A Fully Integrated 60GHz CMOS Transceiver Chipset Based on WiGig/IEEE802.11ad with Built-In Self Calibration for Mobile Applications," in ISSCC, Feb. 2013.