

# ミリ波帯における注入同期を用いたI/Qミスマッチ補償手法

Injection-Locking I/Q Mismatch Calibration Technique in Millimeter-Wave Transceiver

近藤 智史  
Satoshi Kondo

河合 誠太郎  
Seitarou Kawai

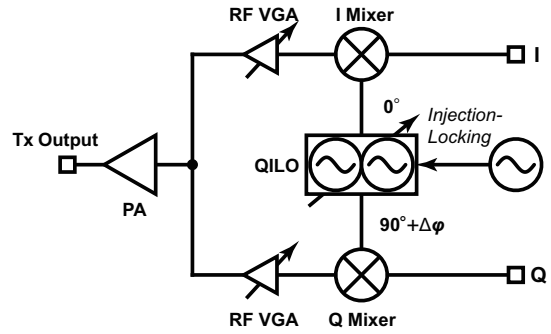
岡田 健一  
Kenichi Okada

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

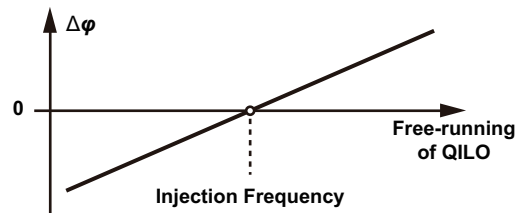
近年、近距離での高速通信に適した 60 GHz 帯を利用する Si CMOS プロセスを用いた無線通信回路が盛んに研究されている。従来、ミリ波帯においては寄生成分やプロセス、電圧、温度 (PVT) のばらつきの影響で I/Q 信号の直交精度が高くできず、良好な EVM を得られない課題があった。I/Q の振幅ミスマッチに関しては、RF やアナログ BB の増幅器の利得を変化させることで補償することができる。しかし、位相の変動も同時に引き起こしてしまう。他方でデジタル BB における補償手法では消費電力の増大や DAC の分解能による制限が問題となる。今回、I/Q ミスマッチを高精度で補償するため、可変利得増幅器と注入同期型直交発振器を用いて利得ミスマッチと位相ミスマッチを独立して補償する手法を提案する。



(a) I/Q ミスマッチ補償手法の概念図 (送信機)

## 2 注入同期を用いた位相ミスマッチ補償

図 1 に、提案する補償手法を送信機に用いた例を示す。送信機は電力増幅回路 (PA)、I/Q 差動可変利得増幅器 (RF VGA)、IQ 2 つのミキサー、注入同期型直交局部発振器 (QILO)、注入発振器から成っている。I/Q の差動利得ミスマッチは RF VGA のゲインを調整することによって補償される。QILO は図 2 に示すように、自走周波数を制御することによって出力の周波数は注入信号に同期したまま直交信号の位相差のみを制御することができるため、RF 信号の経路上で生じる I/Q の位相ミスマッチを補償することができる。RF VGA が利得ミスマッチを補償することにより追加の位相ミスマッチを発生させるため、位相ミスマッチの補償は利得ミスマッチ補償を行った後に行う。



(b) QILO の自走周波数と位相補償量  $\Delta\phi$  の関係

## 3 測定結果

提案する補償手法を 65nm プロセスを用いた送信機に適用し、測定を行った。QILO のパラクタに 10bit の DAC を接続し、周波数調整コード (frequency tuning code:FTC) を変化した時のサイドバンド抑圧比 (side-band rejection:SRR) の変化をプロットした結果を図 2 に示す。最大で 56 dB の SRR を得ることができた。また、位相補償量の分解能は、0.1 deg/LSB を実現した。

## 4 まとめ

注入同期を用いた I/Q ミスマッチ補償手法を提案した。可変利得増幅器と注入同期型直交発振器を用いて利得ミスマッチと位相ミスマッチを独立して補償することができる。65nm プロセスを用いた送信機へ補償手法を適用し、SRR が向上することを確認した。

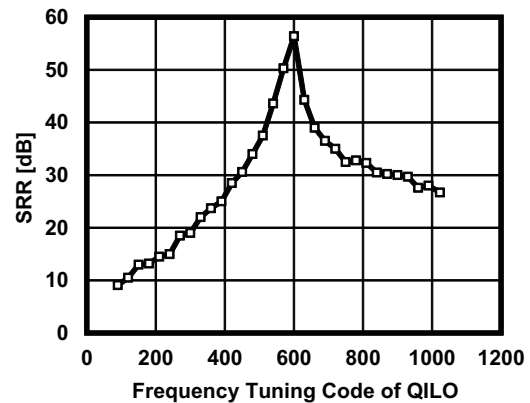


図 2 FTC に対する SRR の変化

## 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』、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] 山口, 他, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-12-34, Sep. 2011.

[2] S. Kawai, et al., "A Digitally-Calibrated 20-Gb/s 60-GHz Direct-Conversion Transceiver in 65-nm," *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium*, June 2013.

[3] S. Kondo, et al., "A 60-GHz CMOS Direct-Conversion Transmitter with Injection-Locking I/Q Calibration," *European Microwave Conference (EuMC)*, Oct. 2013.