

RF 送信機設計の基礎

田中 聡

(株)村田製作所

Basic Course in RF Transmitter Design

Satoshi TANAKA

Murata Manufacturing Co., Ltd

1. まえがき

近年、携帯電話システムにおいては、3G、4G 世代のサービスが開始され、より高いデータレートのサービスが提供されている。3G、4G サービス普及にともなう RF 回路、なかでも送信回路の課題は以下のような項目が考えられる。

- ① サービスを提供するバンド数の増加への対応技術
- ② WCDMA、HSPA、LTE など PAPR(Peak to Average Power Ratio)の異なる多様な変調波を取り扱う線形化技術、
- ③ バッテリー寿命を延ばすための平均消費電力の低減と同時に発熱量を軽減するための最大低消費電力低減技術

本稿では送信機設計にあたり、これらの代表的な課題[8-10]にまつわる注意点や対策について述べる。

2. 多バンド対応

図1に3GPPで規定されている3G、4G携帯電話のバンド一覧[1]-[2]を示す。横軸が周波数、縦軸が規定されたバンド番号である。FDDとTDDのサービスを併記しており、◆で示すシ

ンボルではさまれた帯域が FDD の送信帯域、■で挟まれた帯域が受信帯域、●ではさまれた帯域で示すのが TDD の帯域となる。700MHz 近辺から 3.8GHz 近辺まで広く分布する。無論これらのバンドすべてでサービスしている地域は無く、地域ごとにサービスされるバンドの組み合わせは異なる。しかしながら端末基本設計においてはこれらの帯域をカバーすることが必要となる。まず注意すべきこととして高調波周波数がある。▲で挟まれた帯域が各バンドの2倍の高調波帯域で、△で挟まれた帯域が各バンドの3倍の高調波となる。これらの高調波が別のバンドの帯域(特に受信帯域)や GPS、ISM バンドにかかる場合は端末内での干渉抑圧に十分な減衰量を確保す必要がある。特にここ数年で導入される CA(Carrier Aggregation)では複数のバンドを同時に使用するため、高調波による干渉には注意が必要となる。

基本的には送信・受信オフセット周波数の比帯域が狭いほど抑圧すべき近傍雑音の周波数オフセットが近い。またバンドの比帯域が大きく、送信・受信帯のオフセット周波数が低いほどフィルタに要求される Q は大きく、バンドによってフィルタの通過損失が異なる。またバンドによっては(ex. BAND13)、RFIC と PA(Power Amplifier)の間に SAW 等による BPF(Band Pass Filter)を設ける必要がある。

標準的な 3G、4G の送信回路[3]-[6]を図2に示す。デジタルドメインで生成された I、Q 信号を DA 変換器でアナログ信号に変換し、イメージ雑音を抑圧する LPF(Low Pass Filter)を介した後、直交変調器にて Local 信号との乗算により、IQ 合成するとともに RF 信号に変換する。RF 信号は利得可変増幅器で出力電力に応じたレベルに調整され出力される。近年、多くのバンドでは RFIC と PA の間には段間 SAW フィルタは用いら

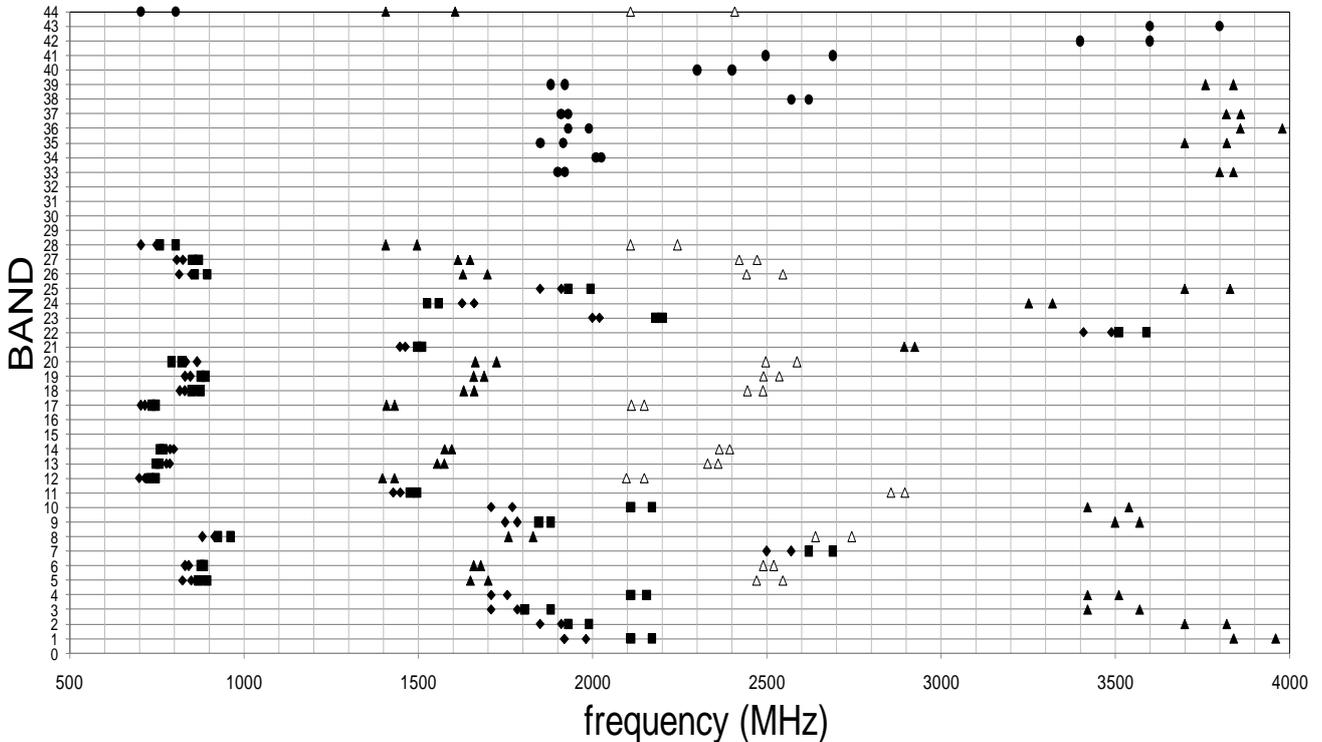


図1 3G/4G バンド一覧

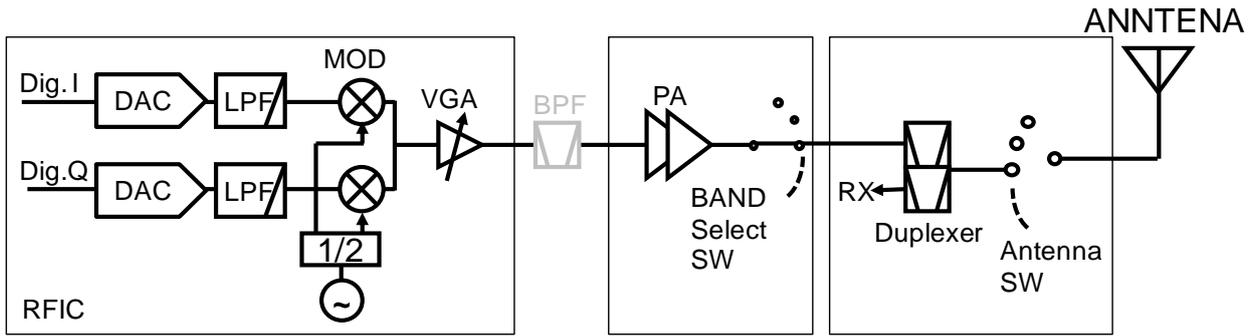


図2 3G/4G 送信回路例

れず、直接信号は PA に入力される。バンド数の増大による部品点数の削減のため、多くの PA が広帯域化され、例えば BAND1、2、3(4)を1つの RF チェーンでカバーする例が増えている。PA の出力はこのバンド別に出力を分配するバンド切り替え SW を介して各バンド向けに調整された Duplexer に入力される。Duplexer 出力はアンテナスイッチを介してアンテナに接続される。

高調波抑圧については RFIC の出力回路、PA の出力整合回路、Duplexer 内部に LPF(Low Pass Filter)機能が搭載されており、これらの総合的な特性となる。PA は効率向上のため高調波が多く発生するモードで動作しており、特に PA の出力インピーダンス以降の部分での高調波の抑圧が重要となる。アンテナスイッチについては、多数のバンドをカバーするため LPF での高調波抑圧が困難であり、高い線形性が要求される。

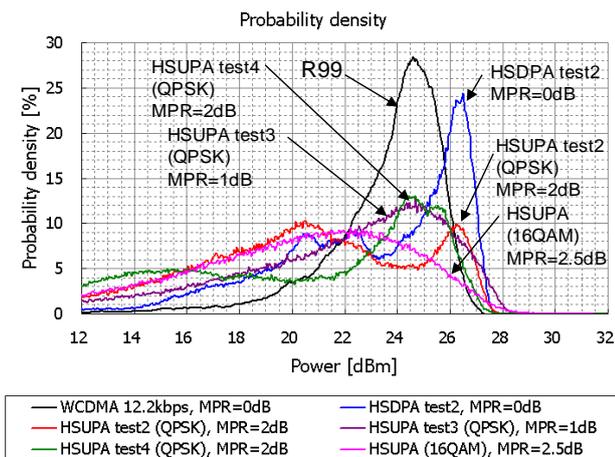
近傍雑音低減については DA 変換器出力の雑音を直後の LPF で抑圧し、ローカル信号を発生する発振器の雑音、利得可変増幅器などの雑音を低減することが必要である。雑音については PA で増幅されるので RFIC の雑音の影響は大きい。バンドによってはスペックが厳しく、RFIC と PA の間に SAW による

段間 BPF の挿入が必要となる。PA の雑音はその入力換算雑音を RFIC の雑音に比べて低く抑える必要がある。送信回路から発せられる受信帯の雑音は Duplexer の受信側出力では熱雑音に比べて十分に抑圧されている必要があり、Duplexer でこの抑圧を担う。このほかアンテナスイッチには送受信信号が同時に通るため、送信信号の歪による受信帯への干渉を抑圧するため更に高い線形性が要求される。

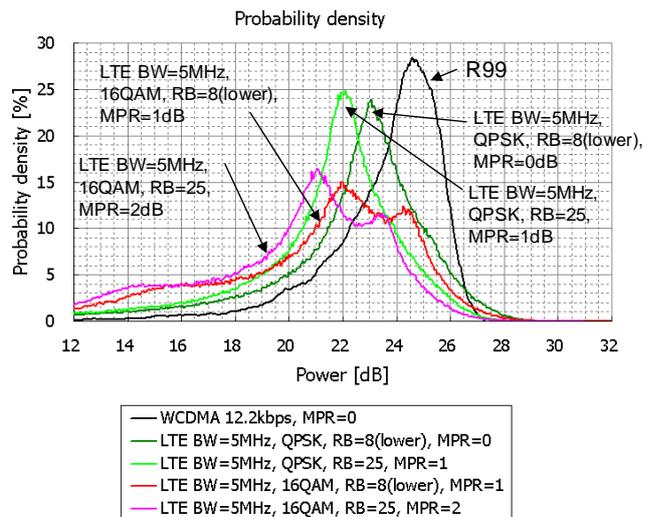
3. 線形化

3G/4G では WCDMA、HSPA、LTE など PAPR(Peak to Average Power Ratio)の異なる多様な変調波が存在する。送信回路が歪むとこれら変調波に必要な線形性の指標として CM(Cubic Metric)が適用される。これは瞬時信号振幅の3乗平均をとったもので WCDMA の変調信号を基準として何 dB 線形マージンが必要になるかを見積もったものである。3乗を適用しているのは抑えるべき隣接チャネル漏れ電力が3次歪に強く起因しているためであり、CM は3次の効果を反映するための指標である。

3GPP では HSPA についてはこの CM に応じた出力電力の低



(a) Comparison between Probability of power of HSDPA,DPA and WCDMA(R99) With MPR=CM-1 rule



(b) Comparison between Probability of power of LTE and WCDMA(R99)

図3 HSPA、LTE の出力信号の瞬時電力の確率分布

減 (MPR) が許容されており、具体的には $CM \geq 1$ で $MPR=CM-1$ となる。

図3に代表的な HSPA、LTE の出力信号の瞬時電力の確率分布を示す[10]。WCDMA(R99)の変調信号の平均電力を 0dB とし、各変調信号に対して MPR に応じた出力電力の低減を含めた瞬時電力の確率分布を示した。

図3(a)は WCDMA と HSDPA、HSUPA の比較を示す。確率密度の分布は WCDMA に比べ確率密度 1%となる電力で WCDMA と最も差があるものは MPR 適用前で HSUPA(16QAM) の約 3.2dB で MPR 適用後は HSUPA(QPSK)test3 の約 1.1dB になる。一方図3(b)に示す LTE については、変調条件により出力電力低減の許容値が設定されている。確率密度 1%となる電力で WCDMA と最も差があるものは電力低減前で LTE 5MHz、16QAM、RB=25 の約 1.3dB の差が存在する。MPR 適用後は LTE 5MHz、QPSK、RB=8 の約 0.8dB となる。

LTE、HSUPA とも許容された出力電力低減下において、WCDMA に比べ、線形性の改善が必要となることが分かる。

4. 低消費電力化

消費電力の低減にはバッテリー寿命を延長するための平均消費電力の低減と、発熱を抑圧するための最大送信出力時の低減の2つの課題がある。

WCDMA の出力電力の確立分布の代表例である DG09 を図4に示す。出力電力 0dBm 近辺が最も確率が高い。この場合 RF 部の消費電力の総量は PA のみならず RFIC、DCDC 変換器などの消費電力も支配的になるため低出力時の消費電力の低減は各パートでも重要になる。

発熱については最大送信出力時の消費電力が大きくなる PA が主要因になる。PA の効率改善はもちろんのこと、Duplexer、SW の損失低減による PA の出力電力低減も効果がある。また PA の最大出力は Duplexer、SW のロスを考慮し、通常端末の最大出力に必要な出力電力に加えて、負荷変動、マッチングロスなどに対するマージンを考慮し更に 1.2~1.5dB 大きな値を設定してある。消費電力低減には PA 出力端からアンテナ端までのマッチングをとることが極めて重要である。

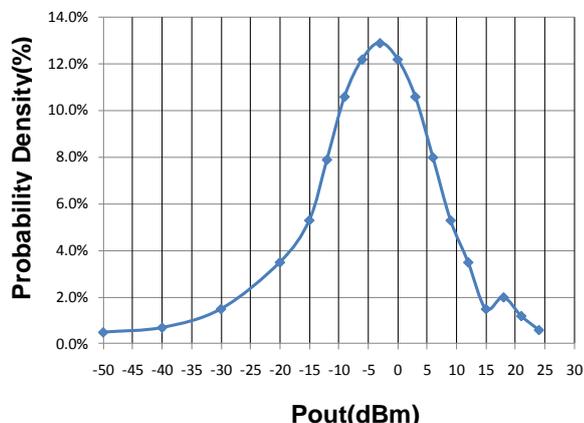


図4 DG09 WCDMA 送信電力分布

5. まとめ

送信機設計の内重要な、他バンド対応、線形化、低消費電力化について携帯電話を例にポイントをまとめた。今後 LTE Advanced への進化に伴い、複数の送受信系が同時動作する CA など更に複雑なシステムが導入される。ここで紹介した技術はそれら新しい展開についても基本となるものであり、本内容が設計・開発の一助となれば幸甚である。

文 献

- [1] 3GPP TS 25.101 V8.0.0 (2007-09)
- [2] 3GPP TS 36.101 V10.2.1 (2011-04)
- [3] H.Kamizuma and Y.Akamine, et al., "A Quad Band WCDMA Transceiver with Fractional Local Divider," IEEE VLSI Circuits Symposium 2008, pp. 96-977.
- [4] Xin He, and Jan van Sinderen "A 45nm Low-Power SAW-less WCDMA Transmit Modulator Using Direct Quadrature Voltage Modulation," IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 120-121, Feb., 2009.
- [5] Raja S Pulella, Tirdad Sowlati, Dmitriy Rozenblit "Low Flicker-Noise Quadrature Mixer Topology," IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, 25.8, Feb., 2006.
- [6] S. Tanaka, "Evolution of RF Components for Mobile Phones," Magnetics Jpn. Vol. 5, No. 10 pp. 469-474, 2010.
- [7] S. Tanaka, "Circuit Techniques for Mobile Communication Transceivers," IEICE Trans. on Electronics, Vol. J89-C No. 10 pp.622-640, Oct. 2006.
- [8] S. Tanaka, "Evolutional Trend of Mixed Analog and Digital RF Circuits," IEICE Trans. Electron, Vol. E92-C, No.6 June 2009.
- [9] 上野伴希, "無線機 RF 回路 実用設計ガイド," 総合電子出版社 2004.
- [10] 田中聡, 伊藤雅広, "携帯電話向け送信方式と電力増幅器," MWE2011 WS09-4, Dec. 2011.