マルチ変調方式対応 高効率DPDアンプの開発

Development of High Efficiency DPD Amplifier applicable to multi technology

山田　明　Akira Yamada
平山浩久　Hirohisa Hirayama
石川高暁　Takaaki Ishikawa
宮竹由友　Yoshitomo Miyatake
渡邊孝史　Takashi Watanabe

要　旨

携帯電話無線基地局装置に対する高効率化，小型化，低価格化の市場要求は，年々厳しくなっている。当社では，携帯電話無線基地局装置の中で大きなウェイトを占める送信アンプについて，マルチ変調方式に対応した高効率送信アンプを開発した。本装置は，送信アンプにドハティ方式を採用し，高効率を実現した。また，その送信アンプに最適化したDPD歪補償を開発し，スプリアス規格を充分に満足する結果が得られた。さらに高効率化により，装置の小型化，低価格化を達成した。

Abstract

Recently, the market pressure towards higher efficiency, smaller size, and lower cost is getting more severe for cellular phone base station equipment. In response to this, JRC has developed the high efficiency DPD Amplifier with a multi-technology feature for the transmitting amplifier which occupies a large part of the cellular phone base station. This amplifier employs the Doherty circuit to achieve high efficiency. The DPD optimized for this amplifier is developed to comply with spurious emission requirements. The achieved high efficiency makes downsizing and cost reduction possible.

1. まえがき

携帯電話無線基地局装置において，携帯端末の利用者増加と，データ通信用途の増加などの利用内容の変化によって，PDCに始まりcdma2000, W-CDMA, LTEと通信方式が多様化している。また，送信アンプの高効率化の要求が高まっている。これらの要求に対応するために，マルチ変調方式対応高効率DPDアンプの開発を行ったのでここに報告する。また，多岐の周波数やアプリケーションに柔軟に対応でき，更なる厳しい市場要求に対応する今後の技術展開についても述べる。

2. 装置概要

マルチ変調方式対応高効率DPDアンプは，cdma2000, W-CDMA, LTE方式に適応できるアンプであり，携帯電話無線基地局装置に組み込まれ，増幅動作により所定の無線送信出力を得る。近年主流となっている光張出型無線基地局は，上位となる基地局制御部と光ファイバで接続され，携帯端末のサービスエリアを確保している。

本装置の仕様を表1に示す。また，外観を図1に示す。

表1　主な仕様
Table 1 General specifications

項目	仕様
送信周波数	1.9GHz帯
周波数帯域	65MHz
送信出力	100W級
変調方式	cdma 2000, W-CDMA, LTE
隣接チャネル漏洩電力	3GPP 準拠
歪補償方式	DPD
供給電圧	＋24VDC
消費電力	400W以下
動作温度範囲	－40℃～＋55℃

主な特徴として下記がある。

・ファームウェアを書き換えることなくマルチ変調に対応
・送信周波数帯域の中の任意の20MHz帯域で使用可能

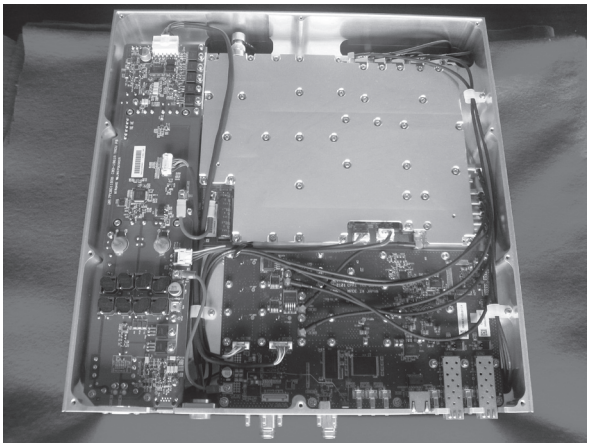

図1　DPDアンプ
Fig.1　DPD Amplifier

本装置は下記の技術を採用し，高効率，小型，低歪みを達成した。

(1) マルチ変調方式対応CFR
異なる変調方式の信号の同時送信に対応したピーク抑圧技術（CFR）を新たに考案し，振幅制限性能と波形品質の両立を図った。

(2) デジタル信号処理
上位基地局とはSFPコネクタで光接続され，CPRI規格に準拠したデジタルデータを送受信する。デジタルデータは，一つのFPGA内で処理される。

(3) ドハティ方式HPA
DPD処理との親和性が高く，歪補償量が得やすい送信アンプ（HPA）を開発した。また，高効率を達成するために，最終増幅段にドハティ方式を採用した。

3. 装置構成

開発した装置は，デジタル部，RF部，電源部，フィルタ部から構成される。装置のブロック図を図2に示す。

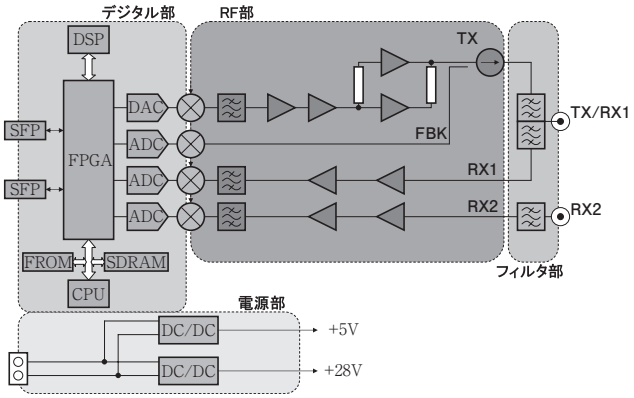

図2　ブロック図
Fig.2　Block Diagram

(1) デジタル部
デジタル部は主にFPGA，CPU，DSPから構成されている。デジタル部は上位局とのCPRI信号インタフェース処理と，送信信号のDPD処理機能を有し，これらをひとつのFPGAに集積することにより，小型化と低消費電力，コストダウンを図った。FPGA内部のブロック図を図3に示す。

FPGAは上位の基地局から送られてきた送信データに対して，CPRIデコード，アップコンバート，ピーク抑圧，周波数マッピング，DPD処理を行う。DPD部では，LUT方式によりHPAの逆特性のプリディストーション信号を生成する。
LUTのデータはRFボード出力信号をモニタしたFBK信号をもとに随時更新する。

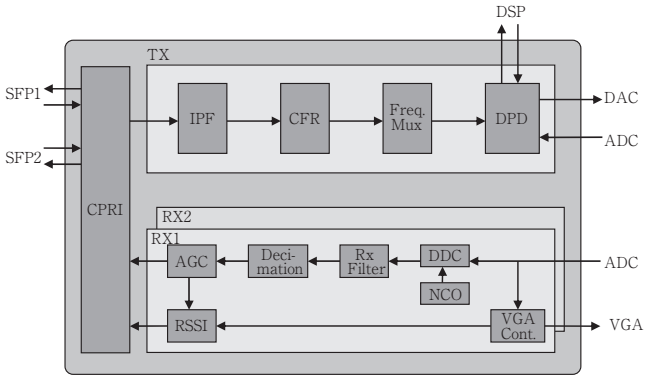

図3　デジタル処理　ブロック図
Fig.3　Digital Processing Block Diagram

(2) RF部
主としてHPAとローノイズ受信回路から構成される。
HPAは，デジタル部でDPD処理されて，DACにてアナログ信号へ変換された入力信号を，所定の出力に増幅する。
デジタル部で生成されたプリディストーション信号は，HPAで発生する歪みと打ち消しあい，低歪みとなって出力される。
各段には信頼性の高いシリコン系のFETを採用し，さらに最終増幅段にはドハティ回路を採用し，高効率動作を目指した。

図4に，今回採用したドハティ回路のブロック図を示す。

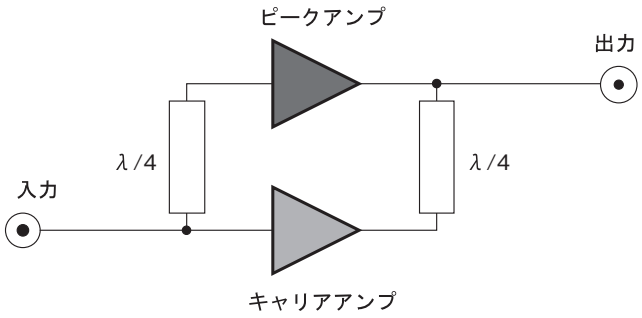

図4　ドハティ　ブロック図
Fig.4　Doherty Block Diagram

キャリアアンプとピークアンプの間のλ/4 ストリップラインにより，インピーダンスの整合を行っている。ピークアンプはC級で動作しており，通常はオフ状態である。瞬時出力が上がり，キャリアアンプが飽和すると，ピークアンプがONになり，不足分を補うようにピーク成分の増幅を行い，キャリアアンプの出力に加算される。ピークアンプとキャリアアンプの分配を最適化することで，使用する信号にあったバックオフ点で効率が最大になるように設計した。

今回開発したドハティ回路の入出力特性を図5に示す。デジタル部のCFR回路にて変調信号のピーク抑圧を行い，定格出力時の効率45%を達成した。

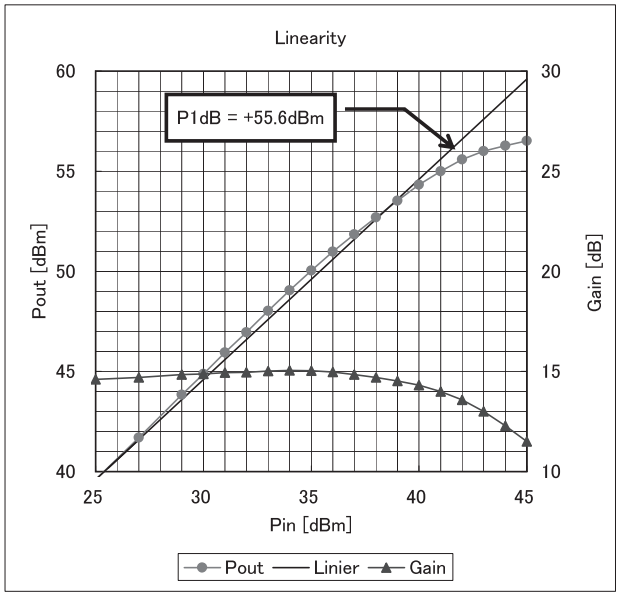

図5　ドハティ　入出力特性
Fig.5　Doherty Input / Output Characteristics

（3）電源部

各回路への電源を供給する電源回路である。＋28V出力と＋5V出力の2系統を実装する。それぞれに高効率のDC電圧変換モジュールを使用し，電源での消費電力のロスを抑えている。入力電圧の監視を行い，規定の範囲を超えた電圧が入力されると自動的に出力を遮断する。また，逆極性接続防止回路，突入電流防止回路，EMIフィルタ等も搭載している。

製品安全の規格であるUL60950に準拠した安全性設計にも配慮した。

4．評価結果

本装置の評価にあたり，BBUシミュレータを製作し，図6の通り光ファイバケーブルでCPRIにて接続した。

BBUシミュレータはPCにより制御され，今回開発したDPDアンプへベースバンド信号を送出する。

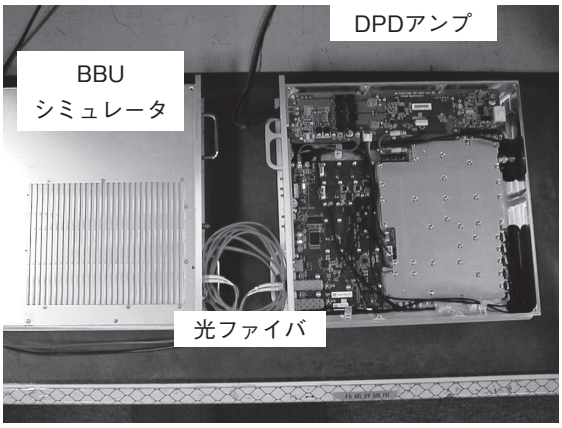

図6　評価系
Fig.6　Evaluation system

（1）DPD特性

本装置の送信出力波形を図7，8に示す。図7はcdma2000 4波で，11波分の帯域の両端に2波ずつ配置した。図8はLTE 5MHz 2波で，4波分の帯域の両端に1波ずつ配置した。それぞれDPD ON/OFFの波形を重ねて表示し，DPDの効果を可視化した。

DPD ON/OFFの波形を比較すると，信号増幅により発生した3次歪み，5次歪みが，DPDによって補償されていることがわかる。

また，EVMを測定した結果，信号の変調品質を落とすことなく歪みだけを打ち消していることを確認した。

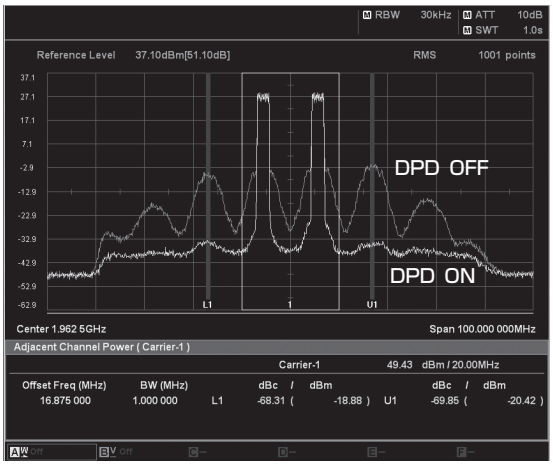

図7 cdma2000 4波
Fig.7 cdma2000 Output Waveform(4Carriers)

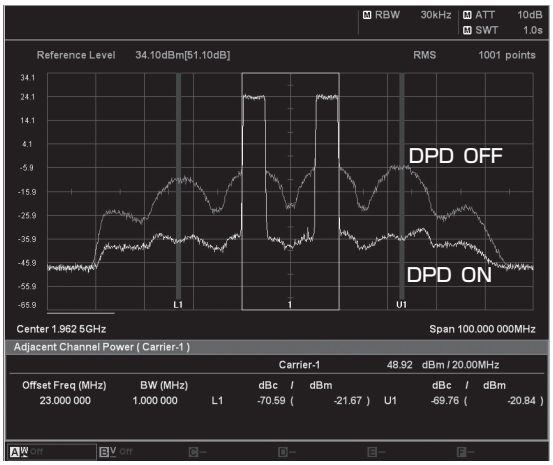

図8 LTE出力波形(5MHz 2波)
Fig.8 LTE Output Waveform(5MHz 2Carriers)

(2) マルチ変調方式対応

図9に，本装置にてcdma2000 3波とLTE 10MHz 1波を混在させて出力した波形を示す。充分な低歪特性を得ている。今回の評価ではcdma2000とLTE信号を使用したが，そのほかにもW-CDMAを含めた任意の変調方式，信号帯域に対応可能である。

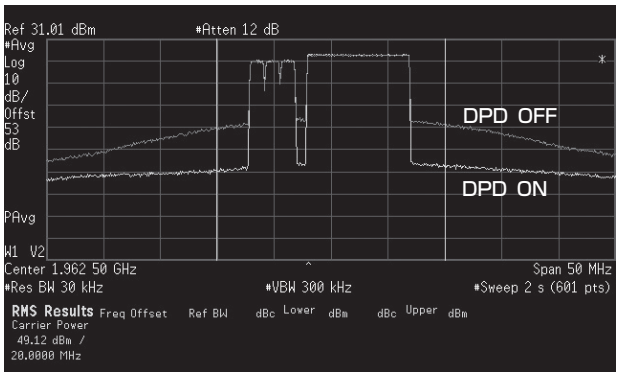

図9 マルチ変調方式対応
Fig.9 Multi Technology

5. あとがき

マルチ変調方式に対応した高効率DPDアンプを開発した。ドハティ方式HPAと独自のデジタル信号処理技術により，アンプ効率を従来よりも6%以上向上することができた。

シリコン系パワーデバイスを使用して低価格を維持しながらも，化合物パワーデバイスに迫る高効率と小型化を達成したことは特筆に値する。

今回開発した装置は，1.9GHz帯仕様だが，送信アンプとアップコンバータ・ダウンコンバータ，フィルタを変更することで，他の周波数帯の装置へ柔軟に対応可能である。特に，マルチ変調に対応できたことは，世界中の携帯電話事業者にスムーズな装置更新・巻き取りを可能とする。

今後は，更なる小型化・低価格化を目指し，RRHなどの屋外基地局装置へ商品展開していく予定である。

参考文献

(1) “LPA開発の歴史と技術動向”，日本無線技報No51，2006
(2) “携帯電話基地局用アンプの移り変わり”，日本無線技報 No60，2010

用 語 一 覧

BBU：Base Band Unit
cdma2000：Code Division Multiple Access 2000
CFR：Crest Factor Reduction
CPRI：Common Public Radio Interface
DPD：Digital Pre-Distortion
EVM：Error Vector Magnitude
FBK：Feed Back
FPGA：Field Programmable Gate Array
HPA：High Power Amplifier
LTE：Long Term Evolution
LUT：Look Up Table
PAPR：Peak Average Power Ratio
PDC：Personal Digital Cellular
RRH：Remote Radio Head
SFP：Small Form factor Pluggable
UL：Underwriters Laboratories
W-CDMA：Wideband Code Division Multiple Access