特集

4GHz帯基地局用広帯域増幅器の開発
Development of Broadband amplifier for 4GHz-band base station

宮　澤　良　男　　小　関　裕　之
Yoshio Miyazawa　　Hiroyuki Ozeki

要　旨

次世代の無線通信方式を実現するために，移動体通信基地局装置の広帯域化は必要不可欠である。しかしながら，移動体通信基地局装置に含まれる増幅器を広帯域化すると，それに比例して帯域外漏洩電力を始めとする高周波特性が著しく悪化する問題があった。その問題を解決するために当社は，広帯域HPAと広帯域DPD歪補償技術を開発した。その結果, 4.46GHzにおいて，当社従来装置と比較して2倍の周波数帯域となる同時送信周波数帯域幅120MHz，ACLR −45dBc以下，EVM 8%以下の性能を達成した。

Abstract

For realizing the next generation radio communication system, it is essential to increase the bandwidth of the mobile communication base station equipment. However, to make the amplifier included in the mobile communication base station equipment wider bandwidth, there has been a problem that the high frequency characteristic including the out-of-band leakage power is considerably deteriorated in proportion. In order to solve the problem, JRC has developed a wideband transmitting amplifier which adopts wideband DPD distortion compensation technology. As a result, in the 4.46GHz band, JRC has achieved 120MHz which is twice the bandwidth compared with our conventional equipment with keeping ACLR of less than -45dBc and EVM of less than 8%.

1. まえがき

移動体通信基地局は，通信端末の利用者増加やデータ通信量増加などによりトラフィック量が急増しており，大容量の通信に対応できる次世代無線通信方式への移行が進められている。それに伴い基地局装置は従来装置よりも広い周波数帯域での動作が求められる[1]。当社は基地局の広帯域化に対応すべく，広帯域HPAと広帯域DPD歪補償技術を備えた，送信中心周波数4.46GHz，同時送信周波数帯域幅120MHzの増幅器を開発したので報告する。

2. 装置概要

4GHz帯基地局用広帯域増幅器（以下，本装置）は，移動体通信ダウンリンクの送信中心周波数4.46GHz，同時送信周波数帯域幅120MHz，ACLR −45dBc以下，EVM 8%以下の高周波送信用の増幅器で，移動体通信基地局装置に組み込まれる。本装置にBBUとアンテナを接続して，BBUから出力された高周波小信号をHPAで増幅させて所定の無線送信電力をアンテナへ出力する。電源はDC −48Vを使用する。本装置は屋外使用を想定した自然空冷方式の密閉型筐体である。

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
送信中心周波数	4.46 GHz
同時送信周波数帯域幅	120 MHz
送信電力	12 W
ACLR	−45dBc以下
EVM	8%以下
電源電圧	DC −48V
消費電力	140 W typ.

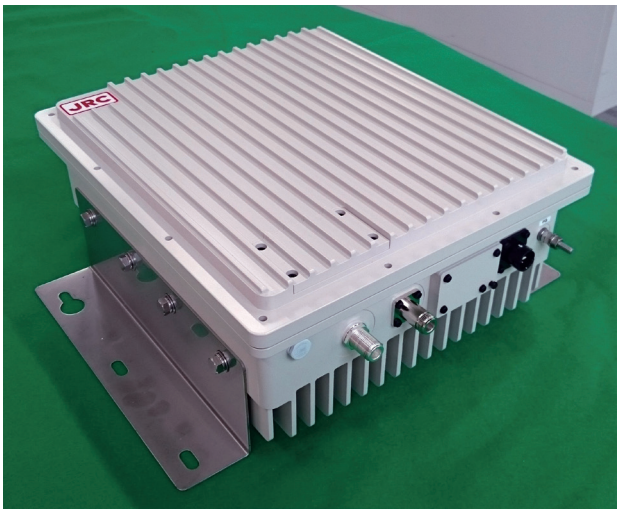

図1　装置外観
Fig.1　Outline structure

本装置は下記の技術を開発し，増幅器の広帯域化と最適な高周波特性を実現した。

（1）HPA
開発時点において4.46GHzに適応した基地局向けパワーデバイスは存在しなかった為，既存の3GHz帯基地局向けGaN HEMTデバイスを使用した。このGaN HEMTデバイスの外部で4.46GHzに最適化したマッチング回路を構成した。

（2）DPD歪補償
HPAの高周波特性に応じて周波数単位で重み付けをする歪補償技術を新たに開発し，広帯域な歪補償を実現してACLR特性を改善した。

（3）ピーク抑圧
DPD歪補償をするためにピーク抑圧処理は必須である。そこでEVMの劣化を抑えながら変調信号のピーク成分を抑圧し，増幅器に対する負荷を軽減させられるCFRを開発した。

（4）波形整形
DPD歪補償を最大限発揮するには，同時送信周波数帯域幅よりも外側の帯域に含まれる高次の歪み成分を取込んで処理を行う必要がある。しかしながら，高次の歪み成分を取込むには高性能なデバイスが必要になる。そこで，本装置ではFPGA，ADC，DACの組合せで最適な広帯域特性が得られる波形整形処理を開発した。

3. 装置構成

本装置は，デジタル信号処理部，HPA部，フィルタ部，電源部から構成される[2]。装置の全体ブロックを図2に示す。

（1）デジタル信号処理部
デジタル信号処理部は，FPGA，RF信号入力インタフェース回路，RF信号出力インタフェース回路とHPA出力フィードバック回路で構成される。

FPGAでデジタル信号処理するために，RF信号入力インタフェース回路は，上位のBBUから入力したRF信号をADCでデジタル信号に変換する。またRF信号出力インタフェース回路は，FPGAが出力したデジタル信号をDACでアナログ信号に変換する。HPA出力フィードバック回路は，HPA部が出力したRF信号をADCでデジタル信号に変換する。

FPGAは，波形整形処理，ピーク抑圧処理及びDPD歪補償処理を行う。波形整形処理は，RF信号入力インタフェース回路とRF信号出力インタフェース回路を広帯域化したことによる高周波特性の劣化を改善する。ピーク抑圧処理はHPAに対する負荷を軽減する。DPD歪補償処理は，無歪みのリファレンス信号とHPAで発生した歪みを含んだフィードバック信号から逆歪み特性を算出し，送信信号にこの逆歪み特性を加える。これによりACLR特性を改善する。
FPGAの機能ブロックを図3に示す。

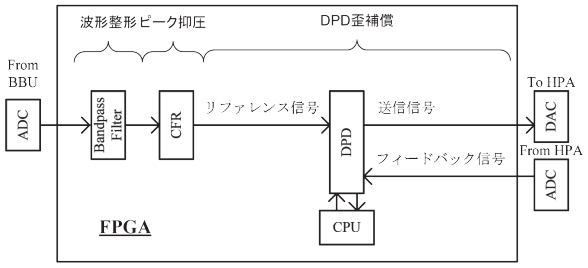

図3　FPGA 機能ブロック図
Fig.3　FPGA Block Diagram

（2）HPA部
広帯域化を検討するにあたり，使用するファイナルアンプの条件としてACLR，ピークパワー，ゲイン，効率の広帯域特性に加え，3次歪における周波数特性が良好である必要がある。これはDPD歪補償を実施する際，サンプリングレート値の制限により，信号帯域を含めた3次歪成分までに対応した帯域幅内の情報で歪補償される為である。
候補に挙げられる半導体パワーデバイスとして，GaAsや

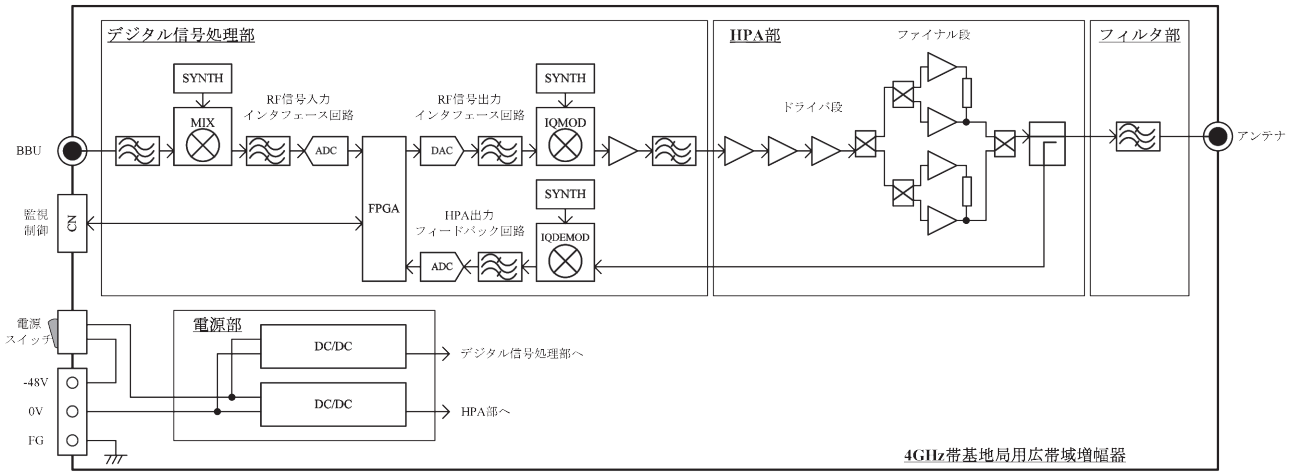

図2　全体ブロック図
Fig.2　Block Diagram

LD-MOSデバイスが挙げられるが，GaAsデバイスでは3次歪周波数特性や他のRF特性の広帯域性を確保する事が困難であり，更にLD-MOSデバイスでは4GHz以上の周波数帯で，必要な利得を確保すること自体が困難である。以上を踏まえ，今回ファイナル段のデバイスとしてピーク電力30WのGaN HEMTデバイスを選定した。本デバイスのIMD広帯域性を確認するために取得したCW 2toneによるCarrier Spacingに対する IMD周波数特性を図4に示す。

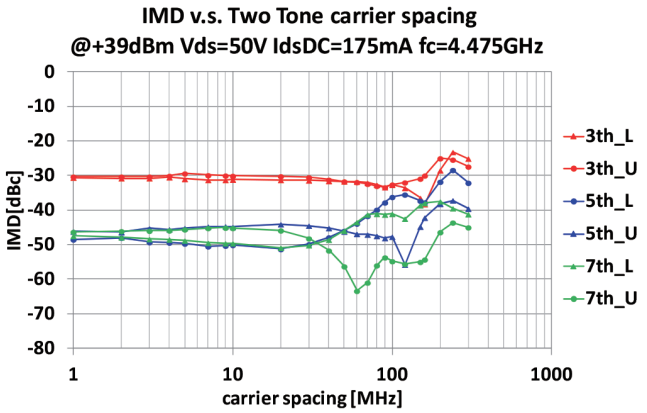

図4　IMD v.s. Carrier Spacing 特性
Fig.4　IMD v.s. Carrier Spacing Characteristics

図4から2toneのCarrier Spacingによる3次歪の周波数特性は160MHz程度まで，ほぼ一定であることが確認できる。従って，DPD歪補償で3次歪まで歪補償した場合，増幅器としては160MHz-BWまで同時送信周波数帯域幅に依存性のない歪補償を受けることが可能と考えられる。本デバイスをHPAのドライバ段，ファイナル段に採用しHPAを構成した。また，ファイナル段においては所望のピークパワーを得るために4パラレル構成とした。ファイナル段から装置出力までの回路ブロックを図5に示す。

前述した通り，本装置開発時点で4.46GHzに適応したパワーデバイスは存在せず，デバイス選定は困難であった。そこで4.46GHzにおいて広帯域HPAを実現する為に，パワーデバイスのゲート，及びドレイン側に内部マッチング回路を有していない既存の3GHz帯基地局向け30W GaN HEMTデバイスを選定した。このデバイスに対し4.40GHz～4.52GHzにおいて所望性能が得られるよう外部入出力マッチング回路を最適化した。

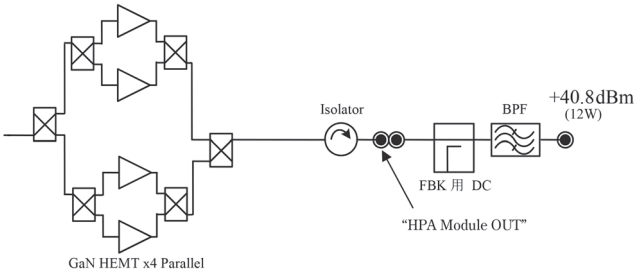

図5　ファイナル出力段ブロック図
Fig.5　Final Stage Block Diagram

装置定格出力時，パワーデバイス単体における出力電力は+37.1dBmとなる。この出力電力時における30W GaN HEMT単体RF特性値を表2に示す。また入出力特性を図6，Gain，ACLRの測定結果を図7に示す。変調波の信号源は帯域幅120MHz（LTE20MHz 6carrier TM3.1 PAPR7.0dB）の信号源を使用した。

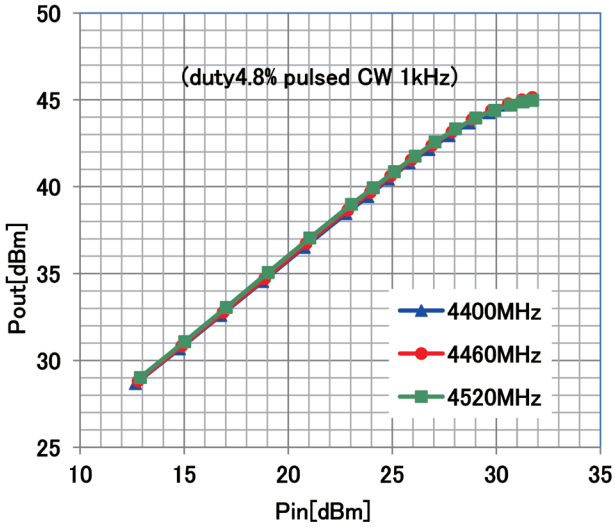

図6　入出力特性
Fig.6　Input / Output Characteristics

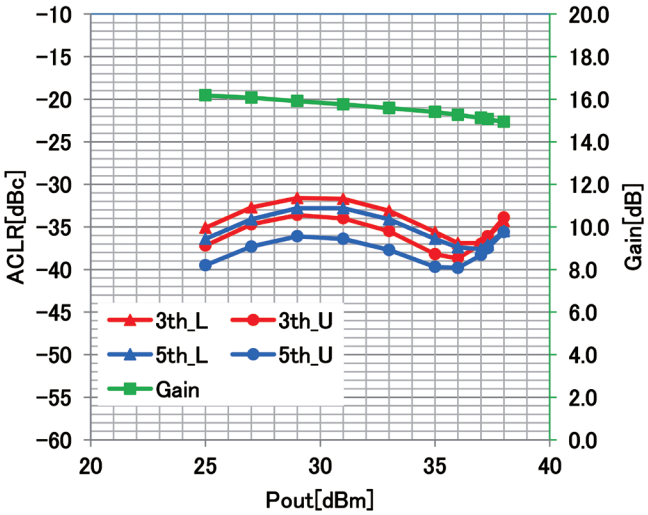

図7　ACLR，Gain v.s. 出力電力特性
Fig.7　ACLR，Gain v.s. Output Power

表2　30W GaN HEMT RF 特性値
Table 2　30W GaN HEMT RF characteristics

特性項目	測定値
P3dB@4520MHz (duty 4.8%pulsed CW 1kHz)	+45.1dBm
Gain@Pout= +37.1dBm	15.1dB
ドレイン効率@Pout= +37.1dBm	23.8%
ACLR@Pout= +37.1dBm	-35.6dBc

以上の4.46GHzに調整した30W GaN HEMT単体回路でドライバ段，及びファイナル段4パラレルで構成し本装置に必要な広帯域HPAを実現させた。

図5において，装置定格出力時“HPA Module OUT”端の送信電力は+42.3dBmとなる。この送信電力出力時の“HPA Module OUT”端における出力波形を図8に示す。

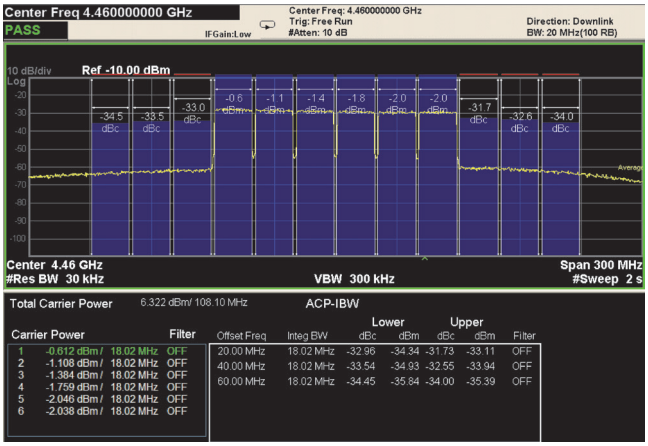

図8 “HPA Module Out”端 出力波形
Fig.8 Output Waveform at “HPA Module Out”

4. 評価結果

HPAとDPD歪補償技術を組み合わせた本装置の送信出力波形を図9に示す。DPD歪補償を組み合わせた場合においても，DPDのアルゴリズムに合わせてHPAファイナル段にマッチングを施し装置全体での特性を最適化している。

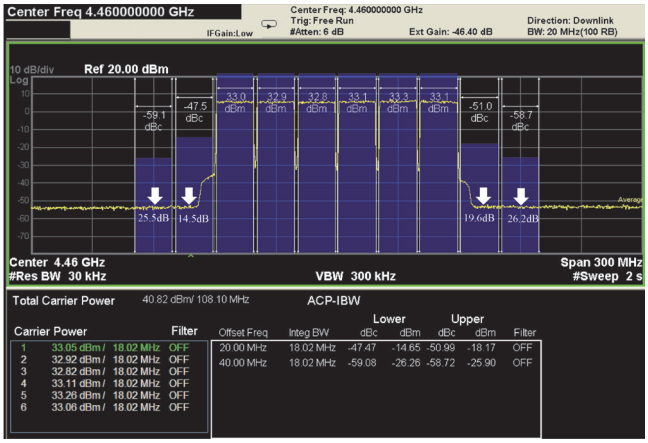

図9 装置出力波形
Fig.9 Output Waveform

図9の通り，DPD歪補償を使用しない場合（図8）と比較して，ACLR特性は20MHz離調で14dB，40MHz離調で25dB改善し，装置出力 +40.8dBm（12W）出力時，ACLR −45dB以下を達成した。また，図9では表示されていないが，各Carrierの20MHz帯域幅でのEVMは，6Carrier全てにおいて8%以下であることを確認した。なお，信号源は帯域幅120MHz（LTE20MHz 6carrier TM3.1 non clipping）を使用した。

5. あとがき

同時送信周波数帯域幅120MHz，ACLR −45dBc以下，EVM 8%以下の広帯域増幅器を開発した。特に，周波数帯域幅としては広帯域HPAと広帯域DPD歪補償技術により，当社従来装置と比較して2倍の周波数帯域幅を実現した。

今後，FPGA，ADC，DACは高速化することが予想される。これに伴いDPD歪補償処理は，より高次の処理ができるようになるため，さらなる広帯域化が可能となる。またHPAにおいてもドハティ回路を始めとした高効率化を目指す技術を適用する事により，使用周波数で広帯域，かつ高効率な小型基地局用広帯域増幅器の開発が可能である。これらの技術で次世代通信方式の大容量通信の実現に貢献する所存である。

参考文献

(1) “携帯電話基地局用アンプの移り変わり”，日本無線技報，No.60，pp.21-25，2011
(2) “次世代基地局向けDPDパワーアンプの開発”，日本無線技報，No.55，pp.9-12，2008

用 語 一 覧

ACLR : Adjacent Channel Leakage power Ratio
（隣接チャネル漏洩電力比）
ADC : Analog to Digital Converter（アナログデジタル変換器）
BBU : Base Band Unit（ベースバンド装置）
CFR : Crest Factor Reduction
（ピーク・平均電力比を調整し増幅器の高効率化を実現する技術）
DAC : Digital to Analog Converter（デジタルアナログ変換器）
DPD : Digital Pre-Distortion（デジタルプリディストーション）
EVM : Error Vector Magnitude（変調精度）
FPGA : Field Programmable Gate Array（プログラマブルLSI）
GaAs : Gallium Arsenide（ヒ化ガリウム）
GaN : Gallium Nitride（窒化ガリウム）
HEMT : High Electron Mobility Transistor（高電子移動度トランジスタ）
HPA : High Power Amplifier（高出力増幅器）
IMD : Inter modulation Distortion
LD-MOS : Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor
LTE : Long Term Evolution（3.9世代移動通信システムの規格の一つ）
PAPR : Peak to Average Power Ratio（ピーク対平均電力比）