

W-CDMA(Band11/21)携帯端末用電力増幅器

弥政和宏* 角野 翼*
松塚隆之*
森岡範文*

Power Amplifier Module for W-CDMA(Band11/21) Mobile Applications

Kazuhiro Iyomasa, Takayuki Matsuzuka, Norifumi Morioka, Tasku Sumino

要 旨

近年、スマートフォンに代表される携帯電話端末の高性能化に伴い、従来の音声データだけでなくインターネット環境を通じた動・画像データを含めた大容量のデータをより高速に通信することが要求されている。各通信事業者はLTE(Long Term Evolution)を一例とした新世代の各種高速通信方式を採用し、商用サービスの提供を開始している。

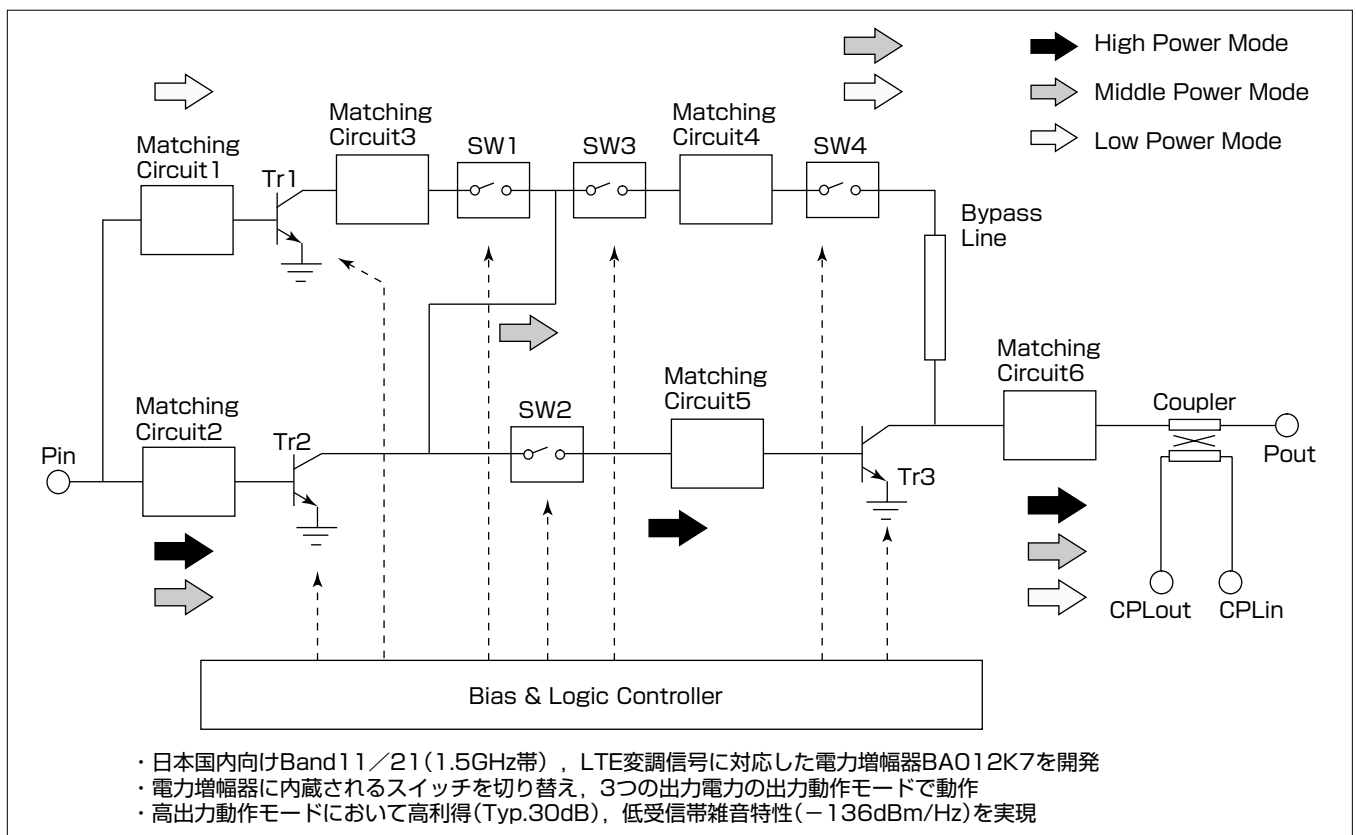
日本国内では1.5GHz帯(Band11/21)の周波数帯が携帯端末用として割り当てられ、この帯域における携帯端末用増幅器を要求されている。また、この携帯端末の機能向上に伴うLTEなどの各種変調信号への対応、回路規模の増大に伴う端末の大型化を抑制するための増幅器の小型化、RF-IC(Radio Frequency Integrated Circuit)の高機能化に伴う消費電力の増加を抑制するための増幅器の高利得化

及び増幅器自身の低消費電力化等が強く要求されている。

三菱電機では、これらの要求に応えるための携帯端末用電力増幅器“BA012K7”を開発した。隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力比-38dBc(R99変調信号±5MHz離調)で、出力電力29dBm、電力利得30dB、電力付加効率42%を達成し、また受信帯域雑音特性-136dBm/Hz以下(28.5dBm出力時)を満足している。

このモジュールのサイズは3×3×1(mm)であり、従来端末側に搭載されていた出力電力検知用のカプラを内蔵し端末装置の小型化のニーズに答えている。

本稿では、今回開発したW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)(Band11/21)携帯端末用電力増幅器について述べる。



開発した電力増幅器の回路ブロック図

開発した1.5GHz帯(Band11/21)W-CDMA電力増幅器“BA012K7”の回路ブロック図を示す。低・中出力電力時でも高効率動作を実現するため、増幅用トランジスタのアイドル電流、回路内部のスイッチを出力動作モードによって切り換える方式を採用した。特に1.5GHz帯では携帯電話用途に割り当てられた受信帯域と送信帯域との周波数間隔が狭く、高出力時の高利得と低い受信帯域雑音特性を両立させることは技術的に難しい。

1. ま え が き

現在GaAs(砒化(ひか)ガリウム)系HBT(Hetero junction Bipolar Transistor)増幅器はCDMA携帯端末に広く用いられている。当社では、これまで携帯端末向けのHBT送信用電力増幅器を供給してきた。

従来の通信方式であるW-CDMA用携帯端末では、市街地のように基地局と端末との距離が近い場合、低・中出力電力での動作割合が高いため、最大出力電力のみならず、低・中出力電力でも高効率動作が求められる⁽¹⁾⁽²⁾。近年、スマートフォンに代表される携帯端末の高性能化に伴い、従来の音声データだけでなくインターネット環境を通じた動・画像データを含めた大容量のデータをより高速に通信することが要求され、各社通信事業者でLTEを一例とした新世代の高速通信方式を採用することで市場ニーズに応えつつある。一方、スマートフォンに代表される高性能端末に用いられる液晶ディスプレイの大型化や各種構成ICの高機能化、回路規模の大型化に伴い、構成部品の小型化だけでなく端末システムとしての低消費電力化を狙うために、高出力動作時で高利得動作が増幅器に要求されてきている。また、日本国内では1.5GHz帯(1.4279~1.4629GHz: Band11/21)の周波数帯が携帯電話用として割り当てられ、この帯域における携帯端末用増幅器が要求されている。

当社では、今回新たにこれらの要求に応えるために電力増幅器の開発を行った。本稿では1.5GHz帯(Band11/21)に対応したW-CDMA携帯端末用電力増幅器“BA012K7”について述べる。図1に増幅器モジュールの外観を示す。モジュールサイズは3×3×1(mm)である。

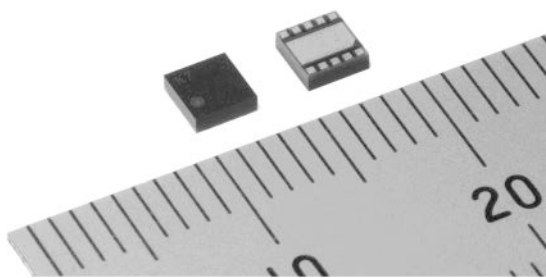


図1. 増幅器モジュールの外観

2. 回路設計

図2に今回開発したBA012K7の回路構成を示す。この回路は、高出力、中出力、低出力動作のためのトランジスタTr1, Tr2, Tr3と経路を切り換えるためのスイッチ回路SW1~SW4, それらをコントロールするためのバイアス回路とロジック回路(Bias & Logic Controller), 整合回路(Matching Circuit1~6), 及びカプラ(Coupler)で構成している。半導体プロセスにはHBTとFET(Field Effect Transistor)を一体集積可能なBiFET(Bipolar Field Effect Transistor)プロセスを採用した。これによって、信号増幅用のトランジスタTr1~Tr3のほかに、整合回路の一部、FETによるスイッチ回路SW1~SW4, 出力動作モード切り換え信号を生成するロジック回路, バイアス回路及びその切り換え用コントロール回路を一つのMMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)チップ上に構成し小型化を実現できる。トランジスタTr1~Tr3のバイアス電流の設定及び各スイッチSW1~SW4のON/OFFをコントロールすることによって、3通りの信号経路を構成し3つの出力動作モードを実現する。整合回路はMMICに内蔵する回路のほかに表面実装部品を用いてパッケージ基板上でも構成する。また、出力電力検出用カプラはパッケージ内層の配線パターンによってカプラを構成した。カプラは、所望のカプラ特性(カップリング量にして20dB)が得られるように、三次元電磁界解析を用いてレイアウトの最適化を行った。カプラを内蔵することで、これまで端末側に実装していた出力電力検知用のカプラを省略し携帯端末の部品点数の削減に貢献できる。

この回路構成で各出力動作モードの切り換え機能, カプラ特性, 入出力特性, 受信帯域雑音特性等の基本的な電気特性についてシミュレーションを行い設計した。

図3にこの増幅器の各出力動作モードにおける信号経路を示す。同図(a)は高出力動作モードにおける信号経路を示している。トランジスタTr1及びスイッチSW1, SW3, SW4はOFF状態に設定する。トランジスタTr2, Tr3及びスイッチSW2をON状態に設定し、2段増幅器として動作する。高周波信号はトランジスタTr2, Tr3を通じて増幅し、高出力動作を実現する。同図(b)は中出力動作モードであり、トランジスタTr1, Tr3及びスイッチSW1, SW2をOFF状態に設定し、トランジスタTr2, スイッチSW3, SW4をON状態に設定する。高周波信号はトランジスタTr2を通じて増幅し、中出力動作を実現する。同図(c)は低出力動作モードであり、トランジスタTr2, Tr3及びスイッチSW2をOFF状態に設定し、トランジスタTr1, スイッチSW1, SW3, SW4をON状態に設定し、トランジスタTr1を通じて高周波信号を増幅し低出力動作モードを実現している。

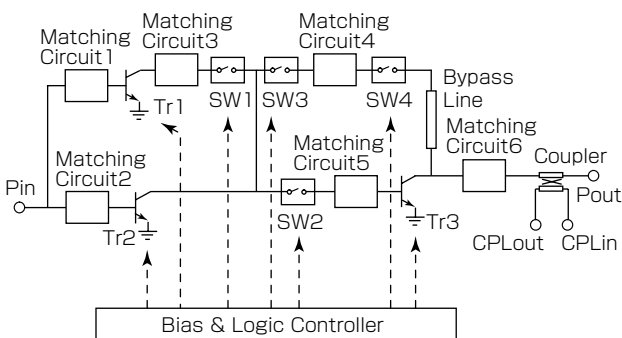


図2. 3モード経路切り換え電力増幅器の回路構成

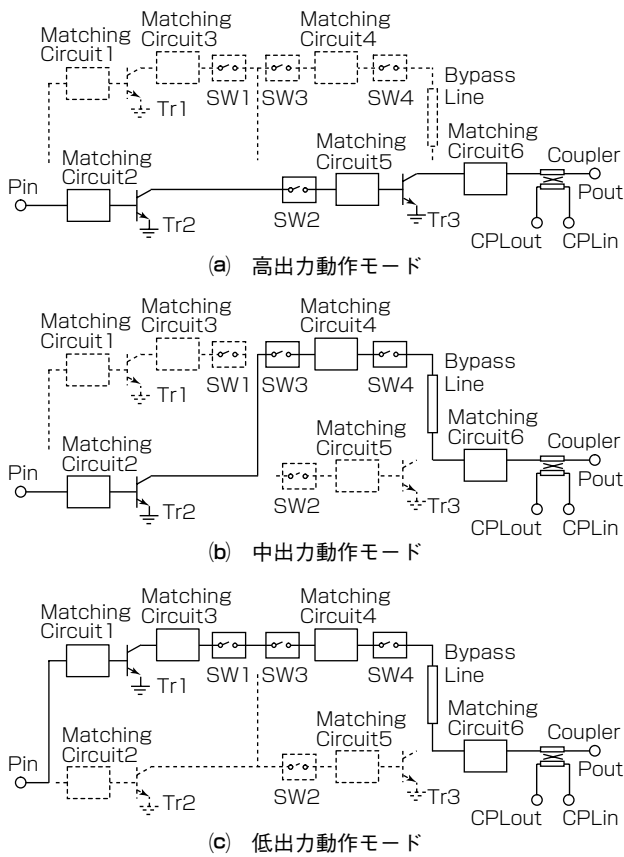


図3. 各出力動作モードにおける信号経路

各出力動作モードに対して高い効率と歪(ひず)み特性を満足する出力が得られるように、整合回路(Matching Circuit1~6)の回路定数を調整し、各トランジスタTr1, Tr2, Tr3の負荷インピーダンスを基本波及び2次高調波に対して最適化した。特に今回の開発では、高出力動作モードにおける高利得特性、低受信帯域雑音特性を実現するために、トランジスタTr2, Tr3のバイアス設定、及び初段トランジスタTr2の入力整合となるMatching Circuit2, 出力整合となるMatching Circuit5の最適化には注意をして設計した。一般に利得と受信帯域雑音特性はトレードオフの関係にある。1.5GHz帯(Band11/21)に割り当てられている送信、受信帯域の周波数間隔は48MHzと狭く、送信帯域における電力利得が高いと、受信帯域での電力利得も高くなるために、受信帯域雑音特性もまた劣化する。図4に整合回路Matching Circuit5のインピーダンスを変化させた際の受信帯域雑音と利得特性のシミュレーション結果を示す。電力利得と受信帯域雑音電力にトレードオフの関係があることが分かる。これらの結果と良好な歪み特性を得られるように入出力・位相特性、及び増幅器の安定性と併せて確認しつつ整合回路Matching Circuit5のインピーダンスを最適化した。また、入力整合回路Matching Circuit2には受信帯域雑音電力を抑圧するための抑圧フィルタ回路を設けた。図5に抑圧回路の有無による受信帯域雑音特性の違いを示したシミュレーション結果を示す。高出力動作時の

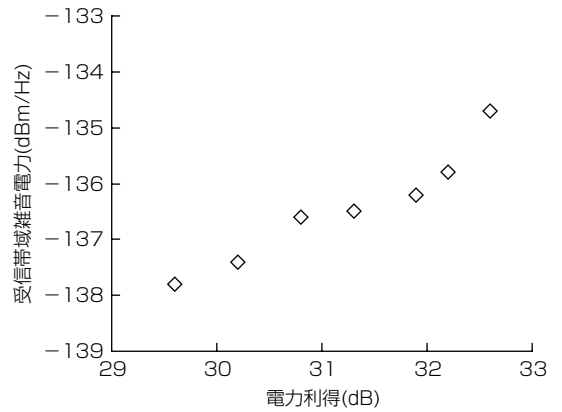


図4. 電力利得と受信帯域雑音のシミュレーション結果

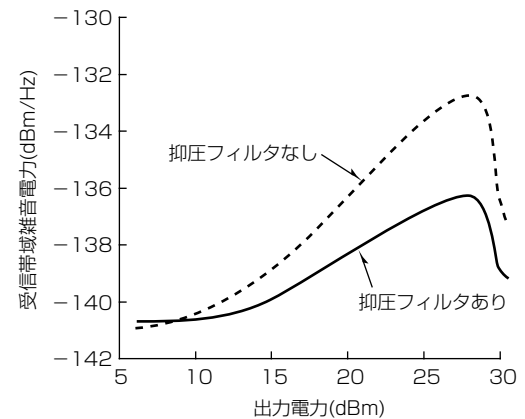


図5. 受信帯域雑音抑圧フィルタの効果(シミュレーション結果)

出力電力28.5dBmのときに、受信帯域雑音を約3.5dB抑圧できているのが分かる。

3. 評価結果

これらのシミュレーション結果に基づき、BA012K7を試作し評価を行った。図6に1.445GHz(1.5GHz帯の帯域中心)のW-CDMA(3GPP-R99)の変調信号を入力した際の電力利得及び電力付加効率特性を、図7に隣接チャネル漏洩電力比(Adjacent Channel Leakage Ratio(ACLR)の±5MHz離調)特性を示す。測定では、コレクタ電圧、バイアス回路の電源電圧を3.4Vに設定した。グラフ中には、高出力動作モード(High Power Mode: HPM)、中出力動作モード(Middle Power Mode: MPМ)、低出力動作モード(Low Power Mode: LPM)におけるそれぞれの測定結果を示している。高出力動作モードで、隣接チャネル漏洩電力比-38dBc時に、出力電力29dBm、電力利得30dB、電力付加効率42%と良好な結果が得られた。また、中出力、低出力動作モードでも良好な結果が得られている。これらの出力動作モードの切り換え機能によって、携帯端末と基地局とが近い場合に中、低出力動作モードに切り換えることで増幅器の動作効率を更に向上できる。

図8に高出力動作モードにおける受信帯域雑音特性の測定

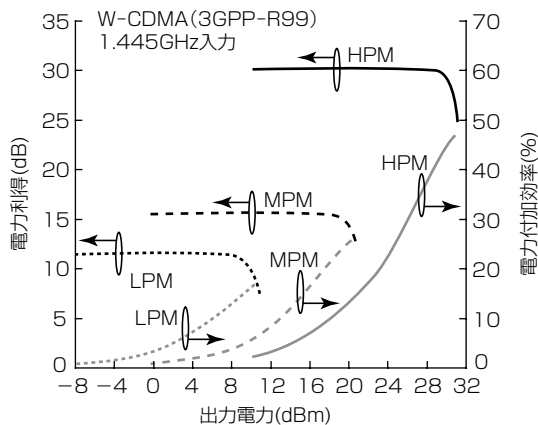


図6. 各出力動作モードでの電力利得と電力付加効率の測定結果

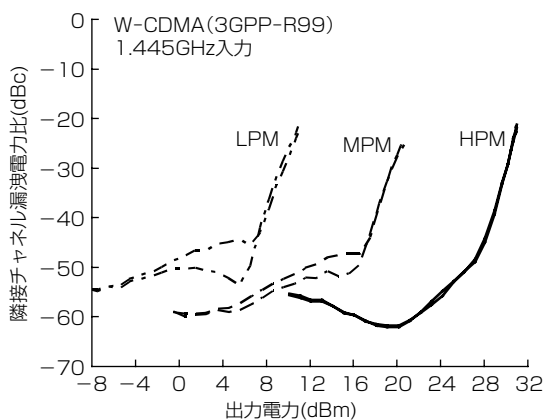


図7. 各動作モードにおける歪み特性の測定結果(R99信号)

結果を示す。出力28.5dBm時に-136dBm/Hz以下の良好な受信帯域雑音特性が得られた。参考までにグラフ中には受信帯域雑音を抑圧するフィルタなしの場合の測定結果も示した。図5に示したシミュレーション結果と同様に、実験でも抑圧フィルタの有効性を確認できた。

図9にLTE変調信号(QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)変調, RB=25, ChBW(Channel Band Width) 5 MHz)を入力した際の歪み特性の測定結果を示す。横軸は出力電力, 縦軸にはE-UTRA(5MHz離調), UTRA1(5MHz離調)及びUTRA2(10MHz離調)における漏洩電力比を示している。利得及び効率のグラフ(データ)は省略しているが, 高出力動作モードにおいてE-UTRA特性-35dBc時で, 出力電力27.4dBm, 電力利得30dB, 電力付加効率35%の良好な結果が得られた。

4. むすび

国内向け1.5GHz帯(Band11/21)W-CDMAに対応した携帯端末用電力増幅器BA012K7を開発し, 設計及び評価結果について述べた。この電力増幅器は, 高出力動作モードで, R99変調信号隣接チャネル漏洩電力比-38dBc動作

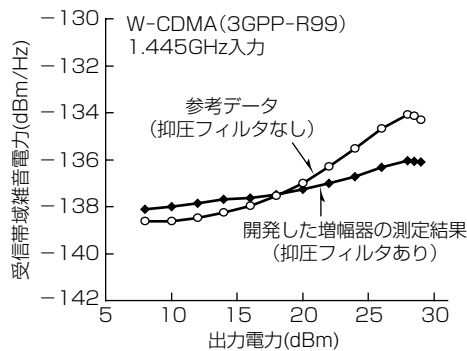


図8. 受信帯域雑音抑圧フィルタの効果(測定結果)

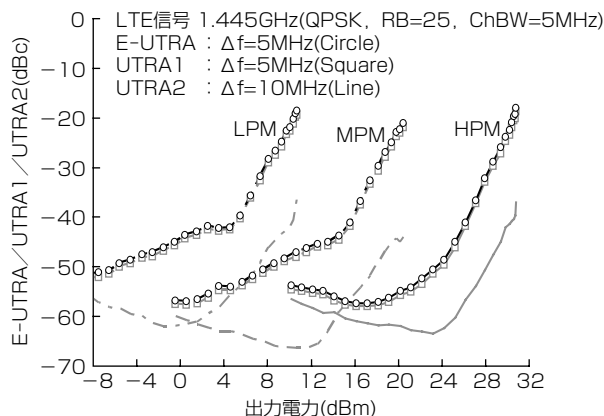


図9. 各動作モードにおける歪み特性の測定結果(LTE信号)

時に, 出力電力29dBm, 電力利得30dB, 電力付加効率42%を達成し, また, 受信帯域雑音電力-136dBm/Hz以下(28.5dBm出力動作時)を満足した。また, LTE変調信号で, E-UTRA特性-35dBc動作時に, 出力電力27.4dBm, 電力利得30dB, 電力付加効率35%の業界最高クラスの特徴を持ち, 3つの動作モード切り換え機能によって低・中出力動作時の高効率化を実現している。

今後も, 市場の要求に応える製品を市場投入できるように増幅器の開発を推進していく。

参考文献

- (1) Horiguchi, K., et al.: Three-mode Stage-bypass High-efficiency Power Amplifiers for Wideband Code Division Multiple Access(W-CDMA) Applications, MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE Magazine 2012, **138**, 2~4 (2012)
- (2) Hau, G., et al.: Multi-mode WCDMA power amplifier module with improved low-power efficiency using sStage-bypass, IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium(RFIC), 163~166 (2010)