特集論文

パソコンカード用電力増幅器 “BA012Fxシリーズ”

向井謙治*
宮下美代**
森脇孝雄*

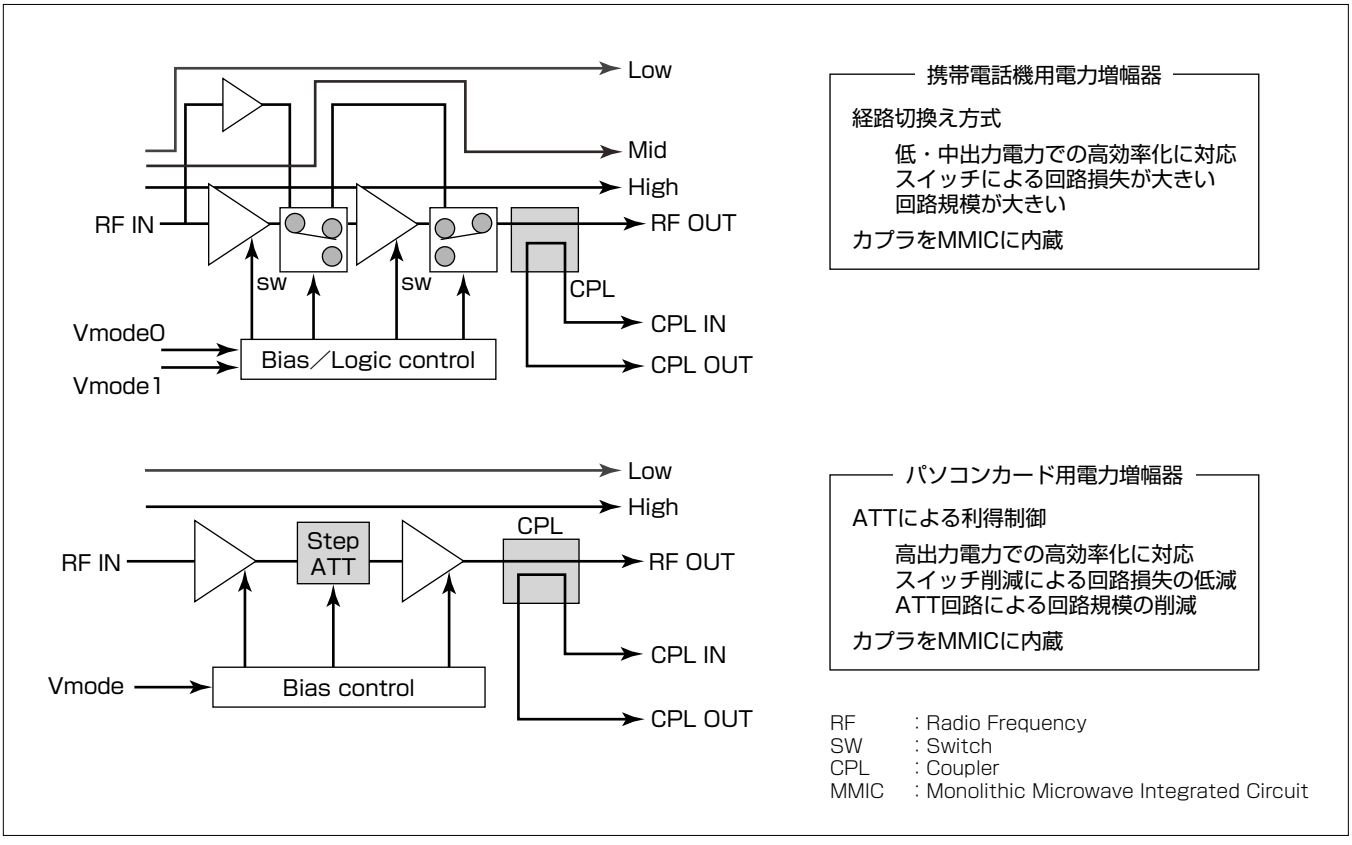
Power Amplifier "BA012Fx Series" for PC Card Applications

Kenji Mukai, Miyo Miyashita, Takao Moriwaki

要　旨

携帯電話網のデータ伝送速度の向上に伴い，携帯電話機に加えて，パソコンカード用データ通信モデムの需要が増加している。W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)用携帯電話機は基地局が近い市街地では最大出力を出すことは少なく，携帯電話機用電力増幅器には低・中出力電力での高効率動作が求められる。これを実現するためには，例として，経路切換え方式が適しており，三菱電機では“BA012Dxシリーズ”として製品化している。一方，データ通信モデム装置で使用される場合は，データレートの増大に伴い，高い出力電力での動作割合が高くなる。そのため，携帯電話機用の増幅器と比較して，高出力電力時の高効率化がより強く要求されている。

これらのニーズにこたえるために，当社では，データ通信用途を重視した高出力電力時の高効率動作電力増幅器“BA012Fxシリーズ”を開発し，新たにラインアップに加えた。この電力増幅器は，①低出力時におけるRF-IC出力の信号対雑音比の劣化を抑制するために電力増幅器の利得を制御するアッテネータ(ATT)回路を導入し，出力整合回路の通過損失を経路切換え方式よりも低減することを可能にして，高出力電力時の電力付加効率を改善し，②通信装置の小型化のため装置側の基板に実装されていた出力電力検知用カプラを集積化し，小型化を実現している。ATT回路には，高・低利得モード間の通過位相変化を抑制するために位相制御機能を付加した。このモジュールは，サイズが3 × 3 × 1(mm)で，最大出力電力は670mW(28.25dBm)，電力付加効率は45%の業界最高クラスの特性を実現した。



携帯電話機用電力増幅器とパソコンカード用電力増幅器のブロック図

携帯電話機用電力増幅器は低・中出力電力時の高効率動作が要求されるため，経路切換え方式を採用している。経路切換え用のスイッチは出力整合回路に装荷され，出力整合回路損失が高くなる。今回開発したBA012Fxシリーズでは，利得制御機能をATT回路で実現することで，出力整合回路のスイッチを削除することが可能となり，回路損失を低減でき，高効率化を達成した。

*高周波光デバイス製作所　**同製作所(工博)

1. まえがき

現在，GaAs(砒化(ひか)ガリウム)系HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)増幅器は，CDMA用携帯電話機に広く用いられている。これは，GaAs系HBTが，FET(Field Effect Transistor)系デバイスに比べて高い出力電力密度を持ち，かつ単一電源動作が可能なためである。当社では，以前より携帯電話機向けのHBT送信用電力増幅器を供給してきた。

近年では，携帯電話機に加えて，携帯電話網のデータ伝送速度の向上に伴い，データ通信用モデム装置の需要が増加し，電力増幅器に要求される特性が多様化している。W-CDMA用携帯電話機は基地局が近い市街地では最大出力を出すことは少なく，低・中出力電力での動作割合が高いため，低・中出力電力で高効率化が要求される。一方，単位ビットあたりの信号電力が一定となることから，データ通信用では，データ通信量が増大すると，高い出力電力での動作割合が高くなる。したがって，低・中出力電力時よりも最大出力電力時の高効率化がより重要になっている。当社では，携帯電話機用の電力増幅器をラインアップしているが，今回新たに，データ通信用途の特性を重視した電力増幅器をラインアップに加えるべく，開発を行った。

本稿では，パソコンカード用に開発した電力増幅器について述べる。今回開発したBA012Fxシリーズ[(1)]は，日本・アジア・欧州・北米で使用される主要な周波数帯である，Band1(1,920～1,980MHz)，Band2(1,850～1,910MHz)，Band3(1,710～1,785MHz)，Band5(824～849MHz)，Band8(880～915MHz)をラインアップしている。**図1**に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。

2. 回路設計

携帯電話機用電力増幅器は低・中出力電力時の高効率動作が要求されるため，経路切換え方式を採用している。経路を切り換えるにはスイッチ等によって経路を切り離す必要があるが，出力整合回路にスイッチや通過損失を持つ回路を装荷することで，高出力電力時の電力付加効率がその通過損失分だけ低下する。この増幅器では，出力電力が低い場合のRF-IC出力の信号対雑音比の劣化を抑制するためにATT回路を導入し，出力整合回路のスイッチや経路切換え用の回路を削除することを可能にして，高出力電力時の電力付加効率を改善できる構成とした。

パソコンカード用電力増幅器のブロック図を**図2**に示す。構成はシンプルな2段増幅器で，1-2段間に利得制御用のATT回路を設けた。ATT回路は入力側に装荷すると，雑音が悪化するので，1-2段間に装荷して雑音の増加を抑えた。従来はHBTプロセスだけで構成可能なATT回路として，ダイオードスイッチを用いて構成していたが[(2)]，今回ウェーハプロセスには，HBTとFETを一体集積したBiFET(Bipolar Field Effect Transistor)構造を採用しており，ATT回路はFETスイッチを用いて回路を簡略化している。出力電力検知用カプラ(CPL)はパッケージ基板上に形成し，三次元電磁界解析を用いて，レイアウトを最適化した。

ATT回路の構成を**図3**に示す。ATT回路は1ビットのステップアッテネータ(Step ATT)で，高利得モードと低利得モードに切り換わる。高利得モードではFET SW1がONし，SW2がOFFするために，信号は減衰することなく入力側から出力側に通過する。一方，低利得モードでは，FET SW1がOFFし，FET SW2がONするため，直列側の

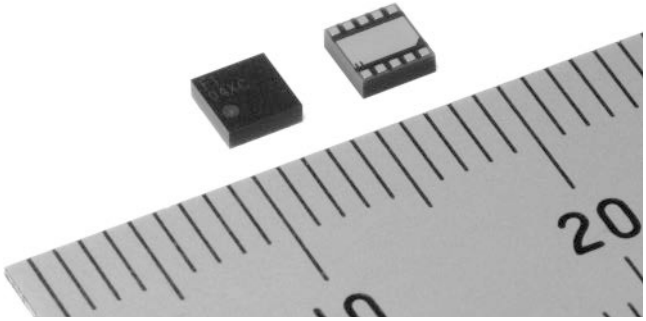


図1．BA012Fxシリーズモジュールの外観

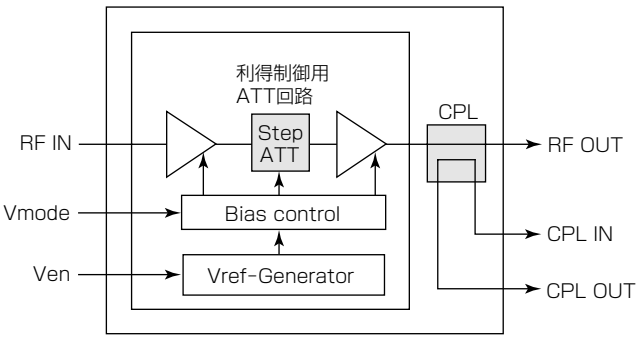


図2．電力増幅器のブロック図

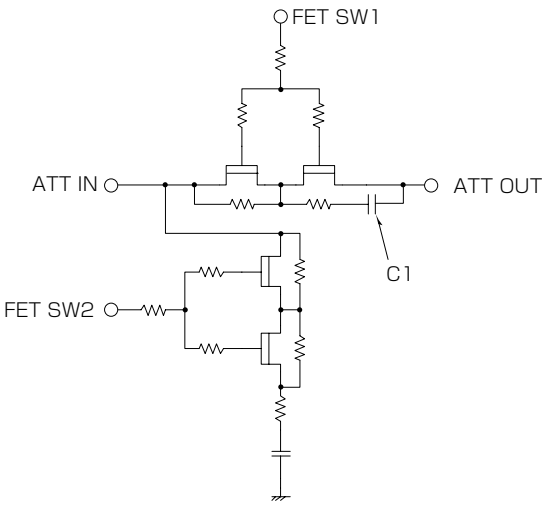


図3．ATT回路の構成

抵抗成分と並列側の抵抗成分で信号が減衰する。直列側と並列側の抵抗を最適化することで，任意の減衰量を得ることが可能である。しかし，このATT回路では，高利得モードと低利得モードを切り換えると，通過位相に差が発生するので，この通過位相差を補償するために，直列に容量C1を装荷する回路を採用している。

これらの回路構成で高利得モード・低利得モードの切換え，カプラ特性，入出力位相特性等の基本的な電気特性についてシミュレーションし，設計を行った。

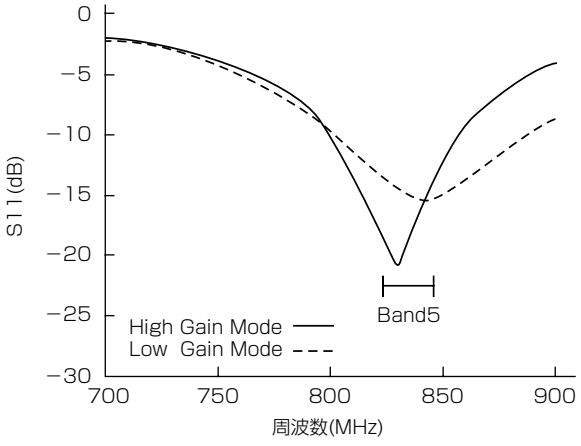
図4にBA012F5(Band5)のS(スキャッタリング)パラメータシミュレーション結果を示す。高利得モードと低利得モード間の利得差は14dBで，モード間の通過位相差は10°以下に抑制し，また各モードにおける入力の反射損失は−10dB以下を確保している。**図5**に入出力位相特性のシミュレーション結果を示す。入力電力に対して利得の変化は1.0dB以下，位相の変化は10°以下の特性を確認できる。電力付加効率(Power Added Efficiency：PAEは規定出力電力28.25dBmで45%を得ることができている。出力電力に対する利得偏差及び位相偏差をできるだけ小さくし，滑らかかつ単調な利得・位相特性を得ることは，CDMA用増幅器の主要歪(ひず)み特性(隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力)の低減に重要な役割を果たす。

次にカプラについて説明する。カプラはモジュール基板に搭載している。カプラ特性はカプラそのものの配線パターンや周辺パターンに強く依存するため，三次元電磁界解析を用いてパターン間結合などを考慮した詳細設計を行った。

カプラのシミュレーション結果を**図6**に示す。**図6**の横軸は電力増幅器の出力負荷をVSWR(定在波比)2.5：1に固定したときの位相，縦軸は結合係数である。その結果，結合係数は−19.8dB，検波誤差(電力増幅器の出力負荷に対する結合係数の変化量，VSWR＝2.5：1)0.6dBをシミュレーション上で得ることができた。

3. 評 価 結 果

これらのシミュレーション結果に基づき，BA012F5(Band5 W-CDMA用)を試作し，評価を行った。電力増幅器の評価は，Band5帯域のW-CDMA(3GPP-R99)の変調信号を用いた。バイアス条件は，コレクタ電圧3.4V，バイアス回路の電源電圧3.4Vである。**図7**に電力増幅器のSパラメータ実測結果を示す。Band5帯域で高利得モードと低利得モード間の利得差は13dBで，モード間の通過位相差は5°以下に抑制している。また，各モードにおける反射損失は−10dB以下を確保しており，ATT回路が所望の



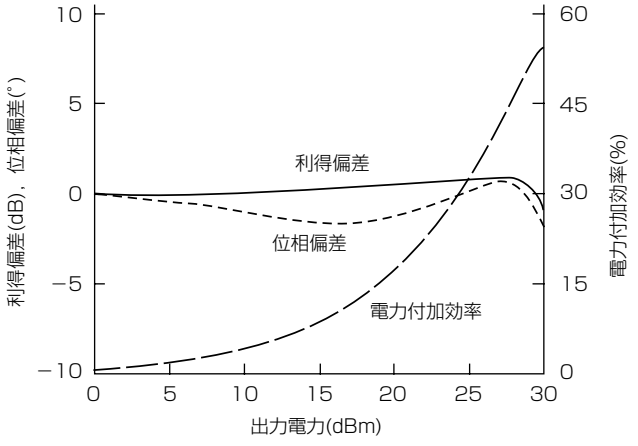


図5．BA012F5の入出力特性シミュレーション結果

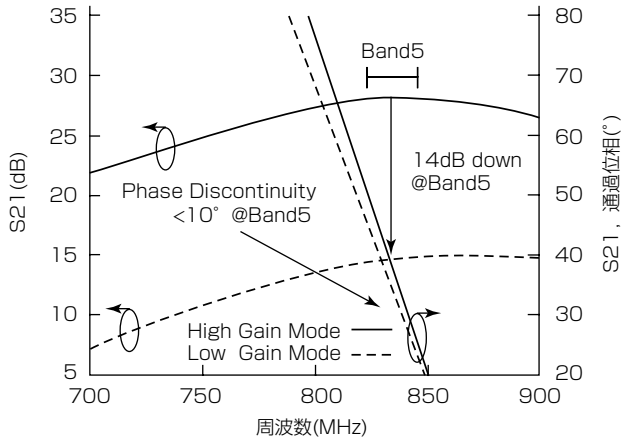


図4．BA012F5のSパラメータシミュレーション結果

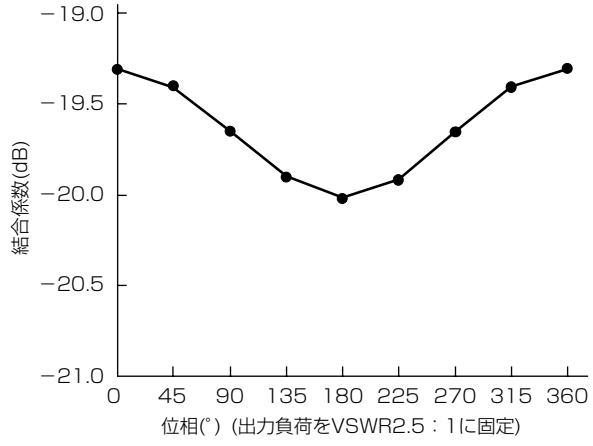
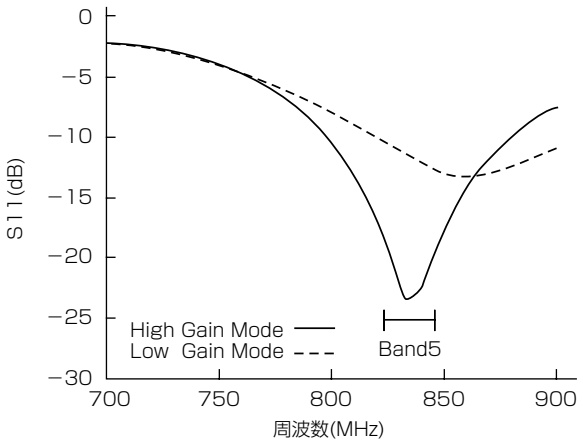


図6．BA012F5のカプラ特性シミュレーション結果



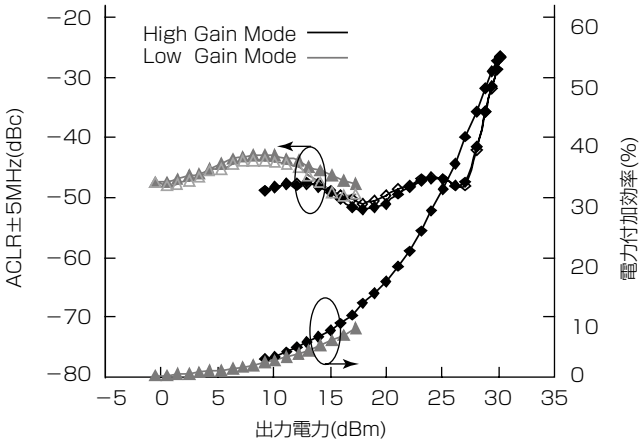


図 8．BA012F5の入出力特性実測結果

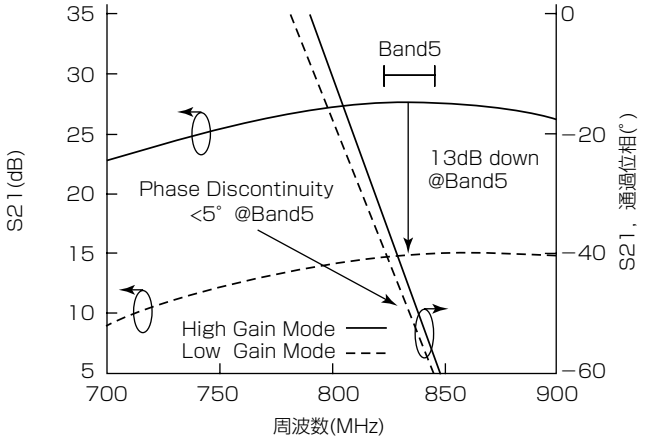


図 7．BA012F5のSパラメータ実測結果

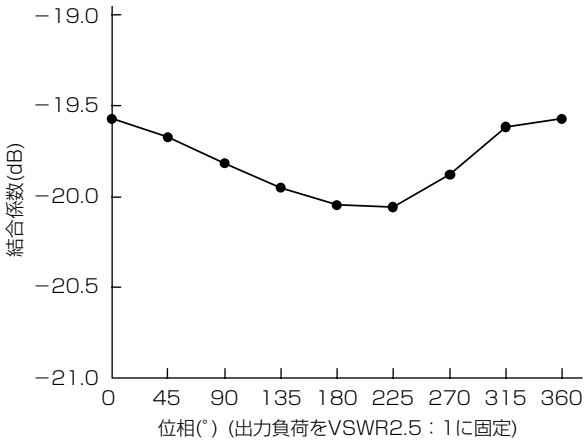


図 9．BA012F5のカプラ特性実測結果

動作をしていることが確認できた。**図 8** にはW－CDMA用変調信号を用いて評価した電力増幅器のPAEと隣接チャネル漏洩電力比（Adjacent Channel Leakage Ratio：ACLR）の出力電力依存性を示す。図より，出力電力28.25dBmで利得＝27dB，PAE＝45%，ACLR＝－40dBcが得られている。従来の切換え方式の電力増幅器[3]に比べ，最大出力電力時のPAEを５%向上させることができた。**図 9** には出力電力検知用カプラの負荷変動特性（VSWR 2.5：1）を示す。負荷変動時における結合係数の変動量は0.6dB以下に抑制されており，設計目標どおりの良好な特性が得られた。また，これらの結果から，設計時のシミュレーション結果と実測結果を比較すると，両者はよく一致していることがわかる。

同様に，他の周波数帯でも試作と評価を行ったBA012Fxシリーズは，PAE＝45%，ACLR＝－40dBcを達成しており，世界で使用される主要な周波数帯をカバーする製品シリーズをラインアップすることができた。

4. むすび

パソコンカード用電力増幅器BA012Fxシリーズを開発し，設計及び評価結果について述べた。この電力増幅器は，ATT回路による利得制御機能と出力電力検知用カプラを搭載し，ATT回路にはモード間の通過位相差を抑制するための位相制御機能を付加した。最大出力電力時の電力付加効率は業界最高クラスの45%を達成し，従来の携帯電話機用電力増幅器に比べ５%向上している。また，データ通信用電力増幅器に要求される最低限の機能に限定することで，低コスト化も図れている。

今後も，市場の要求にこたえる製品をタイムリーに市場投入できるよう，電力増幅器の開発を推進していく。

参考文献

(1) 三菱電機ニュースリリース，W-CDMA方式PCデータ通信端末用「GaAs送信電力増幅器」発売，http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2010/1220.html

(2) M., Miyashita, et al.：Fully Integrated GaAs HBT MMIC Power Amplifier Modules for 2.5/3.5GHz Band WiMAX Applications, IEEE CSICS Dig., 219～222（2007）

(3) 太田　彰，ほか：W-CDMA用小型切換式電力増幅モジュール，三菱電機技報，**81**，No.2，153～156（2007）