

PHS 用送信側高周波 IC の開発

Development of Transmitter RF-ICs for PHS Terminals

谷本 洋
TANIMOTO Hiroshi大高 章二
OTAKA Shoji加屋野 博幸
KAYANO Hiroyuki

本格的な普及期を迎えた PHS は、ますます端末の小型・軽量化、長時間動作化が進んでいる。このようなトレンドに対応するため、無線部のワンチップ化の 1 ステップとしてダイレクトコンバージョン方式の送信部直交変調器 (QMOD) と可変減衰器のシリコン (Si) IC 化、および 0.039 cc の超小型ガリウムヒ素 (GaAs) パワーアンプモジュールの研究開発を行い、送信側 IC の Si 化と GaAs 電力増幅器の小型化を達成した。

Since the introduction of the personal handy-phone system (PHS), there have been reductions in the size, weight and power consumption of its terminals.

This paper describes research and development efforts at the Research and Development Center toward an integrated transmitter RF-IC for PHS terminals. We have fabricated two silicon test chips, namely, a 1.9 GHz quadrature modulator IC and a 1.9 GHz variable attenuator IC, which require no adjustment or trimming, with the aim of realizing a cost-effective solution. To achieve further miniaturization, we have also developed a gallium-arsenic (GaAs)-based power amplifier module which has a volume of only 0.039 cc.

1 まえがき

導入以来 3 年目を迎えた PHS は累積加入者数が 700 万を超え、本格的な普及期を迎えている。この間、携帯端末も 3 世代を経過し、小型・軽量化、長時間動作化が急速に進んだ。一方、新たな付加価値として通信機能をもつ携帯情報端末が当社の GENIO_{TM} や MC-01_{TM} をはじめとして種々発表されている。このような状況のなかで、LSI は単に小型・軽量化、長時間通話を推進するだけでは十分でなく、端末自体の多様化、低コスト化に対応できる方式の開発が強く求められている。

高周波回路を含む無線機の設計が熟練を要する難しい仕事である現状では、種々の機器に対して簡便に無線機機能が付加できる、高度に集積化された LSI の実現が望まれている。究極的には無線部のワンチップ化により、無線部を意識せずに各種機器を設計できることがこれからの課題となろう。

当社は、このような観点からワンチップ化が可能で移動無線端末の超小型化、低コスト化に有利な方式であるダイレクトコンバージョン方式⁽¹⁾を使用した高周波 (RF) IC の研究開発を行ってきた。その一端として、1995 年に容積 60 cc のダイレクトコンバージョン方式の PHS 端末を試作し^{(1),(2)} Telecom '95 で動態展示した。この端末の送信側はすべて GaAs デバイスで構成されていたが⁽³⁾、その後、送信側 IC の Si 化^{(4),(5)}と、GaAs 電力増幅器の小型化⁽⁶⁾を達成した。

ここでは、これらに関する研究開発の成果について述べる。

2 シリコン バイポーラプロセスを用いた直交変調器 IC と可変減衰器 IC

図 1 に今回試作した送信部 RF-IC の使用状況を示す。従来、直交変調器 (QMOD) とその後段に接続される可変減衰器は GaAs MESFET プロセスを用いて構成されていたが⁽³⁾、コスト低下を図るために Si バイポーラプロセスでの置換えを行った。これらは個別の IC として試作したが、同一のプロセスで製造されているので、容易に一体化できる。

2.1 ダイレクトコンバージョン方式の直交変調器 IC

製造プロセスが高価なこと以外に、従来の GaAs MESFET による QMOD では製造後の調整が必要であるという問題があった。これは① 90° 移相器における振幅誤差、② 90° 移相器で発生する位相誤差、③ ベースバンド信号の直流オ

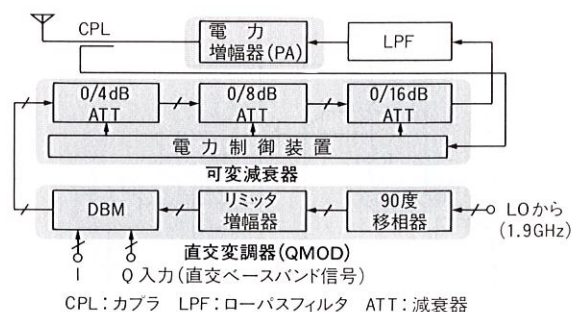


図 1. PHS 端末送信系における試作 RF-IC 直交変調器と可変減衰器は Si で開発。両者をワンチップ化できる。電力増幅器は超小型モジュール化した。

Usage of transmitter ICs and power amplifier module in PHS terminal

フセットによる局部発振器 (LO) 信号漏えい, などによる。

これらはいずれも製造ばらつきが直接の原因であるため, 改善には限界があり, なんらかの調整を必要としていた。この IC では, GaAs プロセスよりも素子ばらつきが少なく抑えられる Si バイポーラプロセスを使用したうえで, 製造ばらつきに強い回路方式を開発し, 無調整化を達成した。

上記①, ②に関しては, 90°移相器を高利得化し, 製造ばらつきによるオフセットを LO 信号に対して十分小さく抑えることで, 振幅誤差と, それに伴う位相誤差を低減した。具体的には従来の電圧駆動の RC ブリッジ型 90°移相器に代わって高利得が達成できる電流駆動の RC ブリッジ型 90°移相器 (図 2) を提案した。

従来回路では LO 信号を電圧バッファで受けて RC ブリッジを駆動しているため信号が減衰するのに対し, 提案回路では LO 信号を電流バッファで受けて RC ブリッジを電流駆動するため, 電圧利得が得られる。さらに, RC ブリッジにはインダクタを並列に接続し, LO の周波数に共振させる設計としたので, LO 信号電力はすべて RC ブリッジの R に流れ込むこととなり, さらに電圧利得を高くできる。移相器が高利得化されたことで, 後続のリミッタ増幅器を深くオーバドライブすることになり, 振幅誤差が改善される。これは低い LO 信号電力で回路を駆動できるため, LO 信号の漏えいも低く抑える効果がある。表 1 に試作した QMOD の諸特性を示す。図 1 の QMOD 部分のブロック図において, リミッタ増幅器と DBM (Double Balance Mixer) は高速動作に優れたバイポーラトランジスタの差動対を基本として構成できる。また, QMOD の消費電流は出力段が支配的であり, これは必要な出力電力によって決まるので, デバイスを GaAs MESFET から高速の Si バイポーラトランジスタに置き換えても全体の消費電流は大差ない。③の LO 信号漏えいは, バイポーラトランジスタの低オフセット性によって性能を確保した。

2.2 4 dB ステップ, 28 dB の可変減衰器 IC

4 dB ステップ 28 dB の 1.9 GHz 帯 PHS 送信用可変減衰

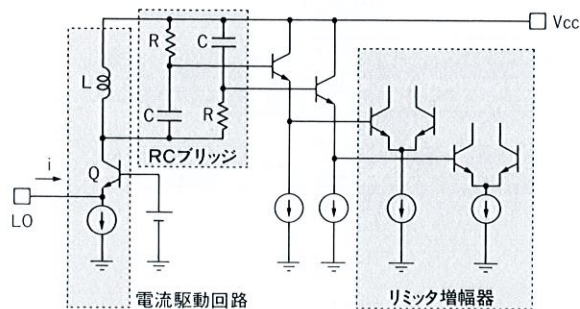


図 2. 90°移相回路の改良 電流駆動型の移相回路を採用することにより, 素子ばらつきに強い回路が実現できた。

Improvements in 90° phase shifter circuit

表 1. 直交変調器 IC の諸特性 (測定値)

Measured characteristics of quadrature modulator IC

項目	測定結果 (LO 電力 = -15 dBm)
出力電力 (dBm)	-15.7
イメージ抑圧比 (dB)	47
局部発振信号漏えい (dBc)	40
隣接チャンネル漏えい電力 (dBc)	-63 (600 kHz 離調時)
動作周波数範囲 (GHz)	1.2~2.3 (入力 = -15 dBm)
消費電流 (mA)	37
電源電圧 (V)	2.7

器を高速バイポーラ技術を用いて試作した⁽⁴⁾。

可変減衰器の 1 段分の回路を図 3 に示す。減衰量切換え回路の負荷 (RO) は数百 Ω の低抵抗で十分であり, 減衰量切換え回路を縦続接続するためのバッファ回路を周波数特性の劣化なしに削除できる。これにより低消費電力化を可能にした。また, 最大減衰量を制限する寄生キャパシタを小さく抑えるため電流スイッチ用トランジスタを最小の寸法にするくふうを行った。

各段の減衰量をそれぞれ 0/4 dB, 0/8 dB, 0/16 dB とすることにより, これらの組合せによって 3 ビットの制御信号

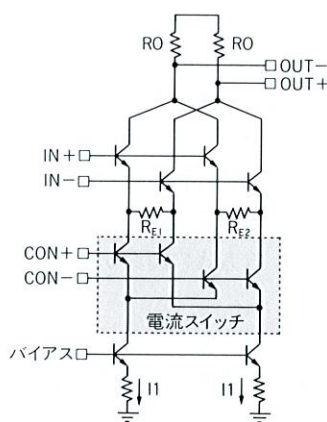


図 3. 可変減衰器 1 段分の回路

これを 3 段組み合わせると全体を構成し, 必要な減衰ステップと最大減衰量を得た。

One stage of variable attenuator

表 2. 可変減衰器 IC の主な特性

Summary of measured characteristics of variable attenuator IC

項目	目標仕様	測定結果
周波数 (GHz)		1.9
入力電力 (dBm)	< -15	-18
最大出力電力 (dBm)	> -15	-14.4
変調精度 (%)	< 4	2.7
減衰量 (dB)	0~28	0~28
減衰量精度 (dB)	< 1	1.2
隣接チャンネル漏えい電力 (dBc)	< -62 (600 kHz 離調時)	-67 (600 kHz 離調時)
電源電圧 (V)		2.7
消費電流 (mA)	< 25	21

で4 dBステップで0 dBから28 dBの間の減衰量が得られる。

可変減衰器の目標仕様と実測結果を表2に示す。減衰量の精度が目標仕様に達しないが、これはトランジスタの寄生容量の見積り誤差によるもので、容易に修正可能である。

3 GaAs MESFET を用いた電力増幅器モジュール

電力増幅器 (PA) は PHS 端末全体の消費電力を支配するので、電力効率のよしあしあがそのまま連続通話時間に影響する。このため PA に関しては、より高速な GaAs デバイスの優位性は当分の間変わりそうにない。そこで、PA をより小型化するモノリシックマイクロ波 IC (MMIC) の技術を用いて PHS 用小型 PA モジュールの試作を行った。このモジュールは、外付けフィルタと外部バイアス回路を必要としない小型化に有利な特長をもっている。

一般に、PA では高調波電力の抑圧が大きな課題である。高調波電力は他のシステムに悪影響を与えるため、従来は PA の後段に外付けのフィルタを付加して高調波電力を抑圧していた。今回開発した PA モジュールでは、MMIC 上の出力側整合回路に、本来のインピーダンス変換の機能と高調波を抑圧するフィルタ機能を併せもたせた。

バイアス回路は、小型モジュール内部で共通化することによりチップコンデンサの部品数を削減した。従来のバイアス回路ではアイソレーション確保のために、各周波数帯に対応した数種類のチップコンデンサを必要とした。このモジュールではアルミナ単層基板上の伝送線路を電磁界解析を用いて最適化することで、高周波領域での安定動作を実現した。これにより、従来4個程度必要であったチップコンデンサの数を1個にすることができ、モジュールは、MMIC、基板、コンデンサの三つのパーツだけで構成することができ、外付け部品を不要にした。

MMIC には新開発の3V単電源動作が可能なGaAs MES-FETをもちいた。単電源化により、ゲートバイアス用の負電源とそれに必要な回路を削除できた。

開発したPAモジュールを図4に、モジュールの電気性能を目標仕様と合わせて表3に示す。これらの技術により、

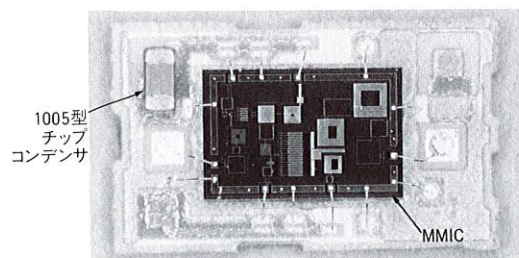


図4. PAモジュール MMIC、基板、コンデンサの三つの部品だけから構成される。サイズは横5.8mm、縦3.4mm、厚み2.0mm。

Power amplifier module

表3. 電力増幅器モジュールの電気的特性
Electrical characteristics of power amplifier module

項目	目標仕様	測定結果
周波数 (GHz)		1.9
出力電力 (dBm)		19.8
電源電圧 (V)		3
消費電流 (mA)	—	247
隣接チャネル漏えい電力 (600 kHz 離調時) (dBc)	< -53	-55.5
二次ひずみ (dBc)		-45.0
三次ひずみ (dBc)	< -43	-46.2

0.039 cc (3.4×5.8×2.0 mm) の小型化を達成し、実装面積を従来の25%に削減できる世界最小サイズのPHS用線形PAモジュールを実現した。

4 あとがき

PHS 端末のいっそうの小型化、低価格化を旨とした RF 回路技術開発の一端を紹介した。今後は無線部のワンチップ化を旨として開発を進める。

文献

- 1) 藤本竜一, 他. QPSK 対応 1.9 GHz ダイレクトコンバージョン受信機 IC. 東芝レビュー. 51, 11, 1996, p.59-62.
- 2) Turumi, H., et al. Miniature PHS Terminal, IEICE Trans. on Commun., E79 -C, 5, 1996, p.629-635.
- 3) Sasaki, T., et al. A GaAs Direct-Conversion p/4-shifted QPSK Modulator IC with 0-28 dB Variable Attenuator for 1.9 GHz Personal Handy Phone System. IEEE GaAs IC Sympo. 1995 digest. 1995, p.994-1000.
- 4) Otaka, S., et al. A Low Local Input 1.9 GHz Si-Bipolar Quadrature Modulator with No Adjustment. IEEE J. Solid-State Circuits. 31, 1, 1996, p. 30-37.
- 5) Otaka, S., et al. A 1.9-GHz Si-Bipolar Variable Attenuator for PHS Transmitter, IEEE J. Solid-State Circuits. 32, 9, 1997, p.1424-1429.
- 6) Kayano, H., et al. A Power Amplifier Module with Harmonic Suppression for Digital Mobile Communication. 1997 IEEE-MTT-S Int. Microwave Sympo. Digest. 1997, p.743-746.



谷本 洋 TANIMOTO Hiroshi, D.Eng.

研究開発センター 情報・通信システム研究所主任研究員。通信用アナログ LSI の研究開発に従事。電子情報通信学会、電気学会、IEEE 会員。工博。
Communication and Information Systems Research Labs.



大高 章二 OTAKA Shoji

研究開発センター 情報・通信システム研究所研究主務。通信用アナログ LSI の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。
Communication and Information Systems Research Labs.



加屋野 博幸 KAYANO Hiroyuki

研究開発センター 情報・通信システム研究所。移動体通信端末用電力増幅器の開発設計に従事。電子情報通信学会会員。
Communication and Information Systems Research Labs.