

移動体通信用GaAs広帯域アンプの開発

甲斐 靖二
亀卦川 伸孝

伊藤 正紀
山本 寿浩

移動体通信のシステムは、PHSや携帯電話を中心に急速に普及しており、これ以外にも無線LAN、BluetoothTM*1)、ITS（高度道路交通システム）などで近い将来、需要の急増が見込まれる。

これに伴い、キャリア周波数も800MHzから2.5GHz、5GHz帯へと帯域が広げられており、これらの帯域をカバーできる広帯域アンプが望まれている。

このようなニーズに応えるため、共通設計で複数のシステムに適用できるGaAsを用いた広帯域アンプMMIC（Monolithic Microwave Integrated Circuit）を開発した。本稿では主に、開発した広帯域アンプのシミュレーションと評価結果について述べる。

回路設計

(1) 目標仕様

広帯域アンプを設計するにあたっての指針は、広帯域化を図ると同時に、基地局用途にも対応できるよう、リニアリティの高い出力特性、低歪み化に重点を置いた。またローコスト化を実現するためにプラスチックパッケージを用いた。具体的な目標仕様、指針を以下示す。

- ① 周波数帯域：100MHz～6GHz（利得：10dB以上）
- ② 出力電力（1dB圧縮点出力）：23dBm以上
- ③ 3次変調歪インターセプトポイント：33dBm以上
- ④ パッケージ：HSO6-6P*2)
- ⑤ 使いやすさの観点から、入出力整合されており、外付け部品を極力減らすよう設計を進めた。

(2) 基本回路とデバイス／プロセスの特徴

基本回路は図1に示す通り、周波数帯域と高出力特性が両立しやすい並列負帰還型の2段アンプとした¹⁾。さらに以下の点を工夫した。

- ① 低周波帯での入力整合を容易にするため、入力部とGND間にキャパシタと抵抗の直並列回路を入れた。
- ② 帯域をのばすため、抵抗とキャパシタからなる帰還回路を用い、かつ高周波帯での利得特性向上を狙って、出力部に直列インダクタを挿入した²⁾。

- ③ 基本素子であるFETには、高周波特性、量産性に優れたゲート長0.5μmのダブルリセス構造のGaAs PHEMT（Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor）を用いた。
- ④ 大面積を要するキャパシタにはMIM（Metal Insulator Metal）キャパシタを縦積みすることで、チップサイズが小さくなるよう図った。

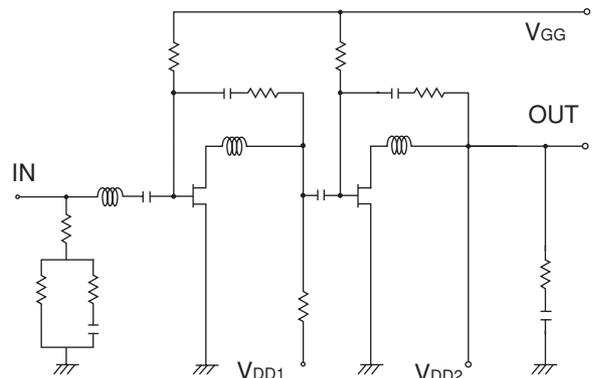


図1 広帯域アンプの回路図

(3) FETモデルの抽出（単位モデル）

MMICの設計においては、アクティブ素子であるFETのDC、RF（Radio frequency）特性を精度良く合うようにモデル抽出することが重要である。今回はGaAs PHEMTのモデル抽出で実績があるEEHEMT1*3) モデルを採用し³⁾、IC-CAP*4) を使って抽出を行った。図2にEEHEMT1の等価回路を示す。

図3～5に単位FETの静特性、Sパラメータ、FETの入出力特性について測定値（MEAS）と、モデル抽出した等価回路から得られた計算値（MODEL）の比較結果を示す。図より測定値と計算値が良く合っていることが分かる。

(4) 回路シミュレーション

シミュレータにはSパラメータなどの線形解析の他、1dB圧縮点出力（P₀₁）、3次相互変調歪みインターセプトポイント（IP3）などの非線形解析が可能なADS

*1) BluetoothはBluetooth SIG, Inc. USAの商標です。 *2) HSO6-6Pはアオイ電子株式会社の商標です。 *3) EEHEMT1はAgilent Technologies社の商標です。
*4) IC-CAPはAgilent Technologies社の商標です。

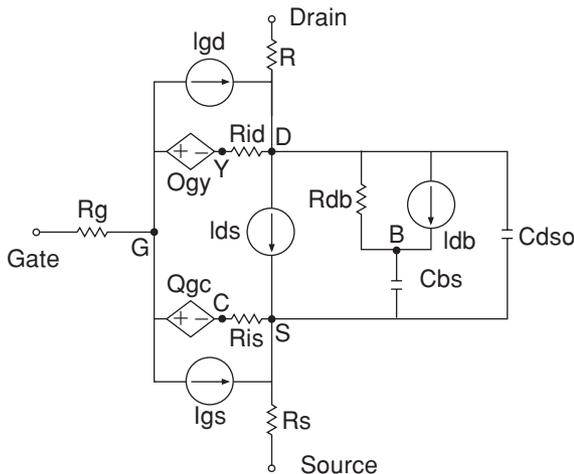


図2 EEFHMT1等価回路図

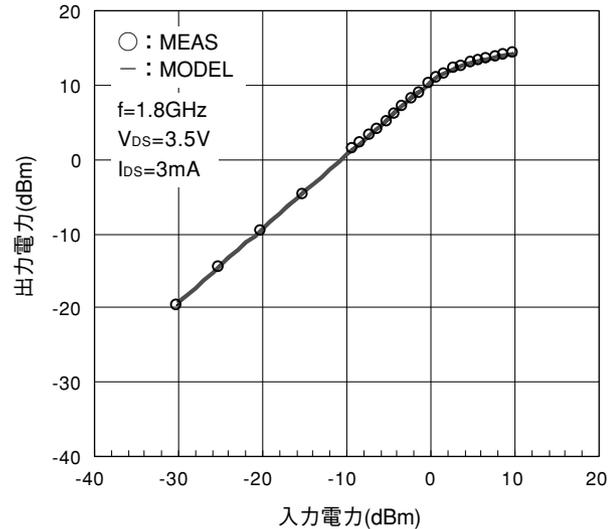


図5 測定値およびFETモデルの入出力特性

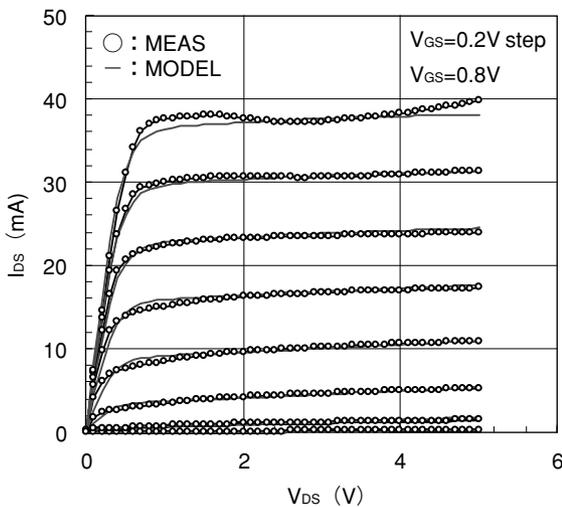


図3 測定値およびFETモデルの静特性

f=50MHz~10.5GHz
 V_{DS}=3.5V
 I_{BS}=3mA FETモデルのSパラメータ ○: MEAS
 -: MODEL

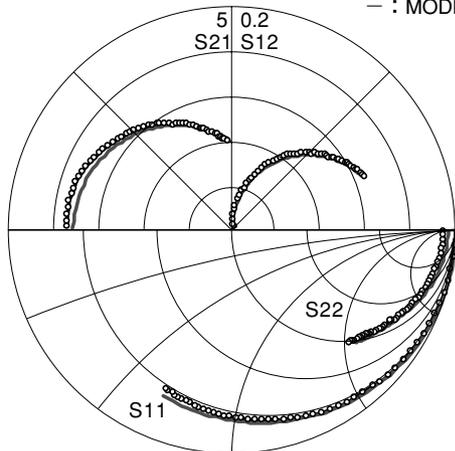


図4 測定値およびFETモデルのSパラメータ

*5) ADSはAgilent Technology社の商標です。

(Advanced Design System) *5) を用いることにした。シミュレーションでは図1に示す回路に、FET、インダクタ、キャパシタ等の各素子を組み込むだけでは不正確であり、寄生的なエレメントである、
 ① ボンディングワイヤのインダクタ
 ② パッケージのリードのインダクタ
 ③ 配線の線路長および配線交差容量
 ④ パターン間のフリンジング容量
 ⑤ 評価基板や外部部品の特性
 についても考慮する必要がある¹⁾。

また、チップサイズを小さくするために、インダクタやキャパシタの値が大きくなるように注意し、回路定数の最適化を行った。

上記のことを考慮して設計した広帯域アンプの周波数特性、入出力特性、IP3のシミュレーション結果を、図6~9に示す。これらの特性の詳細は評価結果と比較して後述するが、50MHzから6GHzまでの利得が10dB以上、P₀₁が23dBm以上、IP3で38dBm以上と、目標の仕様を満足するシミュレーション結果が得られた。

試作, 特性

試作した広帯域アンプのチップ外形およびパッケージ外形を写真1, 2に示す。パッケージには6本のリードの他、裏面に放熱用ヒートシンクがついている。入出力端子はそれぞれ対称になるよう配置した。

(1) 周波数特性 (Sパラメータ)

図6, 7にSパラメータの評価結果を示す。

① S21 (小信号利得, 順方向透過特性) はシミュレー

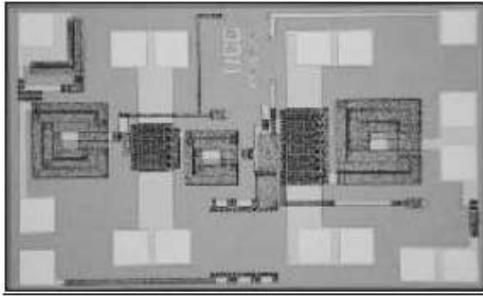


写真1 広帯域アンプのチップ写真

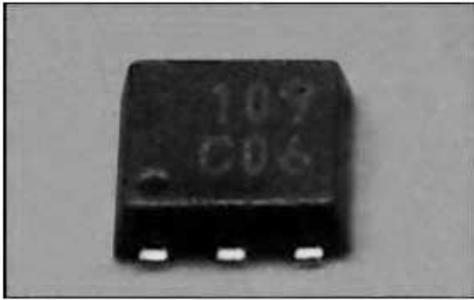


写真2 パッケージ外形

シミュレーション結果に対し、実測値の方が高周波で伸びている以外、ほぼシミュレーション通りで、100MHz~6GHzまで10dB以上の利得がある。

- ② S12 (アイソレーション, 逆方向透過特性) を比較すると、絶対値、傾向とも200MHz以下で違いがあるが、それ以外はほぼ同じ特性であり、シミュレーション結果と一致した結果が得られた。
- ③ S11 (入力ターンロス) のシミュレーション結果の600MHzに見られる谷が1GHzにシフトしていること、3GHzの山が約5dB小さくなっていること以外、ほぼ一致した結果が得られた。S11は、100MHz~6GHzまで、-8dB以下が確保できた。
- ④ S22 (出力ターンロス) の絶対値は、2.5~6GHzで実測値の方が小さく、10dB以上ずれているが、山、谷の傾向は2GHz付近を除けばほぼ一致している。100MHz~6GHzまで、-15dB以下のS22が確保できた。

シミュレーション結果と実測値の比較をまとめると、S21とS12は絶対値、傾向ともほぼ一致し、S11とS22は絶対値にずれがみられたものの傾向はほぼ一致した結果が得られた。

(2) 入出力特性

図8に周波数3.5GHzとした時の入出力特性の評価結果

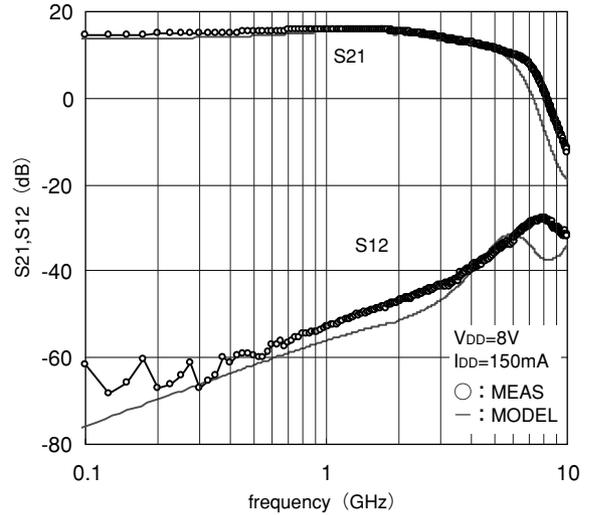


図6 S21, S12のシミュレーションおよび評価結果

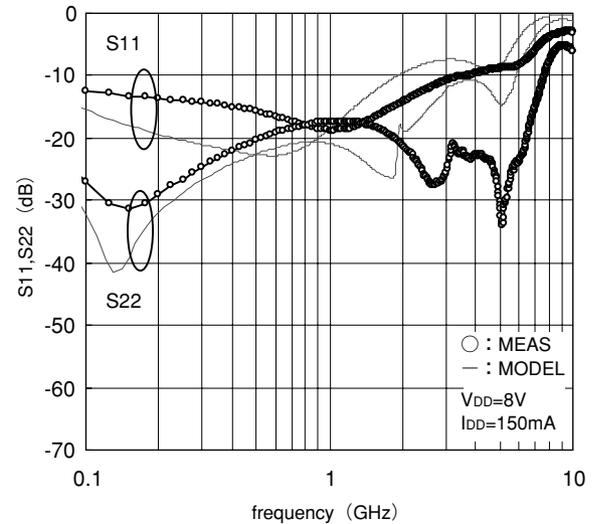


図7 S11, S22のシミュレーションおよび評価結果

を示す。飽和時の出力電力は25dBm以上の結果が得られ、ほぼシミュレーション通りであった。

また動作電流については、出力電力が飽和し始める辺りまでは一定で変化しないが、それ以降、シミュレーション結果と実測値で異なっている。この原因は、出力電力の飽和領域におけるモデルの合わせ込みが不十分であったためと思われる、今後の課題と考えている。

(3) 1dB圧縮点出力 (PO1)

図9に P_{01} の評価結果を示す。0.5GHzから6GHzまで24dBm以上が得られており、良好な結果が得られた。シミュレーション結果との比較でも4.5GHzで2.1dB、5.5GHzで1.6dBと差が見られるが、それ以外はシミュレーションとほぼ一致した。

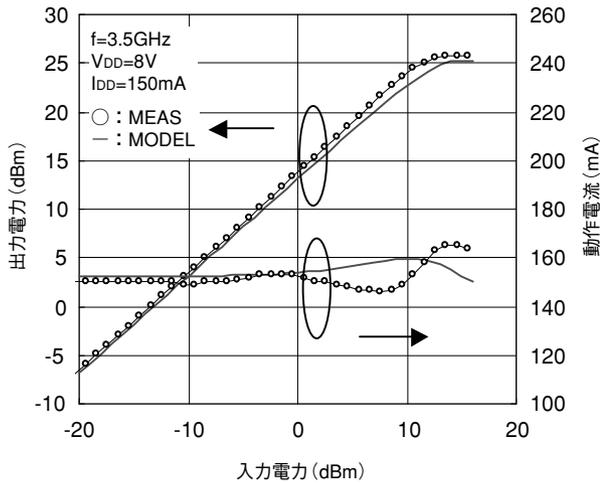


図8 広帯域アンプの出力電力および動作電流

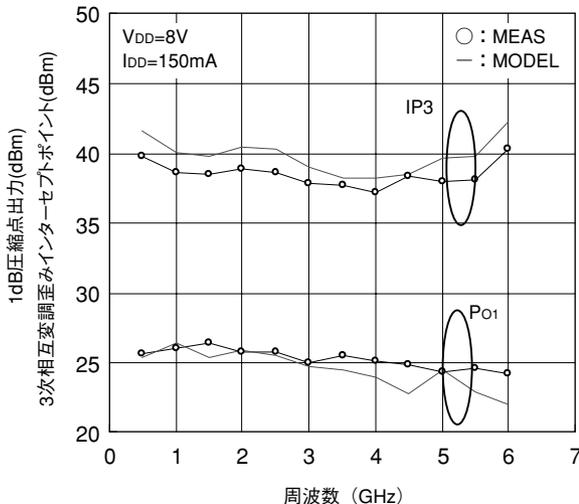


図9 広帯域アンプのPO1およびIP3

(4) 3次相互変調歪みインターセプトポイント (IP3)

図9にIP3評価結果を示す。この特性はアンプの歪みの度合いを示すもので、大きいほど歪みにくいことを意味する。0.5GHzから6GHzまで、37dBm以上の結果が得られた。最大1.7dBmのずれがあるものの、傾向としてはシミュレーションとほぼ同じ傾向が得られた。

まとめ

移動体通信システムに使われるGaAs広帯域アンプを設計、開発した。得られた結果を表1にまとめた。各特性ともシミュレーションと大きな乖離がなく、目標仕様を満足した結果が得られた。

今後は、更に高い周波数帯域の無線システムに使える

表1 広帯域アンプの主要特性

項目	条件	特性値
線形利得	(*1), (*2)	10dB (min)
S11	(*1), (*2)	-8dB (typ)
S22		
1dB圧縮点出力	(*1), (*2)	24dBm (typ)
3次相互変調 インターセプトポイント	(*1), (*2)	37dBm (typ)

(*1): $V_{DD}(V_{DD1}, V_{DD2})=8V, I_{idle}=150mA$

(*2): $f=0.1GHz\sim 6GHz$

ような汎用性を目指し、より広帯域を重視したアンプの開発と考えている。 ◆◆

参考文献

- 1) 山本寿浩, 中村浩: “準マイクロ波帯GaAs広帯域アンプ”, 沖電気研究開発161号, Vol.61 No.1, 1994年1月
- 2) I.D.Robertson: “MMIC DESIGN”, Short Run Press Ltd, IEE CIRCUITS AND SYSTEMS SERIES 7, pp.163-177
- 3) EEHEMT1, Agilent Technologies社, ICCAP ver.2002のマニュアル
http://eesof.tm.agilent.com/docs/iccap2002/ic_ref/icird7.html

筆者紹介

甲斐靖二: Seiji Kai. オプティカルコンポーネントカンパニーⅢ-V デバイス部

伊藤正紀: Masanori Itoh. 研究開発本部先端デバイスラボラトリ
亀卦川伸孝: Nobutaka Kikegawa. オプティカルコンポーネントカンパニーⅢ-V デバイス部

山本寿浩: Yoshihiro Yamamoto. オプティカルコンポーネントカンパニーⅢ-V デバイス部チームリーダー