

高出力Ku帯衛星通信用GaN HEMT MMICと内部整合GaN HEMTのラインアップ拡充

國井徹郎*
前原宏昭*
今井翔平**

Line-up Enhancement of High Power Ku-band GaN HEMT MMIC and Internally Matched GaN HEMTs for Satellite Communication
Tetsuo Kunii, Hiroaki Maehara, Shohei Imai

要旨

Ku帯衛星通信用送信機の高出力・小型化要求に対応するための、Ku帯GaN HEMT MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) (以下“GaN MMIC”という。)と内部整合GaN HEMT (High Electron Mobility Transistor) (以下“内部整合HEMT”という。)のラインアップを拡充した。

小型パッケージで世界最高出力レベルの50W内部整合HEMT“MGFK47G3745A”と世界トップクラスの出力を持つ80W内部整合HEMT“MGFK49G3745”を製品化した。3次相互変調歪IM3 (3rd order InterModulation distortion) が-25dBcを満足するときの出力電力(線形出力)は、それぞれ45dBm, 46dBmである。

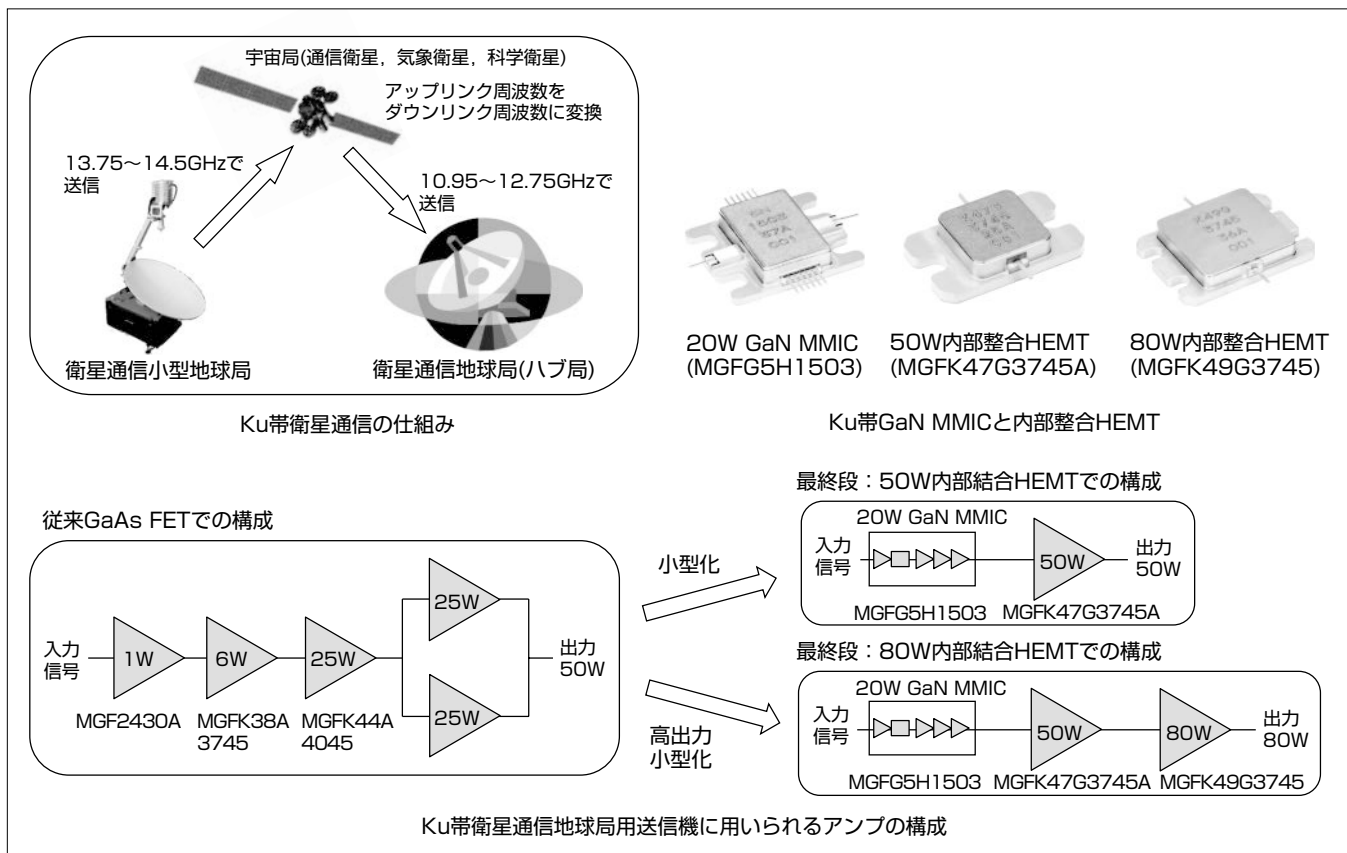
また並列ダイオードリニアライザをチップ内に内蔵した世界最高^(注1)の線形出力を持つ20W GaN MMIC“MGFG5H1503”を製品化した。このMMICをドライバ段に用いることで、

従来、GaNの多段アンプで問題となっていた利得圧縮(ソフトコンプレッション)による歪特性を改善することが可能となる。

MGFG5H1503とMGFK47G3745Aを連結した2段アンプで、IM3が-25dBcを満足する線形出力が45dBmと、MGFK47G3745A単体の線形出力と同等性能を実現し、GaNによる多段アンプ構成が可能となった。

送信機アンプの構成を従来のGaAs FET (Field Effect Transistor) から、これらのKu帯GaN HEMTラインアップに置き換えることで、最終段合成数低減、段数低減、ドライバ段と最終段の電源電圧共通化によるアンプの高出力・小型化に貢献する。

(注1) 2014年12月31日現在、当社調べ



Ku帯衛星通信の仕組み, Ku帯GaN MMICと内部整合HEMT, Ku帯衛星通信地球局用送信機に用いられるアンプ構成

高速通信が可能なKu帯衛星通信の需要が拡大しており、通信容量の増大化に対応するため、衛星通信用送信機の高出力・小型化が強く要求されている。三菱電機では、世界トップクラスの出力の80W内部整合HEMT (MGFK49G3745) を筆頭に、50W内部整合HEMT (MGFK47G3745A)、ドライバ段用にリニアライザ内蔵20W GaN MMIC (MGFG5H1503) を開発し、Ku帯GaN MMIC/内部整合HEMTラインアップを拡充した。

1. ま え が き

地上通信網の整備が地理的に難しい地域や海上での通信手段として、高速通信が可能なKu帯衛星通信の需要が拡大している。衛星通信市場では、通信容量の増大化、SNG(Satellite News Gathering)に代表される移動局の需要増加が進んでおり、そのために衛星通信地球局用送信機の高出力・小型化が強く要求されている。従来、送信機を構成するアンプ用素子としては、GaAs(ガリウムヒ素)FETが用いられてきたが、絶縁破壊耐圧が低く高電圧動作ができないことから、更なる高出力化が困難という課題があった。当社は、従来のGaAsに代わり、高絶縁破壊耐圧を持つ材料であるGaN(窒化ガリウム)を用いることで、高電圧動作化、高電力密度化を実現し、小型で高出力なアンプ用素子を開発し、内部整合HEMT 2品種と、ドライバ段用GaN MMICのKu帯素子ラインアップを製品化した。

本稿では、従来の25W GaAs FETよりも小型のパッケージで世界最高レベルの出力を持つ50W内部整合HEMTと、世界トップクラスの出力を持つ80W内部整合HEMTの単体特性、及びドライバ段用に開発したりニアライザ内蔵Ku帯20W GaN MMICとこの内部整合HEMTを連結した2段アンプの構成と特性について述べる。

2. 内部整合HEMTの特性

2.1 50W内部整合HEMT

Ku帯という高周波帯での高利得化を実現するため、既に量産化しているC帯用トランジスタのゲート長(Lg=0.75μm)よりも短いゲート長(Lg=0.25μm)を持つGaNトランジスタを開発した⁽¹⁾。このトランジスタを用いたWg=50μm×10の単位セルの最大安定利得(MSG)から最大有能電力利得(MAG)領域へ変換する周波数(fk)は、従来の13.8GHzから、19.5GHzへと約1.5倍に向上し、Ku帯用トランジスタとして十分な高周波性能を持つ結果が得られた。

図1にこのトランジスタを用いたKu帯50W内部整合HEMT(MGFK47G3745A)の入出力特性評価結果を示す。14.125GHzで、飽和出力47dBm(50W)、線形利得8.0dB、電力付加効率(Power Added Efficiency: PAE)30%の特性を得た。この製品のパッケージサイズは、21.0×12.9×4.5(mm)であり、従来の25W GaAs FETよりも小型のパッケージで50Wの出力を実現した。

図2にこの素子の3次相互変調歪(IM3)特性を示す。衛星通信地球局として通信品質を確保するための要求であるIM3=-25dBcを満足する時の出力電力(線形出力)は、45dBmであり、小型パッケージを用いた製品として世界最高レベルの飽和出力と線形出力を持つ。

2.2 80W内部整合HEMT

衛星通信では、高速化、通信容量の増大化が進んでおり、

地球局に用いられる送信機は高出力・小型化が強く要求される。この市場要求を満足するため、最終段用素子の更なる高出力化に向け80W内部整合HEMTの開発を行った。

高出力化のためには、単位セルと呼ばれるチップ上に配置されたユニットトランジスタを多数合成する必要があるが、Ku帯という高周波帯では、合成する際に用いるワイヤ配線のばらつきなどのわずかな組立て誤差によって不平衡モードが発生し、特性劣化を招く場合がある。図3に、この不平衡モードを抑制するために開発した制御回路図を示す。この回路は、整合用1/4波長伝送線路と、不平衡モードを吸収する抵抗と、整合回路と抵抗を接続する1/2波

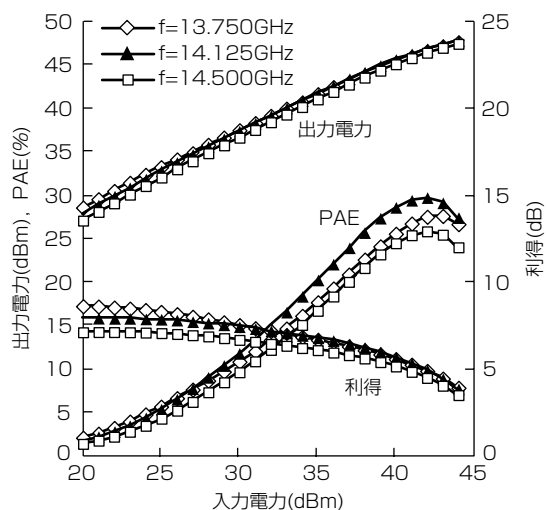


図1. MGFK47G3745Aの入出力特性

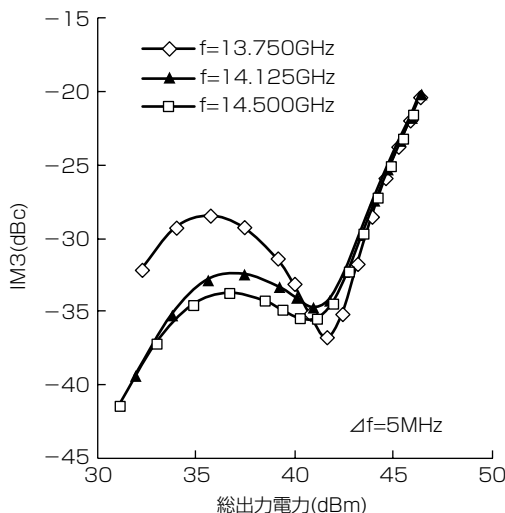


図2. MGFK47G3745AのIM3特性

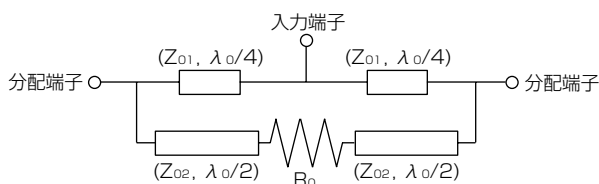


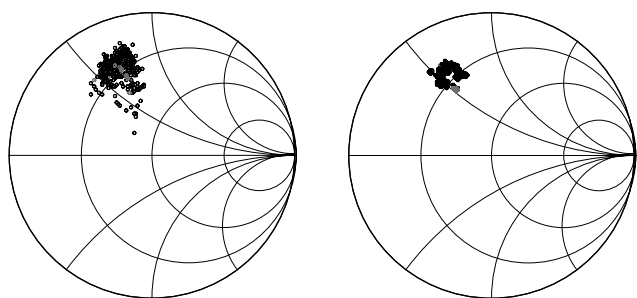
図3. 不平衡モード抑制回路⁽²⁾

長伝送線路で構成している。不平衡モードが発生した場合に生じる不平衡な電力は、2つの分配端子間に逆位相で生じるため、抵抗 R_0 によって消費される。80W内部整合HEMTで、整合回路の組立て誤差を考慮して各单位セルの出力側整合インピーダンスを計算した結果を図4に示す。不平衡モード抑制回路によって、各单位セルから見たインピーダンスのばらつきが抑制され、均一に整合することが可能となる⁽²⁾。

この回路を適用したKu帯80W内部整合HEMT (MGFK49G3745)の入出力特性を図5に示す。不均衡モードによる特性劣化が改善された結果、抑制回路を適用しない場合と比較して出力が約1dB向上し、14.125GHz帯で、飽和出力49.5dBm (89W)、線形利得9.3dB、電力付加効率30%の特性を得た。図6にこの素子のIM3特性を示す。IM3 = -25dBcを満足する線形出力は、46dBmである。この製品のパッケージサイズは、24.0×17.4×4.3 (mm)であり、同一サイズのパッケージを用いた従来の25W GaAs FETの3倍以上の高出力化を実現し、世界トップクラスの飽和出力を持つ。

3. 2段アンプの特性

GaN HEMTは、送信機の高出力化、小型化を実現する



(a) 不平衡モード抑制回路なし (b) 不平衡モード抑制回路あり

図4. 各单位セルから見た出力回路インピーダンス解析結果⁽²⁾

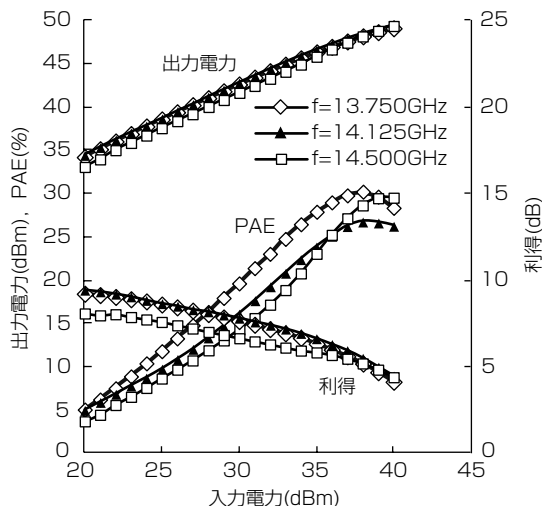


図5. MGFK49G3745の入出力特性

上で大変有望な素子であるが、ソフトコンプレッションと呼ばれる、飽和出力に達するよりも低い出力領域で利得の低下が始まってしまう特性を持っている。GaN HEMTを連結して多段アンプを構成する場合、素子ごとのソフトコンプレッション特性が重ね合わさることで、アンプ全体の利得の線形性が、低い出力レベルから低下し、歪特性が劣化するという課題があった。

この問題を解決するため、ドライバ段用として、歪特性改善のためのリニアライザを内蔵したGaN MMICを開発した⁽³⁾。このMMICの効果を確認するために、MMICをドライバ段とし、GaN内部整合HEMTを最終段とした2段アンプを試作し評価した。図7にその結果を示す。ドライバ段にリニアライザ内蔵GaN MMICを用いた場合は、リニアライザなしのGaN MMICを用いた場合に比べ、ほぼすべての出力領域で低歪特性を実現でき、IM3 = -25dBcとなる線形出力を比較すると約5dB向上した。リニアライザ内蔵GaN MMICは、GaN多段アンプでの歪特性、線形出力改善に有効であることが確認できた。

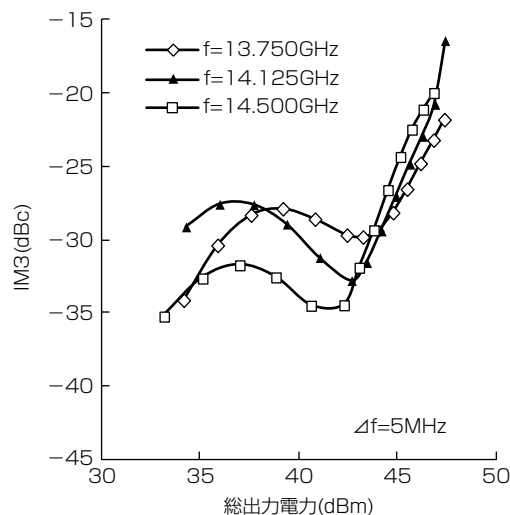


図6. MGFK49G3745のIM3特性

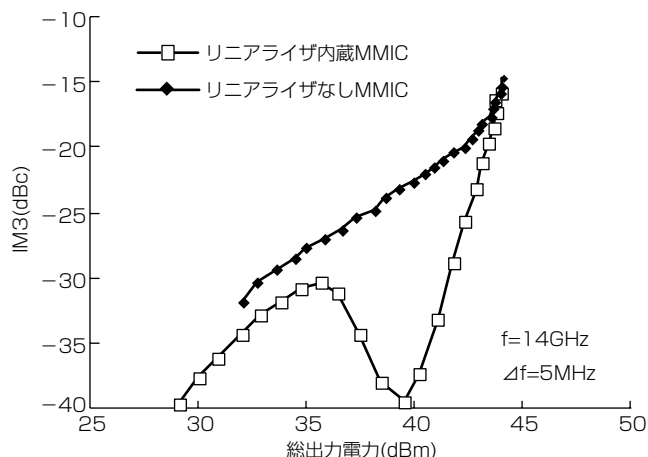


図7. GaN MMICとGaN内部整合HEMTからなる2段アンプのIM3特性

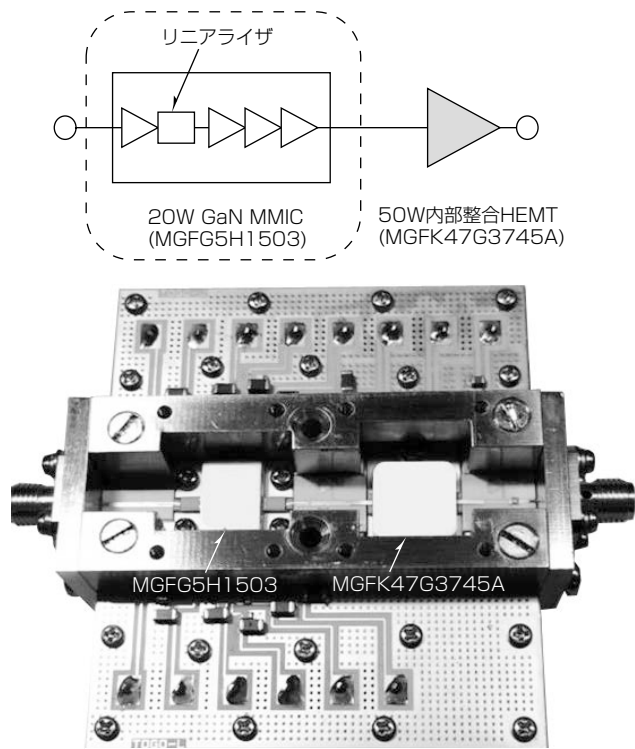


図8. 2段アンプの構成と外観

次に、リニアライザ内蔵GaN MMICとして製品化したMGFG5H1503と50W内部整合HEMTであるMGFK47G3745Aを連結した2段アンプを開発した(図8)。入出力端子と素子の間、及び素子間は、アルミナ基板上に設けた50Ω線路で接続し、その両側にバイアス回路を設けた樹脂基板を配置し、基板の下部に放熱のためのアルミ製ヒートシンクを設けた。また、各素子間の空間アイソレーション特性を向上させるため、基板上に素子を囲むように絞り込みを設けたアルミブロックで覆う構造とした。これによって18GHz以下で入出力端子間で60dB以上のアイソレーション特性が得られている。

図9にこの2段アンプの入出力特性評価結果を示す。14.125GHzで、飽和出力47dBm(50W)、線形利得29dB、電力付加効率24%の特性を得た。また、図10に示すように、 $IM3 = -25dBc$ を満足する線形出力は、45dBmと50W HEMT単体と同等の線形出力を実現した。リニアライザ内蔵GaN MMICをドライバ段に採用することで、GaN多段アンプの課題であったソフトコンプレッション現象による歪特性劣化を抑制し、低歪特性、高線形出力特性を持つGaN多段アンプを実現することができた。

4. む す び

Ku帯衛星通信地球局用増幅素子として、従来の25W GaAs FETよりも小型のパッケージで世界最高レベルの出力の50W内部整合GaN HEMT(MGFK47G3745A)と、世界トップクラスの出力を持つ80W内部整合GaN HEMT

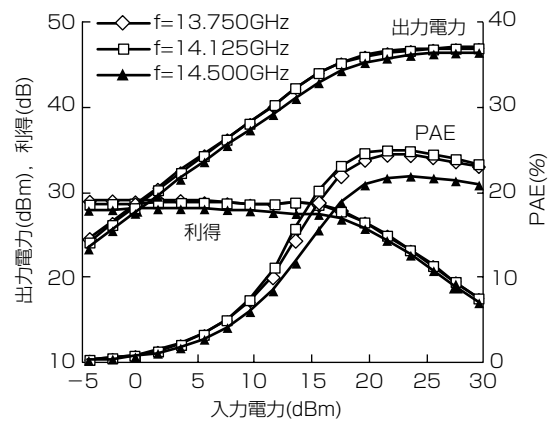


図9. 2段アンプの入出力特性

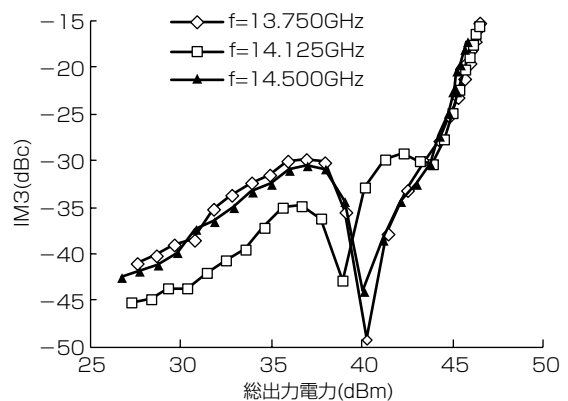


図10. 2段アンプのIM3特性

(MGFK49G3745)、及び世界最高レベルの歪補償性能を持つリニアライザ内蔵20W GaN HEMT MMIC(MGFG5H1503)を製品化した。また、20W GaN HEMT MMICと50W内部整合GaN HEMTを連結した2段アンプを開発し、GaN特有のソフトコンプレッション現象を抑制し、高い線形出力を実現した。これらKu帯GaN素子ラインアップで、衛星通信送信機の高出力・小型化に貢献する。

参 考 文 献

- (1) Koyama, H., et al.: A 0.25 μ m Gate AlGaIn/GaN HEMT for X-band Using RELACS Process, 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, F-2-2 (2012)
- (2) Imai, S., et al.: An 80 W Packaged GaN High Power Amplifier for CW Operation in the 13.75-14.5 GHz band, 2014 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. TU4B-2 (2014)
- (3) Kanaya, K., et al.: A Ku-band 20 W GaN-MMIC Amplifier with Built-in Linearizer, 2014 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. THP-8 (2014)