

Ku帯衛星通信地球局用 マルチキャリア対応GaN HEMT

杉谷拓海*
Takumi Sugitani
山崎貴嗣*
Takashi Yamasaki
吉岡貴章*
Takaaki Yoshioka

三浦孝明†
Yoshiaki Miura

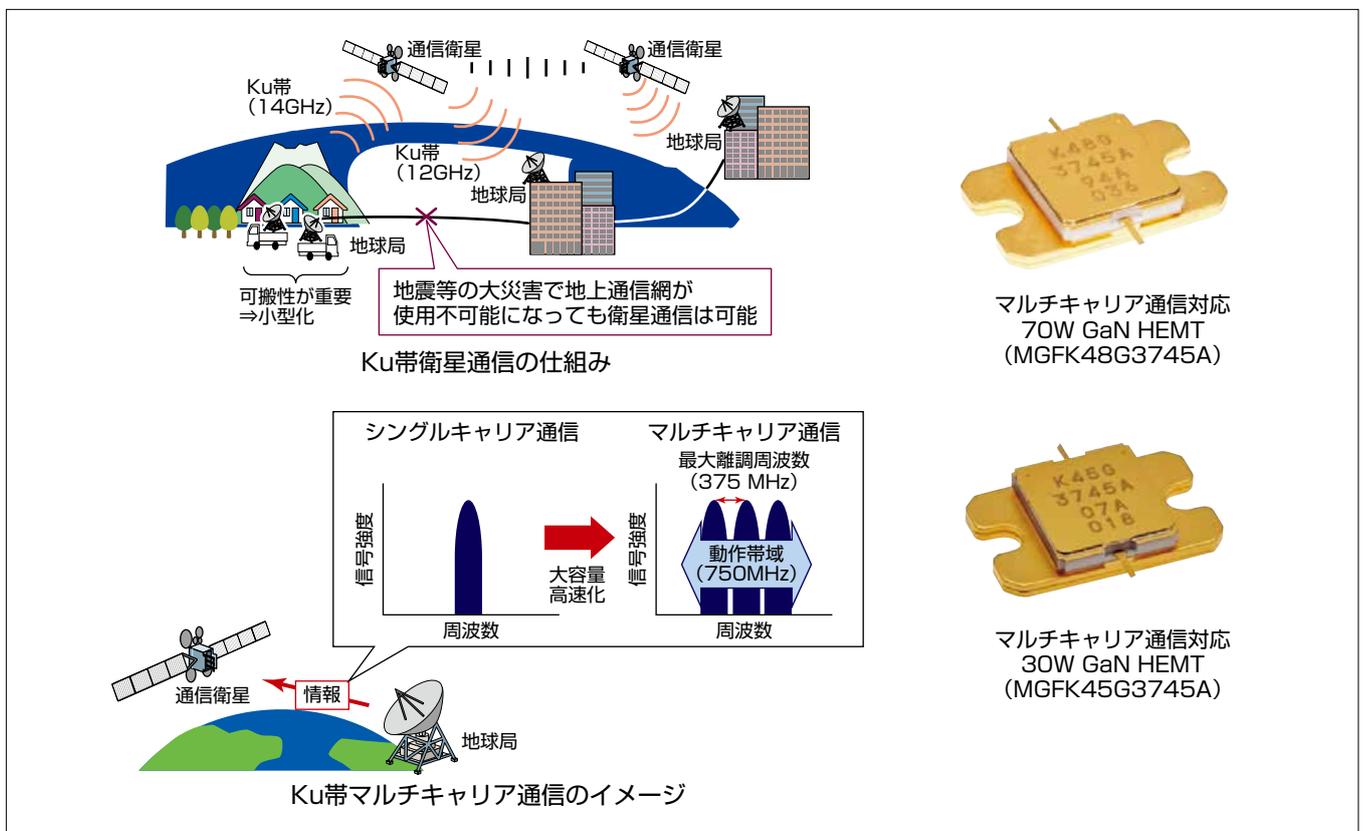
Multi-carrier Support GaN High Electron Mobility Transistor
for Ku-band Satellite Communication Earth Stations

要旨

近年、GaN(窒化ガリウム)HEMT(High Electron Mobility Transistor)増幅器の登場で、衛星通信用送信機の半導体化が進んでいる。これまで三菱電機では、高速通信が可能なKu帯衛星通信需要の拡大に対応して、高出力、高効率動作、小型化に有利なGaNを用いたKu帯衛星通信地球局用GaN HEMTの製品化を進めてきた。現在の衛星通信地球局用途では更なる情報伝送量の大容量化・高速化のため、単一周波数の搬送波で伝送するシングルキャリア通信から、複数の周波数を同時に使用するマルチキャリア通信の需要が高まっている。

今回、マルチキャリア通信に対応するため、トランジスタ側から見た整合回路を見込んだ際の低周波領域のインピーダンスを低減する差周波短絡回路の配置と構成を最適化するこ

とで、衛星通信地球局として通信品質を確保するために要求される、最大離調周波数(Δf)400MHzで三次相互変調歪(ひずみ)(third-order intermodulation : IM3)が -25dBc 以下という低歪み特性を実現した。最小限の部品追加によって従来製品のKu帯70W GaN HEMT“MGFK48G3745”と同一パッケージサイズでKu帯衛星通信システムとして使用されている全帯域をカバーできるマルチキャリア通信にも対応できる70W GaN HEMT“MGFK48G3745A”と30W GaN HEMT“MGFK45G3745A”を製品化した。これらを追加したKu帯GaN HEMT製品のラインアップによって、衛星通信地球局の小型化と情報伝送量の大容量・高速化に貢献する。



Ku帯衛星通信地球局用マルチキャリア対応GaN HEMT

高速通信が可能なKu帯衛星通信の需要が拡大しており、情報伝送量の大容量化・高速化に向けてマルチキャリア通信へのニーズが高まっている。三菱電機では、従来のKu帯70W GaN HEMTと同一パッケージのまま、Ku帯衛星通信システムの全帯域(375MHz)をカバーする離調周波数400MHzのマルチキャリア通信対応70W GaN HEMTと30W GaN HEMTを製品化し、Ku帯GaN HEMTのラインアップを拡充した。

1. ま え が き

災害時の通信の確保や地上通信網の整備が地理的に難しい地域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。三菱電機では、高出力／高効率動作、小型化に有利なGaNを用いた衛星通信地球局用GaN HEMTの製品化を進めてきた⁽¹⁾⁽²⁾。また、衛星通信では更なる情報伝送量の大容量化・高速化のため、単一周波数の搬送波で伝送するシングルキャリア通信から、複数の周波数の搬送波を同時に使用するマルチキャリア通信の需要が高まっている。

今回、マルチキャリア通信に対応するため、トランジスタ側から見た整合回路の低周波領域のインピーダンスを低減する差周波短絡回路の配置と構成を最適化することで、 $\Delta f = 400\text{MHz}$ でIM3が -25dBc 以下という低歪み特性を実現した。最小限の部品追加によって従来製品であるシングルキャリア通信対応のKu帯70W GaN HEMT (MGFK48G3745) (図1)と同一パッケージサイズでKu帯衛星通信システムとして使用されている全帯域をカバーし、さらにマルチキャリア通信に対応できる70Wと30W出力のKu帯衛星通信地球局用GaN HEMTを開発した。

本稿では、マルチキャリア通信に対応するために行った差周波短絡回路の基本設計手法と、それを適用したKu帯70W GaN HEMTとKu帯30W GaN HEMTの主要特性について述べる。

2. マルチキャリア通信対応 Ku帯70W GaN HEMT

2.1 差周波短絡回路の設計

まず、パッケージについては、シングルキャリア対応製品と同じサイズ・同じピン配置にすることを目標にした。これによって、従来製品からの置き替えが容易になり、

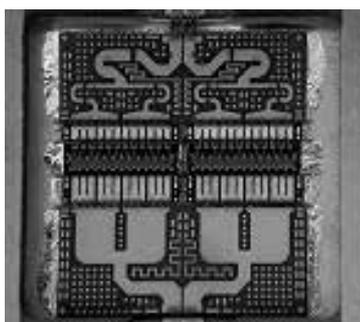


図1. MGFK48G3745

小型地球局の開発期間と開発コストを削減できる。

次に、パッケージ内部に実装する回路としてマルチキャリア通信に対応した低歪み整合回路を開発した⁽³⁾。図2に従来の出力整合回路の構成を示す。従来回路では、パッケージ外部のドレインバイアス回路に設けられた一つの短絡回路によって低周波領域の共振周波数を5MHz付近に設定している。図3(a)にトランジスタから整合回路を見込んだインピーダンスの計算結果を、図3(b)にIM3の Δf 依存性の実測結果を示す。 Δf は異なる周波数の二つの入力信号の周波数差を表す。周波数は14.125GHz帯、出力電力は1波当たりの信号レベルを40dBmとした。図3から $\Delta f = 5\text{MHz}$ 付近のインピーダンスは 10Ω 以下であるが、 $\Delta f = 100\text{MHz}$ 以上ではインピーダンスは 100Ω 以上と大きく、これに対応して、IM3は100MHz以上で急激に劣化している。このことから、差周波インピーダンスとIM3に強い相関があり、IM3が -25dBc 以下を実現するためのインピーダンスの目標値は 50Ω 以下であることが分かる。

そこで、 Δf を数MHzから400MHzにわたって、低周波領域のインピーダンスを低く抑制できる差周波短絡回路について検討した。検討した差周波短絡回路の共振周波数 Δf_k は、式(1)によって与えられる。

$$\Delta f_k = f_L^{(2K-1)/(2n)} \cdot f_H^{(2n-2K+1)/(2n)} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 f_L 、 f_H は Δf の周波数範囲の最小周波数と最大周波数、 n は差周波短絡回路の数を示す。図4に $n = 3$ の場合での出力整合回路の低周波領域のインピーダンス例を示す。式(1)から、共振周波数は対数軸上に等間隔に割り当てられ、インピーダンスは均一に低減されていることが分かる。

この開発では、目標とする Δf の範囲をKu帯衛星通信のマルチキャリア通信システムを全帯域カバーする1～375MHzと定めて検討した結果、短絡回路数を3とし、共

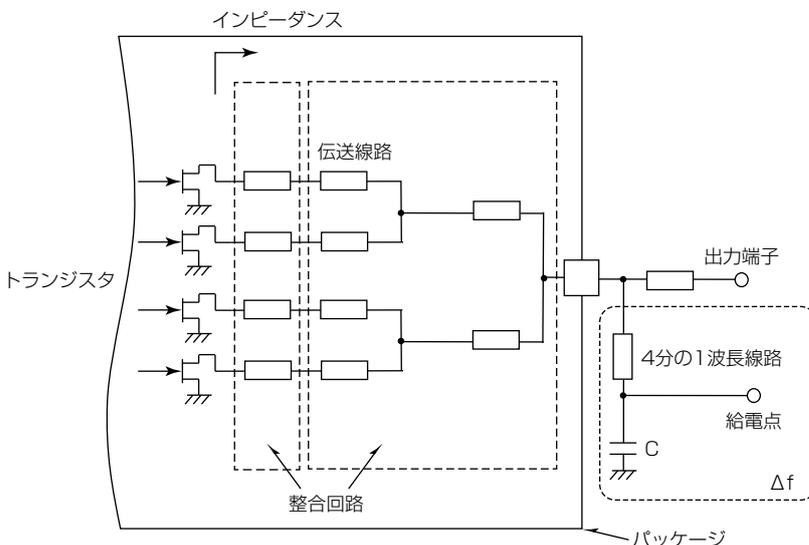


図2. 従来の出力整合回路の構成

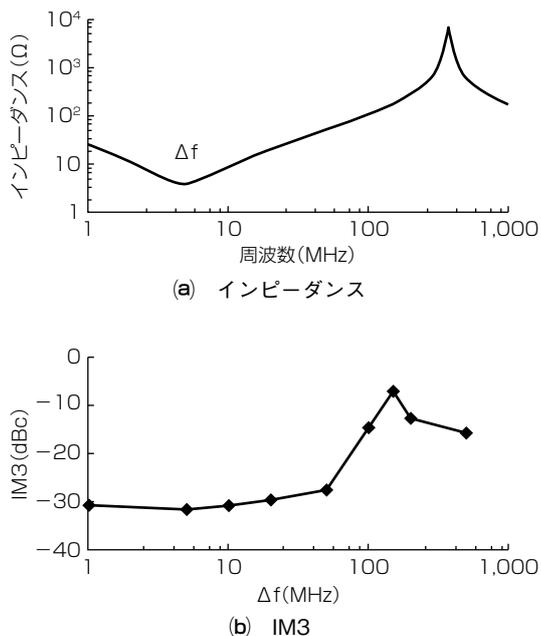


図3. 従来の出力整合回路の低周波領域のインピーダンスの計算結果とIM3の実測結果

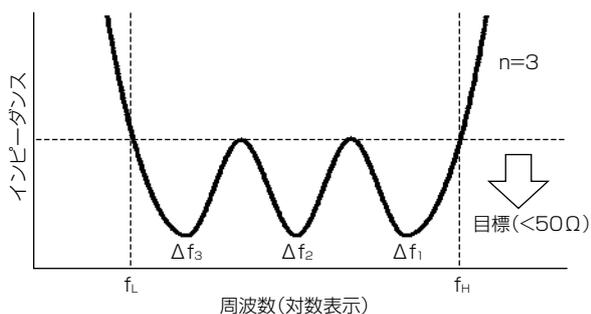


図4. 出力整合回路の低周波領域のインピーダンス例

振周波数を $\Delta f_1 = 157\text{MHz}$, $\Delta f_2 = 27\text{MHz}$, $\Delta f_3 = 5\text{MHz}$ とすることが, $\Delta f = 400\text{MHz}$ で, IM3が -25dBc 以下を実現するのに最適であることが判明した。図5にマルチキャリア通信対応の出力整合回路の等価回路を示す。図に示すように, パッケージ内に二つの短絡回路を対称に設けて, パッケージ外に一つの短絡回路をバイアス回路と併用する構成を採用した。また, 短絡回路とトランジスタ間の電気長を考慮し, 差周波短絡回路の Δf_1 はトランジスタに最も近く, Δf_3 は最も遠い位置に配置した。図6に出力整合回路のインピーダンスの計算結果を示す。1~375MHzのインピーダンスは目標の 50Ω 以下を満足している。

2.2 評価結果

図7に開発したマルチキャリア通信に対応可能なKu帯70W GaN HEMT(MGFK48G3745A)の内部写真を示す。内部に実装した差周波短絡回路は, 4分の1波長線路と数nFのワイヤボンディングタイプのマイクロチップコンデ

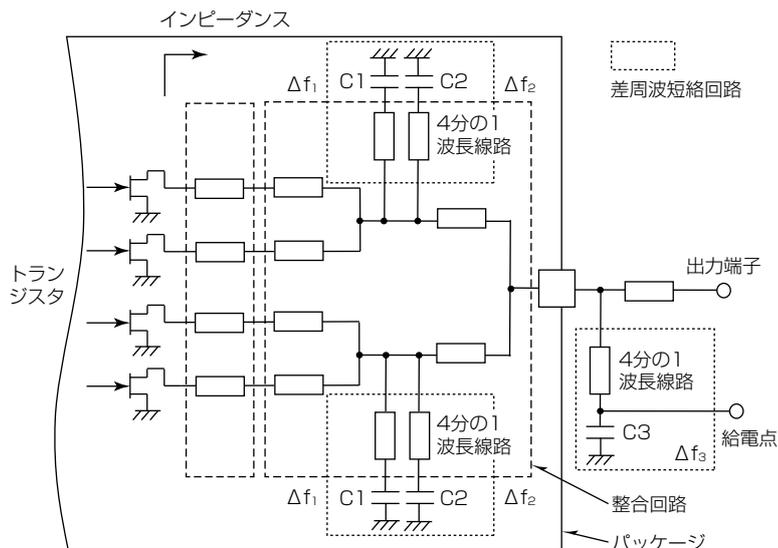


図5. マルチキャリア通信対応の出力整合回路の等価回路

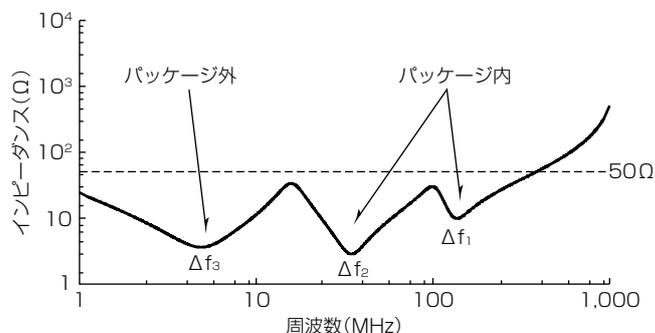


図6. 出力整合回路のインピーダンスの計算結果

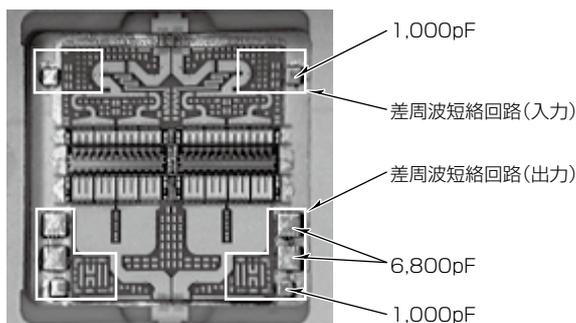
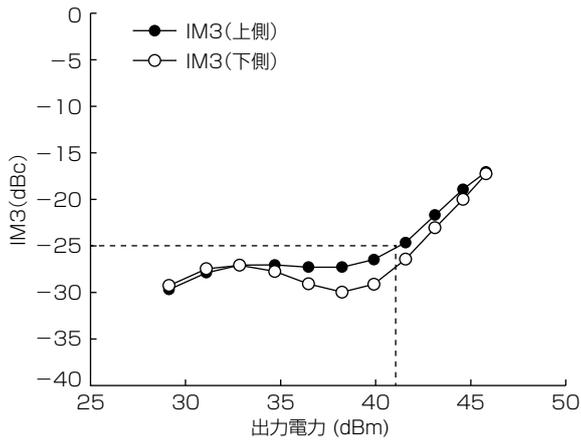


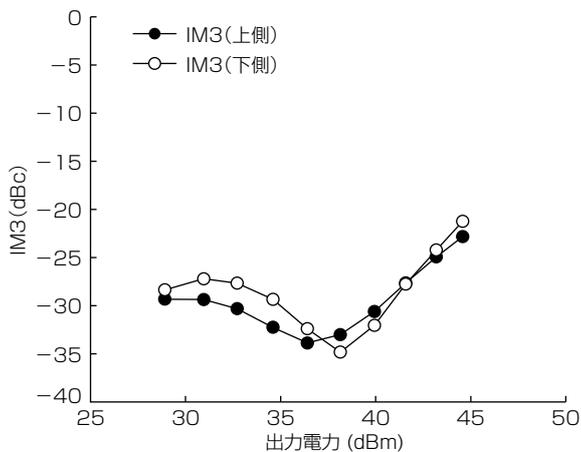
図7. MGFK48G3745A

ンサで構成した。また差周波短絡回路は入力整合回路と出力整合回路の両方に設けることでIM3の上側と下側の非対称性を改善した。

図8に $\Delta f = 5\text{MHz}$ と $\Delta f = 400\text{MHz}$ のIM3特性を示す。ドレイン電圧は24V, 周波数は14.125GHz帯, 2波信号入力時(CW(Continuous Wave)動作)である。衛星通信地球局として通信品質を確保するために要求されるIM3 = -25dBc を満足するときの出力電力(線形出力)は1波当たりの信号レベルで41dBmである。図9にIM3の Δf 依存性を示す。



(a) $\Delta f = 5\text{MHz}$



(b) $\Delta f = 400\text{MHz}$

図8. MGFK48G3745AのIM3特性

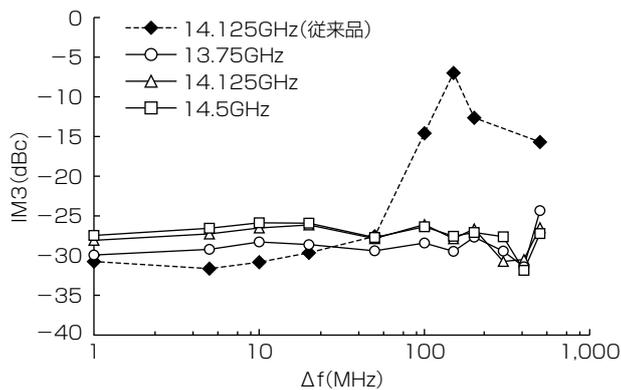


図9. MGFK48G3745AでのIM3の Δf 依存性

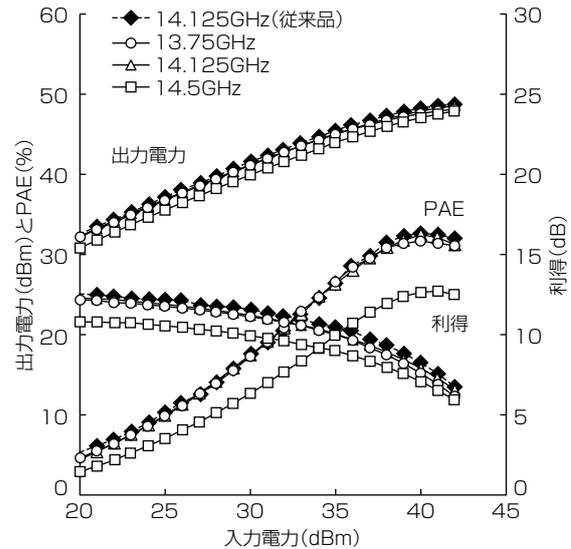


図10. MGFK48G3745Aの入出力特性

図10にMGFK48G3745Aの入出力特性を示す。差周波短絡回路がない従来製品の特性も併記している。周波数14.125GHzで、飽和出力48.6dBm(72.4W)、線形利得11.7dB、電力付加効率(Power Added Efficiency : PAE)31.2%であり、マルチキャリア通信に対応しながら、従来のシングルキャリア製品と同等の高出力で高利得な特性を実現した。

3. マルチキャリア通信対応 Ku帯30W GaN HEMT

衛星通信用増幅器に対する出力電力に関しては、単なる高出力化だけでなく、比較的 low 出力な製品に対しても要求がある。これは、小形地球局にはサイズやコストに応じた様々な出力電力の製品があるためである。今回、三菱電機では、比較的 low 出力な製品需要に対応するために、マルチキャリア通信に対応可能なKu帯30W GaN HEMT (MGFK45G3745A)の開発も行った。パッケージサイズは、Ku帯70W GaN HEMTとの互換性を考慮し、同一パッケージを使用した。パッケージ内部には70W品と同じ GaN HEMTチップが一つだけ実装されている。パッケージ内部に実装する整合回路は70W品と同じコンセプトで設計してマルチキャリア通信に対応した整合回路を採用した。

図11にMGFK45G3745Aの入出力特性を示す。周波数14.125GHzで、飽和出力46.0dBm(39.8W)、線形利得10.5dB、PAE36.3%の良好な特性が得られた。図12にIM3の Δf 依存性を示す。出力電力は1波当たりの信号レベルで36.3dBmである。 Δf が1MHzから500MHzに至るまで、 -25dBc 以下のIM3を満足し、衛星通信システムの出力電力や用途に応じたラインアップ拡充の一環として低出力品の製品化を実現できた。

図中には、比較のために差周波短絡回路がパッケージ内に実装されていない従来製品の特性も示している。出力電力は1波当たりの信号レベルで40dBm、IM3は上側と下側の信号のうち、IM3の値が悪い方をプロットしている。図9から Δf が1MHzから400MHzに至るまで -25dBc 以下のIM3が得られており、このGaN HEMTは、マルチキャリア通信に対応可能であることが分かる。

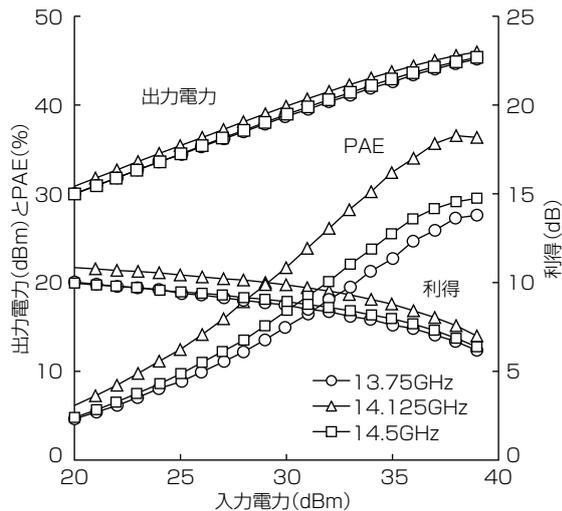
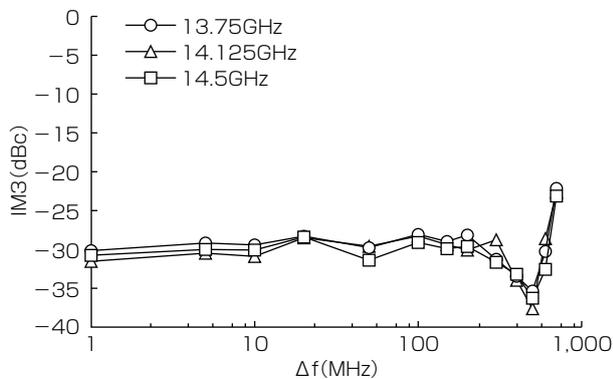


図11. MGFK45G3745Aの入出力特性

図12. MGFK45G3745AでのM3の Δf 依存性

4. む す び

Ku帯衛星通信地球局用増幅素子として、従来製品のシングルキャリア通信対応Ku帯70W GaN HEMT(MGFK48G3745)と同一サイズのパッケージを用い、マルチキャリア通信に対応した低歪み特性を実現できる整合回路の採用によって、 Δf が400MHzのマルチキャリア通信対応Ku帯70W GaN HEMT(MGFK48G3745A)とその低出力版のKu帯30W GaN HEMT(MGFK45G3745A)を製品化した。これら、Ku帯GaN HEMT製品のラインアップによって、衛星通信地球局の小型化と情報伝送量の大容量・高速化に貢献する。

なお、今回の製品は国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業の成果の一部を活用している。

参 考 文 献

- (1) 國井徹郎, ほか: Ku帯衛星通信用高利得・高出力内部整合型 GaN HEMT, 三菱電機技報, **91**, No.5, 293~296 (2017)
- (2) 前原宏昭, ほか: Ku帯100W出力GaN HEMT増幅器, 三菱電機技報, **87**, No.2, 113~115 (2013)
- (3) Yoshioka, T., et al.: A Ku-band 70-W Class GaN Internally Matched High Power Amplifier with Wide Offset Frequencies of up to 400MHz for Multi-Carrier Satellite Communications, 2020 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS) (2020)