

Title	Microwave high power field-effect transistors amplifiers with high efficiency and low distortion
Author(s)	竹中, 功
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34533
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (竹 中 功)

論文題名

Microwave high power field-effect transistors amplifiers with high efficiency and low distortion
(マイクロ波高出力電界効果トランジスタ増幅器の高効率・低歪化に関する研究)

論文内容の要旨

移動体通信システムの進化とともに爆発的に情報通信量が増加している。マイクロ波高出力増幅器はデジタル移動体通信システムを構成するキーコンポーネントであり、マイクロ波高出力増幅器の性能向上がシステムの高性能化に直結する。マイクロ波高出力増幅器には大容量・高速通信を省電力でかつ高品質に行うため高効率化と低歪化が強く要求される。本研究はマイクロ波高出力電界効果トランジスタ増幅器の高効率・低歪化に関するものであり、デジタル移動体通信システムの飛躍的な進歩に貢献することを目的にしている。まず、低損失な電力合成回路として新規のマイクロストリップ Balun 回路を提案し、L/S 帯プッシュプル増幅器に適用し、その低損失特性を実証している。また、大信号動作時のループ発振解析のために S-probe 法を改良し、その有効性を明らかにしている。次に、マイクロ波高出力増幅器の高効率化のため、大信号シミュレーションと EOS (Electro Optical Sampling) による電圧波形観察から従来の F 級条件とは逆の出力 2 倍波を開放で終端する高効率条件を見出し、基本波と 2 倍波を同時に整合する内部整合回路を提案するとともに、L/S 帯プッシュプル増幅器において、その高効率特性を実証している。さらに、マイクロ波高出力増幅器の低歪化のため、GaAs ヘテロ接合 FET (HJFET) の gm プロファイルに着目し深い AB 級では閾値が浅く急峻な gm プロファイルをもつ HJFET の方が低歪特性であることを見出し、その上、Volterra 解析と実験により 2 倍波及び差周波インピーダンスが 3 次歪特性に及ぼす影響を明らかにしている。出力 2 倍波を短絡する内部整合回路を提案し、L/S 帯プッシュプル増幅器において、その低歪特性を実証している。また、PKG 内蔵入出力差周波処理回路を提案し、差周波間隔が 100MHz にわたって劣化のない低歪特性を実現している。そして、低歪と高効率を両立する Doherty 増幅器の実現のため、AB 級メインアンプと C 級ピークアンプの合成時に歪キャンセルする新しい Doherty 増幅器を提案し、その低歪・高効率特性を明らかにしている。さらに Doherty 動作時のメインアンプとピークアンプの AM-AM, AM-PM 評価方法を提案し、新しい Doherty 増幅器における歪キャンセルメカニズムを実証している。最後に、GaN FET に本研究で得られた回路技術を適用し、現状最高レベルの広帯域・高効率・低歪特性を有する高出力増幅器を実現している。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (竹 中 功)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教 授 岡 村 康 行
	副 査 教 授 永 妻 忠 夫
	副 査 教 授 北 川 勝 浩
	副 査 准教授 村 田 博 司

論文審査の結果の要旨

インターネットの爆発的な普及に伴い、大容量情報の伝達が要求され、大容量かつ高速な通信技術の進展が望まれている。特に、移動体通信の発展は目覚ましく、いわゆる第四世代移動体通信が現実のものとなってきた。このような大容量高速通信システムにおいて、中継局で用いられる高マイクロ波電力増幅器は、伝送帯域の増加に伴い、高出力化・低歪化が要求される。本論文は、マイクロ波FETトランジスタ増幅器に着目し、省電力、高品質、高効率、低歪を実現するために、回路構成法、整合回路、合成回路、さらにはFETトランジスタ素子の構造の最適化をはかり、シミュレーションによる設計、GaAs、GaNを用いた増幅器の実現、特性測定の結果をまとめたものである。

まず、高電力増幅器の現状を移動体通信システムの進展をベースにして述べ、今後要求される性能特性について言及し、本論文の位置づけをおこなっている。マイクロ波帯で動作する高電力増幅器を構成する半導体ならびに回路技術の問題点を指摘している。高出力化の手法としてプッシュプル構成の重要性を述べ、低損失電力合成回路の実現が必須であり、そのために新たに多段構成のマイクロストリップ・バラン回路を提案し、回路設計の柔軟性を指摘し、GaAsを用いたデバイスを作製することにより、有効性を確かめている。ついで、増幅器のさらなる高効率化をめざし、整合回路における高調波終端条件について検討をおこなっている。大信号シミュレーション及び電気光学サンプリングにより、負荷第2高調波の高効率終端条件が、従来のF級動作の開状態とは反対であることを明らかにしている。さらに、低歪化を試みている。ボルテラ解析を用いて、3次歪特性への第2高調波が与える影響および異なる2周波の搬送波差周波数に対するインピーダンスの影響を調べ、第2高調波に対する負荷終端回路構成を新たに提案している。これにより、100 MHzの周波数間隔においても信号が劣化することなく、低歪特性を実現している。さらにまた、回路構成として、主増幅器とピーク増幅器を組み合わせたドハティ型を検討し、従来の構成とは異なり、主増幅器とピーク増幅器を入れ替えた逆ドハティ構成が有効であることを実験的に示している。デバイス材料をGaNとし、さらなる高効率化、高出力化を試みている。特に、Si基板上に作製するGaNを詳細に検討し、素子構造の最適化、逆ドハティ型の採用により、2.14GHzにおいて利得15.5dB、隣接チャネル漏洩電力比-55dBcの増幅器を実現している。

以上のように、本論文はマイクロ波FETトランジスタ増幅器の高出力化、低歪化を実現し、大容量高速移動体通信システムの発展に大きく寄与するものであり、博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。