

21.99-20

早稲田大学大学院理工学研究科<sup>2990</sup>

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

移動体通信用低ひずみ送受信機  
に関する研究  
(Studies on low distortion transceivers  
for mobile communication )

申 請 者

末松 憲治  
Noriharu Suematsu

1999 年 11 月

近年、携帯電話を中心とする移動体通信の大衆化が急速に進んでおり、限られた周波数資源の中で、増大する需要に対応するために、周波数の利用効率を高めることが重要な課題となっている。チャネル周波数の狭帯域化、チャネル周波数間隔の短縮のために、線形な送信機が必要となる。さらに、基地局においては、多数キャリアを同時に送信することが可能な共通増幅器方式が採用されており、共通増幅するキャリア間の相互変調ひずみの低減が重要となっている。

一方、移動体通信受信機では、同じ受信周波数帯に多数のキャリアが存在する中で、所望波のみを妨害を受けずに受信できる高い耐妨害波特性が必要である。受信周波数帯域外の妨害波であれば、受信機の前に帯域を制限する高周波フィルタを配置し、除去することもできるが、受信帯域内の妨害波の場合、高周波フィルタで除去することは困難であるため、高い飽和特性を持つ、即ち、低いひずみ特性を持つ受信機が必要となる。

このように、移動体通信用送受信機においては、低ひずみな特性が、今後、ますます重要になってくると考えられる。本研究は、携帯電話を中心とする移動体通信の大衆化に対応するために必要となる、低ひずみ送受信機について行った研究をまとめたものである。

本論文の目的は、以下の課題を解決することである。

[I] ひずみ補償に必要となる送信増幅器で発生するひずみ成分の位相についての測定、解析手法を明らかにすること。

[II] 多数キャリアを共通増幅した際に送信増幅器で発生するひずみ量を解析する手法を明らかにすること。

[III] 広帯域、かつ、温度変化に対して安定に動作する送信増幅器用ひずみ補償回路を実現すること。

[IV] ひずみ補償量が高く、かつ、安定に動作する送信機用ひずみ補償回路を実現すること。

[V] 低雑音、かつ低ひずみな Si-Monolithic Microwave Integrate Circuits (MMIC) 受信フロントエンドを実現すること。

最後に、

[VI] 結論として以上の成果をまとめ、今後の展望を示す。

以下、各章における成果の概要について述べる。

[I] GaAsFET 増幅器における 3 次相互変調ひずみ相対位相の入力電力依存性の測定および解析

この章では、ひずみ補償に必要となる送信増幅器で発生する 3 次相互変調ひずみ

(3rd. InterModulation distortion,  $IM_3$ ) の位相の入力電力に対する変化を解析、測定する手法を提案するとともに、本手法に基づき GaAs Field Effect Transistor

(FET) 送信増幅器のひずみ特性について検討を行い、以下の成果を得た。

(1) キャリアの相対位相については、2 波のキャリア入力時と 1 波のキャリア入力時とで、ほぼ同様な特性が得られる。

(2) 弱い非線形領域における  $IM_3$  の相対位相については、キャリアの相対位相とほぼ等しい値となる。この結果は、Volterra 級数展開に基づく解析結果と一致する。

(3) 飽和領域における  $IM_3$  の相対位相については、キャリアの相対位相に比べて非常に大きい値となる。この結果は、Discrete Fourier transform に基づく数値解析結果と一致する。

(4) 弱い非線形領域においては、 $IM_3$  は主に AM-AM 変換(出力振幅の線形入出力特性からのずれ)により発生するものの、飽和領域においては、AM-PM 変換(入力振幅に対する出力位相の変化)により発生する  $IM_3$  も AM-AM 変換で発生するものに対し無視できなくなることを見明らかにした。さらに、飽和領域における  $IM_3$  の相対位相が大きく変化するのには、AM-PM 変換による  $IM_3$  の発生のためであることを明らかにした。

[II] 弱い非線形領域における多数キャリア共通増幅器の相互変調ひずみ簡易計算法

この章では、多数キャリアを同時に増幅する共通増幅器のひずみ量を解析する手法について検討を行い、以下の成果を得た。

(1) 増幅器の入出力特性がほぼ線形とみなせる場合において、 $n$  キャリア増幅時の個別 3 次相互変調ひずみを、2 キャリア増幅時の  $IM_3$  の測定値から算出する簡易計算式を導出した。また、本式に基づいて、等周波数間隔に配置された  $n$  キャリア増幅時の重畳を考慮した 3 次相互変調ひずみの簡易計算式を導出した。キャリア数  $n$  を無限大とした時、重畳を考慮した相互変調ひずみは、2 キャリア増幅時の  $IM_3$  に比べて  $10\log_{10} (3/2)+6 \approx 7.76$  dB 大きな値に収束することを明らかにした。

(2) 線形性の良好な A 級動作の GaAsFET 増幅器を用いて  $n$  キャリア増幅時の 3 次相互変調ひずみ、および、 $n$  を無限大とした時の重畳を考慮した相互変調ひずみに相当する Noise Power Ratio (NPR) の測定を行った。測定値は、簡易計算式から求めた値とよく一致し、本計算法の妥当性を確認した。

[III] プリディストーション形等経路リニアライザを用いた低ひずみ送信増幅器

この章では、広帯域かつ良好な温度特性を持つ、プリディストーション (Predistortion) 形リニアライザ (Linearizer) について検討した。リニアライザ内の全ての経路において、通過する回路素子の種類、数が等しい等経路リニアライザの回路構成を考案した。本構成によれば、温度によらず、広帯域にわたり、

経路間の振幅差，位相差を一定に保つことができるので，従来に比べて，広帯域かつ，広い温度範囲で良好なひずみ補償特性が得られることを明らかにした。

#### [IV] 狭帯域ベースバンドループフィルタを用いたカルテジアンフィードバック低ひずみ送信機

この章では，高いひずみ補償特性を持つカルテジアンフィードバック (Cartesian feedback) 形送信機について検討した。フィードバックのループ利得が高いと，得られるひずみ補償量も高くなるが，ループ動作が不安定になる問題が対処するために，送信するベースバンド信号を帯域制限してしまう非常に帯域の狭いループフィルタ (Loop filter) を用いる回路構成を提案し，ループが安定で，かつ高いループ利得のカルテジアンフィードバック形送信機が実現できることを明らかにした。ループフィルタによりベースバンド (Base band) 信号を帯域制限しても，ループ利得が十分に高ければ，送信出力においては帯域制限の影響がないことを簡易モデルを用いて明らかにし，実験的にも送信出力の変調特性に問題がないことを確認した。

#### [V] BJT と MOSFET を混載した低雑音，低ひずみ Si-MMIC 受信フロントエンド

この章では，低雑音，低ひずみな特性を持つ Si-MMIC 受信機について検討した。Bipolar Junction Transistor (BJT) に比べて，Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET) は低いひずみ特性を持つことを解析，実験の両面から明らかにした。次いで，受信機全体として低雑音，低ひずみな特性となる，BJT と MOSFET を混載した Si-MMIC フロントエンド (Front-end) の回路構成を提案した。試作の結果，良好な雑音，ひずみ特性が得られることを示し，本回路構成の有効性を明らかにした。

#### [VI] 結論

以上，低ひずみな移動体通信用送受信機を実現するために必要となる，ひずみ解析法および低ひずみ送信機および低ひずみ受信機を実現する回路技術について行った研究成果を述べた。移動体通信の需要は，今後引き続き増大すると考えられており，これに対応するには，他の周波数帯の開拓も必要ではあるが，限られた周波数資源の有効利用は重要である。すなわちここで述べた送受信機の低ひずみ化技術は，移動体通信用端末，基地局のいずれについても適用可能な技術であり，ますますの発展が望まれる。