

学 位 論 文 題 名

トリプレート型電磁結合マイクロストリップアンテナ
の不要モード発生機構に関する基礎研究

学位論文内容の要旨

本論文は、トリプレート型電磁結合マイクロストリップアンテナ (Microstrip Antenna; 以下MSAと略する) において問題となる、パラレルプレートモード (Parallel Plate Mode; 以下PPMと略する) の発生機構を理論解析により考察し、その研究成果をまとめたものである。また、明らかにした発生機構を踏まえて、PPMの抑制法を提案し、理論解析ならびに実験により検証を行った研究成果についてもまとめた。

現代の高度情報化社会において、移動体通信は、「いつでも、どこでも」情報を受け取る、あるいは送り出すことのできる通信システムとして注目されている。情報の窓口としての移動体通信端末は、携帯電話、PHSに代表されるように、ビジネスユースのみならずパーソナルユースの需要が爆発的に増加している。このような移動体通信のパーソナル化に伴い、多機能化で小型な通信端末が要求される。

従来の無線通信システムでは、アンテナと送受信回路を別個の構成要素として取り扱うのが一般的であった。ところが、無線通信システムに対する多機能化・小型化の要求と、MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 技術の進展を受けて、アンテナと集積回路を一体化し、アンテナ側により多くの機能を分担させる動きが高まりつつある。このような流れの中で、MSAは、集積回路との一体化が容易なアンテナとして、重要な位置を占めている。

MSAは、誘電体基板とその上に印刷配線された放射素子 (パッチ) ならびに接地板により構成される。MSAと集積回路の一体化は、パッチが作成されたアンテナ基板、接地板、集積回路が作成された給電基板を積層化することにより実現できる。ここで、回路とパッチ間の信号伝達は、システムの信頼性、大量生産の観点から、接地板上の開口 (スロット) を介した電磁結合により行われることが望ましい。また、給電基板の下に接地板を配置したトリプレート構造は、新たに回路基板を配置することができるので、システムの多機能化に有利である。

しかし、トリプレート構造において電磁結合を用いると、スロットによりPPMが励振される。このとき、放射効率の低下、素子間の相互結合が問題となる。したがって、MSAと集積回路の一体化においては、PPMの発生機構を正確に把握し、その発生を抑制する手段を講じる必要がある。しかし、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの研究実績は少なく、これまで提案された抑制法も複雑なものが多い。

本論文ではこのような問題に対し、まずPPMの発生機構を把握するために必要となる、トリプレート型電磁結合MSAの解析法を示した。次に、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの発生機構を解析的に明らかにするとともに、PPMによる放射効率の低下、相互結合を最小限とするための指針を導いた。さらに、パッチの直列共振を利用した、PPMの抑制法を提案し、実験的にその有効性を検証した。

以下、本論文によって得られた結果および考察を各章に分けて要約し、その意義を述べる。

第1章では、本論文の背景ならびに概要を述べた。

第2章では、スペクトル領域モーメント法 (Spectral Domain Moment Method; 以下SDMMと略する) を用いたMSAの解析法を述べた。これは、境界条件より得られた積分方程式を、モーメント法により離散化して数値的に解き、アンテナ素子上の電磁流分布を得る手法であり、PPMの効果を厳密に解析できる。積分方程式を表現するために、Fourier変換領域における、Green関数の導出法を述べた。また、数値計算の効率化を目的として、SDMM適用時に生じるリアクション積分の積分区間軽減ならびに収束性改善法について考察した。さらに、SDMMにより得られた電磁流分布より、アンテナの各種特性量を評価する方法について述べた。

第3章では、SDMMを電磁結合MSAに適用し、定式化を行った。このとき、給電線路と励振機構のモデル化が必要になる。そこで、三通りの手法を用いた場合の定式化について詳細に論じた。さらに、本章の定式化をもとに、電磁結合MSAの入力インピーダンスを求め、実験結果と比較し、定式化の妥当性を確認した。

第4章では、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの発生機構について論じ、PPMの発生を最小限とするための指針を得た。第3章の定式化に基づき、アンテナの等価回路を集中素子で表し、PPM電力の周波数依存性を調べた。これより、PPMの発生量は、パッチの共振周波数(以下 f_0 とする)で最小になることを明らかにした。

PPMはスロットの電界で励振されることを示し、この電界とパッチの動作間について考察した。その結果、 f_0 ではパッチの直列共振により、スロットが短絡状態に近づき、電界が最小になるために、PPMが抑制されることを導いた。さらに、PPMの発生量はスロット長に依存しないことと、接地板間隔に反比例することを明らかにした。

第5章では、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの抑制法を提案した。第4章の結果に基づき、 f_0 でアンテナを動作させ、PPMの抑制法として応用する。このとき、 f_0 での入力抵抗は極めて低く、整合回路を用いる必要があることを示した。トリプレート線路の接地板間の電位差を測定し、PPMの発生量を実験的に評価した。提案した抑制法を用いれば、PPMによる電力損は、入力電力の65%程度から、1%程度にまで抑制された。その結果、本章で提案した抑制法の有効性が確認された。

さらに、2素子アレーアンテナとして、PPMによる相互結合ならびに利得を測定した。その結果、相互結合は40dB以上低下し、利得は4dB程度上昇することを明らかにした。したがって、本章の抑制法は、アレー構造においても、有効なPPM抑制法となることが示された。

第6章では、寄生ストリップを装荷したトリプレート型電磁結合MSAとその設計法を提案した。従来の構造では、 f_0 における等価回路が、抵抗とインダクタンスのRL並列回路となるので、入力抵抗はRよりも低い。一方、共振長よりも短いストリップをパッチの直下に配置すると、等価回路はRLC並列共振回路となる。この回路の共振周波数を f_0 に一致させ、インダクタンスを相殺すると、入力抵抗はRに上昇する。さらに、PPMの抑制効果は劣化しないことを確認した。したがって、第5章で提案した抑制法に応用すれば、整合回路の設計・製作が容易になる。

ストリップの寸法を変えることで、ストリップと整合回路の寸法誤差による悪影響を最小限にすることのできる寸法が存在することを確認した。また、トリプレート線路の中心導体が、スロットに近づくにつれて、入力抵抗は大きくなることを明らかにした。

第7章では、結論を述べ、論文全体の成果を要約した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 精 彦

副 査 教 授 小 柴 正 則

副 査 教 授 小 川 恭 孝

副 査 教 授 宮 永 喜 一

学 位 論 文 題 名

トリプレート型電磁結合マイクロストリップアンテナ の不要モード発生機構に関する基礎研究

本論文は、トリプレート型電磁結合マイクロストリップアンテナ (Microstrip Antenna; 以下 MSA と略する) において問題となる、パラレルプレートモード (Parallel Plate Mode; 以下 PPM と略する) の発生機構を理論解析により考察し、その研究成果をまとめたものである。また、明らかにした発生機構を踏まえて、PPM の抑制法を提案し、理論解析ならびに実験により検証を行った研究成果についてもまとめた。

高度情報化社会において、移動体通信は、「いつでも、どこでも」情報を受け取る、あるいは送り出すことのできる通信システムとして注目されている。情報の窓口としての移動体通信端末には多機能化・小型化が求められている。このような要求と、MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 技術の進展を受けて、アンテナと集積回路を一体化し、アンテナ側により多くの機能を分担させる動きが高まりつつある。このような流れの中で、MSA は、集積回路との一体化が容易なアンテナとして、重要な位置を占めている。

MSA と集積回路の一体化は、放射素子 (パッチ) が作成されたアンテナ基板、接地板、集積回路が作成された給電基板の積層化により実現できる。回路とパッチ間の信号伝達は、接地板上の開口 (スロット) を介した電磁結合が望ましい。また、給電基板の下に接地板を配置したトリプレート構造は、新たに回路基板を配置でき、多機能化に有利である。

しかし、トリプレート構造にて電磁結合を用いると、PPM が発生する。このとき、放射効率の低下、素子間の相互結合が問題となる。したがって、MSA と集積回路の一体化においては、PPM の発生機構を正確に把握し、その発生を抑制する手段を講じる必要がある。

本論文ではこのような問題に対し、まず PPM の発生機構を把握するために必要となる、トリプレート型電磁結合 MSA の解析法を示した。次に、トリプレート型電磁結合 MSA における PPM の発生機構を解析的に明らかにするとともに、PPM による放射効率の低下、相互結合

を最小限とするための指針を導いた。さらに、パッチの直列共振を利用した、PPMの抑制法を提案し、実験的にその有効性を検証した。以下に本論文の構成を示す。

第1章では、本論文の背景ならびに概要を述べた。

第2章では、スペクトル領域モーメント法 (Spectral Domain Moment Method ; 以下SDMMと略する) を用いたMSAの解析法を述べた。これは、境界条件より得られた積分方程式を、モーメント法により離散化して数値的に解き、アンテナ上の電磁流分布を得る手法であり、PPMの効果を考慮した解析ができる。

第3章では、SDMMを電磁結合MSAに適用し、定式化を行った。

第4章では、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの発生機構について論じ、PPMの発生を最小限とするための指針を得た。第3章に基づき、アンテナの等価回路を導き、PPM電力の周波数依存性を調べた。これより、PPMの発生量は、パッチの共振周波数(以下 f_0 とする) で最小になることを明らかにした。PPMはスロットの電界で励振されることを示し、この電界とパッチの動作間の関係について考察した。その結果、パッチの直列共振により、スロットが短絡状態に近づき、電界が最小になるため、PPMが抑制されることを導いた。

第5章では、トリプレート型電磁結合MSAにおけるPPMの抑制法を提案した。ここでは、 f_0 でアンテナを動作させ、第4章の結果をPPMの抑制法として応用する。このとき、 f_0 での入力抵抗は極めて低く、整合回路を用いる必要があることを示した。線路の接地板間の電位差を測定し、PPMの発生量を実験的に評価した。その結果、本章で提案した抑制法の有効性が確認された。また、2素子アレーについて、PPMによる相互結合の抑制を確認した。

第6章では、寄生ストリップを装荷したトリプレート型電磁結合MSAを提案した。共振長よりも短いストリップをパッチの直下に配置すると、 f_0 での等価回路はRLC並列共振回路となる。共振周波数を f_0 に一致させ、インダクタンスを相殺すると、入力抵抗は上昇する。このとき、PPMの抑制効果は劣化しないことを確認し、第5章の抑制法に応用すれば、整合回路の設計・製作が容易になることを示した。

第7章では、結論を述べ、論文全体の成果を要約した。

これを要するに、著者は、トリプレート型電磁結合マイクロストリップアンテナのパラレルプレートモード発生機構ならびにその抑制に関する有益な知見を得たものであり、アンテナ工学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。