

論文の内容の要旨

氏名 渡辺 (安部) 素実

本研究では、アレーアンテナ給電回路の低損失化・広帯域化・小型化・低コスト化に関わる技術課題を解決し、通信システムなどの高機能化・通信容量向上などに貢献することを目的としている。アレーアンテナシステムは、狙ったエリアのみに選択的に電波を送信する技術である。送信信号を適切な位相差と強度比をもつよう分配し、それぞれ配列されたアンテナ素子に供給すると、各アンテナ素子からの放射電波の合成により、所望の送信ビームを形成させることができる。アレーアンテナ用給電回路は、この送信信号の分配と供給の部分を担当する回路であり、アレーアンテナシステムの性能を決める肝の部分といえる。その適用は、通信衛星搭載用トランスポンダ、地上および海上の長距離通信を主として広まり、最近では、次世代携帯電話システム、気象等のレーダシステム、さらには一部のワイヤレス電力伝送システムに及ぼうとしており、その重要性は非常に高まっている。この広範囲の普及をさらに推進するためには、アレーアンテナ給電回路の低損失化・広帯域化・小型化・低コスト化が必須であり、本研究は衛星搭載トランスポンダシステムへの応用を先ずは念頭に置き、給電回路構成のための要素回路技術を進展させたものである。

第1章は序論であり、本研究の背景・目的・意義を示している。

第2章では、ブロードサイド結合線路型カプラの密結合化技術を低損失・高耐電力の観点から衛星搭載アンテナ給電回路への適用要求が高い方形同軸線路を検討対象線路として行った研究を示している。マルチビーム形成給電回路として適している小型なハイブリッドマトリクスを実現すべく、ブロードサイド結合線路型カプラで形成した 90° ハイブリッドを導入した。ただし従来回路のままでは、衛星搭載アンテナ給電回路に特有の真空放電回避の観点で、結合線路間隔に制限が発生し、結果として所望の結合度3dBが得られない。そのため密結合化と高アイソレーション化を同時に得るべく集中定数素子を導入した回路構成を考案し、この実現回路としてスタブを結合線路近辺に適切に装荷した立体構造を提案した。試作実験により所望の特性が得られることを実証している。さらに本カプラを適用したハイブリッドマトリクスを検討して当該構造の妥当性を検証している。

第3章では、エッジ結合線路型カプラの密結合化・高アイソレーション化技術を、多層形成不可であるが製造精度に優れるアルミナ基板を適用したマイクロストリップ線路型回路に適用している。マイクロストリップ結合線路の高アイソレーション化のために結合線路内エッジにスロットを設けて偶・奇モードの位相速度を揃えているが、そのため疎結合化し所望の結合度が得られない。そこで $1/4$ 波長結合線路の線路間隔は一定に保ち、部分的に結合線路幅を狭くする構造を提案し、他部品を装荷することなく反射を劣化させることなく、密結合化し所望の結合度を得る

ことに成功した。

第4章では、多段エッジ結合線路型カプラの高密結合化・高アイソレーション化技術を、高密度実装でき小型化可能であるため需要の高い多層樹脂基板を適用したストリップ線路型回路に適用した。樹脂基板に形成する導体パターン幅・間隔の製造限界により導出される結合度限界値が十分でないため、多段カプラの最密結合段の結合線路が形成される層の上下層に浮遊導体を設けて所望の結合度を得る構造を検討している。当該構造は、段間や浮遊導体装荷による不連続部により偶・奇モードの位相速度差が生じる。そこで多段カプラの最疎結合段の結合線路間にグラウンドビアを装荷する構造を提案し、密結合化と高アイソレーション化を行った。

第5章では、ブランチライン形カプラの小型化・広帯域化技術を、高密度実装でき小型化可能であるため需要の高い多層LTCC基板ストリップ線路型回路に適用した。広帯域化のため外部整合回路を装荷し、小型化のため当該整合回路の一部を集中定数化、その過程で生じた製造困難な並列容量を近隣の線路と等価回路上で合成することで消去する手法を提案している。

第6章では、ブランチライン形カプラの小型化技術および低価格化技術を、低損失な線路であるため汎用性の高い導波管型回路に適用した。導波管型回路の試作には、複雑形状の一体形成や軽量化、製造期間・製造コストの削減に適した金属3Dプリンタを利用し、比較的高い製造精度が得られる粉末床溶融結合法を導入した。ただし当該手法は、造形品の積層面に水平な面を形成するのが困難であるため、導波管断面形状に水平面のない六角形導波管構造とするアイデア考案し、それによるブランチライン形カプラの設計手法を確立した。また当該六角形導波管ブランチライン形カプラを金属3Dプリンタと機械切削を用いて製造して比較検討を行っている。

第7章では、異種線路変換器の小型化技術を、導波管に複数のプローブを挿入することにより構成された分配器に適用した。同軸プローブ導波管変換器に対して、導波管狭壁面からプローブ挿入し、その先端を基板上の導体パターンで短絡する構造を提案し、当該変換器を適用して小さな8分配器を検討している。

最後に8章の結論で、以上の要素技術を組み合わせることによって実現できる給電回路全体の高性能化について述べ、さらにはマイクロ波回路設計技術全体の底上げに寄与できることを述べている。