

氏 名	REN BAOPING
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	博理工甲第 1128 号
学位授与年月日	平成 31 年 3 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Compact Multi-Band Differential Bandpass Filters and Diplexers Based on Multimode Resonators (マルチモード共振器を用いた小型マルチバンド差動型帯域通過フィルタとダイプレクサに関する研究)
論文審査委員	委員長 教 授 馬 哲旺 委 員 准 教 授 大平 昌敬 委 員 准 教 授 木村 雄一 委 員 教 授 明連 広昭

論文の内容の要旨

In modern RF/microwave front-ends of transceivers, RF/microwave filters and diplexers are key passive components for realizing high performance of the systems. In recent years, differential circuits have attracted much attention because of their ability of rejecting common-mode (CM) noise and increasing significantly the immunity and sensitivity of communication systems.

In this dissertation, novel microstrip dual-mode, quadruple-mode, and sext-mode resonators are proposed, and by using these resonators, four compact multi-band differential bandpass filters (BPFs) and one diplexer are developed to meet the increasing demand for high-immunity and high selectivity BPFs in future communication systems.

First, a novel stepped-impedance square ring loaded resonator (SRLR) with quadruple-mode resonant characteristics is proposed. Compared with conventional SRLRs, the new stepped-impedance SRLR can provide one more design freedom to reach a large frequency separation between differential-mode (DM) resonances and common-mode (CM) resonances, and this is very important in the design of multi-band differential BPFs with high CM noise suppression. Moreover, the frequency discrepancy technique is applied in the filter design to separate the CM resonances in adjacent resonators so that the transmission of CM signals is weakened, and the CM suppression is increased. By using the new quadruple-mode stepped-impedance SRLRs, a compact second-order dual-band differential BPF is developed. Source-load coupling after adding two short microstrip lines is introduced to produce multiple transmission zeros and improve significantly the frequency selectivity of DM passbands. The experimental results agree well with the design simulation, which verifies well the proposed structure and design method.

Next, by loading two additional open-circuited stubs to the above SRLR, a new sext-mode stepped-impedance SRLR is obtained. The new resonator has six resonant modes, including three DM resonances and three CM resonances. The operating mechanism of these resonances are investigated by using the even- and odd-mode method and simulation techniques. Three DM resonances are used to configure a second-order tri-band differential BPF. The filter is fabricated,

and the measured frequency response agrees well with the theoretical prediction and verifies the proposed resonator and design concept.

The measured passband insertion losses in the above second-order filters are relatively large (about 1 ~ 2 dB) because of the relatively large surface resistance of copper film commonly used in planar microwave circuits. To overcome this problem, the high-temperature superconducting (HTS) techniques are introduced in developing multi-band BPFs, because the HTS film has a surface resistance two- to three- order lower than the normal copper film at low microwave frequencies. In this dissertation, a fourth-order HTS dual-band differential BPF is developed using modified SRLRs, and its measured passband insertion loss is better than 0.16 dB. An eighth-order HTS dual-band differential BPFs is developed using symmetric-stub-loaded resonators, and its measured passband insertion loss is better than 0.35 dB. In the design of these two filters, independent control of both the midband frequencies and the bandwidths of the two passbands are achieved. Benefiting from the HTS technology and the precise design, the fabricated filters show excellent performance such as extremely low insertion loss, high frequency selectivity, and deep CM suppression, which are not realizable using normal conductor substrates.

Finally, a compact 2.45/3.45 GHz diplexer is developed by using a novel hybrid resonant structure. The proposed structure consists of a microstrip stub-loaded dual-mode resonator (MSLDR) and a slotline stub-loaded dual-mode resonator (SSLDR). These two dual-mode resonators are placed on the top and bottom layer of a substrate, respectively, forming two separate signal channels of the diplexer. No matching network is required in the circuit, which simplifies the design of the diplexer, and reduce significantly the circuit size.

論文の審査結果の要旨

本学位論文審査委員会は、平成 31 年 2 月 18 日に論文発表会を開催し、論文発表、質疑応答および論文内容の審査を行った。以下に審査結果を要約する。

電磁波周波数資源の効率的な利用および高品質な通信サービスを実現するために、マイクロ波フィルタやダイプレクサはパッシブ回路素子として、無線通信システムにおいて極めて重要な役割を果たしている。近年、様々な無線通信技術およびサービスの急速な発展にともない、ディファレンシャル回路は通信システムのノイズを著しく低減し、妨害電磁波に対する耐性を高め、送受信感度を大きく向上できる技術として注目を浴びている。

本学位論文では、新しいマイクロストリップマルチモード共振器を提案し、それらを用いて、四種類の小型マルチバンドディファレンシャル帯域通過フィルタ (BPF) と 1 つのダイプレクサを設計、試作した。また、無線通信技術への応用が期待されている高温超電導 (HTS) 技術を用いて、多段デュアルバンドディファレンシャル BPF を設計、試作し、極めて優れた回路特性を実現した。

本学位論文の構成と内容は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景、現状と目的、および論文の構成を述べた。

第 2 章では、マイクロ波フィルタの基礎設計手法、高温超電導 (HTS) 薄膜と代表的な極低損失誘電体基板材料の電気特性等を記述した。

第 3 章では、マイクロストリップスタブ付きステップインピーダンスリング型 4 モード共振器 (SI-SRLR) と 6 モード共振器を提案し、偶 / 奇モード理論に基づき、詳細なモード解析を行ったうえで、周波数を自由に制御できるディファレンシャルモードを利用し、デュアルバンドディファレンシャル BPF とトリプルバンドディファレンシャル BPF をそれぞれ設計した。マイクロストリップ線路とスタブを折り曲げることで、フィルタを小形にすることができた。また、フィルタの入出力線路間に結合を導入することにより、フィルタの阻止域に複数の伝送零点を生成し、さらに、コモンモードを抑制する構造を設けた。最後に設計、試作、測定したフィルタは、小型で急峻な周波数選択性等の特性を実現した。

第 4 章では、高温超電導技術を利用して、4 段および 8 段のデュアルバンドディファレンシャル BPF を設計試作し、より優れたフィルタ特性を実現した。通常の銅箔を利用したマイクロストリップ共振器の基本モードと高次モードを用いて設計・製作したマルチバンド BPF は、段数の増加に伴い、通過域における挿入損失が著しく大きくなってしまふ等の問題点がある。一方、高温超電導薄膜は数ギガヘルツの無線通信周波数帯で、通常の銅箔と比べ、3 桁以上の低損失特性を持つため、高性能な電子デバイス材料の 1 つとして注目されている。本章では、HTS YBCO 薄膜と MgO 誘電体基板を用いて、設計自由度を改良したマルチモード共振器とフィルタ構造を提案し、さらに、マルチパスによる信号干渉構造とコモンモードを抑制する構造を導入し、4 段と 8 段のデュアルバンドディファレンシャル BPF を設計、試作した。測定した結果、極めて低損失、高い周波数選択性、大きな減衰量と言った従来の常温金属回路で達成できない優れたフィルタ特性を実現した。

第 5 章では、小形でハイブリッド構造を持つダイプレクサを提案した。誘電体基板の表面に、マイクロストリップスタブ付きデュアルモード共振器、同基板の裏面に、スロットラインスタブ付きデュアルモード共振器を利用し、2.45 GHz と 3.45 GHz の信号をそれぞれ通過させるダイプレクサを設計した。従来のダイプレクサの設計に必要なマッチング回路が不要となり、提案したダイプレクサは小形となり、設計と調整の難易度も大きく低減された。試作、測定したダイプレクサは所望の周波数特性を示した。

第6章では、本研究から得られた成果と結論をまとめ、今後の研究動向と課題を展望した。

本学位論文の研究成果は、将来無線通信システムへの応用が大きく期待されているマイクロ波ディフュゼンシャル回路および高温超電導マルチバンドフィルタに関するもので、理論と実用上の貢献度が極めて高い独創的な研究成果である。なお、本論文の主な内容は、すでにIEEE Access, IEICE Electronics Express, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Electronics Letters, などの該当分野トップレベルの国際誌を含め、5編査読付きのジャーナル論文と2編査読付きのプロシーディングス論文に掲載されている。

以上より、学位論文審査委員会は、本論文が博士（工学）の学位論文としてふさわしいものであると認め、合格と判定した。