

博士学位論文要旨等の公表

学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条に基づき、当該博士の学位の授与に係る論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

氏名	松下 健治
学位の種類	博士（理工学）
報告番号	甲第13号
学位授与の要件	学位規程第4条第2項該当
学位授与年月日	平成22年3月20日
学位論文題目	「不均一伝送線路を用いた周期構造 バンドストップフィルタに関する研究」
論文審査委員	主査 教授 浜中 宏一 委員 教授 川瀬 正明 委員 教授 山林 由明 委員 准教授 福田 誠

学 位 論 文 要 旨

光科学研究科 光科学専攻

氏 名： 松下 健治

不均一伝送線路を用いた周期構造バンドストップフィルタに関する研究

不均一伝送線路 (non-uniform transmissionline) は、伝送線路の形状または誘電率が伝搬方向に沿って連続的に変化する伝送線路である。この不均一伝送線路はプリント基板やIC内部の配線などに使用されており、この伝送特性を調べることによって、より正確な回路特性の解析 (シミュレーション) が可能となる。一方で、周期構造フィルタは、導波管や同軸線路などで構成されており、それらの伝送線路にスタブと呼ばれる枝分かれした線路を接続した構造や、インピーダンスステップと呼ばれる伝送線路形状の異なる階段状の伝送線路を相互接続することによって、任意の特性を持つフィルタを実現している。そこで、これらの技術を応用し、任意の特性を持つバンドストップフィルタを設計することを目的として、まず一次関数形状のマイクロストリップライン型不均一伝送線路を用いた周期構造フィルタについて研究を行った。周期構造フィルタの設計は、まず周期構造フィルタの周期 Λ を算出する必要がある。周期構造フィルタは、いわゆるブラッグ反射構造を有しており、この構造は特定の周波数において入射波を入射方向と正反対の方向に反射するため、バンドストップフィルタとして動作する。ブラッグ反射条件より、このフィルタの周期 Λ とストップバンドの中心周波数 f_m との関係は、マイクロストリップラインの実効比誘電率 ϵ_{reff} と真空中の光速 c_0 を用いて、次のように表すことができる。

$$\Lambda = \frac{c_0}{2f_m \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}, \quad (1)$$

実際にフィルタを作製する基板には、松下電工のR-4726を選択した。この基板の誘電率 ϵ_r は2 GHz において3.4である。すると、中心周波数 f_m を5.2 GHzと設定した場合、(1)式よりフィルタの周期 Λ はおよそ17.6 mmとなる。このようにして設計・作製した一次関数形状不均一伝送線路周期構造フィルタは、周期数が一定ならば広端の線路幅 w_1 と狭端の線路幅 w_2 の比、すなわち特性インピーダンス比を変化させることによってのみ特性が変化し、特性インピーダンス比が大きくなるに伴って、帯域幅、減衰率、リップルなどの値も大きくなっていくことが判った。このことから、これらのフィルタ特性は使用する基板の物理的寸法や誘電率などの条件のもとで特性インピーダンス比が実現可能である範囲内に制限されてしまうことが判った。この問題を解決するために、本研究では、世界初の試みとして線路幅を決定する関数としてフェルミーディラック関数を採用した。フェルミーディラック関数においては線路の特性インピーダンス比だけでなく、線路形状を制御する為のパラメータを導入することができるため、このパラメータによってフィルタ特性の取り得る範囲を広げることができ、任意の帯域幅と減衰率を有するバンドストップフィルタが得られると期待される。図1にフェルミーディラック関数のパラメータを変化させたときの不均一伝送線路の形状変化を示す。パラメータ K の変化によって線路の形状が一次関数形状からステップ関数形状へ

と連続的に変化する様子が見て取れる。また、線路幅を決定する関数 $w_{fzm}(x)$ を、周期 Λ とフェルミ-ディラック関数を使って次のように設定した。

$$w_{fzm}(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{w_d(x)}{w_d(0)} + 1 \right) (w_1 - w_2) + w_2, \quad w_d(x) = \left(1 + \exp \left[K \left\{ \frac{\ln 99}{\Lambda/4} x - \ln 99 \right\} \right] \right)^{-1}, \quad (2)$$

ただし、 x は伝送方向の長さ、 K は形状を決定するパラメータである。(2)式のパラメータ K を変化させることによって、フィルタのパターン形状は前述のように一次関数からステップ関数まで変化し、伝送特性である S_{21} についても、双方の特性の間で変化することが予想された。このパラメータ K に対する伝送特性の変化について計算結果と測定結果を図2に示す。黒線が測定結果であり、灰線が計算結果である。このように設計とほぼ同じ5.25GHzの中心周波数で、帯域幅が3.58GHzのバンドストップフィルタを得ることができた。またパラメータ K を変化させることによって、フェルミ-ディラック関数形状フィルタは、予測通り一次関数形状とステップ関数形状を用いたフィルタの特性の間で変化し、設計可能な範囲を広げること成功した。

さらに、図3に示す多導体伝送線路をこの周期構造フィルタに利用することによってフィルタを小型化することにも成功した。これはグラウンド導体にスロットと呼ばれる間隙を設けることによって、スロットが存在する箇所と存在しない箇所との特性インピーダンスとの比が通常の二導体マイクロストリップラインと比較して大きくなることを利用したフィルタである。特性インピーダンス比が大きくとれるため、従来のフィルタに比べて半分の段数で同等の特性を得ることができた。さらに、図4に示すように、基板幅に関して特性の比較を行ったところ、基板幅 w_b を従来の29.7mmから14.85mmにしても特性に大きな変化がなかったことから、従来の周期構造フィルタと比較して同等の特性を有しながら基板サイズを面積比で3分の1に減少させることが可能である事が判った。

以上、不均一伝送線路を周期構造フィルタに利用することによって、設計可能なフィルタ特性の範囲を広げ、任意の特性を持つバンドストップフィルタを作製する事が可能となった。また、多導体不均一伝送線路を利用することによって従来よりもフィルタサイズを減少させることに成功し、共振器やカプラなどのへの応用が期待できる。

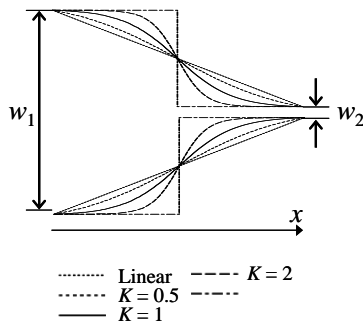


図1 パラメータ K に対する形状の変化

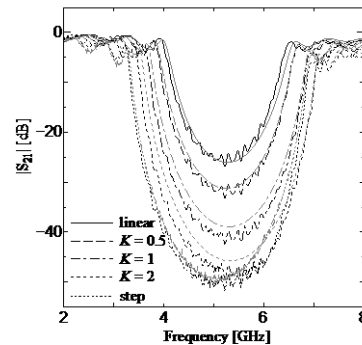


図2 パラメータ K に対する $|S_{21}|$ の変化

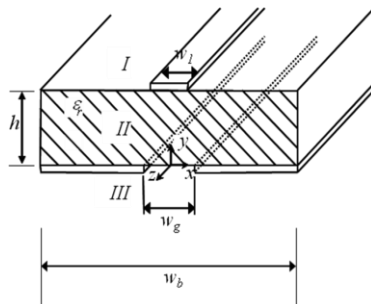


図3 多導体伝送線路

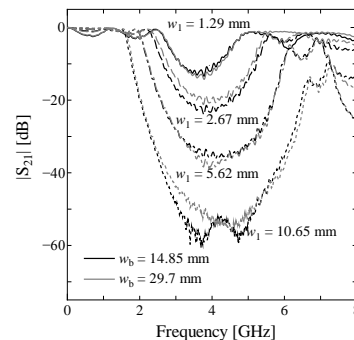


図4 スロット装加バンドストップフィルタ

論文審査の結果の要旨

本研究は、周期構造を用いた新規な高周波広帯域のバンドストップフィルタの設計を目指して、(1) ステップ関数を用いた周期構造フィルタの特性解析およびフィルタの評価に関する研究、(2) フェルミ-ディラック関数を伝送線路の形状決定関数としたフィルタに関する研究、(3) 多導体伝送線路を用いたフィルタに関する研究を行った。

(1) ステップ関数を用いたフィルタについては、周期構造を微小伝送線路に分割してそれぞれの ABCD 行列を求め、それらを乗算することによってフィルタ全体の周波数特性を短時間に解析する手法を提案した。その解析結果を用いて実際にフィルタ基板を製作したところ、設計通りに中心周波数 5.2GHz、バンド幅 3.58GHz の広帯域のバンドストップフィルタを実現した。

(2) 次に、フィルタの設計の自由度を拡張すべく、不均一伝送線路の幅を決定する関数としてフェルミ-ディラック関数を採用し、(1) で示した解析手法を用いてバンドストップフィルタを設計した。その結果、フェルミ-ディラック関数を用いたフィルタでは、一つのパラメータを変化させることによって、フィルタの特性を、一次関数形状のフィルタとステップ関数形状のフィルタの間で連続的に変化させることに成功した。通常、フェルミ-ディラック関数は統計物理学で用いられる関数であるが、この関数をフィルタの形状を決定する関数として応用したところが、この研究のユニークなところである。

(3) 以上の研究結果から、伝送線路のインピーダンス比を大きくすることによってフィルタ特性が向上することが判明したので、多導体の不均一伝送線路を用いてフィルタを設計した。その結果、上記のフィルタのおよそ 1/4 の面積で同等の性能が得られることが判明し、実用的なフィルタを目指すために欠かせない小型化にも道を拓いた。

発表終了後に、参加された先生方より多くの質疑をいただいた。主な内容としては、①解析に関すること、②多導体伝送線路の原理に関すること、③本研究の実用化に関することなどであった。申請者は、これらの質問に対して的確に回答し、有意義な議論となった。

以上の結果から、本論文は千歳科学技術大学大学院学則第25条および千歳科学技術大学学位規程の定めるところにより、博士(理工学)の学位を授与するに十分との結論に達した。