幅変化にフェルミ関数を用いた不均一伝送線路周期構造フィルタ

正 員 松下 健治* 非会員 福田 誠*

正 員 浜中 宏一*

Filter Circuit with Periodically Arranged Nonuniform Microstriplines Having Linewidths Determined by Fermi-Dirac Distribution Function

Kenji Matsushita*, Member, Makoto Fukuda*, Non-member, Kouich Hamanaka*, Member

In this paper, a broadband bandstop filter consisting of periodically arranged nonuniform microstriplines is presented. The Fermi-Dirac distribution function is used for determining the linewidth of the microstriplines. The advantage of using this function is that the shape of the transmission line can be varied by varying a parameter of the function. Calculation and measurement results showed that the filter provides frequency characteristics between those obtained by using a step function and those obtained by using a linear function. As a result, broadband bandstop filter with a center frequency of 5.25 GHz and bandwidth of 3.58 GHz was obtained.

キーワード：バンドストップフィルタ, フェルミ・ディラック関数, 周期構造, 不均一伝送線路

Keywords: bandstop filter, Fermi-Dirac distribution function, periodic structure, nonuniform microstripline.

1. まえがき

不均一伝送線路はプリント基板や IC 内部の配線などに多く含まれており, その伝送特性を知ることによって, より正確な回路特性の解析が可能となる。そのため現在においても, その伝送特性を得るための新しい解析方法が提案されている⁽¹⁾。一方, 周期構造フィルタについても, 古くは導波管を用いたフィルタなどが知られており, 各種フィルタが実現されている。そこで, これらのシミュレーション技術を一次元の周期構造をもつフィルタ回路の解析に応用し, 広帯域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, これまでに一次関数を用いて線路形状を変化させた不均一線路によるフィルタについて研究を行ってきた⁽²⁾。しかし, この形状のフィルタでは, 不均一線路の広端の線路幅 w_1 と狭端の線路幅 w_2 の比 (特性インピーダンス比) を変化させることによってのみフィルタの特性が変化し, その比の値が実現可能である範囲は使用する基板の物理的寸法や誘電率によって制約を受ける。この問題を解決するために, 本研究では, 線路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, 特性インピーダンス比だけではなく, 線路の形状を制御するパラメータを導入した。これによって帯域幅と減衰率について設計の自由度が増すことが期待される。

2. 設 計

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, 特定の周波数において入射電力を反射するバンドストップフィルタとして動作する。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, 実効比誘電率 ϵ_{eff} 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。

$$\Lambda = \frac{c_0}{2f_m\sqrt{\epsilon_{eff}}} \dots\dots\dots(1)$$

回路の製作に使用した基板 (松下電工 R4726) は比誘電率 $\epsilon_r = 3.4$, 基板厚 $h = 1.2\text{mm}$, 導体厚 $t = 18\mu\text{m}$ であるから, f_m を 5.2GHz と設定した場合, Λ は 17.6mm となる。また, 線路の幅を決定する関数 $w_i(x)$ を, フェルミ・ディラック関数を使って次のように設定して数値解析を行った。

$$w_i(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{w_d(x)}{w_d(0)} + 1 \right) (w_1 - w_2) + w_2, \dots\dots(2)$$

$$w_d(x) = \frac{1}{1 + \exp \left[a \left\{ \frac{\ln 99}{\Lambda^4} x - \ln 99 \right\} \right]} \dots\dots\dots(3)$$

ここで, x は伝送方向の座標を, a は線路の形状を決定するパラメータをそれぞれ表す。この a を変化させることによって, フィルタのパターン形状を一次関数からステップ関数まで連続的に変化させることができるので, 伝送特性である S_{21} の周波数特性についても, 双方のパターン形状をもつフィルタの間で連続的に変化させることができる。

* 千歳科学技術大学
〒 066-8655 北海道千歳市美々 758-65
Chitose Institute of Science and Technology
Bibi 758-65, Chitose, Hokkaido 066-8655

Fig. 1. Shapes of nonuniform microstriplines described in equations (2)–(3).

Fig. 2. Frequency characteristics at various values of a ($p = 6$, $w_1 = 2.65$ mm, $w_2 = 0.2$ mm).

Fig. 3. Measured bandwidth for the filters versus characteristic impedance ratio for various values of the parameter a ($f_m = 5.2$ GHz, $w_1 = 2.7$ mm).

Fig. 4. Measured maximum attenuation for the filters versus characteristic impedance ratio for various values of the parameter a ($f_m = 5.2$ GHz, $w_1 = 2.7$ mm).

3. 計算と測定

パラメータ a に対する伝送特性の変化について、計算と測定を行った。伝送特性を計算する方法⁽²⁾は、不均一伝送線路を微小な伝送線路に分割し、それぞれの ABCD 行列を乗算して一周期 Λ 分の特性を計算する。それを周期数 p (ここでは 6 とした) だけ乗算することによってフィルタ全体の特性を求め、最後に S 行列に変換した。測定にはベクトルネットワークアナライザ (アドバンテスト R3767CG) を用いた。パラメータ a に対する周波数特性の変化を Fig. 2 に示す。黒色の線が測定結果であり、灰色の線が計算結果である。中心周波数 5.25GHz (設計値 5.2GHz) で、帯域幅が最大で 3.58GHz のバンドストップフィルタを得ることができ、また、パラメータ a を変化させることによって、一次関数形状とステップ関数形状をもつフィルタの間の特性を連続的に実現できる事を確認した。さらに、特性インピーダンス比とパラメータ a を独立に変化させることによって、Fig. 3, Fig. 4, のようにフィルタの帯域幅、最大減衰率の範囲を広げることができた。

4. まとめ

伝送線路がフェルミ・ディラック関数に従って変化する不均一伝送線路を用いた周期構造を持つバンドストップフィルタについて、その特性を数値解析するとともに実際に回路を作製した。その結果、関数内のパラメータを操作する事によってパターン形状とフィルタの帯域幅と減衰率を連続的に変化させることに成功した。

(平成 21 年 7 月 2 日受付, 平成 21 年 8 月 18 日再受付)

文 献

- (1) M.H. Eghlidi, K. Mehrany, and B. Rashidian: *IEEE Trans. MTTs-54*, No.12, (2006-12)
- (2) K. Matsushita and M. Fukuda: *IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering*, Vol.5, No.1, (to be published)

Fig.1 にフェルミ・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半周期分の形状変化を示す。