マイクロストリップ線路共振器を用いた小型広帯域BPF

Compact Wide-Band BPF Using Microstrip-Line Resonators

西村	太*	•	笹部	孝司*	•	和田	光司**
Futosh	i Nishim	ura	Kohji S	asabe		Kouji V	Vada

電磁界シミュレーションを活用し、両端開放型の分布定数タップ結合型共振器と先端短絡スタブを併 用する共振器、および擬似LC並列共振回路を組み合わせてマイクロストリップ線路で形成する小型広 帯域バンドパスフィルタを開発した。また、試作基板モデルの伝送特性を実測した結果、通過帯域近傍 の両側に減衰極を有するとともに広帯域な通過特性が得られることを確認した。さらにサイズも、両端 開放型と一端接地型の分布定数タップ結合型共振器を組み合わせたものと比較して約36%の小型化を 実現した。

A compact wide-band bandpass filter (BPF) has been developed by combining open-ended distributed tap-coupling microstrip-line resonators with short-ended stub and a quasi LC parallel resonant circuit while examining the characteristics with an electromagnetic field simulator. The measured transmission characteristics of the prototype circuit model prove the wide-passband characteristics with an attenuation pole located on each side of the passband. The developed BPF is approximately 36 %more compact than the one combining open-ended and short-ended distributed tap-coupling microstrip-line resonators.

1. まえがき

現在,高速無線通信技術の一つとして注目されている超 広帯域無線通信システムへの利用を目的として,広帯域通 過特性を有するバンドパスフィルタ(以下,BPFと記す) の研究開発が国内外で盛んに行われている^{1)~4)}。しかし, BPF は適用される無線通信システムによって利用周波数や 通過帯域幅,要求される帯域外減衰特性などの仕様が異な ることから,それぞれに対応する形で広帯域 BPF 特性の 実現,通過帯域幅の制御,サイズの小型化,および低コス ト化などの検討が盛んに行われている。

筆者らは、高周波プリント基板上にマイクロストリップ 線路でパターン形成した分布定数タップ結合型共振器を用 いた広帯域な通過特性を有する BPF の伝送特性実現のた めに検討を進めており^{5)~7)}、これまでの結果から、通過 帯域幅および通過帯域近傍への減衰極の実現、さらにそれ らの配置位置を容易に制御できることを確認している。ま た、このタップ結合共振器を用いた BPF は、広帯域化の ほかに減衰極による急峻な減衰特性の実現、さらには高周 波プリント基板上にパターン形成した平面回路での構成な どが特徴として挙げられる。 本稿では、約3~4 GHzの通過帯域周波数において、 広帯域な通過特性および減衰極による急峻な減衰特性を有 する平面型のマイクロストリップ線路 BPF の小型化の可 能性について検討し、汎用的に利用されるプリント基板材 料を用いて実際に広帯域マイクロストリップ線路共振器 BPF を試作して伝送特性を検証している。以下に、その内 容について報告する。

2. 分布定数タップ結合型共振器

広帯域 BPF を構成するマイクロストリップ線路共振器 として、分布定数タップ結合を用いた両端開放型共振器、 および一端接地型共振器の共振特性について、汎用の3次 元電磁界シミュレータを用いて検討を行う。図1に各共振 器の構成パターン図を示す。各共振器は、マイクロストリッ プ線路構造で、使用するプリント基板材料には比誘電率 4.8、基板厚み0.8 mm、銅箔厚み18 µmのFR4の使用を 想定している。また、図1 (b)の一端接地型共振器にお いて、スタブ線路の端部を接地するために、内径0.3 mm のビアを用いてプリント基板表面の共振器パターン導体と 基板裏面のグランド面とを接続している。

^{* (}株) 松下電工解析センター Matsushita Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

^{**} 電気通信大学 電子工学科 Department of Electronic Engineering, The University of Electro-Comunications



(a) 両端開放型マイクロストリップ線路共振器



(D) 一端接地型マイクロストリック線路共振器

図1 分布定数タップ結合型共振器

2.1 両端開放型マイクロストリップ線路共振器

図1(a)の両端開放型マイクロストリップ線路共振器 において、スタブ線路の長さl_{s1}を1mm,3mm,および7 mmに変化させたときの共振特性のシミュレーション結果 を図2(a)に示す。スタブ線路を長くすることにより減 衰極が周波数の低域側にシフトしている。また、2次の減 衰極(以下,2nd Pole と記す)のほうが1次の減衰極(以 下、1 st Pole と記す)よりも周波数の低域側への変化が大 きいため、通過帯域幅が狭くなっている。

タップ線路の長さ l_{t1} を 4 mm, 6 mm, および 10 mm に 変化させたときの共振特性のシミュレーション結果を図 2 (b) に示す。スタブ線路の長さを変化させたときの変化傾 向と同様、タップ線路を長く設定することによって、減衰 極は周波数の低域側にシフトしている。周波数の低域側へ の変化幅に関しても、2 nd Pole のほうが 1 st Pole よりも 大きい。

タップ線路の幅 w_{t1} を 0.42 mm (約 90 Ω), 1.04 mm (約 60 Ω), および 3.13 mm (約 30 Ω) に変化させたときの 共振特性のシミュレーション結果を図 2 (c) に示す。タッ



図2 両端開放型共振器の共振特性

プ線路の幅を変化させた場合に、1 st Pole と 2 nd Pole の 周波数の低域側への変化幅を比較すると、2 nd Pole の変 化幅のほうが小さい。また、タップ線路の幅を狭くするこ とで特性インピーダンスが高くなり、結果として入力され た信号が出力側に通過しやすくなることから、通過帯域内 の両側のスカート特性を急峻にすることが可能である。

おのおのの共振特性に示すように、通過帯域近傍の両側

に減衰極を実現しているが,周波数0Hz(以下,直流成 分と記す)の信号を通過させる特徴を有することも確認で きる。また,この共振器をBPFに適用することで,通過 帯域近傍の低域側に1st Pole,高域側に2nd Poleを実現 することが可能であり,スカート特性の急峻化に利用でき る。

2.2 一端接地型マイクロストリップ線路共振器

図1(b)の一端接地型マイクロストリップ線路共振器 において、開放スタブ線路の長さ1_{s2}を1.5 mm、3 mm、お よび6 mm に変化させたときの共振特性のシミュレーショ ン結果を図3(a)に示す。両端開放型マイクロストリッ プ線路共振器と同様に、スタブ線路を長くすることにより 減衰極が低域側にシフトするため、帯域幅が狭くなってい る。

タップ線路の長さ l_{12} を2 mm, 4 mm, および8 mm に 変化させたときの共振特性のシミュレーション結果を図3 (b) に示す。タップ線路を長く設定することにより,減衰 極は周波数の低域側にシフトし,帯域幅も狭くなっている。

タップ線路の幅 $w_{t2} \ge 0.42 \text{ mm}$ (約 90 Ω), 1.04 mm (約 60 Ω), および 3.13 mm (約 30 Ω) に変化させたときの 共振特性のシミュレーション結果を図 3 (c) に示す。タッ プ線路の幅を狭くすることにより減衰極は周波数の低域側 にシフトしている。また,通過帯域内の高域側のスカート 特性が急峻になっている

この一端接地型マイクロストリップ線路共振器は短絡ス タブと開放スタブを有する $\lambda / 4$ 共振器であり、両端開放 型共振器のような $\lambda / 2$ 共振器と比較すると小型であると ともに、接地構造を有するため直流成分の信号を遮断する ことができ、通過帯域の高域側のみにおける減衰極の実現 も可能である。

以上の結果をもとに,表1に基本共振周波数に対して低 域側と高域側に実現される減衰極,および直流成分の信号 に着目した各共振器の特徴を示す。

3. 広帯域BPF

本章では、分布定数タップ結合型共振器を縦続接続させ た4段広帯域 BPF の伝送特性を電磁界シミュレーション を用いて検討したあとに、試作基板モデルにおいて伝送特 性の検証を行う。また、BPF パターン構成の一部のマイク ロストリップ線路を折り曲げることによる小型化の可能性 について検討を実施する。

3.1 広帯域BPF(Type 1)

図4(a) に分布定数タップ結合型共振器を用いた広帯 域 BPF のパターン構成を示す。この広帯域 BPF (Type1) は、1 段目に両端開放型の分布定数タップ結合型共振器 (共振器1)、2~4 段目に一端接地型の分布定数タップ結



図3 一端接地型共振器の共振特性

表1 各共振器の基本特性

	減	古法代八					
	低域側	高域側	1				
両端開放型共振器	0	0	通過する				
一端接地型共振器	×	0	通過しない				

○:実現可 ×:実現不可

合型共振器(共振器2~4)を用いた構造となっており, パターンサイズは20×38 mmである。

図4(a)に示した BPF 試作基板モデルの伝送特性の実 測結果を図4(b)に示す。この結果から,通過帯域幅は 約3~4 GHz であり,通過帯域近傍の低域側に一つの減 衰極と,高域側に複数の減衰極が出現していることが確認 できる。この通過帯域の低域側に実現されている減衰極は, 図4(a)に示した BPFを構成する共振器1により,また 通過帯域の高域側に実現されている減衰極は共振器2~4 の働きによるものである。さらに,分布定数タップ結合型 共振器の特徴である減衰極実現位置の自由度の多さを積極 的に用いることにより,通過帯域幅の制御が可能であるこ とも併せて確認している。しかし,通過帯域の低域側およ び高域側の阻止域における減衰特性の向上やサイズの小型 化などが課題として挙げられる。

3.2 広帯域BPF (Type 2)

図4(a) に示した BPF のパターン構成において,小面 積化を考えて1段目に接続した両端開放型共振器の先端開 放スタブや,共振器間の線路を折り曲げた構造について検 討を行う。このパターン構成図を図5(a)に示す。

図5(a) に示した BPF 試作基板モデルの伝送特性の実 測結果を図5(b) に示す。この結果から、図4(a) に示 した BPF 試作基板モデルの実測結果と同様,通過帯域幅 は約3~4 GHz であり,通過帯域近傍の低域側に一つの 減衰極と,高域側に複数の減衰極が出現していることが確 認できる。BPF パターンのサイズに関しては,線路を折 り曲げた構造を適用することで 22 × 25 mm となり,図4 (a) に示した BPF 試作基板モデルと比較すると約72%に 縮小できる。

4. 広帯域BPFの小型化

3.2 節では、線路を折り曲げた構造にすることで BPF パ ターンの小面積化を試みたが、本章では減衰極を実現する ために用いられる擬似 LC 並列共振回路の適用や、分布定 数タップ結合型共振器と先端短絡スタブを併用し、これま でとは異なるタイプの共振器を開発することで BPF の小 型化を図る。

4.1 擬似LC並列共振回路

3.1 節および 3.2 節では,通過帯域近傍の低域側に減衰 極を実現するために両端開放型構造の共振器を用いている。 しかし,図4(a)および図5(a)に示した BPF のパター ン構成からわかるように,両端開放型共振器のパターンサ イズは大きく,この両端開放型共振器を用いた構成では フィルタ全体の小型化が難しくなる。そこで,両端開放型 共振器の代りに,通過帯域近傍の低域側に減衰極を実現す るために LC 並列共振回路を基にした擬似 LC 並列共振回



路を適用する。LC 並列共振回路は,共振周波数において 開放とみなすことができ,所望の周波数で減衰極を実現す ることが可能である。

図6(a) にインダクタを分布定数線路に置き換えた擬 似LC並列共振回路のパターン構成を示す。また、図6(b) には、その擬似LC並列共振回路パターンの電磁界シミュ レータによる伝送特性を示す。電磁界シミュレーションで は、キャパシタCpを0.4 pF, 0.6 pF,および0.8 pFの3 タイプで検討を行う。図6(b)に示すように減衰極を実 現し、それ以外の周波数においては影響を与えないことが 確認できる。さらに、減衰極の実現位置は、Cpの容量値 が大きくなるにつれて低域側にシフトしていることも確認 できる。以上のことから、図4(a)および図5(a)に示 した BPF 試作基板モデルに用いた両端開放型共振器のパ ターンサイズと比較して小型化を図ることができる。

しかし、この擬似 LC 並列共振回路の構成では、通過帯 域近傍に減衰極を実現するだけで共振周波数などを設定す ることはできず共振器としての動作が困難であるため、両 端開放型共振器の場合に比較すると、BPF に適用する場合 には阻止域における減衰特性が悪化することが懸念される。





4.2 先端短絡スタブを併用したタップ結合型共振器

図4(a)および図5(a)において,共振器2~4に適 用した一端接地型共振器は通過帯域の高域側の減衰極の実 現と通過帯域低域側の阻止域における減衰特性向上に用い られていたが,通過帯域低域側の阻止域の減衰特性はさら に改善する必要があり,また共振器の小型化についても課 題が残されている。

そこで,2章で述べた分布定数タップ結合型共振器と先 端短絡スタブを併用する共振器について検討を行う。この





図7 分布定数タップ結合共振器と先端短絡スタブを併用した共振器

共振器のパターン構成を図7(a)に示す。

この先端短絡スタブを用いた共振器構成では,先端短絡 スタブを近似的にインダクタとみなすことができるため, 低周波帯においては信号を伝わりにくくし,通過帯域低域 側の阻止域における減衰特性の向上につながると考えられ る。

図7(a) に示した共振器の先端短絡スタブ長1_{ss}を1 mm,2mm,および3mmと変化させたときの電磁界シ ミュレータによる共振特性を図7(b)に示す。この結果 から,一端接地型共振器と同様に,共振周波数近傍の高域 側に減衰極を実現していることが確認できる。

また、この共振器の先端短絡スタブの線路幅 w_{ss}を 0.2 mm, 0.4 mm, および 0.6 mm と変化させたときの電磁界 シミュレータによる共振特性を図7(c)に示す。この結 果から、先端短絡スタブの線路幅を大きくすることによっ て、共振周波数の低域側における阻止域の特性抑圧に寄与 することも同様に確認できる。しかし、先端短絡スタブの パラメータ変更による共振周波数低域側の阻止域減衰特性 への影響が大きく、また共振周波数近傍の高域側に減衰極 を実現することから、通過帯域内に与える影響も大きく帯 域幅が狭くなるため超広帯域特性を必要とする BPF への 適用は難しい。

4.3 小型広帯域BPFの構成

図8(a)に、4.1節で検討を行った擬似LC並列共振回路と、4.2節で検討を行った分布定数タップ結合型共振器と先端短絡スタブを併用した共振器を用いた広帯域BPFのパターン構成を示す。このBPFパターンでは、入力側に擬似LC並列共振回路を配置し、そのあとに短絡スタブを併用した共振器を3段接続する構成としている。共振器1~3のスタブ部は、BPF全体におけるパターンサイズの小型化を図るために折り曲げ線路構造を採用している。

また,この BPF 試作基板モデルの伝送特性の実測結果 を図8(b)に示す。ここで,通過帯域の低域側に実現さ れている減衰極は擬似 LC 並列共振回路の働きによるもの であり,通過帯域の高域側に実現されている減衰極は分布 定数タップ結合型共振器に先端短絡スタブを接続した共振 器の働きによるものである。

通過帯域低域側の阻止域における減衰特性を比較すると, 図5(a) に示す4段の共振器構成ではS₂₁特性は-15 dB 程度であったのに対し,図8(a) に示す3段の共振器構 成では約-20 dB 以下に減衰特性が改善されている。また, 通過帯域高域側の阻止域についても-20 dB 以下に抑えら れていることから,提案の共振器構造により通過帯域外の 阻止域特性を改善することができる。さらに,BPFパター ンのサイズは14×14 mm となり,図4(a)のサイズと 比較して約26%に,図5(a)のサイズと比較して約36 %に小型化できる。



5. あとがき

電磁界シミュレーションを活用し,両端開放型の分布定 数タップ結合型共振器と先端短絡スタブを併用する共振器, および擬似 LC 並列共振回路を組み合わせてマイクロスト リップ線路で形成する小型広帯域 BPF を開発した。また, 試作基板モデルの伝送特性を実測した結果,通過帯域近傍 の両側に減衰極を有するとともに広帯域な通過特性が得ら れることを確認した。さらにサイズも,両端開放型と一端 接地型の分布定数タップ結合型共振器を組み合わせたもの と比較して約 36 %の小型化を実現した。

今後も,通過帯域周波数における損失の低減,および通 過帯域外における減衰特性の向上を図るとともに,さらに 小型化を追求する予定である。

*参考文献

- 1) 石田 等: UWB システム用超広帯域パッシブ帯域通過フィルタの開発, MWE 2004 Microwave Workshop Digest, p. 157-162 (2004)
- 2) 青木 元, 里見 伸明, 斉藤 昭, 本城 和彦: UWB アンテナ用平衡モード結合4線路バンドパスフィルタ, 2005 年信学総大, B-1-80 (2005)
- 3) 李 可人, 栗田 大輔, 松井 敏明: ブロードサイド結合構造を用いた超広帯域バンドパスフィルタ, 信学技報, p. 31-36 (2005)
- (4) 青木 幹雄, 岡戸 広則, 安田 寿博, 関根 英行, 渡邉 聡: UWB 通信システム用超小型セラミックフィルタと周辺広帯域デバイス 技術, MWE 2005 Microwave Workshop Digest, p. 397-402 (2005)
- 5) 和田 光司, 谷井 宏成, 岩崎 俊: 広帯域通過特性を有する有極型 BPF に関する基礎検討, 信学技報, p. 1-4 (2004)
- 6) 西村 太, 谷井 宏成, 笹部 孝司, 植野 嘉章, 和田 光司, 岩崎 俊: 広帯域通過特性を有する MSL 共振器 BPF の解析的検討, 信 学技報, Vol. 105, No. 486, p. 73-78 (2005)
- 7) 和田 光司, 谷井 宏成, 西村 太, 笹部 孝司, 植野 嘉章, 岩崎 俊: 分布定数タップ結合型 MSL 共振器を用いた有極形広帯域 BPF に関する基礎検討, 電子情報通信学会和文論文誌 C, Vol. J89-C, No. 10 (2006)

◆執 筆 者 紹 介





笹部 孝司
(株) 松下電工解析センター
工学博士



和田 光司 ^{電気通信大学} 工学博士

(株) 松下電工解析センター

西村

太