LC 装荷タップ結合型共振器 BPF の設計に関する一検討

非会員 安住 壮紀* 正員 和田 光司**

非会員 中島 奈緒子* 正員 橋本 修*

Study of Designing BPF by Using LC Tap-Coupling Resonators

Takenori Yasuzumi*, Non-member, Kouji Wada**, Member, Naoko Nakajima*, Non-member, Osamu Hashimoto*, Member

The resonance characteristics of short-ended half-wavelength coplanar waveguide(CPW) LC tap-coupling resonators are examined theoretically and experimentally. The characteristics near the passband have been improved by applying the presented CPW resonator to a design of a bandpass filter(BPF). Moreover, the difference between the calculation and the measurement results is examined by using the equivalent circuit about the presented BPF.

キーワード: LC 装荷タップ結合, 帯域通過フィルタ, 減衰極, コプレーナ線路, 等価回路

Keywords: LC tap-coupling, bandpass filter, attenuation pole, coplanar waveguide, equivalent circuit

1. まえがき

フィルタの伝送特性の一改善手法として, 減衰極の実現が挙げられる。筆者らは, この減衰極を実現する一手法としてタップ結合法を適用し, 各種結合型共振器における通過帯域近傍の特性改善について検討を行ってきた。しかしながら, これらは計算及び実験結果の間には差異があるという欠点があった⁽¹⁾⁽²⁾。

そこで本論文では, LC 装荷タップ結合を適用した両端接地 $\lambda/2$ 共振器 BPF を構成し, 共振器における接地端及び結合素子による影響を考慮した等価回路を適用した。そして, 伝送特性の中でも特に中心周波数及び減衰極の実現位置に着目して実験値との比較検討を行い, 構成した等価回路の有効性を示した。

2. LC 装荷タップ結合型共振器 BPF

図 1 に LC 装荷タップ結合型共振器 BPF の等価回路を示す。ここでは一例として, 入出力及び段間結合にキャパシタを用いている。なお, 設計諸元は $f_0=2.0\text{GHz}$, $\Delta f=100\text{MHz}$, $f_{L1}=1.5\text{GHz}$, $f_{L2}=1.8\text{GHz}$ とした。図 1 の BPF は両端接地型であり, 一般的に接地が容易な CPW

図 1 LC 装荷タップ結合型共振器 BPF の等価回路

Fig. 1. Equivalent circuit of BPF using LC tap-coupling resonators.

を用いても, 完全な接地を実現するのは困難である。これは, 接地端において流れる電流による磁場の影響により誘導性素子が等価的に働くためである。また, 結合及び装荷素子として用いたインダクタ及びキャパシタはそれぞれ自己共振周波数を有し, 中心周波数に近い値である程帯域特性に影響を及ぼす。

そこで本論文では, 文献(3)を参考にそれぞれの影響を考慮した等価回路を提案し, 実験結果との差異について検討を行った。図 1 における各装荷素子の浮遊容量は, それぞれの共振回路が自己共振周波数において共振する値を算出して決定した。

図 2 に CPW により構成した図 1 のプリント回路基板(PCB)によるパターンを示す。また, 図 2 の表題中に CPW

* 青山学院大学理工学部

〒 229-8558 神奈川県相模原市淵野辺 5-10-1

College of Science and Engineering,

Aoyama Gakuin University

5-10-1, Fuchinobe, Sagami-hara-shi 229-8558

** 電気通信大学電気通信学部

〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

Department of Electronic Engineering,

The University of Electro-Communications, Tokyo 182-8585

$l_{11}=27.49\text{mm}$, $l_{12}=4.31\text{mm}$, $l_{21}=10.79\text{mm}$, $l_{22}=18.50\text{mm}$,
 $L_{s1}=3.0\text{nH}$, $L_{s2}=3.0\text{nH}$, $C_{s1}=2.5\text{pF}$, $C_{s2}=0.8\text{pF}$,
 $C_{in}=0.96\text{pF}$, $C_{out}=0.86\text{pF}$, $C_g=0.39\text{pF}$, $\epsilon_{eff1}=5.13$, $\epsilon_{eff2}=5.14$

図2 LC 装荷タップ結合型共振器 BPF の PCB
 Fig.2. PCB of BPF using LC tap-coupling resonators.

$Z_{01}=39\Omega$, $Z_{02}=57\Omega$, $l_{11}=62.25\text{mm}$, $l_{12}=24.38\text{mm}$, $l_{21}=9.75\text{mm}$,
 $l_{22}=41.95\text{mm}$, $C_{in}=0.91\text{pF}$, 0.91nH , $C_{out}=0.83\text{pF}$, 0.59nH ,
 $C_g=0.41\text{pF}$, 0.69nH , $C_1=2.44\text{pF}$, 0.78nH , $C_2=0.78\text{pF}$, 0.65nH ,
 $L_1=2.93\text{nH}$, 0.07pF , $L_2=2.93\text{nH}$, 0.07pF , $L_{11,12}=0.55\text{nH}$,
 $L_{21,22}=0.70\text{nH}$

図3 図1に示す BPF の伝送特性

Fig.3. Transmission characteristics of BPF shown in Fig.1.

で実現を図るために実効比誘電率を算出し、実際の共振器長を算出した値及びチップキャパシタの容量を示す。ここで、用いた誘電体基板は、Rogers 社製の RT/Duroid 6010LM(比誘電率: $\epsilon_r=10.2$, 基板厚: $h=1.27\text{mm}$, 銅箔厚: $t=18\mu\text{m}$)である。なお、結合及び装荷素子として用いたインダクタ(L_{si})及びキャパシタ(C_{in} , C_{out} , C_g , C_{si})として、リード線(0.15ϕ)及びチップコンデンサ(1608 型)を簡易的に使用した。図3に図1の計算結果を設計値による結果、実験結果及び従来の等価回路を用いた計算結果と併せて示す。また、自己共振周波数における各素子値を図3の表題中に示す。図3の結果より、計算結果と実験結果を比較すると、 f_0 の低域側に実現されている減衰極についてはまだ多少のずれが見られるものの、中心周波数 f_0 及び帯域特性のずれについては測定結果に近い結果が得られていることが確認できる。また、従来の等価回路を用いた計算結果と比較と実験

結果とのずれは大幅に改善されており、提案する等価回路による設計の有効性が確認できた。

3. むすび

本論文では、LC 装荷タップ結合型両端接地 $\lambda/2$ CPW 共振器を用いた有極型 BPF について理論的及び実験的に検討を行った。結果より、計算結果及び測定結果における伝送特性のずれは提案した等価回路を用いることにより改善されることが確認できた。

今後の課題として、中心周波数の低域側に実現される減衰極のずれについての検討、共振器の多段化による更なる特性改善などが挙げられる。

(平成 19 年 6 月 5 日受付, 平成 19 年 9 月 28 日再受付)

文 献

- (1) I. Awai: "General Theory of a Circular Dual-Mode Resonator and Filter", *IEICE Trans. Electron.*, Vol.E81-C, No.11, pp.1764-1765, Nov. (1998)
- (2) J.-S. Hong, M.J. Lancaster, D. Jedamzik, R.B. Greed, and J.-C. Mage: "On the Performance of HTS microstrip Quasi-elliptic Function Filters for Mobile Communications Applications", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.* Vol.MTT-48, pp.1240-1246, July (2000)
- (3) P.N. Simons: "Coplanar Waveguide Circuit, Components, and Systems", Wiley Inter-Science (2001)

安住 壮 紀 (非会員) 2007 年青山学院大・理工・電気電子卒業。現在、同大大学院博士前期課程在学中。マイクロ波共振器及びフィルタの特性改善に関する研究に従事。

和田 光 司 (正員) 1991 年近畿大・理工・電気電子卒業。1995 年同大大学院工学工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1997 年～1999 年日本学術振興会特別研究員 (DC)。1999 年山口大学大学院博士後期課程了。1999 年～2004 年青山学院大学助手。2004 年電気通信大学助教授。博士 (工学)。マイクロ波・ミリ波伝送路とそのデバイスへの応用に関する研究に従事。

中 島 奈 緒 子 (非会員) 2005 年青山学院大・理工・電気電子卒業。2007 年同大大学院理工工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程修了。現在、同大大学院博士前期課程在学中。マイクロ波共振器及びフィルタの特性改善に関する研究に従事。

橋 本 修 (正員) 1976 年電通大・電気通信・応用電子卒業。1978 年同大大学院修士課程修了。(株) 東芝入社。1981 年防衛庁入庁。1986 年東京工業大学大学院博士課程修了。1991 年青山学院大学助教授。1994～1995 年イリノイ大学客員研究員。1997 年青山学院大学教授。工博。環境電磁工学, 生体電磁工学, マイクロ波・ミリ波計測に関する研究に従事。1990 年防衛論文賞, 2003 年エレクトロニクス実装学会論文賞等各受賞。主な著書に, 「電波吸収体入門」(森北出版), 「数値計算法入門」(総合電子出版), 「マイクロ波・ミリ波帯における測定技術～その基礎から応用まで～」(リアライズ社), 「新しい電波工学」(培風館), 「FDTD 時間領域差分法入門」(森北出版)。映像情報メディア学会, エレクトロニクス実装学会, 建築学会, 日本航空宇宙学会各会員。