

## Design of Harmonic-Suppressed Microstrip Filter Using Novel Defected Ground Structure

MEN Yang, YOU Bin \*

(The Key Laboratory of RF Circuits and System of Ministry of Education Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Due to the frequency response's periodicity of distributed transmission line, microstrip bandpass filter usually produces parasitic passband and outputs harmonics away from the center frequency of main passband. Based on the study of traditional dumbbell defected ground structure, a novel DGS (Defected Ground Structure) and SISS (Step-Impedance Shunt Stub) structure having single-pole band-stop and slow-wave characteristics was presented to design a five-order microstrip low-pass filter. Eventually, the LPF was applied to a three-order coupled microstrip lines band-pass filter in order to improve its parasitic pass-band. The harmonics output was successfully suppressed and the cut-off frequency band was broadened by the verification of software simulation.

**Key words:** novel DGS; SISS; microstrip filter; harmonic suppression

EEACC:1270;1350      doi:10.3969/j.issn.1005-9490.2011.06.016

## 基于新型缺陷地的谐波抑制微带滤波器设计

门 阳,游 彬 \*

(杭州电子科技大学射频电路与系统教育部重点实验室,杭州 310018)

**摘要:** 由于分布参数传输线频率响应的周期性,通常微带线带通滤波器在偏离主通带中心频率成分上会产生寄生通带,输出谐波。在研究经典哑铃 DGS 的基础上,利用新型 DGS 和 SISS 结构的单极点带阻和慢波特性,设计出五阶微带低通滤波器,并将之应用于三阶耦合线带通滤波器,改善其寄生通带。经过仿真验证,成功地抑制了三阶耦合线带通滤波器的谐波输出,拓宽了截止频带。

**关键词:** 新型 DGS; SISS; 微带滤波器; 谐波抑制

中图分类号:TN713.1

文献标识码:A

文章编号:1005-9490(2011)06-0668-04

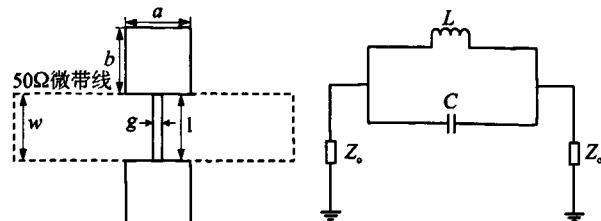
1987 年, Yablonovitch E 和 John S 分别独立提出光子带隙 (Photonic Bandgap, PBG) 晶体结构。1999 年,韩国学者 Lim Jong-Sik、Park Jun-Seok 等人提出一种与 PBG 结构具有相似带隙和慢波特性的缺陷地 (Defected Ground Structure, DGS) 结构。它是在微波传输线的金属接地面,蚀刻出周期或非周期性的栅格形状,改变微带线的分布电感和电容,以改善微波电路的传输特性。

DGS 仅由一个或几个缺陷单元构成,带隙中心频率主要由缺陷单元结构决定。而 PBG 是由若干单元组成的阵列构成,结构比较复杂。此外,DGS 占用较小的电路面积,可以广泛应用于滤波器、耦合器、天线等微波器件中,以实现常规技术无法得到的高性能<sup>[1]</sup>。

### 1 新型 DGS 结构的频率特性分析

经典哑铃型 DGS (Dumbbell DGS) 单元结构的

蚀刻形状,由两个相同长宽为  $a$ 、 $b$  的矩形和一个长度为  $l$ ,宽度为  $g$  的缝隙相连组成。哑铃型 DGS 具有简单的单极点带阻特性,可以等效为串联的  $LC$  并联谐振电路<sup>[2-3]</sup>,进行参数设计和分析。



(a)哑铃DGS的设计参数

(b)哑铃DGS的等效电路

图 1 哑铃 DGS 的设计参数和等效电路

经典哑铃型 DGS 的谐振频率点通常比较高。为了不额外增加电路接地面 DGS 的蚀刻面积,并将 DGS 结构推广应用在较低微波频段,本文在参考经典哑铃 DGS 的基础上,采取一种新型 DGS,即将哑铃 DGS 的

中间臂改为蛇形缝隙。蛇形缝隙的横向长度与蚀刻矩形的长度相同,纵向长度为 $l$ ,缝隙宽度为 $g$ ,拐点个数为 $n$ 。通过改变蛇形缝隙宽度或拐点个数,都可以使得其谐振频率点相应变化。新型DGS单元表现为类似的单极点带阻特性,谐振频率点较低,且具有更平坦的低通特性和陡峭的阻带衰减边缘<sup>[4-5]</sup>。

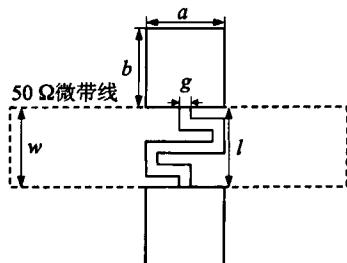


图2 新型DGS的设计参数

下面简要分析新型DGS结构的频率传输特性,基板选用介电常数 $Er=4.3$ ,介质层厚度 $H=0.8\text{ mm}$ 的FR4板材。利用Agilent公司ADS2009的LineCalc,特性阻抗为 $50\text{ Ω}$ 的微带线宽度 $w=1.6\text{ mm}$ 。新型DGS的结构尺寸选取 $a=b=4\text{ mm}$ , $l=w=1.6\text{ mm}$ ,仅改变蛇形缝隙宽度 $g$ 或拐点个数 $n$ ,即分别在 $n=2$ 时改变缝隙宽度 $g$ 和 $g=0.1\text{ mm}$ 时改变拐点个数 $n$ ,借助于Ansoft公司的Ansoft Designer 6.0软件,对所建模型进行电磁仿真。

可见,随着蛇形缝隙宽度 $g$ 的减小或拐点个数 $n$ 的增多,增大了缝隙间的有效耦合长度,提高了传输线的有效电容,使得在不增大占用蚀刻面积的前提下,有效地降低微带传输线的频率谐振点,新型DGS结构的谐振频率相应降低。

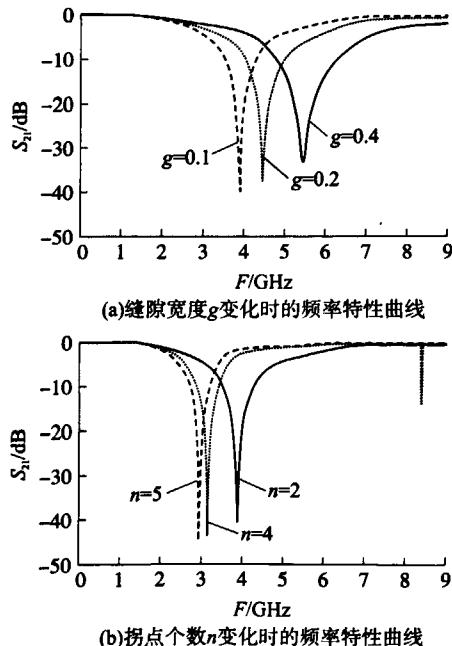


图3 缝隙宽度 $g$ 和拐点个数 $n$ 变化时的电磁仿真结果

## 2 SISS结构的频率特性分析

阶梯阻抗并联枝节(Step-Impedance Shunt Stub, SISS)的单元结构,包含两个相同的长、宽为 $c$ 、 $d$ 的矩形,二者对称地位于 $50\text{ Ω}$ 微带线的两侧,与微带线间距为 $w_2$ ,分别通过一段宽度为 $w_1$ 的窄线与微带线相连<sup>[6]</sup>。根据文献[2],SISS结构同样具有单极点带阻特性,可以等效为并联的串联 $LC$ 谐振电路。

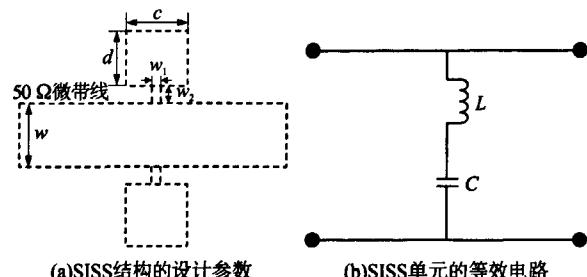


图4 SISS的设计参数和等效电路

下面研究SISS物理尺寸改变对其频率传输特性的影响,基板仍选用介电常数 $Er=4.3$ ,介质层厚度 $H=0.8\text{ mm}$ 的FR4板材。其中,特性阻抗 $50\text{ Ω}$ 的微带线宽度 $w=1.6\text{ mm}$ , $w_1=w_2=0.4\text{ mm}$ 保持不变,仅改变两侧矩形长宽 $c$ 或 $d$ 的尺寸大小。

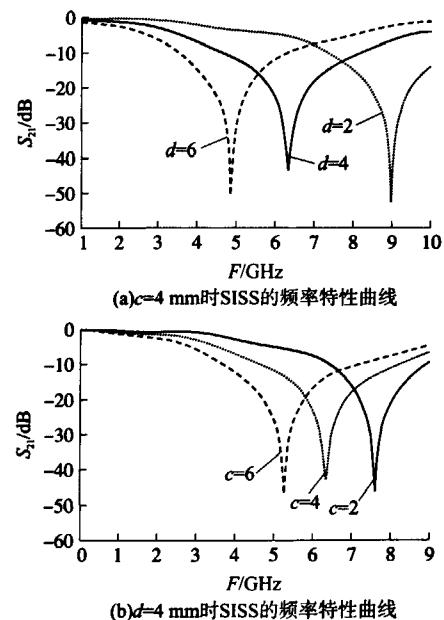


图5 不同物理尺寸的SISS电磁仿真结果

由图5所示仿真结果可以看出,保持两侧矩形长或宽度任一不变,增大另一参数的物理尺寸,SISS单元电路的谐振频率都将随之降低。

## 3 采用新型DGS和SISS的带通滤波器

### 3.1 三阶平行耦合线带通滤波器的设计

本文设计了一个三阶平行耦合线带通滤波器,

参数指标为:中心频率 2.14 GHz,带宽 60 MHz,相对带宽 2.8%,带内波纹  $\leq 0.1$  dB。基板材质选取介电常数  $\epsilon_r = 4.3$ ,介质层厚度  $H = 0.8$  mm 的 FR4 板材。其电磁仿真结果如图 6 所示。

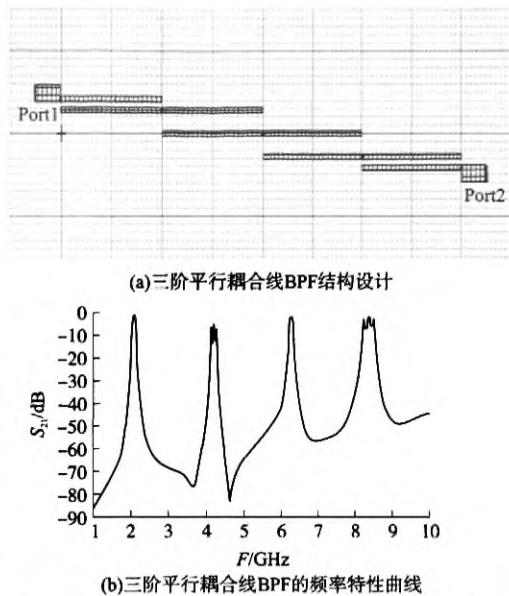


图 6 三阶平行耦合线 BPF 的结构和电磁仿真结果

由于分布参数传输线频率响应的周期性,使得在偏离其主通带中心频率  $f_0$  的某一处产生寄生通带,寄生通带的中心频率一般为二次谐波  $2f_0$  和三次谐波  $3f_0$ ,这对于抑制谐波输出是不利的。

随着无线通信技术的发展,对高品质带通滤波器的需求随之提高。当前,改善滤波器寄生通带的常用方法是:在电路中加入过耦合谐振器、微带线加集总电容和采用缺陷接地结构 DGS 等<sup>[7]</sup>。本文采用新型 DGS 和 SISS 相结合,构成低通滤波器,抑制带通滤波器的谐波输出。

### 3.2 新型 DGS 和 SISS 用于滤波器的谐波抑制

传统的阶跃阻抗低通滤波器,是将集总电感、电容元件通过 Richard 变换和 Kuroda 规则等效为相应的微带线,从而实现 LPF 的设计,这种滤波器尺寸较大,且衰减极点设在了无穷远处,阻带很窄<sup>[7]</sup>,同时,用传统微带线实现高阻抗线的电感,微带线的宽度通常很细,限制了低通滤波器的功率容量,也会增加加工的难度<sup>[8]</sup>。

为了获得良好的带内回波损耗和带外抑制特性,本文基于新型 DGS 和 SISS 结构的单极点带阻和慢波特性,利用新型 DGS 实现串联电感,微带线的宽度为 50 Ω 微带线的宽度;并在顶层微带线上添加 SISS,实现并联电容,设计出一个 5 阶低通滤波器,提高了传统滤波器的紧凑性和功率容量,从而实现对三阶平行耦合线 BPF 的谐波抑制。

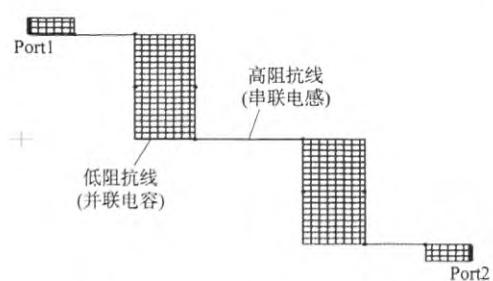


图 7 传统的 5 阶阶跃阻抗 LPF

通过参数优化,得到如图 8 所示的 5 阶 LPF,分别由两个新型 DGS 结构和三个 SISS 结构组成。

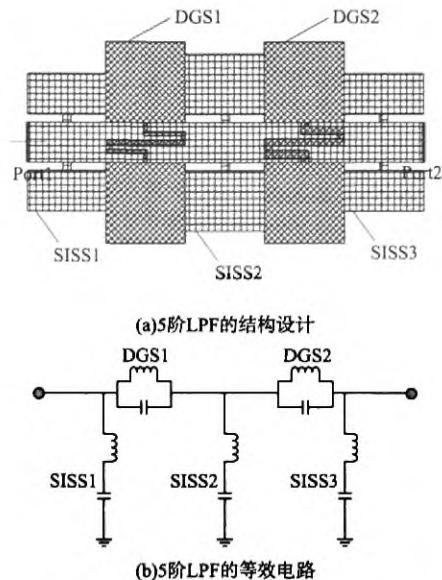


图 8 5 阶 LPF 的结构设计和等效电路

该 5 阶 LPF 的设计参数如下。DGS1:  $a = b = 4$  mm,  $g = 0.2$  mm,  $n = 2$ ; DGS2:  $a = b = 4$  mm,  $g = 0.4$  mm,  $n = 2$ ; SISS1、SISS3:  $c = 4$  mm,  $d = 2$  mm,  $w_1 = w_2 = 0.4$  mm; SISS2:  $c = 4$  mm,  $d = 3$  mm,  $w_1 = w_2 = 0.4$  mm. 各单元结构设计为等间距分布,且中心间距为 4 mm。

由电磁仿真曲线,在 4 GHz 以上频率段,包括三阶耦合 BPF 中心频率的二、三和四次谐波处的损耗基本都达到了 -30 dB 以下。

新型 DGS 和 SISS 低通滤波器与传统低通滤波器相比,阻带宽,性能好,带内插损小,说明 DGS 和 SISS 单元结构可以运用到低通滤波器设计中,提高

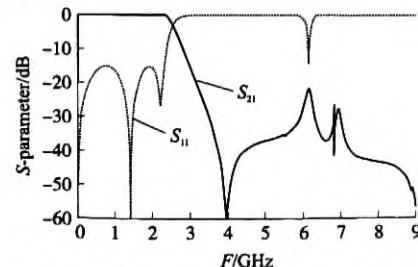


图 9 5 阶 LPF 的电磁仿真结果

传统低通滤波器的性能。为了减小该5阶LPF对带通滤波电路的影响以及滤波器的总长度,将其放置在三阶耦合线BPF的输入、输出端以远离耦合区域,并与其垂直放置。

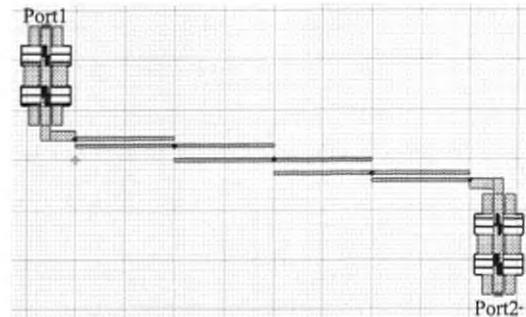


图10 加入新型DGS和SISS的三阶耦合线BPF

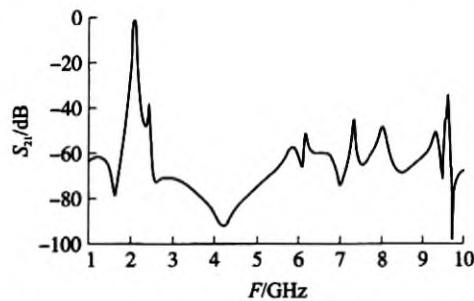


图11 加入新型DGS和SISS的三阶耦合线BPF的电磁仿真结果

在三阶耦合BPF两端加入由新型DGS和SISS构成的LPF后,原BPF的寄生通带消失,其二次、三次和四次谐波也被成功地抑制掉,说明采用新型DGS和SISS结构来抑制谐波输出是行之有效的。

#### 4 结语

通常,低通滤波器可以用于微带带通滤波器的谐



门 阳(1986-),男,河南南阳人,杭州电子科技大学硕士在读生。主要研究方向:射频/微波电路设计与应用,menyang99@sina.com;

波抑制。传统的阶跃阻抗低通滤波器,其高阻抗串联电感线很细,限制了滤波器的功率容量,且不容易加工实现。同时,用于低通滤波器设计的经典哑铃缺陷地结构,谐振频率点较高,限制了其在较低频率段的应用。为了解决上述实际问题,本文采用一种新型DGS缺陷地和SISS阶梯阻抗并联枝节结构,等效实现串联电感和并联电容,在进行理论分析和实验仿真后,基于这两种结构,设计出一个五阶低通滤波器,将之运用于三阶平行耦合线带通滤波器,改善了其寄生通带,并且二次、三次和四次谐波都得到了成功地抑制,拓展了截止频带的宽度,提高了微带带通滤波器的性能。

#### 参考文献:

- [1] Rahman A B A, Verma A K, Boutejdar A, et al. Control of Bandstop Response of Hi-Lo Microstrip Low-Pass Filter Using Slot in Ground Plane[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 2004, 52:1008-1013.
- [2] Park J, Kim J P, Nam S, et al. Design of a Novel Harmonic Suppressed Microstrip Low-Pass Filter[J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., 2007, 17(6):424-426.
- [3] Lim J S, Kim C S, Ahn D, et al. Design of Low-Pass Filters Using Defected Ground Structure [J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2005, 53(8):2539-2545.
- [4] Woo D J, Lee T K. Novel U-Slot and V-Slot DGSs for Band-Stop Filter with Improved Q Factor. [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 2006, 54:(6):2840-2847.
- [5] 顾继慧,杨一飞,周虹,等.一种新型缺陷接地结构带通滤波器研究. [J]南京理工大学学报,2008,32(6):763-766.
- [6] 魏峰,翟阳文,史小卫,等.一种新颖的缺陷地微带线低通滤波器. [J]. 西安电子科技大学学报,2009(4):645-648.
- [7] 戚玉洁,刘学观.基于DGS结构的抑制谐波低通滤波器设计. [J]应用科学学报,2008(1):51-54.
- [8] 曹毅,王光明.一种新型微带DGS低通滤波器设计. [J]空间电子技术,2007(3):50-53.



游 彬(1974-),女,现为杭州电子科技大学微电子CAD所副教授。2000年7月毕业于兰州大学,获无线电物理专业理学硕士学位;2003年7月毕业于上海大学,获无线电物理专业理学博士学位。主要从事射频/微波电路及射频/微波有源、无源器件的研究。在攻读博士期间成功设计了微波双模滤波器、多层孔耦合滤波器,并将光子带隙材料应用于滤波器的设计,改善滤波器的性能,减小了滤波器的体积。作为主要研发人员参与了上海市博士点基金“现代通信系统中微波滤波器小型化的研究”、国防预研项目“微系统传感网”及公司项目“PHS 500mW 基站重新设计”等项目的开发。在 *Microwave and Optical technology Letters*、*International Journal of infrared and millimeter wave* 等期刊及国内外会议上发表论文数篇,部分被SCI、EI索引。

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

### 微波滤波器设计培训专题视频课程



高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

### 更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>