

微带带阻滤波器设计

刘 佳 佳

摘要: 本文主要设计的是带阻滤波器, 带阻滤波器广泛应用于无线通信系统中, 用来抑制高功率发射机的杂散输出以及非线性功放或带通滤波器产生的寄生通带等。本论文主要使用微带线来实现, 微带在平面制图和制版方便, 且易和别的电路集成, 因此电路结构十分紧凑。传输线的尺寸, 不仅线的横截面, 而且再沿着线的方向也采用高介电常数的介质基片缩短了线上的波长。因此如果用微带线实现、满足一定指标要求的带阻滤波器可以提高经济效益。本文基于缺陷地结构 (DGS defected ground structure) 介绍一种缺陷带结构 (DMS, defected microstrip structure), 实现了滤波器的小型化, 通过改变 S 参数易于实现不同频率的带阻特性, 可用于微波电路和天线设计。最后, 我们利用了 HFSS 软件分析蛇形 DMS 的尺寸与频率特性的关系。

关键字: 微波滤波器; 缺陷微带结构; 带阻滤波器

Abstract: In this paper, we introduce band stop filter. It is widely used in wireless communication system. In this paper, we use microstrip to design this filter because microstrip is suitable to design filter and it can be connected with integrated circuit. Thus, its structure is very small. In addition, the filter using by microstrip also improve its benefit. In this paper, the filter with defected microstrip structure (DMS) which we design is based on defected ground structure (DGS). It can be used in microwave circuit or antenna. At last, we analyze DMS which is like a snake by using HFSS software.

Key word: Microwave filter; Defects microstrip structure; Band stop filter

1. 引言

光子带隙结构 (PBG, photonic bandgap) 的研究最初主要是在光学的领域, 后来发展到了微波和毫米波的电路中。但 PBG 结构的电路模型复杂, 构建困难, 影响带隙特性的参数较多。为弥补 PBG 结构的不足, 1999 年研究员 Park 等人联合发现了缺陷地结构 (DGS)^[1]。并且这种结构也被应用到实际的电路中, 比如功率分配器, 系统天线和微带结构的滤波器等。DGS 也就是在天线的地板上雕刻形成缺陷的各类规则的和不规则的图形结构, 这样天线的在地板的电流分布就会被影响, 从而可以改变天线的性能, DGS 拥有的特性是慢波和带阻特性^[2]。与传统滤波器相比 DGS 滤波器具有结构紧凑、模型简单、频率抑制特性好、易于实现等优点。DGS 结构的效果的好坏主要由介质板的介电常数和缺陷单元的几何结构等决定。

本文在 DGS 结构的背景下提出了带有 DGS 的缺陷微带结构(DMS)。DMS 结构的特性和原理与 DGS 结构非常类似。DMS 结构的新颖之处在于, 能避免器件的地板电流泄露, 从而减小对其他器件的影响。而且 DMS 结构更加易于集成, 现在已经得到很广泛的应用。本文利用了 HFSS 仿真软件分析了 DMS 微带线的尺寸与频率特性关系^[3]。

2. 蛇形 DMS 带阻滤波器的设计

2.1 设计的蛇形 DMS 性能指标

本文设计的带阻滤波器的性能指标要求如下表 1 所示:

表 1 蛇形 DMS 指标参数

| 阻带频率 | 通带频率 | 通带插损 | 通带反射 | 阻带抑制 | 外形尺寸 |
|-----------------|-------------------------------------|----------|--------|------|--------------------|
| 2151MHZ~2252MHZ | DC~1700MHZ Z&3200MHZ ~3500MHZ | IL<2.5dB | <-10dB | 40dB | <10mm*40mm*0.708mm |

2.2 蛇形 DMS 的尺寸与频率特性的关系

2.2.1 理查德变换

理查德变换公式为:
$$\Omega = \tan \beta l = \tan \left(\frac{\omega l}{V_p} \right) \quad (1-1)$$

P.Richard 为了用开路和短路传输线来综合 LC 网络就引入了将 ω 平面映射到 Ω 平面, 它以周期 $\omega l / V_p = 2\pi$ 重复出现。如果我们用 Ω 代替频率变量 ω , 那么电感的电抗的表达式如: $jX_L = j\Omega L = jL \tan \beta l \quad (1-2)$

电容的电纳能的表达式如: $jB_c = j\Omega C = jC \tan \beta l \quad (1-3)$

那么我们就可以用电长度为 βl 和特征阻抗为 L 的短路短截线代替电感, 用 βl 和特征阻抗为 1/C 的开路短截线代替电容。设定滤波器阻抗为 1。

原理上说, 集总元件滤波器设计中的电感和电容可以用短路和开路短截线取代。因为所有短截线的长度都是相同的 (在 ωc 处是 $\lambda/8$), 所以这种线称为公比线^[4]。

2.2.2 科洛达恒等关系

为了可以得到在实际上更容易实现的微波滤波器, 四个科洛达恒等关系使用冗余传输线段, 我们可以使用以下任何方法来完成:

- (1) 并联短截线替换串联短截线, 串联短截线替换并联短截线。
- (2) 不实际的特征阻抗变成一种较易实现的特征阻抗。
- (3) 传输线短截线在物理上分隔开。

附加的传输线段称为单位元件, 它在 ωc 处长度为 $\lambda/8$, 所以单位元件与用于实现原型设计的电感和电容的短截线相对应^[5]。根据四个科洛达恒等关系, 得出了微带带阻滤波器各个参数值。

本论文是介绍蛇形 DMS 的尺寸与频率的性质的关系, 以及它在高频段的特性, 设计蛇形 DMS 带阻滤波器。

微带带阻滤波器的结构: 50Ω 的微带线, 微带线下面是有聚四氟乙烯构成的介质层, 介质层下面是接地板。微带线和接地板材料是铜, 其表面镀金。在微带线上刻蚀了蛇形槽。扰乱的电流分布改变传输线的特性使得由 DMS 构成的微带线具有带阻

特性和慢波特性。所以增加蛇形 DMS 微带线的点长度，扰乱传导电流的分布。

我们首先选取介质料 Rogers4350B 为衬底的 50Ω 标准微带线来进行仿真，其中介质板的介电常数为 $\epsilon_x=3.66$ 介质板的厚度为 $h=0.508\text{mm}$ ，50Ω 微带线宽度为 $W=4.1\text{mm}$ 。其他结构参数： $a=11.7\text{mm}$ ， $b=0.3\text{mm}$ ， $c=0.4\text{mm}$ 。

3. ANSYS HFSS 仿真优化与实物加工、测试

3.1 建立模型

根据理论设计参数和结构示意图，在 HFSS 软件中建立物理模型如图 1(a)和图 1(b)所示。

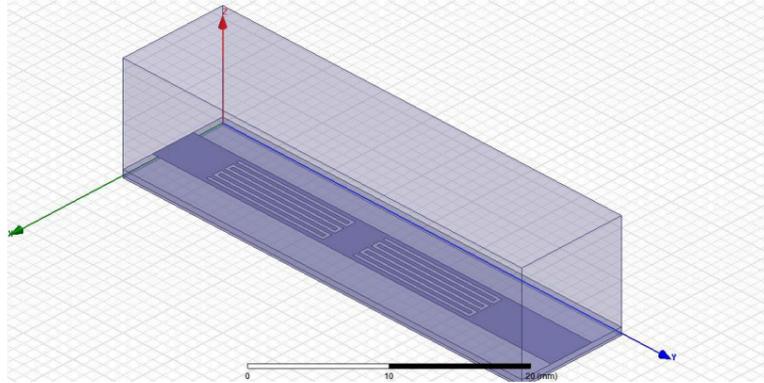


图 1(a) 蛇形 DMS 滤波器仿真模型

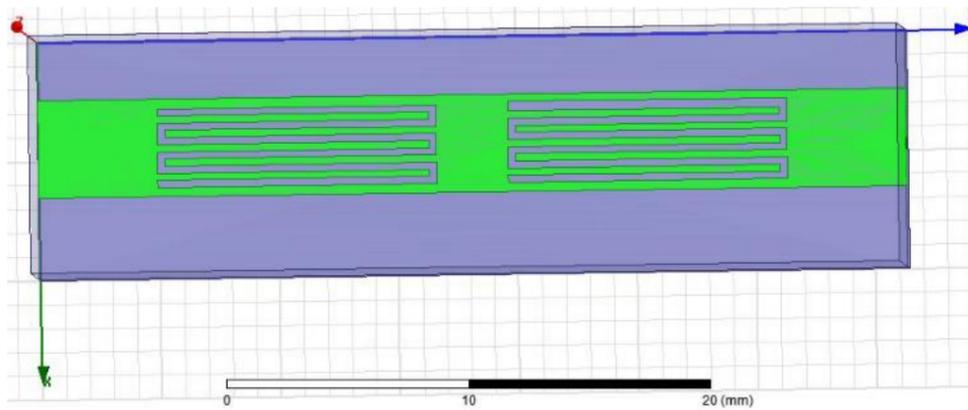


图 1(b) 蛇形 DMS 滤波器 XOY 面仿真模型

3.2 仿真结果与分析

将不同尺寸的 a 参数值带入模型中进行仿真，得到的仿真结果如图 5-2，固定 $b=0.3\text{mm}$ 和 $c=0.4\text{mm}$ ，这样频率特性仅仅受到槽长度 a 的影响。图 2 反映了不同长度 a ($a=10\text{mm}$ ， $a=11\text{mm}$ ， $a=12\text{mm}$) 对应的 S 参数仿真结果：当 a 增加时，谐振频率 f_0 降低。当 $a=10\text{mm}$ 时，阻带衰减的位置 $f_0=2.79\text{GHz}$ ；当 $a=11\text{mm}$ 时，阻带衰减极点的位置为 $f_0=2.53\text{GHz}$ ；当 $a=12\text{mm}$ 时，阻带衰减的位置 $f_0=2.13\text{GHz}$ 。原因是：有效电感与矩形槽的尺寸有关，因此当电容固定不变时， a 增加，有效电感也增加，由于电感与谐振频率成反比，较高的有效电感就对应较低的谐振频率。

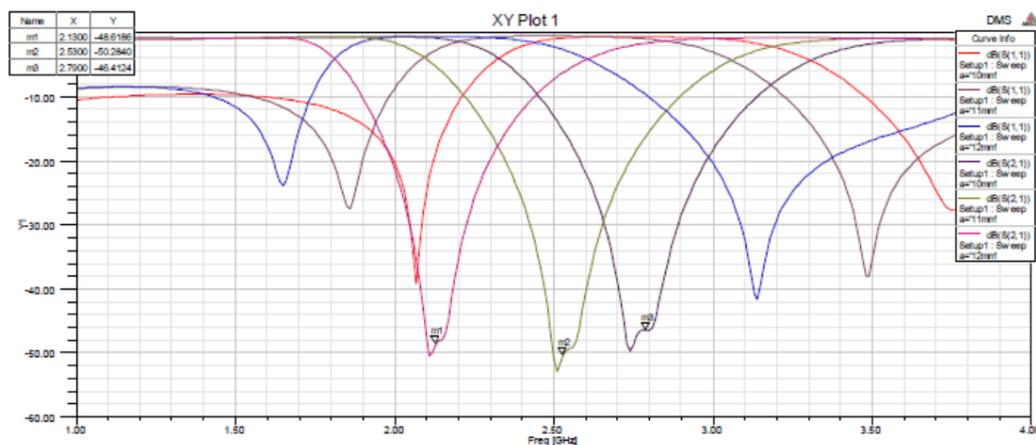


图 2 $a=12\text{mm}$ ， 11mm ， 10mm 蛇形 DMS 滤波器仿真图

通过对上述参数 a 的分析并参照图 2 可以得出以下结论：调节槽长度 a 可得到不同的谐振频率位置的阻带，长度 a 对阻带位置的影响比较明显。

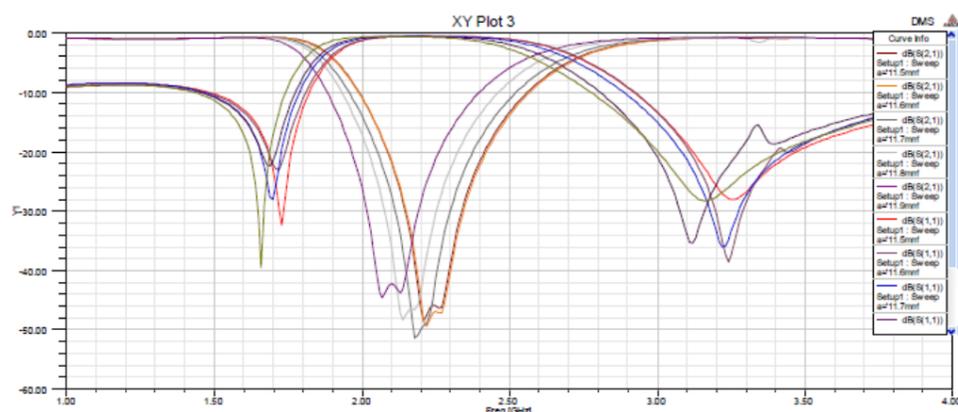


图 3 a 值优化的结果蛇形 DMS 滤波器仿真图

我们从图 2 中，可以知道 a 的取值在 11.5mm-11.9mm 之间是我们所需要的频率，所以对此我们在 $a=11.5\text{mm}-11.9\text{mm}$ 范围内进行了优化。优化结果如图 3 所示。图 4 是带阻滤波器阻带细节图，可以发现，满足阻带 40dB 抑制的频率范围从 2.15GHz-2.25GHz。阻带中，对信号的抑制基本上都大于 40dB，阻带到通带的过渡带宽为 10MHz。由于该带阻滤波器采用微带线传输线作为主传输线，因此在低于阻带频率的通带传输特性非常好，这里我们只关注 2GHz~3.5GHz 范围内的带阻测试曲线。该带阻滤波器的通带反射在 -20dB 以下。

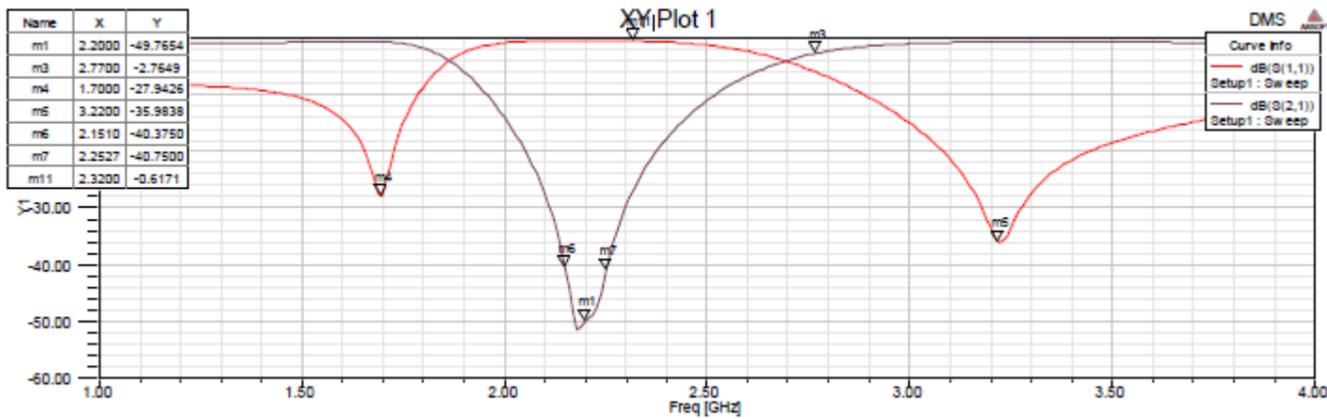


图 4 $a=11.7\text{mm}$ 蛇形 DMS 滤波器仿真图

3.3 实物加工及测试

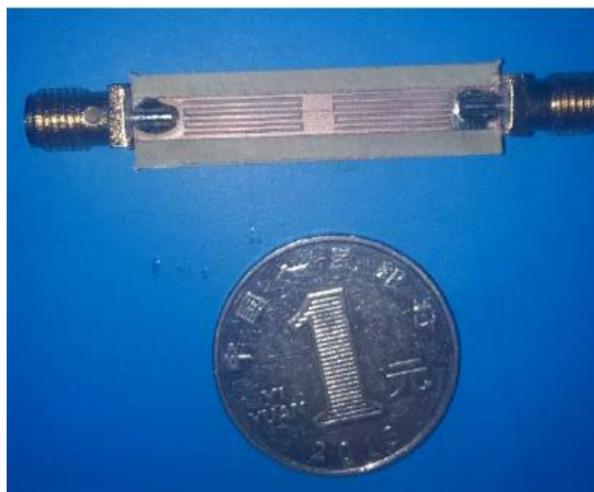


图 5 $a=11.7\text{mm}$ 蛇形 DMS 滤波器实物图

优化完成后，根据得到的模型进行加工。我们采用的是 Rogers4350B 为衬底的 50Ω 标准微带线，其物理尺寸是：40mm*10mm*0.708mm。蛇形带阻滤波器的实物图见图 5 所示，而且在拍照的同时加入一枚硬币，通过图中二者的大小比例就可以大概了解滤波器的实际大小。

利用矢量网络分析仪对实物进行测试，测试结果如图 6 所示。

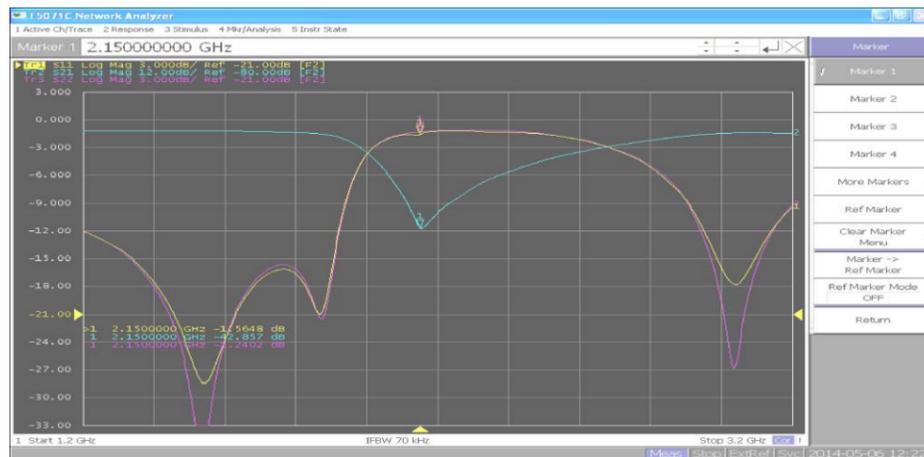


图 6 实物测试结果图

可以发现，阻带内 S_{21} 衰减值为 42.857dB，满足阻带衰减要求，但通带频段内衰减为 12dB，与理论值有点偏差。测试曲线与仿真曲线有些偏差，这个不同主要是计算误差（电磁场的数值计算较理想化）和加工误差（实际中达不到的精度）引起的。

4. 总结

本文主要优点如下：

- 1.该 DMS 具有很宽的阻带特性，能很好地抑制高次谐波，通过优化将铜带内波文减少到 0.3dB 以下；
- 2.DMS 具有小型化，容易集成等优点；
- 3.通过改变参数 a 实现不同频率的带阻特性；
- 4.提出一种新型 DMS 结构，分析 DMS 结构的频率特性与尺寸之间的关系。

DMS 是刻蚀在金属带上的，避免了因接地板缺陷（如 DGS、EBG 等）造成的电磁波泄露问题，从而 DMS 的微带线没有封装问题，易于与其他微波器件集成。并且，该结构在高频段（10GHz 以上）没有出现阻带随导带长变化而偏移的现象，比 DGS 适用更宽的频带。

本文在熟悉微波基本理论的基础上，设计了一个二端口网络的蛇形 DMS 微带滤波器，整个设计过程从滤波器基本知识、设计原理、设计步骤、软件仿真和实物加工几个方面来完成。在设计过程中遇到了一些问题，最主要就是关于仿真软件的使用。这需要我通过去查阅一些实例去了解学习 ANSYS HFSS 从而得到更准确的结果。随着无线通信的高速发展，人们对器件的要

求越来越高，器件的宽频带、小型化、低损耗成为了主要发展趋势，本文只是做了一些小尝试，对于滤波器的发展可能意义不大，但是对我在以后的学习和工作道路中有着重大的意义。

参考文献

- [1] David M. Pozar. Microwave Engineering. John Wiley and Sons, 3rd Edition edition, 2005.
- [2] R.R.Mansour. Filter technologies for wireless base stations. IEEE Microwave Magazine, vol.5:pp.68-74,2004.
- [3] 吴边.无线通信中微波滤波器的比较设计法与应用研究[D].西安电子科技大学，西安，2008.
- [4] P.I.Richard, " Resistor-Transmission Line circuits," Proc.of the IRE, vol.36(2):217- 220, February 1948.
- [5] Microwave Engineering,Third Edition ISBN 978-7-121-02312-5.