

# 一种基于地面缺陷结构的低通滤波器设计

牟进超 于伟华 李响 孙厚军 吕昕

(北京理工大学微波技术研究所微波通信与电子系统实验室, 北京 100081)

tvb\_bit@yahoo.com.cn

**摘要:** 本文提出了一种 T 型 DGS 单元。该单元与传统的哑铃型结构相比, 具有更好的性能。通过对参数进行扫描分析, 得出了 T 型 DGS 单元的物理尺寸参数与等效电路参数的关系。利用这种 T 型 DGS 单元, 设计了一个三极点的低通滤波器。该滤波器带内损耗, 带外抑制好, 具有一定的应用价值。

**关键词:** 地面缺陷结构 (DGS) T 型 DGS 哑铃型 DGS 三极点低通滤波器

## A Design of Low Pass Filter Based on T-shape DGS unit

MOU Jin-chao, LI Xiang, YU Wei-hua, SUN Hou-jun, LV Xin

(Laboratory of Microwave Communication and Electronic System, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract:** A novel DGS unit was proposed in this paper. Compared to the conventional dumb-bell DGS, the proposed DGS has a better performance, such as larger Q-factor, deeper rejection, and smaller occupying area with the same pole frequency. The physical dimensions of the proposed DGS were analyzed and the equivalent circuit parameter was extracted according to S parameters. Based on the proposed DGS, a 3 pole low pass filter was designed. The filter has low insertion loss in the passband and high sharpness factor with more compact size, all of which make the proposed filter a strong candidate for applications in various microwave applications.

**Keywords:** Defected Ground Structure (DGS); T-shape DGS; dumb-bell DGS; 3-pole low pass filter

### 1 引言

地面缺陷结构 (DGS: Defected Ground Structure) 是由韩国学者 J.I.Park 基于 PBG 结构提出的一种结构<sup>[1]</sup>, 如图 1 所示。这种结构是通过在接地板上刻蚀缺陷的图形以实现带隙特性, 这是因为接地板上刻蚀缺陷的图形会扰乱接地板上传导电流的分布, 改变了传输线的特性, 从而改变了微带线的等效电感和电容。

DGS 的优点有:

1. 结构简单, 加工容易, 可以避免由于高阻抗线引起的工艺难度。
2. 具有慢波特性和带阻特性, 因而由 DGS 构成的器件尺寸会 smaller;
3. 易于用电磁场理论分析以及等效电路建模;
4. 具有良好的带阻特性, 因而可以很好的抑制谐波杂波;

正是 DGS 的慢波特性和带阻特性, 使得 DGS 成为近年来成为一个研究热点。DGS 可以应用在许多微波元器件中, 如滤波器<sup>[2-3]</sup>、功率分配器<sup>[4]</sup>、功率放大器<sup>[5]</sup>、振荡器<sup>[6]</sup>、天线<sup>[7]</sup>、耦合器<sup>[8]</sup>等等。

本文提出了一种 DGS 单元。用该单元构成的低通滤波器通带衰减减小, 带外抑制好, 并且结构紧凑。

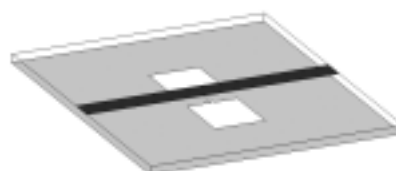


图 1 传统哑铃型 DGS 单元

### 2 T型DGS

本文提出的 T 型 DGS 结构如图 2 所示。为了比较 T 型 DGS 和传统的哑铃型 DGS 结构之间的性能 (图 3), 本文设计了占用相同地板面积的两个 DGS 单元, 具体尺寸如表 1 所示。仿真结果如图 4 所示。

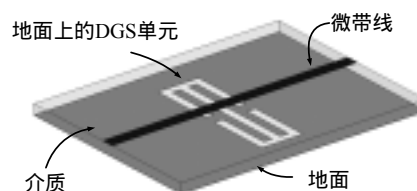


图 2 T 型 DGS 单元三维视图

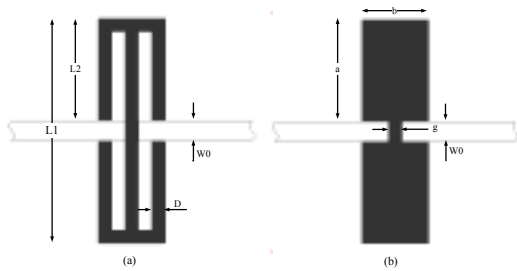


图3 T型DGS和哑铃型DGS示意图

表1 相比的DGS尺寸

T型DGS	哑铃型DGS
L1=8.5 mm	a=3.87 mm
L2=3.87 mm	b=2.5 mm
D=0.5 mm	g=0.5 mm
面积=21.25 mm <sup>2</sup>	面积=21.25 mm <sup>2</sup>

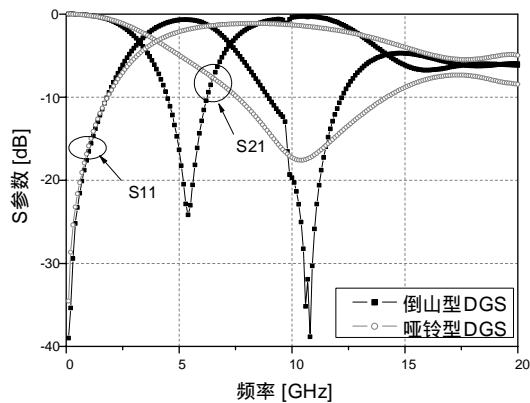


图4 T型DGS单元与哑铃型DGS单元的仿真结果

由图4可以看到，T型DGS具有比哑铃型DGS更低的极点频率，这意味着如果要想实现相同的极点频率，T型DGS单元占用的面积更小；另外，T型DGS的Q值更大，极点更深，这意味着用这个单元构成的滤波器会有更好的阻带特性。

DGS之所以能够提供极点，是因为缺陷单元改变的微带线的等效电感。DGS单元的等效电路可以用并联LC电路来代替<sup>[9]</sup>，如图5a所示。根据DGS单元的极点和3dB截止频率即可得到相应的参数值。具体关系为：

$$C = \frac{\omega_c}{Z_0 g_1} \frac{1}{\omega_o^2 - \omega_c^2} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 C} \quad (2)$$

图4中， $f_c=3.05\text{GHz}$ ， $f_o=5.40\text{GHz}$ ，由式(1)和式(2)可以得到：

$$L_p = 3.55 \text{ nH}$$

$$C_p = 0.24 \text{ pF}$$

电磁场仿真结果与电路仿真结果的比较如图6所示。由图6可以看出，在极点左侧，即小于极点频率的频段，电磁场仿真和电路仿真吻合的很好。

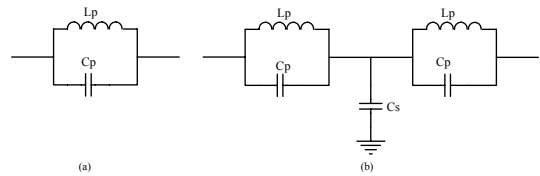


图5 电磁场仿真与电路仿真的结果比较

DGS单元尺寸的变化可以改变极点位置以及截止频率。下面使用基于有限元分析的仿真软件，Ansoft的HFSS，对T型DGS的尺寸进行分析。选用的介质基板为RT/Duriod 5880，其厚度为0.254mm，介电常数为2.2。仿真结果如图6所示。

由图7可以看出，当L1增加时，衰减极点向低频移动，而截止频率基本保持不变。这说明缝隙仅仅会影响等效电容。当L2增加时，截止频率减小，这说明等效电感随着L2的增加而增加；另外，衰减极点的位置也随着L2的增加而减小，这是因为当等效电感增加时，并联LC电路的谐振频率会减小。

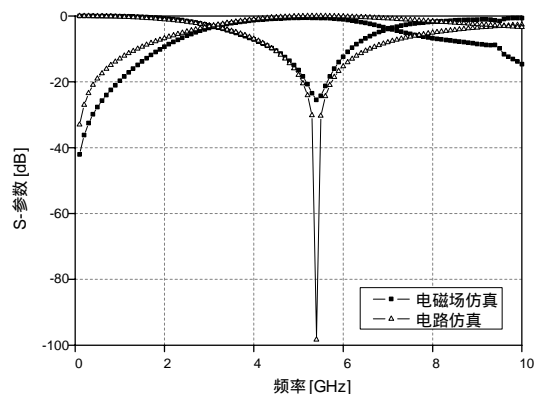
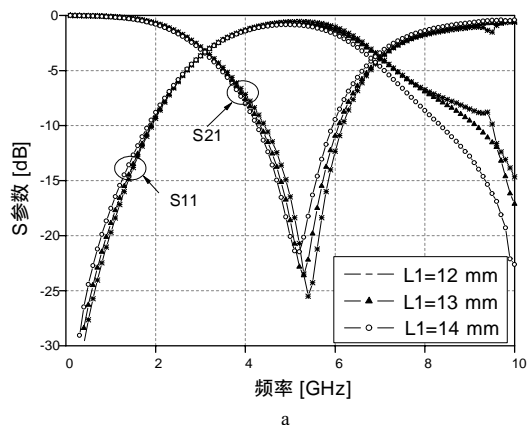


图6 DGS等效电路 (a)DGS单元 (b)低通滤波器



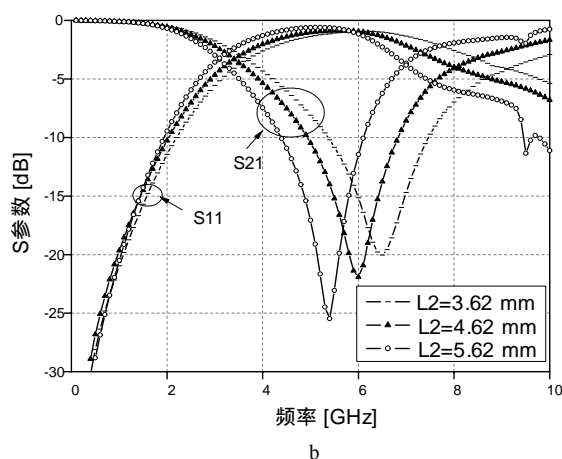


图7 T型DGS的参数分析(a)L1 (b)L2

### 3 三极点低通滤波器的设计

对于传统的高低阻抗低通滤波器，高阻抗线通常很细，这将限制滤波器的功率容量，同时可能会引起加工难度。使用DGS实现低通滤波器可以克服上述两个缺点。

利用T型DGS单元，本文设计了一个三极点低通滤波器，如图8所示。其等效电路如图5b所示。T型枝节用于实现低通滤波器的并联电容。

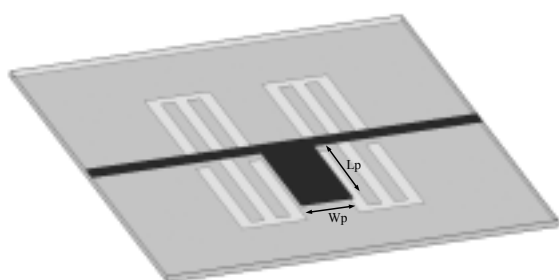


图8 三极点低通滤波器三维视图

低通滤波器的基本尺寸如表2所示。图9给出了仿真结果。由仿真结果可以看出，该滤波器的截止频率为2.85GHz，衰减因子为24.42dB/GHz，阻带抑制大于20dB的带宽为4.2GHz

表2 低通滤波器的尺寸

滤波器尺寸
L1=12.5 mm
L2=5.87 mm
D=0.5 mm
Wp=2 mm
Lp= 5.12 mm

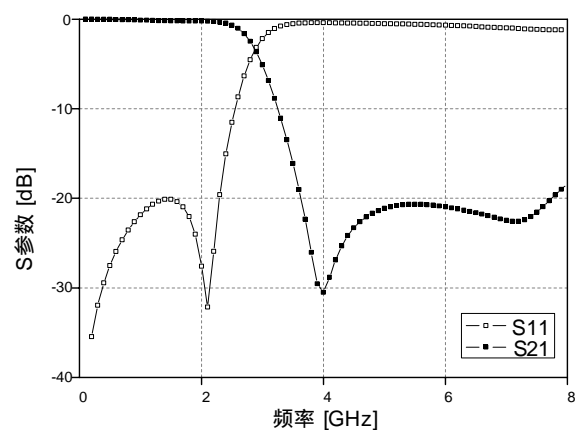


图9 三极点低通滤波器的仿真结果

### 4 结论

本文提出了一种T型DGS结构。该结构与传统的哑铃型DGS单元相比，具有更高的Q值和更深的极点；另外，在具有相同极点的条件下，该结构占用更小的面积。基于该T型DGS单元，本文设计了一个三极点的低通滤波器。从仿真结果来看，该低通滤波器带内插损小，带外抑制好，并且体积小，具有一定的应用价值。

### 参考文献

- [1] I.J. I. Park, C-S. Kim, J. Kim, J-S. Park, Y. Qian, D. Ahn, T. Itoh, Modeling of a Photonic Bandgap And Its Application for the Low-pass Filter Design, Microwave Conference, 1999 Asia Pacific, 331-334, 1999.
- [2] Chen, J., Li, J., Wan, K., Xue, Q. Compact quasi-elliptic function filter based on defected ground structure, Microwaves, Antennas and Propagation, Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings -2006, 153, (4), 320- 324.
- [3] Mandal, M. K.; Sanyal, S. A novel defected ground structure for planar circuits, Microwave and Wireless Components Letters, IEEE on 2006, 16, (2), 93- 95.
- [4] Duk-Jae, W.; Taek-Kyung, L. Suppression of harmonics in Wilkinson power divider using dual-band rejection by asymmetric DGS, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 2005, 53, (6), 2139- 2144.
- [5] Jong-Sik, L.; Jun-Seok, P.; Young-Taek, L.; Dal, A.; Sangwook, N. Application of defected ground structure in reducing the size of amplifiers, Microwave and Wireless Components Letters, IEEE on 2002, 12, (7), 261-263.
- [6] Young-Taek, L.; Jong-Sik, L.; Jun-Seok, P.; Ahn, D.; Sangwook, N. A novel phase noise reduction technique in

oscillators using defected ground structure, Microwave and Wireless Components Letters, IEEE on 2002, 12, (2), 39-41.

- [7] Younkyu, C.; Seong-Sik, J.; Ahn, D.; Jae-Ick, C.; Itoh, T. High isolation dual-polarized patch antenna using integrated defected ground structure, Microwave and Wireless Components Letters, IEEE2004, 14, (1), 4- 6.
- [8] Sung, Y. J.; Ahn, C. S.; Kim, Y. -S. Size reduction and

harmonic suppression of rat-race hybrid coupler using defected ground structure, Microwave and Wireless Components Letters, IEEE2004, 14, (1), 7- 9.

- [9] Ahn, D.; Park, J. -.; Kim, C. -.; Kim, J.; Qian, Y.; Itoh, T. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 2001, 49, (1), 86-93.

## 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, 致力和专注于微波、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/>