

一种新型一维周期 DGS 单元结构特性研究

曹毅 王光明

(空军工程大学导弹学院 三原 713800)

摘要 该文设计了一种新型一维周期地面缺陷(Defected Ground Structure, DGS)单元结构, 该 DGS 单元结构提高了等效电感。增加的等效电感可以容易控制 DGS 平面电路的截止频率特性。设计的周期 DGS 单元结构有非常好的截止和带阻特性。为了显示改进的等效电感, 该文设计了 3 个周期相同而单元尺寸不同的 DGS 电路。DGS 电路的测试结果显示截止和带阻的中心频率特性由该 DGS 单元结构的物理尺寸决定。

关键词 地面缺陷结构, 截止频率, 带阻, 光子带隙

中图分类号: TN455 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2006)01-0177-03

Characteristic Research of the Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure

Cao Yi Wang Guang-ming

(Air Force Engineering University Missile College, Sanyuan 713800, China)

Abstract A new one-dimensional periodic defected ground unit structure is proposed in order to improve the effective inductance. Increasing the effective inductance makes it easy to control the cutoff frequency characteristics of the DGS planar circuits. The proposed period Defected Ground Structure (DGS) provides the excellent cutoff and stopband characteristics. In order to show the improved effective inductance, three DGS circuits are fabricated with identical period and different dimensions. Measurements on the fabricated DGS circuits show that the cutoff and stopband center frequency characteristics depend on the physical dimension of the proposed unit lattice.

Key words Defected Ground Structure(DGS), Cutoff frequency, Stopband, Photonic Bandgap(PBG)

1 引言

光子带隙(PBG)研究最初是在光学领域, 但是光子带隙结构可以运用在很宽的频率范围内, 通过设计合适的尺寸, 光子带隙结构也可以运用在微波频段内。最近, PBG在微波和毫米波的应用逐渐成了研究热点^[1-3]。周期光子带隙结构在某些频段内具有抑制效应, 如: 带隙或带阻特性^[4-6]。然而, 由于找出PBG电路的等效电路和电路参数比较复杂, 因此, 就增加了PBG电路应用到微波或毫米波元件中的难度。在PBG电路中, 许多设计参数与PBG结构的带隙特性有关, 如: 单元的数量、形状、单元之间的间隔等。

本文中设计了一种新型的地面缺陷单元形状作为DGS单元结构, 从计算结果可以看出, 该DGS单元结构具有带阻特性。设计的DGS单元结构, 由于地面缺陷单元增加了电路的等效电感, 因此具有截止频率特性。通过改变地面缺陷单元的物理尺寸, 可以很容易控制等效电感。通过DGS单元电路的等效电路可以解释其带阻特性。此外, 为了说明等效电

感的变化对DGS平面电路的影响, 本文计算了3种不同尺寸的DGS单元结构。并以此设计的3个周期相同的DGS平面电路, 每个DGS平面电路均由5个相同的DGS单元结构组成。

2 DGS单元结构设计

图1是本文设计的DGS单元结构示意图, DGS单元缺陷腐蚀在微带线的接地平面上。微带线的材料为: FR4, 即 $\epsilon_r = 4.4$, $h = 1.6\text{mm}$ 。微带线的线宽为特性阻抗 50Ω 微带线的线宽, 即 3.06mm 。为了说明DGS单元结构尺寸与等效

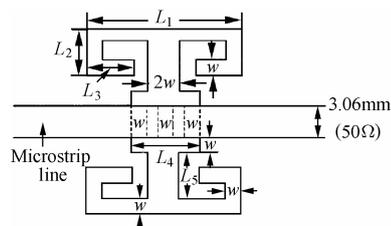


图1 DGS单元结构示意图

Fig. 1 Schematic view of the DGS cell structure

电感和截止频率的关系, 本文运用商业软件ANSOFT Designer软件, 分别计算了3种尺寸的DGS单元。其尺寸变化

见表1。表1将3种尺寸的DGS单元结构分别称作第1类，第2类和第3类。

表1 3种DGS单元结构的物理尺寸

Table 1 Physical sizes of the three kinds of DGS cell structure

	W(mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)
第1类	1	10	3	3	5	3
第2类	0.8	8	2.4	2.4	4	2.4
第3类	0.6	6	1.8	1.8	3	1.8

图2给出了形状如图1所示3种尺寸DGS单元结构的S参数，即散射参数： S_{11} 表示反射系数， S_{21} 表示传输系数。从图中可以看出设计的DGS单元结构增加了微带线的串联电感。由文献[7]可知：串联电感的变化会引起截止频率点的变化，而并联电容和串联电感的变化会引起衰减极点的位置。随着单元尺寸的增加，引起微带电路的串联电感的增加，串联电感的增加引起截止频率的降低，如图2所示。从图中还可以看出，存在DGS单元结构的衰减极点。衰减极点可以用串联电感和并联电容组成的L-C并联电路来解释，微带线下面的缝隙(图1虚线所示)会引起并联电容，因此，该DGS单元结构的等效电路可以用并联L-C电路表示，如图3所示。随着串联电感的增加，等效并联L-C电路的谐振频率和截止频率均降低。图2可以看出随着DGS单元结构尺寸的增加，衰减极点频率降低，与等效电路的理论分析一致，说明了该DGS单元结构的等效电路的正确性。本文用DGS单元等效电路将第一种类型的DGS单元等效，得出相应的值： $L = 1.8365\text{nH}$ ， $C = 0.5473\text{pF}$ ， $Z_0 = 50\Omega$ ，其计算方法见文献[8]。将等效电路的计算结果与DGS单元的计算结果进行比较，如图4所示。可以看出，等效电路的计算结果与DGS单元计算结果基本吻合，说明本文提出的DGS单元等效电路模型的正确性。

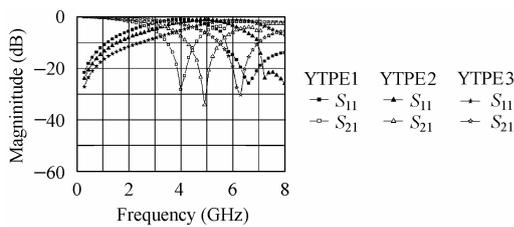


图2 设计的3种DGS单元结构的S参数

Fig. 2 S parameters of three kinds of designed DGS cell structure

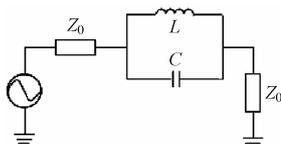


图3 图1所示DGS单元结构的等效电路

Fig. 3 Equivalent circuit of the DGS cell structure showed as Fig.1

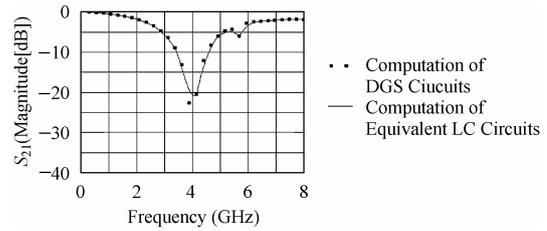


图4 DGS单元与等效电路的S₂₁参数计算结果

Fig. 4 Computed S_{21} parameter results of DGS cell and its equivalent circuit

3 计算和测量结果

本文将设计的3种尺寸的DGS单元结构分别组成3个DGS周期平面电路，如图5所示。DGS周期平面电路由5个DGS单元组成，3种尺寸的DGS周期平面电路的周期均一样，即： $d = 10.5\text{mm}$ 。为了比较3种一维DGS周期平面电路的性能，本文做成实际电路，并且进行了测量。微带线的材料与图1相同。

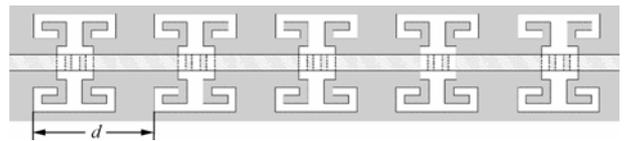


图5 一维周期DGS电路示意图 (d为周期)

Fig. 5 Schematic view of the one dimension period DGS circuit (d : period)

3种尺寸的一维DGS平面电路的计算和测量结果如图6(a) - 6(c)所示。由于3种DGS平面电路的周期均为 $d = 10.5\text{mm}$ ，从图中看出，3种尺寸DGS平面电路的 -20dB 隔离带宽变化不大，由此可知， -20dB 隔离带宽与DGS平面电路的周期有关，可以通过调节电路的周期来改变电路的 -20dB 隔离带宽。在低频段内，3种DGS平面电路的插入损耗均小于 -1.2dB ，回波损耗均在 -15dB 以下，可以有效地抑制带内波纹。由于3种DGS平面电路的周期一样，随着DGS单元的尺寸的增加，其截止频率降低。可知，DGS平面电路的截止频率只与DGS单元的尺寸有关，与周期无关。可以得出以下的结论：(1) DGS单元尺寸主要影响截止频率和带阻特性；(2) DGS单元周期主要影响带阻宽度和深度。

DGS单元的尺寸变化会引起微带电路的等效电感变化，进而引起截止频率和带阻特性变化，单个DGS单元的谐振频率会引起带阻特性中心频率的变化。因此，设计的DGS平面电路的截止频率和带阻特性能够很容易根据每个DGS单元的谐振频率估算出来。

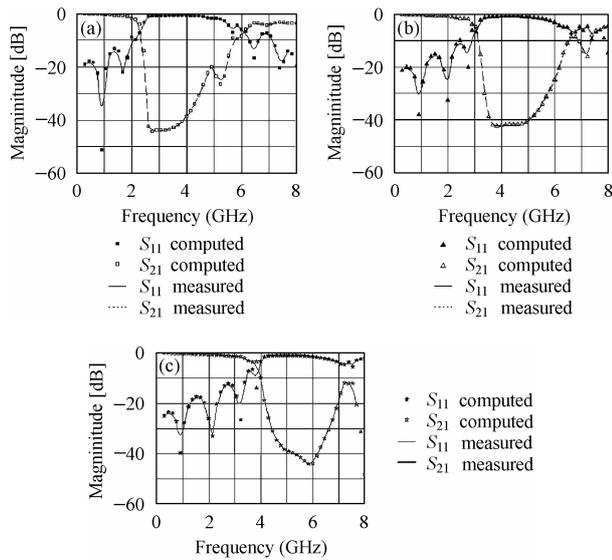


图6 一维周期DGS平面电路 S 参数计算和测量结果
(a)第1类DGS平面电路 S 参数计算和测量结果,(b)第2类DGS平面电路 S 参数计算和测量结果,(c)第3类DGS平面电路 S 参数计算和测量结果

Fig. 6 S parameter computed and measured results of the one dimension period DGS plane circuit
(a) S parameter computed and measured results of the first kind DGS plane circuit (b) S parameter computed and measured results of the second kind DGS plane circuit (c) S parameter computed and measured results of the third kind DGS plane circuit

4 结束语

本文设计了一种新型的一维DGS平面电路,其中,DGS单元的接地缺陷图形在国内外相关文献中均未见报道,经过计算可以看出,该DGS单元具有很好的截止频率和带阻特性。将该DGS单元运用到DGS平面电路中,具有低的带内插入损耗和小的回波损耗,并且可以有效地抑制带内波纹。通过改变DGS单元的尺寸大小,可以控制DGS平面电路的截止

频率和带阻特性。这种新型的DGS单元结构可以有效地用于各种微波集成电路(MIC),单片微波集成电路(MMIC)和低温共烧陶瓷(LTCC)电路中。

参考文献

- [1] Ellis T J, Rebeiz G M, *et al.* MM-wave tapered slot antennas on micromashed photonic bandgap dielectrics. *IEEE MTT-S Int Microwave Symp Dig*, 1996: June: 1157 – 1160.
- [2] Radisic V, Qian Y, Itoh T, *et al.* Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure. *IEEE Microwave Guide Wave Lett*, 1998 Jan, vol 8: 13 – 14.
- [3] Kesler M P, Maloney J G, Shirley B L, *et al.* Antenna design with the use of photonic bandgap material as all dielectric planar reflectors. *Microwave Opt Tech Lett*, 1996, 11(4): 169 – 174.
- [4] Radisic V, Qian Y, Coccioli R, *et al.* Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines. *IEEE Microwave Guided Wave Lett*, 1998, 8(2): 69 – 71.
- [5] Qian Y, Radisic V, Itoh T, *et al.* Simulation and experiment of photonic bandgap structures for microstrip circuits. *Proc. APMC'97*, Dec 1997: 585 – 588.
- [6] Maystre D, *et al.* Electromagnetic study of photonic band gaps. *Pure Appl Opt*, 1994, 3(6): 975 – 993.
- [7] Kim Chul-Soo, Park Jun-Seok, Ahn Dal, *et al.* A novel 1-D periodic defected ground structure for planar circuits. *IEEE Microwave and Guided Wave Lett*, 2000, 10(4): 131 – 133.
- [8] Ahn Dal, Park Jun-Seok, Kim Chul-Soo, *et al.* A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure. *IEEE Trans. on MTT*, 2001, 49(1): 86 – 93.

曹毅: 男, 1977年生, 博士生, 研究方向为电磁散射与辐射、天线、电磁场数值计算、PGB在微带电路中的研究与应用。

王光明: 男, 1964年生, 教授, 博士生导师, 从事电磁辐射与散射、微波电路与系统和计算电磁场等。