

一种抑制 SSN 的新型宽带平面电磁带隙结构

王 鹏¹, 吴 阳², 叶 茂¹, 田 毅¹, 薛茜男¹

(1. 中国民航大学 天津市民用航空器适航与维修重点实验室, 天津 300300; 2. 中国民航大学 安全科学与工程学院, 天津 300300)

摘 要: 随着现代高速数字电路的快速发展, 同步开关噪声(SSN)问题变得越来越突出。该文提出了一种适用于高速数字电路中抑制同步开关噪声的新型宽带平面电磁带隙(EBG)结构, 并用 Ansoft HFSS 软件对该电磁带隙结构进行数据仿真分析。仿真结果表明, 在抑制深度为 -30 dB 时, 其阻带范围为 $0.2 \sim 5.6$ GHz, 与传统的 L-bridge 型电磁带隙结构比较, 阻带下限截止频率下降了 500 MHz, 阻带带宽增加了 1.4 GHz, 相对带宽增加了 38.1%, 且能全向抑制同步开关噪声。

关键词: 电磁带隙结构; 同步开关噪声; 高速数字电路; Ansoft HFSS; L-bridge

中图分类号: TN710 **文献标识码:** A

A Novel Wide-band Planar EBG Structure for SSN Suppression

WANG Peng¹, WU Yang², YE Mao¹, TIAN Yi¹, XUE Qiannan¹

(1. Tianjin Key Lab. for Civil Aircraft Airworthiness and Maintenance, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China,

2. College of Safety Science & Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: With the rapid development of modern high-speed digital circuits, simultaneous switching noise(SSN) problem becomes more and more prominent. A novel wide-band planar electromagnetic band-gap(EBG) is proposed for the suppression of SSN in high-speed digital circuits. The proposed electromagnetic band-gap is simulated and analyzed by using Ansoft HFSS. The simulation results show that the -30 dB suppression bandwidth ranges from 0.2 GHz to 5.6 GHz. Compared to the L-bridge EBG, the lower cut-off frequency is decreased by 500 MHz, the bandwidth is increased by 1.4 GHz, the relative bandwidth is increased by 38.1%. At the same time, it can suppress the simultaneous switching noise omnidirectionally.

Key words: electromagnetic band-gap; simultaneous switching noise; high-speed digital circuits; ansoft HFSS; L-bridge

0 引言

随着现代高速数字电路的快速发展, 电源或地平面上的同步开关噪声(SSN)问题^[1]越来越突出。同步开关噪声不仅能影响信号传输, 产生电磁干扰, 还有可能导致模拟/数字电路故障。人们已提出去耦电容法^[2]、嵌入式电容器法^[3]、电源层分割和电源岛法^[4]、差分信令法^[5]等方法来解决这一问题, 但去耦电容法只能在数百兆赫兹的较低频率范围内使用; 嵌入式电容法和差分信令法都会使制作成本变大; 电源层分割和电源岛法使电源平面的电流返回路径不连续。

近年来, 电磁带隙(EBG)结构成为研究 SSN 问

题的一个热点。一些蘑菇型 EBG 结构^[6]和平面型 EBG 结构^[7-9]被提出以抑制高速数字电路中的同步开关噪声。蘑菇型 EBG 结构虽能很好地抑制 SSN, 但由于其结构设计中存在过孔, 使其结构复杂, 制作成本较高, 所以研究人员提出了结构简单, 成本较低的平面型 EBG 结构。

本文提出的一种新型宽带平面 EBG 结构是基于传统 L 桥接型 EBG(L-bridge EBG)结构^[8]改进。抑制深度为 -30 dB 时, 其带宽为 $0.2 \sim 5.6$ GHz, 阻带宽度为 5.4 GHz。与传统的 L-bridge 结构相比, 阻带下限截止频率从 700 MHz 下降到 200 MHz, 阻带带宽从 4 GHz 增加到 5.4 GHz, 相

收稿日期: 2014-07-08

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国民用航空局联合基金资助项目(U1333120), 中央高校基本科研业务基金资助项目(3122013P004), 中国民航大学科研启动基金资助项目(2012QD26X)

作者简介: 王鹏(1982-), 男, 新疆人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事航空电子的研究。

对带宽增加了 38.1%,能全向抑制同步开关噪声。

1 新型平面 EBG 结构设计

每个 EBG 单元只要比其上传播的信号波长小,EBG 结构就能建模为并联 L - C 滤波器,其中 L 和 C 分别是 EBG 结构金属贴片的等效电感和等效电容^[10]。2 个相邻单元间的带隙建模为等效电容 C ,单元间的折线连接桥建模为等效电感 L 。而 EBG 结构的中心频率 f_0 和相对带宽 Bw 由建模出来的 L 和 C 决定^[7],即

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$Bw = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

式中 η 为自由空间波阻抗。

由式(1)可看出,适当增大 L 可有效降低 EBG 结构的 f_0 。由式(2)可看出,在 C 变化较小时,适当增大 L ,可增大带隙结构的 Bw 。基于传统的 L-bridge 型结构,本文提出了一种抑制 SSN 的新型宽带平面 EBG 结构,它可应用于高速印刷电路板 (PCB) 上,以抑制 SSN,其尺寸如图 1 所示。其中 $a=30 \text{ mm}$, $w_1=w_2=0.2 \text{ mm}$, $g=0.1 \text{ mm}$,折线间距均为 0.2 mm 。

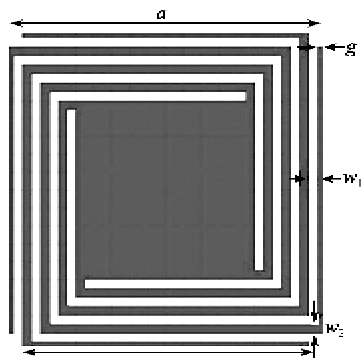


图1 EBG单元图

2 仿真结果及数据分析

为测试新型宽带平面 EBG 结构对 SSN 问题的抑制能力,设计了一个 3×3 单元阵列的双层 PCB,保持接地平面连续,将 EBG 结构蚀刻嵌入电源层平面。衬底介质材料为 FR4,其相对介电常数 $\epsilon_r=4.4$,损耗角正切 $\tan \delta=0.02$ 。为方便研究,将这个双层 PCB 板尺寸设计为 $90 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$,其顶视图及三维视图如图 2、3 所示。用 Ansoft HFSS 软件对新型平面 EBG 结构进行数值仿真,以图 3 左下方为坐标原点,设置 3 个集总端

口。将端口 1($45 \text{ mm}, 45 \text{ mm}, 0.4 \text{ mm}$)设置为输入端口,端口 2($75 \text{ mm}, 75 \text{ mm}, 0.4 \text{ mm}$)和端口 3($75 \text{ mm}, 45 \text{ mm}, 0.4 \text{ mm}$)设置为输出端口,采用 50Ω 同轴激励进行研究。

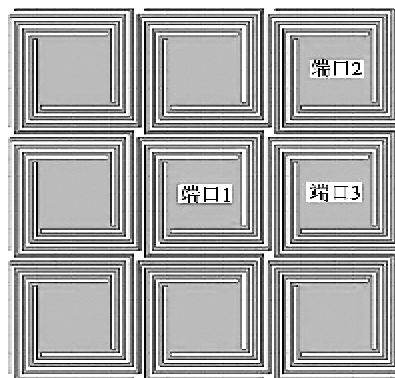


图2 顶视图

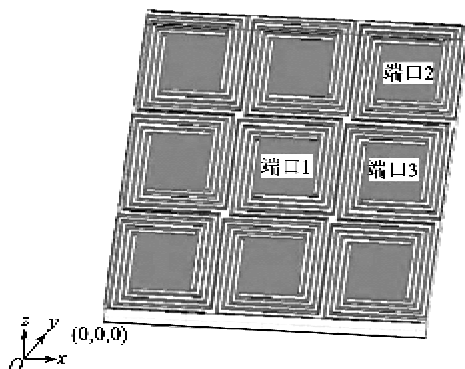


图3 三维视图

图 4 为参考电源平面和新型平面 EBG 结构 s_{21} 仿真结果图^[5]。由图可知,抑制深度为 -30 dB 时,新型平面 EBG 结构的抑制带宽为 $0.2 \sim 5.6 \text{ GHz}$,最大抑制深度可达 -78 dB 。相对于参考电源平面,新型平面 EBG 结构能有效抑制 SSN。

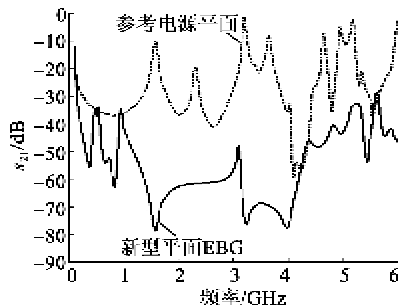


图4 新型平面 EBG 和参考电源平面特性比较

图 5 为新型平面 EBG 和 L-bridge 型 EBG 的带隙特性比较。由图可看出,在抑制深度为 -30 dB 时,L-bridge 型 EBG 的抑制频率为 $0.7 \sim 4.7 \text{ GHz}$,阻带宽度为 4 GHz ,相对阻带带宽为 148.1% 。而

新型平面 EBG 的抑制频率为 0.2~5.6 GHz,阻带带宽为 5.4 GHz,相对阻带带宽为 186.2%。和 L-bridge 型 EBG 相比,新型平面 EBG 结构的下限截止频率由 700 MHz 下降 200 MHz,相对阻带带宽由 148.1%增大到 186.2%,增长幅度为 38.1%,带宽也由 L-bridge 型 EBG 的 4 GHz 扩大到了 5.4 GHz。可见新型平面 EBG 结构能在更低工作频率下抑制 SSN,且抑制范围较传统的 L-bridge 型 EBG 结构广。

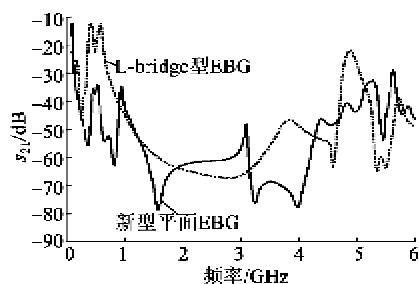


图5 新型平面 EBG 和 L-bridge 型 EBG 特性比较

图 6 为新型平面 EBG 结构在端口 1 的激励下,输出端口 2、3 的损耗特性比较。由图可看出,在抑制深度为 -30 dB 时, s_{21} 和 s_{31} 特性曲线走势基本一致,从而说明新型平面 EBG 结构能全向抑制 SSN。

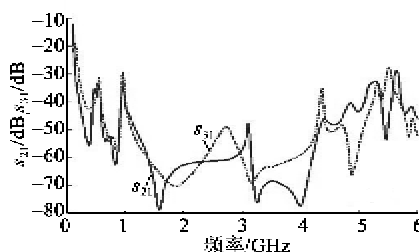


图6 新型平面 EBG 的 s_{21} 和 s_{31} 特性比较

3 结束语

本文根据相邻 EBG 单元间的等效电感对 EBG 阻带特性的影响原理,提出了一种新型宽带平面 EBG 结构。利用 Ansoft HFSS 软件,对嵌入新型宽带平面 EBG 结构的 PCB 进行建模仿真分析。仿真结果表明,在抑制深度为 -30 dB 时,新型宽带平面 EBG 结构的抑制频率为 0.2~5.6 GHz。和 L-bridge 型 EBG 结构比较,新型宽带平面 EBG 结构具有更低的下限截止频率,更宽的阻带带宽,且能全向有效抑制 PCB 上的 SSN。

参考文献:

[1] KANG, KIM H, KIM S G, et al. A localized enhanced power plane topology for wide-band suppression of simultaneous switching noise[J]. IEEE Transactions

on Electromagnetic Compatibility, 2010, 52(2): 373-380.

- [2] KIM Y J, YOON H S, LEE S S, et al. An efficient path-based equivalent circuit model for design, synthesis, and optimization of power distribution networks in multilayer printed circuit boards[J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2004, 27(1): 97-106.
- [3] MUTHANA P, SRINIVASAN K, ENGIN A E, et al. Improvements in noise suppression for I/O circuits using embedded planar capacitors[J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2008, 31(2): 234-245.
- [4] WU C T, SHIUE G H, LIN S, et al. Composite effects of reflections and ground bounce for signal line through a split power plane[J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2002, 25(2): 297-301.
- [5] ABHARI R, ELEFTHERIADES G V, DEVENTER—EVENTER V E. Analysis of differential vias in a multilayer parallel plate environment using a physics-based CAD model[C]//Phoenix, AZ, USA: IEEE International Microwave Symposium Digest, 2001: 2031-2034.
- [6] LU Hongmin, ZHANG Xinli, YU Zhiyong, et al. Wide band GBN suppression in high-speed printed circuit boards and packages using double-side electromagnetic band-gap structure[C]//Kunming, China: The 8th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory Proceedings, 2008: 1093-1095.
- [7] 刘涛, 曹祥玉, 马嘉俊. 一种新型紧凑宽带平面电磁带隙结构[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(4): 1007-1009.
- LIU Tao, CAO Xiangyu, MA Jiajun. A novel compact wideband planar electromagnetic band-gap structure[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(4): 1007-1009.
- [8] RAO P H. Hybrid electromagnetic band-gap power plane for ultra-wide band noise suppression[J]. Electronics Letters, 2009, 45(19): 981-982.
- [9] 路宏敏, 余志勇, 赵益民, 等. 一种具有新颖电磁带隙结构的印刷电路板电源平面[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2011, 38(3): 20-23.
- LU Hongmin, YU Zhiyong, ZHAO Yimin, et al. Power plan of the printed circuit board with novel electromagnetic band-gap structures[J]. Journal of Xidian University, Natural Science Edition, 2011, 38(3): 20-23.
- [10] 史凌峰, 王海鹏. 一种扩展蘑菇型 EBG 结构阻带带宽的新方法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(10): 2537-2540.
- SHI Lingfeng, WANG Haipeng. Novel method to broaden the stop-band width of the mushroom-like electromagnetic Band gap structure[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(10): 2537-2540.