

文章编号:1001—893X(2010)03—0064—05

电磁带隙结构在同步开关噪声抑制中的应用分析^{*}

张志伟^{1,2}, 李玉山²

(1. 陕西理工学院 电信工程系, 陕西 汉中 723000; 2. 西安电子科技大学 电路 CAD 研究所, 西安 710071)

摘 要:随着数字电路的噪声容限和时序容限不断减小,电源地平面上的同步开关噪声(SSN)成为高速设计的主要瓶颈之一。而现有抑制 SSN 的方法存在各自的不足,因而提出采用电磁带隙结构(EBG)设计来抑制 SSN,软件仿真证明该方法是有用的。基于对多种不同结构 EBG 的研究,给出了 EBG 的设计思路和最新发展趋势,为今后的实际应用研究提供一定的参考与指导。

关键词:数字集成电路;同步开关噪声;抑制方法;电磁带隙结构

中图分类号:TN409 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001—893x.2010.03.014

Application Analysis of Suppressing Simultaneous Switching Noise (SSN) in Electromagnetic Band Gap

ZHANG Zhi-wei^{1,2}, LI Yu-shan²

(1. Department of Engineering Information, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China;
2. Institute of Electronic CAD, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: With the reduction of noise margin and timing margin in the digital circuit, simultaneous switching noise (SSN) has become the bottleneck of the high speed design on the power plane, but existing SSN suppression methods have their shortcomings. In this paper electromagnetic band gap (EBG) is adopted to restrain SSN, its effectiveness is proved through simulation and the design methodology and latest development tendency of EBG are presented in hope of providing some references for future practical study.

Key words: digital IC; simultaneous switching noise(SSN); suppressing method; electromagnetic band gap(EBG)

1 引 言

随着电子系统向高速度、高功耗、低电压、大电流和高集成度的趋势发展,高速数字系统的分析与设计的重点已经从信号完整性转移到电源完整性。同步开关噪声(Simultaneous Switching Noise, SSN)是电源完整性设计的一个重要内容,是衡量电源功率传输质量的重要指标。SSN 的分析与设计已经成为高速系统设计的主角之一已有十余年了,很多关于 SSN 的研究都是对实际情况进行了多次重大的简化。这些研究重点在于阐明 SSN 产生的

机理、对数字系统造成的影响,以及从中找出正确处理 SSN 的办法等。本文在广泛总结和凝练前人研究成果的基础上,分析现有各种抑制 SSN 的方法机理和不足,引入国际上最新的应用电磁带隙结构(Electromagnetic Band Gap, EBG)抑制 SSN 的概念,通过对多种宽带 EBG 结构设计的仿真分析和应用研究,证明其能获得良好的宽带 SSN 抑制效果。

2 同步开关噪声产生的问题

由于信号的边沿变陡,信号的电压不断下降,电路系统越来越庞大,一方面加强了 SSN,另一方面

^{*} 收稿日期:2009—12—07;修回日期:2010—02—02
基金项目:国家自然科学基金资助项目(60871072)
Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 60871072)

电子系统对 SSN 越来越敏感,导致 SSN 噪声的抑制异常困难^[1]。同步开关噪声会激起平面谐振,引起地弹问题和电磁辐射(EMI)。地弹直接影响工作速度和产品可靠性,EMI 导致电子产品无法达到辐射要求,从而不能通过美国 FCC 标准造成产品不能及时推向市场,这将使公司不能实现利润的最大化,甚至会蒙受重大的损失。

随着平面对在电子产品中的广泛使用,数字电路的性能得到了很大提高,研究的方向也从互连电感转向了平面电感,因此对平面对的研究成国际研究的主题。了解微波知识就会知道,平面对其实就是平面波导,因此在微波方向的研究有助于解决 EMI 的问题。

根据面积为 $a \times b$ 的末端开路电路板的电源平面和地平面上电压波动分布图可知,平面上的电压分布取决于谐振模式,而谐振频率取决于模数、绝缘体的介电常数和平面的物理尺寸。平面的谐振频率由下式可得:

$$f_{\min} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \tag{1}$$

假设 $b > a$, 第一种模式相应的谐振频率为

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu\epsilon}} \frac{\pi}{b} = \frac{1}{2b \sqrt{\mu\epsilon}} \tag{2}$$

在式(1)和式(2)中, μ 和 ϵ 分别表示平面间材料的导磁率和介电常数。平面上的电压分布取决于电源位置。

如图 1 所示,当处于谐振频率时,平面上电压分布为最大值和最小值都在平面上特定的点处。

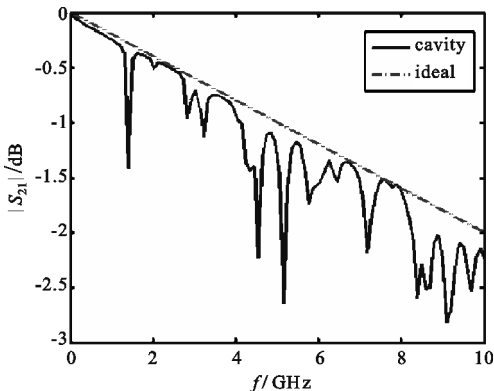


图 1 谐振对信号传输的影响

Fig. 1 Effect of resonance on signal transmission

平面上电压波动的变化称为平面反弹。平面上大的电压波动可能会引起与其相关的信号线的重要

耦合,这样可能传输到静态接收电路并且会引起来自末端接边缘的电磁辐射。

当平面对在谐振处时,会产生很大的辐射导致电路不能正常工作,因此在电路设计或者研究过程中,常常要求把谐振峰值拉高或拉低以使其脱离工作所需的频率区域。

研究 SSN 主要有理论和仿真两种方法,其中仿真主要是通过一些仿真软件实现,如 ANSOFT、Hspice、ADS 等软件。同样,我们也需要建模来对所需了解的问题进行建模仿真。由于 SSN 问题的复杂性,完全的建模是不现实的,现在的方法基本都是简化问题来对所关注的问题进行建模和研究。

3 同步开关噪声的抑制方法研究

3.1 同步开关噪声的抑制方法

处理 SSN 的最根本办法就是从源头上减少 SSN 的产生。由于数字系统是利用晶体管的开关来获得逻辑功能,几乎不可能阻止或减小 SSN 的产生,即使是芯片级设计师也无能为力。但如果从另外一个角度考虑问题,往往会得到解决问题的更好办法。虽然不能够阻止 SSN 的产生,但是 SSN 总是要通过媒质传播才能到达被影响的电路模块,因此可以在 SSN 的传播过程中采用各种办法将其抑制掉。这个思想也是当前处理 SSN 耦合的最重要思想。目前已经设计出多种 SSN 抑制方法:添加分立去耦电容^[2];采用嵌入式去耦电容^[3];优化过孔的位置^[4];电源地平面分割^[5];采用差分信号等。

这些噪声抑制的方法机理各异,在抑制 SSN 的同时也存在不足:去耦电容为 SSN 提供低阻抗的本地通路而达到噪声抑制的作用,去耦电容的寄生电感使得电容在高频的阻抗增大而使得噪声抑制失效,一般的表贴封装去耦电容的去耦范围在 100 MHz 左右。嵌入式去耦电容则能在很大程度上改善去耦频率,但是制板的成本高,也容易引起可靠性问题。选择过孔的位置根据谐振现象的位置相关性避开某个谐振点上的谐振峰值,但是平面谐振同时也具有频率相关性,故该方法只适用于某一个特定的谐振频率点。电源地平面分割切断了 SSN 传播的路径而达到噪声抑制的效果,但同时也造成了返回路径上的不连续,破坏了信号的完整性。采用差分信号能改善信号的质量并减少 SSN,但是要求更多的布线空间和 PCB 面积,增加了系统的成本,一

般只在数据率很高的场合采用。

3.2 电磁带隙(EBG)结构的研究

最近,一种新颖的 SSN 抑制方法——电磁带隙结构(EBG)引入到电源地平面的噪声抑制中,以抑制高速系统中 SSN 和 EMI^[6-7] 这些平面 EBG 结构的带宽高截止频率低,具有良好的噪声抑制作用。

3.2.1 EBG 结构

EBG 结构的原理为:在阻带范围内 SSN 噪声被限制在本地单元块内,无法向外传播,从而达到 SSN 和 EMI 抑制的作用。事实上,可以这样认为:对阻带内频率范围内的噪声来说,电源和地平面可以认为是短路的,它为 SSN 提供了一条低阻抗的本地电流通路,使电流从本地流入低平面,从而使 SSN 被限制在其产生的地方无法向外传播,达到抑制噪声和 EMI 的作用。

图 2 为典型的 Sievenpiper 方形 EBG 结构,EBG 表面由多个单元块在水平二维平面上周期地排列形成,图中只给出了 4 个单元块。EBG 表面位于电源平面和地平面之间,通过过孔与其中一个平面相连。在阻带内,EBG 结构表现出一种奇特电磁特性:它为两平面间的高频电流(或噪声)提供了低阻抗通路,两参考平面交流短路,这就使得电源地平面产生的噪声迅速通过本地低阻抗通路形成回路,不能向外传播,从而达到噪声抑制的效果。噪声被抑制了,EMI 也就减小了,所以 EBG 结构也同样可用于 EMI 抑制^[8]。

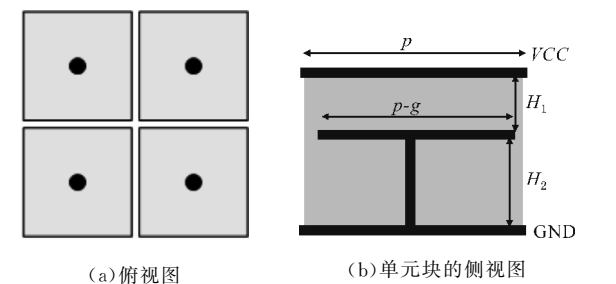


图 2 Sievenpiper 方形 EBG 结构

Fig. 2 Square EBG structure of Sievenpiper

EBG 结构能提供很好的噪声抑制功能,下面将分别介绍几种 EBG 结构设计的主要方法和研究思路。

3.2.2 两种 EBG 结构的并行适用

这种方法通过选择不同带宽的 EBG 结构来抑制噪声,从下面的带宽图可以看见这种双结构的

EBG 可以实现两个频带内的噪声抑制。图 3 是其原理图和仿真结果。

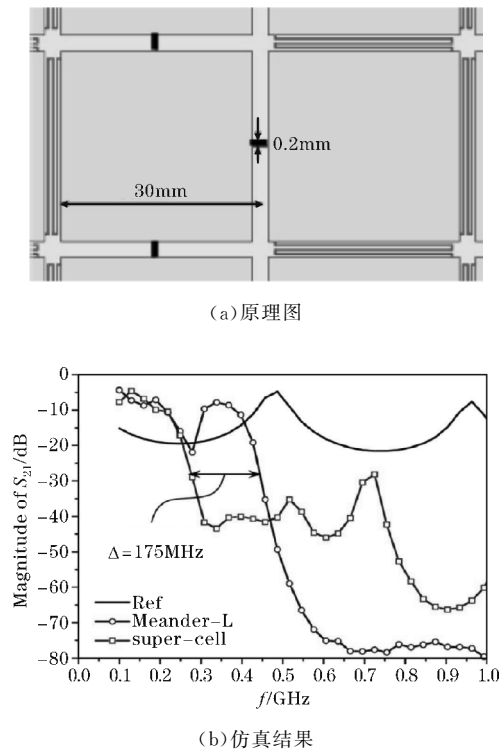


图 3 并行适用结构 EBG 的结构图和仿真带隙图
Fig. 3 Structure and simulated bandgap diagram for parallel EBG

3.2.3 两种结构的叠层适用

这种方法同样通过选择不同带宽的 EBG 结构来抑制噪声,从图 4 可以看出这种双结构的 EBG 可以实现两个频带内的噪声抑制。

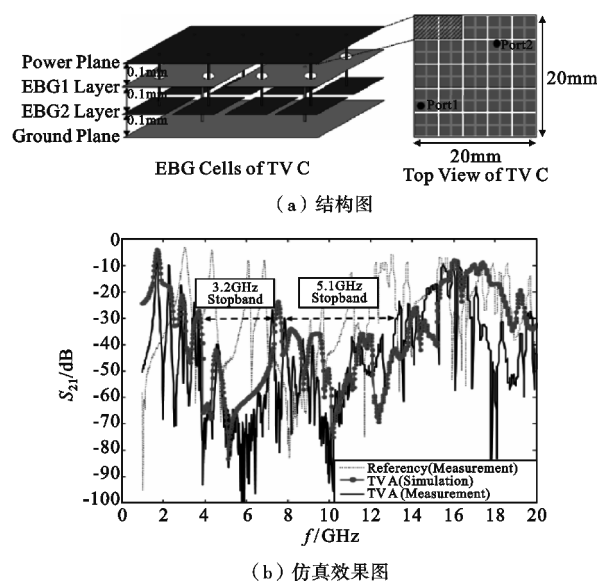


图 4 叠层适用结构 EBG 的结构图和仿真效果图
Fig. 4 Structure diagram and simulated results for cross section EBG

3.2.4 多过孔 EBG 结构

多过孔 EBG 结果通过增加过孔提高电感来增加带宽大小,往往能增加 2~6 倍的大小。这种方法制造简单,基本不需要增加太多的成本就可以达到很好的效果。图 5 给出了结构图和仿真效果图。

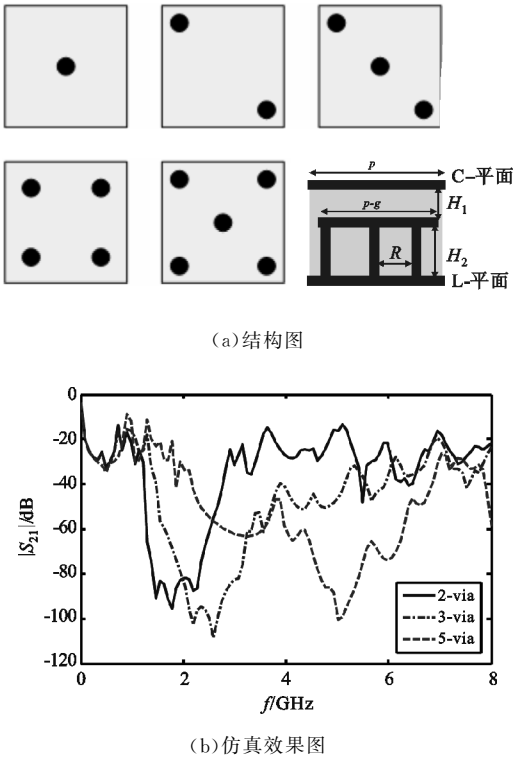


图 5 多过孔 EBG 的结构图和噪声抑制效果图
Fig. 5 Structure diagram and simulated results of noise suppression for multiple-via EBG

3.3 发展研究方向

从前面各种结构的 EBG 仿真噪声抑制效果图可以看出,EBG 具有很好的同步开关噪声抑制作用,但是 EBG 结构在低数百兆赫频率内的噪声抑制效果不理想,因此根据具体情况需要加去耦电容来提供这一频率范围内的抑制功能;其次,由于 EBG 结构需要额外的金属层和大量的过孔,如果在整个 PCB 或封装中设计 EBG 结构将极大地增加电子系统的成本。针对此问题,近期学者在双面 EBG 结构基础上创新性地提出了超宽带低成本 EBG 隔离墙的 SSN 抑制方法^[9],有效地降低了引入 EBG 结构的成本,并极大地拓宽了噪声抑制的带宽。

4 总 结

高速电路系统中,信号完整性的各种问题,尤其

是同步开关噪声(SSN)对互连线上的信号有很大的影响,越来越引起专业芯片设计人员的重视。为保证系统工作的稳定性,国际国内众多资深专业研究机构从不同角度对 SSN 进行分析并研究各种相应抑制方法,电磁带隙结构(EBG)作为最新解决方法比传统的加去耦电容等设计方法具有明显优势,但是在实际应用中也存在成本高、影响高速信号传输质量等问题,因此在 EBG 结构应用研究中一定要慎重权衡性能与代价,争取获得能广泛适用的设计。

参考文献:

[1] Eric Bogatin, Li Y-S, Li L-P. Signal Integrity: Simplified[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2005.

[2] Archambeault B,Ruehli A. Analysis of power/ground-plane EMI decoupling performance using the partial-element equivalent circuit technique[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2001, 43 (4):437-445.

[3] Kosaka Y, Takahashi N, Suminaga S. Controlling simultaneous switching noise with built-in decoupling capacitors[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Packaging Technology. [S. l.]:IEEE,2004:652-656.

[4] Lei G-T, Techentin R-W, Gilbert B-K. High-frequency characterization of power/ground-plane structures[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory Technology,1999,47(5):562-569.

[5] Wu T L, Chen S T, Huang J N, et al. Numerical and experimental investigation of radiation caused by the switching noise on the partitioned dc power/ground-planes of high-speed digital PCB[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2004,46(1): 33-45.

[6] Qin, Ramahi O M. Ultra-wideband mitigation of simultaneous switching noise using novel planar electromagnetic bandgap structures [J]. IEEE Microwave Wireless Component Letters, 2006,16(9):487-489.

[7] Joo H, Kim D Y, Lee H-Y. S-bridged inductive electromagnetic bandgap power plane for suppression of ground bounce noise[J]. IEEE Microwave Wireless Component Letters, 2007,17(10):487-489.

[8] Shahparnia S, Ramahi O M. Electromagnetic interference (EMI) reduction from printed circuit boards (PCB) using Electromagnetic bandgap structures[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility,

2006,46(4):80—586.

[9] Zhang M—S, Li Y—S, Jia C, et al. Simultaneous switching noise suppression in printed circuit boards using a compact 3—D cascaded electromagnetic bandgap structure[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory Technology, 2007,55(10):2200—2207.

作者简介:

张志伟(1977—),男,湖南邵阳人,硕士研究生,现在西安电子科技大学攻读电路与系统硕士学位,主要研究领域为高速电路设计中的信号完整性分析;

ZHANG Zhi-wei(male) was born in Shaoyang, Hunan Province,in 1977. He is now a graduate student. His research concerns analysis of signal integrity in high-speed circuit design.

Email:zzw_1997@163.com

李玉山(1945—),男,河南开封人,硕士,教授、博士生导师、电路CAD研究所所长,1986年2月至1987年12月赴美迈阿密大学电气工程系作访问学者,主要研究方向为数字视频系统和电路设计、电路设计自动化和信号完整性分析。

LI Yu-shan (male) was born in Kaifeng, Henan Province,in 1945. He received the M. S. degree in 1981 and he is now a professor/Ph. D. candidate advisor, and director of the Institute of Electronic Computer-Aided Design. From February 1986 to December 1987, he was a visiting scholar and research associate with the Department of Electrical and Computer Engineering, University of Miami. His research concerns digital vision system and circuit design, electronic design automation, and signal integrity analysis.

Email:yshli@xidian. edu. cn