

PCB设计中20H规则的验证方法

The Research on Certification Methods of 20H Rule in PCB Design

武汉理工大学 信息工程学院 黄秋元 王斌

摘要

随着电路工作频率的上升,PCB设计面临越来越多的电磁辐射问题。20H规则是减小电路板辐射的设计规则之一。20H规则是一条未得到证明的经验规则,通过反射系数分析法、FDTD法和实际测量法,对20H规则进行验证,并研究影响20H规则的因素。

关键词

20H; 电磁兼容; FDTD法

Abstract

With the increasing demand of higher operating frequencies for electronic circuits, the printed circuit board designers face more and more electromagnetic radiation problems than ever. 20H is a unproved and experiential regulation. The 20H rule is one of printed circuit board design rules, which intends to minimize the electromagnetic radiation. The goal of the paper is studying the techniques which are used for analyzing the effect of 20H rule, and mainly analyzing the method of reflectance coefficient and FDTD. Studying the two techniques' effect on checking 20H rule' implement in the design of PCB and bringing actual method for measuring, and prove the 20H rule.

Keywords

20H; EMC; FDTD method

1 引言

20H规则最初由W. Michael King提出。1980年,20H规则首次被发现并应用于减小电路板电磁辐射问题,1996年,该规则被文献[1]收录。20H规则是印刷电路板设计中关于电源层和地层设计的规则,是目前还没有得到证明的一条约定俗成的经验规则。在设计中,20H规则的应用效果随应用情况不同而不同,有时甚至会带来更大的辐射。因此,验证20H规则并研究20H规则的适用场合,有重要的现实意义。

2 20H 规则

20H规则:在电路板上如果存在高速的电流,就存在与之相关的电磁场。在各个层的边缘(可以假定是电路板的边缘),电磁场按照图1所示的方式辐射。如果其中地层比电源层大,如图1(b),电磁场就不会向外辐射出去。这样就减少了对外的EMI辐射,从而减小了导致外部EMI问题的机会。

边缘辐射的减小量与电源层相对地层的缩进量直接有关。20H准则(其中H为电源层和地层之间的间距)认为,如果电源层相对于地层的边缘缩进了20H,那么电磁场的密度可以减小约70%。

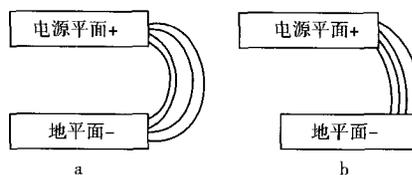


图1 缩进电源层,可以减少向外的边缘辐射

20H规则是PCB设计业界一个不成文的规定,对20H规则的运行机制还没有很好的解释和理论上的证明。文献[2][3]认为,使用20H规则会产生更大的辐射。文献[4]认为,PCB的物理尺寸,工作频率以及叠层间距是决定20H规则是否有效的决定因素。文献[5]认为,使用20H规则比使用分离器件来端接平面更有效。

3 验证方法

现在还没有一种可以准确分析20H规则的方法,一般采用反射系数分析法,FDTD法和天线理论简单分析20H规则。反射系数分析法通过研究电路板边缘反射系数,得出其电路板辐射情况。由于FDTD在分析电磁场问题方面的优势,可以对不同的工作情况(例如不同尺寸的板子、不同层间距、不同工作频率、nH等)进行仿真分析。所以,通过FDTD法对采用20H规则和不采用规则的结果进行比较分析,可得到更多关于20H规则应用的信息。

基金项目:湖北省自然科学基金资助项目(2004ABA045)

3.1 反射系数分析法

建立两个两层板模型(一个使用20H规则,一个不采用)如图2。

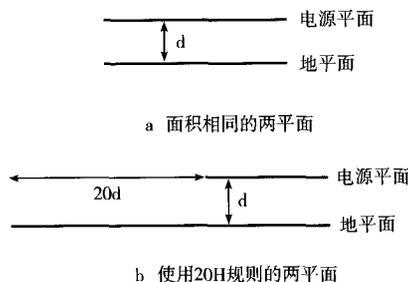


图2 两层板模型

辐射和两个层边缘的反射系数密切相关。

假定平面的厚度为0,图2显示两平行平面的边缘的

反射系数^[6]: $R = |R| e^{-j\theta}$ (1)

幅度: $|R| = e^{-\pi q}$ (2)

相位:

$$\theta = 2q \left[1 - C + \ln \frac{2}{q} - \left(\frac{\sin^{-1} q}{q} - 1 \right) - \sum_{m=1}^{\infty} A_{2m+1} (S_{2m+1} - 1) q^{2m} \right] \quad (3)$$

由于电容电量 $q = CU$,而电容 C 是平面间距 d 的函数,所以,反射系数的幅度和相位是平面距离 d 的函数。

20H规则结构可以通过图3中的电源平面和镜像平面对来验证。因为电源平面和其镜像平面的距离是图2(a)结构中的2倍,图2(b)的反射系数比图2(a)小。所以认为应用了20H规则的板的边缘会有更多的辐射出来。

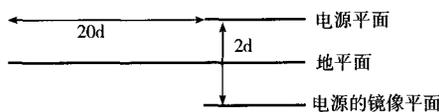


图3 两层板模型

该方法模型简单,对PCB板的建模过于理想化,没有考虑实际因素影响,所以得出的结论有片面性。

3.2 电磁场数值方法——FDTD 时域有限差分法

为了更深入地研究20H规则,采用具有更多优点的电磁场数值方法——FDTD法分析使用20H规则之前和之后电路板的辐射情况。这里主要针对辐射场的强度和分布,分析模型的构建方法以及如何应用FDTD法来验证20H规则。

(1) 2D平面结构仿真模型和激励源

为了简化,选用2维模型来仿真电源和地层之间的信号传播。

PCB模型由一个电源平面和地平面组成,如图4所示。为了仿真20H规则,假定:电源平面和地平面都有极好的传导性,确保两个平面满足PEC条件;两个平面厚度

无限小;仿真是基于无限空间的。在下面的讨论中, H 表示PCB层间的距离, E 表示电场。

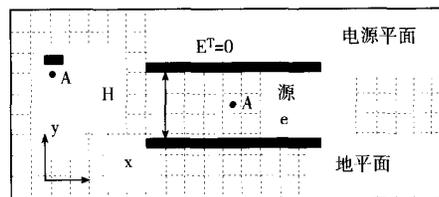


图4 2D平面结构

由于电源平面和地平面满足PEC(理想导体)条件。两个平面的切线电场为0。图中的A点代表激励源,此处采用的是偶极子激励源。

由于计算机资源的限制,我们将无限空间缩减为矩形有限区域,在区域的边缘有合理的匹配层。通过以上考虑,建立最简单的模型。

通常采用三种激励源来仿真,即:偶极子激励源、稳压激励源和Gaussian脉冲。

本文只介绍偶极子激励源。偶极子通常置于结构的中心位置(如图4所示),通过在这一点施加E电场,得到的方程如下:

$$E_{center} = E_0 \sin(2\pi f k dt) \quad (4)$$

式中, f 是激励源频率, k 是时步数, dt 为时步步长。

偶极子到电源和地平面的距离是相等的,和稳压激励不一样,偶极子源不会随 H 而变化,这种特性为研究不同 H 下使用20H规则带来的影响提供了便利。

(2) FDTD法

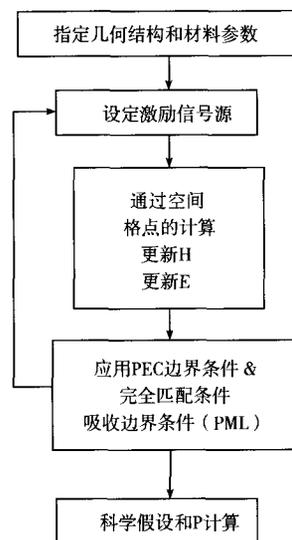


图5 FDTD方法流程图

图5是FDTD运算方法的流程图。一段微带线结构的

FDTD仿真的第一步是设定几何结构和材料参数,即把电介质分界面和传导面的位置指定到计算的格点上。第二步是设定激励信号。一旦激励源被确定,FDTD运算方法将在每个时步更新格点处的场量。利用MAXWELL方程的离散形式,更新后的方程被修改。时步步长满足稳定条件,因此被简化为:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{2C_0} \quad (5)$$

由于极好的传导层(电源层和地层被假定无限薄)在电介质的分界面,切线电场分量设置为0。通过吸收边界条件PML,空间格点外层的切线场分量被更新。

(3) 能量表示:P矢量

为了研究20H规则的影响,PCB边缘的辐射应该被量化。用P表示边缘能量辐射。从定义可知,P矢量表示的是电磁能量密度,表示为: $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ (\vec{E} 和 \vec{H} 分别为电场和磁场强度)

因为E和H都是瞬时场矢量,所以P也是瞬时矢量。当我们沿着一定的表面对P积分时,它表示的是从一个封闭曲面流出的能量。这同样适用于2D仿真。唯一需要改变的是沿着一条线积分而不是封闭面,即沿着边缘AB,BC,CD和DA,见图6。

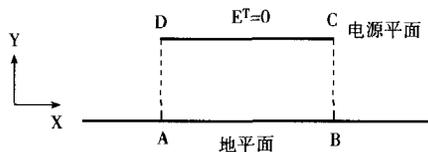


图6 P的积分路径

\vec{P} 的三个方向分量为:

$$P_x = E_y H_z - E_z H_y \quad (6)$$

$$P_y = E_z H_x - E_x H_z \quad (7)$$

$$P_z = E_x H_y - E_y H_x \quad (8)$$

$$\oint_{ABCD} \vec{P} \cdot d\vec{l} = - \int_{AB} P_y dl + \int_{BC} P_x dl + \int_{CD} P_y dl \quad (9)$$

在时域,沿着这条线,对于 \vec{P} : 矢量,采用不同的表达式来表示波的不同模式(TE 或TM)。

对于TE模式,场的构成只有 E_x, E_y 和 H_z ,沿着AB和CD,有 $E_x=0$,所以 $P_y=0$ 。在这里采用Cartesian离散化方法,从式(9)得到:

$$\oint_{ABCD} \vec{P} \cdot d\vec{l} = - \int_{DA} P_x dl + \int_{BC} P_x dl \quad (10)$$

同样,对于TM模式,场构成只有 E_z, H_x 和 H_y 。沿着AB和CD,有 $E_z=0$,所以 $P_x=0$ 。

对于TM模式同样可以得到相同的结果。

由于结构的对称性,沿着这条线的积分可以被简

化,最终得到:

$$\oint_{ABCD} \vec{P} \cdot d\vec{l} = 2 \int_{BC} P_x dl \quad (11)$$

3.3 实际测量法

理论分析和仿真可能不一致。所以,这里可采用一种实际测试装置对电路板边缘辐射进行测量,测量装置如图7所示。

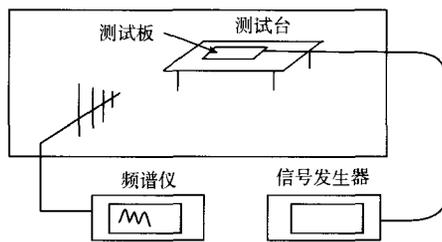


图7 测试装置

测量和仿真(包括理论分析和计算)的结果也可能不太一致,这可能是由于真实测量比简化模型更复杂。天线因素、电缆、环境因素、测量仪器的精确度和近场效应等都有可能影响测量结果。施加激励源的连接器产生的辐射可能比PCB边缘的辐射更大,这使得对电路板边缘辐射的测量误差变大。这些因素都给20H规则的验证带来极大的困难。

4 结语

由于上述分析都是基于裸板进行的,而实际电路板上包含有众多的动态数字器件,这使得分析变得更加复杂。虽然我们还不知道确切的20H规则的工作机制,但是可以肯定的是,20H规则的使用解决了许多PCB设计中的EMC问题。

验证20H规则的方法中,反射系数分析法由于其局限性和片面性,不适合采用。FDTD是一种有效的分析20H规则的方法。采用FDTD法仿真分析得知有三个主要因素会对20H规则的效果产生重大影响:工作频率、PCB尺寸和层间距H。除了上述因素外,板层数、器件布局、叠层设置都会对20H规则有影响。我们需要在此基础上建立更加精确的模型,提出更有效的FDTD算法和程序,才能更好地研究20H规则。

参考文献

[1] Mark I Montrose. Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance, IEEE Press, 1996, 26-28.
 [2] Huabo Chen, Jiayuan Fang. Effects of 20-H rule and shielding vias on electromagnetic radiation from printed circuit boards.

(下转第16页)

应用于开关电源的有源共模EMI滤波器

An Active Common Mode EMI Filter for Switching Mode Power Supply

¹上海交通大学微电子学院

²夏弗纳电磁兼容(上海)有限公司

杨志辉^{1,2} 韩泽耀¹

摘要

在开关电源中,高速的开关造成了严重的共模噪声干扰。介绍了一种应用于开关电源的有源共模EMI滤波器。该有源滤波器基于电流检测、电流补偿的原理,以高速运放为核心。试验证明,该有源滤波器对共模噪声的抑制能力比无源器件高20 dB。

关键词

开关电源;电磁干扰;共模噪声;有源滤波器

Abstract

SMPS, due to their high speed switching operation, draw a substantial amount of Common Mode (CM) noise. This paper presents the design of an Active CM EMI Filter (ACEF) for SMPS. The proposed filter is based on the current sensing and compensation circuit and it utilizes a fast amplifier for the current compensation. The proposed circuit can provide 20 dB more CM noise attenuation compared to passive LC filter, which is verified by experimental results.

Keywords

SMPS; EMI; CM noise; active EMI filter

1 前言

在开关电源中主要存在的干扰形式是传导干扰和近场辐射干扰。其中传导干扰又分两种独立的噪声:差模噪声(DM noise);共模噪声(CM noise)。本文要讨论的是共模噪声。它是开关电源内部的开关动作时产生的电压突变(高dv/dt)所导致的。随着开关电源技术的发展,为了获得更小的体积和更小的损耗,将采用更高的开关频率和更快的开关速度,导致共模干扰日趋严重。

世界各国都制定了相应的标准限制电子、电气产品的电磁干扰发射水平。为了满足这些标准,最有效的方法是采用输入、输出EMI滤波器。传统的EMI滤波器采用无源器件,如电感、电容来抑制噪声。特别在共模噪声的抑制方法上,电容的总量由于安规和其他因素的限制,只能

通过增大共模电感来抑制日益升高的共模噪声。这增加了共模滤波器的体积和成本,并使得滤波器在设备中所占体积和成本的比例越来越高。

相对于传统的无源滤波器,小体积和低成本的有源滤波器越来越受到重视。许多学者研究了有源滤波技术在脉冲宽度调制(PWM)马达驱动中的应用。但是,在更高开关频率和速度的开关电源中的应用却未有提及。本文介绍了一种新型的应用于开关电源的有源共模滤波器的设计,试验证明,它能以有限的体积实现显著的噪声抑制能力。

2 有源共模EMI滤波器电路设计

有源共模EMI滤波器电路的原理是通过有源开关和电容,给共模噪声提供对地的低阻抗路径,从而抑制

(上接第15页)

Electrical Performance of Electronic Packaging, 2000, IEEE Conference on. 23-25 Oct. 2000:193 -196.

- [3] H W Shin, T Hubing. 20-H rule modeling and measurements. (In):2001 IEEE International Symposium on Volume 2, 13-17 Aug. 2001:939-942 .

- [4] Jiang Yi, Le-Wei Li, Er-Ping Li. Design and Analysis of Printed Circuit Boards Using FDTD Method for The 20-H Rule.

- [5] M Montrose, E. Liu, and E.-P. Li. Analysis on the effectiveness of printed circuit board edge termination using discrete components instead of implementing the 20-H rule. (In):2004 International Symposium on Volume 1, 9-13 Aug. 2004:45 - 50.

- [6] I A Weinstein. The Theory of Diffraction and the Factorization Method, Golem Press, 1969.

编辑:王淑华 E-mail: wangsh@cesi.ac.cn