

多层布线的发展及其在电源电路电磁兼容设计中的应用

西安理工大学电气工程系(710048) 王建渊 孙向东 钟彦儒

摘要: 常用的单面、双面布线印制板已经越来越不能满足现代电子产品小型化、高密度、高品质的发展需要,多层布线的应用正变得越来越广泛。在电源电路设计中,电源的电磁干扰水平受布线的影响很大。通过实践,分析了多层布线的发展及其在电源电路电磁兼容设计中的应用。结合PROTEL公司的PROTEL99SE软件,给出了一种在电源电路印制板设计中减少电磁干扰的设计方法。

关键词: 多层布线 电源电路 电磁干扰(EMI) PROTEL99SE 电磁兼容(EMC)

随着现代电子设备工艺结构的发展,印制电路板已取代了以往的许多复杂配线,为设备的制造和维修提供了极大的方便。另一方面,集成电路的迅猛发展更加促进了印制电路板技术的飞速发展。目前,电子设备中常用的印制电路板有以下几种:一种为单面布线印制板,它是在一个表面敷有铜箔且厚度为0.2~5.0mm的绝缘基板上形成印制电路,适用于一般要求的电子设备,如收音机等。另一种为双面布线印制板,是在两个表面敷有铜箔且厚度为0.2~5.0mm的绝缘基板上形成印制电路,提高了布线密度,减小了设备体积,适用于电子仪器、仪表等。还有一种就是极富生命力的多层布线印制电路板,它是通过几层较薄的单面或双面板粘合,在绝缘基板上形成三层以上的印刷电路而制成。它与集成电路配合使用,可以减小电子产品的体积与重量;通过增设屏蔽层,可以提高电路的电气性能。如今,大规模和超大规模集成电路已在电子设备中得到广泛应用,而且元器件在印刷电路板上的安装密度越来越高,信号的传输速度更是越来越快,由此而引发的EMC问题也变得越来越突

出。单面、双面布线已满足不了高性能电路的要求,而多层布线电路的发展为解决以上问题提供了一种可能,并且其应用正变得越来越广泛。

电源有如人体的心脏,是所有电设备的动力。电源电路的选择和设计直接关系到设备的EMI/EMC规范,甚至关系到设备的基本性能。本文通过分析多层布线的特点及其发展,探讨了电源电路中EMI产生的原因,给出了多层布线的一些布线规则及抑制EMI的措施,最后介绍PROTEL99SE软件及其应用。

1 多层布线的特点及发展

图1给出了多层电路板结构层面剖视图。多层板是通过电镀通孔把重叠在一起的 n 层印制电路板连接成一个整体。

1.1 多层布线特点

多层布线之所以逐渐得到广泛的应用,究其原因,不乏有以下几个特点:

(1)多层板内部设有专用电源层、地线层,减小了供电线路的阻抗,从而减小了公共阻抗干扰。

印制电路板上单根铜箔导线的特性阻抗为:

(接上页)

本点火系统的新颖之处在于ECU使用了两个CPU,使其具有了自检功能和备用功能。主CPU采用了被视为未来通用芯片的DSP,这类芯片具有处理速度快、运算功能强、输入输出速度快、精度高、可靠性好等特点,适用于实时控制系统。该系统已在汽车发动机上试运行,得到了良好的发动机点火性能。

参考文献

- 1 陈淦光. 汽车电器与电子设备. 北京:机械工业出版社,1999
- 2 TMS320C2XX User's Guide.Literature Number:

SPRU127B. Texas Instruments, January 1997

- 3 TMS320C24X DSP Controllers Evaluation Module Technical Reference. Texas Instruments, August 1997
- 4 庄继德. 汽车电子控制系统工程. 北京:北京理工大学出版社,1998
- 5 张雄伟,曹铁勇.DSP芯片的原理与开发应用. 北京:电子工业出版社,2000
- 6 TMS320C1X/C2X/C2XX/C5X Assembly Language Tools User's Guide.Texas Instruments,1997
- 7 王 国. 现代汽车点火系统——电子点火与微机控制点火. 西安:西安交通大学出版社,1997

(收稿日期:2001-08-01)

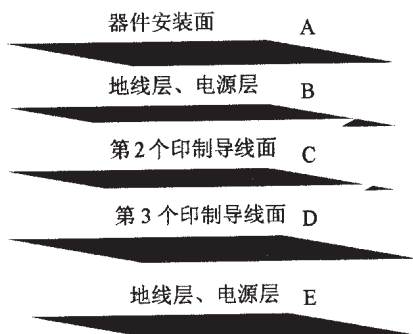


图 1 多层电路板层面剖视图

$$Z=R+j\omega L \quad (1)$$

R 为印制导线的直流电阻,可以通过下式求得:

$$R=\rho l/bd \quad (2)$$

ρ ——铜的体积电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

l ——印制导线长度 (cm)

b ——印制导线宽度 (cm)

d ——印制导线厚度 (cm)

在常温条件下, $\rho=1.75 (\Omega \cdot \text{cm})$, 常用导线的厚度为 $18 \mu\text{m}$ 、 $35 \mu\text{m}$ 、 $70 \mu\text{m}$ 。

L 为印制导线的自感,可以通过下式求得:

$$L=2l[\ln(2l/b)+1/2] \quad (\text{nH}) \quad (3)$$

式中, l 、 b 的定义同上。

由公式(2)、(3)可以看出,印制导线的长度、厚度一定时,增加导线的宽度可以减小导线的特性阻抗,从而相应地减小公共阻抗的干扰。

(2) 多层板采用专门地线层,对信号线而言都有均匀接地面,信号线的特性阻抗稳定,易匹配,减少了反射引起的波形畸变。

在电路设计中发现,当印制电路板上装有多多个集成电路,并且其中有些元件耗电很多时,地线上会出现较大电位差。原因是集成电路的开关电流 i 与电源线和地线的电阻 R 和电感 L 造成电压降所致。可通过下式来描述:

$$E=E_R+E_L=Ri+L(di/dt) \quad (4)$$

由式(4)可以看出,通过减小 R 和 L 将使电压降能够显著减小。而多层板设计中,信号线与地层之间有均匀接地面,减小了 R 、 L ,保证了地线电位的稳定。

(3) 采用专门的地线层加大了信号线和地线之间的分布电容,减小了串扰。

串扰是指两个或更多导体靠得比较近时,它们之间会有容性耦合,一个导体上的电压大幅度变化时会向其它导体耦合电流。通常耦合电容反比于导体间的距离而正比于导体的面积。因而通过减小相邻导体间的面积并增大相邻距离,有利于减小串扰。采用多层布线,由于增加了独立地线层,大功率接地层上的噪声就不会注入到其它层面上去,从而减小了高频电流对敏感电路的影响。

(4) 配线密度高。

与相应尺寸的双面印制板相比,多层印制电路板器件安装面安装密度大,配线密度高。

1.2 多层布线的发展

上面分析了多层布线不同于单面、双面布线的特点。正是由于多层布线具有这些特点,从而为电路设计人员提供了一种理想的解决噪声问题的途径。在常规的电路设计中,去耦电容安装得当可以使串联阻抗减小 80% 左右。但是,这种大幅度抑制电源电压波动的措施,实质上是一种补救办法。更好的方法是不断完善供电线路的设计,而多层布线的发展为其提供了一种可能。当然,多层电路板还存在加工工艺复杂、成本高的特点,这是阻碍其发展的因素。但随着印刷电路板技术的发展及大规模生产,多层电路板的使用将变得越来越广泛。

2 电源电路电磁干扰分析及相应抑制措施

电磁兼容(EMC)是指对电磁环境进行设计的学科领域,通过研究和分析预测电磁干扰,提供抑制干扰的有效技术,进行合理设计,从而使电子系统和设备在共同的电磁环境中不受干扰的影响而相容地正常工作。电磁兼容的研究对象就是电磁干扰。随着电子系统和设备数量的逐渐增多和性能的不断提,电磁干扰将越来越严重。而电源电路作为任何电子设备所不可缺少的部分,其性能的好坏直接关系到设备性能的优劣。对电源电路系统来讲,电磁干扰可分为辐射型和传导型。辐射型干扰表现为电场或磁场的形式,而传导型干扰总是以电压或电流的形式来表现。电源电路中功率器件的切换或电源电压的波动过程,可以在连线上产生很大的 dv/dt 和 di/dt 的信号,它可以耦合到其它连线上造成电磁干扰。因而元件的选择对于控制电磁干扰(EMI)至关重要,而且电路板的布局 and 连线也具有同等重要的影响。

2.1 电源电路中电磁干扰的产生

2.1.1 元件选择不合理

在电源电路中,高频开关器件、高频变压器、电感等的使用,为辐射型电磁干扰的产生带来了可能。

2.1.2 元器件布局不合理

元器件布局的合理性直接关系到电源电路 EMI 水平的好坏。电源电路中功率器件的切换可以在连线上产生很大的干扰信号,它可以耦合到其它连线上造成干扰问题,布局时要进行特殊注意。

2.1.3 布线不合理

电源电路中的走线,应该保证接地层不向电路的敏感部分耦合噪声,高频电流对于敏感电路会产生不可忽视的影响。研究表明,高频开关电源电路中的 EMI 指标往往可以在不增加任何元器件和改变线路的条件下通过修改布线设计而得到改善。

2.2 多层布线对抑制电磁干扰的作用

这里从布线的角度,针对多层布线在抑制电磁干扰方面的作用加以分析。

2.2.1 布线中的一些规则

高速信号线要短,信号线和信号回路线所形成的环路面积要最小。为避免信号线之间的相互串扰,两条信号线切忌平行,而应采取垂直交叉方式;或者拉开两线之间的距离;也可在两条平行的信号线之间增设一条地线。连线和电源线的走向尽量与数据传输方向垂直。地线的设计不应该断开,而应该设计成环路,这样可以避免地线上出现较大的电位差而引起地电位波动,导致信号波形产生振荡、电路误动作。

2.2.2 多层布线在抑制电磁干扰中的作用

上面给出了布线的一些规则。采用单面板、双面板设计电源电路时有些规则并不能得到很好地实现。多层布线的使用弥补了这些不足。高密度的电源电路板上,两个或更多导体靠得比较近时,它们之间存在容性耦合,一个导体上的大幅度电压变化会向其它导体耦合电流。一般可以通过增加它们之间的距离或在导体之间增加一条接地线来消除耦合,但应该保证接地层不向电路的敏感部分耦合噪声,否则会对敏感电路产生不可忽视的影响。采用多层布线方式,电源、地线和信号分别占有独立的层面(如图1所示),这样由整个层面构成的电源线和接地线阻抗相当低。电路板的分布电容由各层之间的距离和介电系数来决定,约为 $10\sim 1000\text{pF}/\text{cm}^2$ 。图1中的E层的上下表面经过绝缘处理,既能预防线路板向外辐射噪声,又能防止线路板接受外来噪声;同时,电源线被密封在板内,几乎不接受任何外来噪声,而且内部几个供电面之间有很大的静电电容,形成阻抗极低的供电线路,极大地提高了抗噪性能。

3 PROTEL99SE 简介及其在电源电路电磁兼容设计中的应用

3.1 PROTEL99SE 简介

PROTEL99SE 作为一个优秀的板级设计软件,是一个功能强大的设计系统。它由以下几部分构成:设计浏览器、原理图捕获、电路仿真、PLD 设计、PCB 布局、PCB 自动布线、信号完整性分析。设计浏览器为设计人员方便地进入设计并使用创建设计的各种工具提供了一个便捷界面。原理图捕获部分类似于传统的画图过程,通过计算机辅助设计自动绘图,便捷地修改图层。然而,PROTEL99SE 中的原理图捕获功能块是许多技术设计的入口点,从电路设计到 PLD(可编程逻辑器件)编程,再到电路仿真和 PCB 设计(布局、布线),都以原理图捕获为基础。电路仿真部分与原理图编辑器紧密集成,可以直接从原理图(原理图中的元器件采用仿真库模型)对模拟和数字信号设计进行混

合仿真。PLD 设计提供了基于原理图及 CUPL™ 硬件描述语言的可编程逻辑器件的设计手段。PCB 布局和 PCB 自动布线完成印制电路板的布局与布线功能,执行设计规则,产生印制板加工文件及输出文件。信号完整性分析以印制电路板设计为基础,设定相应规则来测试网络阻抗和上冲、下冲、上升、下降等时间。同时,通过执行反射与串扰分析,能够确切地分析布线的性能并产生准确的结果波形。综合各部分所完成的功能可以看出,PROTEL99SE 是一个功能强大的电路设计系统。

3.2 PROTEL99SE 在电源电路电磁兼容设计中的应用

线路板设计阶段如果缺乏有效的手段分析电磁干扰,则产品可能通不过 EMC 标准而不能进入生产。传统的尝试性方法仍是国内设计人员普遍采用的方法,但各种各样的借助于计算机辅助设计的方法正应运而生。PROTEL99SE 设计软件内部的自动布线软件包与 SPICE 仿真器相结合实现了具有 EMC 设计的 PCB 计算机辅助设计。

从上面布线规则可知,高速信号线要短,这可以通过配置长度约束规则来实现。对于承载高速信号的走线网络可以采用菊花链拓扑,规定允许最长走线。并行导线容易引起相互串扰,可以通过配置并行走线的最大长度来把串扰限制在允许的范围之内。由第2节分析可知,导线的特性阻抗会引起公共阻抗干扰。采用 PROTEL99SE 布线时,可以在信号完整性功能项设定中配置阻抗约束条件来保证网络最大允许导线阻抗。同时,还可以通过设定信号完整性功能项中的上冲、下冲、延迟时间约束来保证信号的完整。PROTEL99SE 的强大设计功能为电源电路电磁兼容的设计提供了一种手段。当然,设计过程中需要根据电磁干扰指标去分析计算相应的布线参数,这也是该软件在电磁兼容设计中的不足之处。

多层电路板的特点使其发展具有丰富的生命力。在对性能要求高的电路设计中,多层电路板使用将成为一种趋势。而且在电源电路的设计中由于采用多层电路板,将使电磁兼容的设计得到较大的改善。

参考文献

- 1 PROTEL99SE 设计手册. PROTEL, 2000
- 2 吴汉森. 电子设备结构与工艺. 北京: 北京理工大学出版社, 1995
- 3 吴昕, 庞敏熙, 钱照明等. 开关电源印刷电路板 EMC 辅助设计与方法. 电工技术学报, 2000(4)
- 4 张松春, 赵秀芬, 竺子芳. 电子控制设备抗干扰技术及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 5 刘鹏程, 邱扬. 电磁兼容原理及技术. 北京: 高等教育出版社, 1993
- 6 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 北京: 电子工业出版社, 1999

(收稿日期: 2001-06-29)