

DM642 高速图像采集系统的电磁干扰设计

高 潮,李建忠,郭永彩

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室,重庆 400030)

摘 要:针对高速数据采集电路中的电磁干扰问题,提出一种有效的抗干扰设计方案。利用信号传输线理论,对高速图像采集系统中影响信号完整性的反射、串扰和地弹等问题进行了理论分析,对系统电源、地、时钟、高速信号线等重点网络的电磁干扰设计进行理论指导和设计,并且对 DM642 与 SDRAM 间的高速信号线进行 PCB (print circuit board) 的反射、电磁干扰等仿真分析。设计中电源和地独立分层布线,尽量减少时钟线过孔,信号布线尽量等长。结果显示系统信号传输的过冲幅度小于 0.7 V,电磁干扰强度在 FCC 标准控制范围之内。

关键词:高速图像采集系统;信号完整性;PCB 仿真;电磁干扰

中图分类号: TP302.1

文献标志码: A

An electromagnetic interference design of a high speed image acquisition system on DM642

GAO Chao, LI Jian-zhong, GUO Yong-cai

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of the Education Ministry of China, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: A novel design is presented to defend against electromagnetic interference (EMI) in a high speed data acquisition system. Problems that affect signal integrity (SI) in high speed image acquisition systems, such as reflection, crosstalk and ground-bounce, are deeply analyzed in a manner consistent with transmission line theory. The results can theoretically inform EMI design of important networks, including system power, ground, clocks, high speed wires and decoupling capacitors. Experiments simulating print circuit board (PCB) reflection and EMI on high speed signal wires between DM642 and SDRAM are conducted. The power and ground should be placed separately in different layers. The clock lines passing through holes should be as few as possible. The signal lines should be as close to the same length as possible. The results show that amplitude of the signal overshoot is less than 0.7 V and the EMI amplitude is within the federal communications commission(FCC) standard.

Key words: high speed image capturing system; signal integrity (SI); print circuit board simulation; electromagnetic interference (EMI)

电子技术的飞速发展,特别是高速 DSP 的应用,使得系统处理速度不断提高,目前高速集成电路信

号的切换时间小于 1 ns,时钟频率 > 100 MHz^[1],由于信号的电磁辐射随着频率的增大而加强^[2],其产

收稿日期:2008-12-11

基金项目:教育部重点资助项目(108174)

作者简介:高潮(1959-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事测控技术与仪器方向研究,(Tel)023-65112746;

(E-mail) gaoc@cqu.edu.cn。

生的电磁干扰 (electromagnetic interference, EMI) 严重影响系统的正常工作。因此随着信号频率不断提高,上升沿时间的不断减小,对高速系统的 EMI 设计越来越重要^[3-4]。

基于 DM642 高速图像采集系统,其 DSP 处理器 DM642 的时钟频率为 600 MHz,其数据线、地址线和控制线等都在高速下运行,任何微小的信号都可能对整个系统造成很大的干扰,因此要开发一个稳定可靠的高速图像采集系统,必须对系统进行 EMI 设计。

1 高速系统信号传输理论分析

高速系统中的高速理解通常有两种,即系统频率高和信号的上升时间快。通常在数字电路中更加看重后者,但是一般当系统工作频率 $f > 100$ MHz 时就可以看成高速系统^[5]。

当信号在高速系统中传输时,由麦克斯韦方程组推导可知,高速信号在信号线中的传输是电场与磁场相互正交进行传播的。由信号的传输线理论可知,信号是以 TEM 波^[6-7]进行传播,即空间各点的电磁场强度矢量是与传播方向垂直的,由法拉第定律和安培定律可以推导出信号在传输线上的传播状态,即传输线方程^[8],如方程(1)所示

$$\begin{aligned} \frac{\partial V(z,t)}{\partial z} &= -rI(z,t) - l \frac{\partial I(z,t)}{\partial t} \\ \frac{\partial I(z,t)}{\partial z} &= -gV(z,t) - c \frac{\partial V(z,t)}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V(z,t)}{\partial z} &= -l \frac{\partial I(z,t)}{\partial t} \\ \frac{\partial I(z,t)}{\partial z} &= -c \frac{\partial V(z,t)}{\partial t} \end{aligned} \quad (2)$$

其中: z 为导线方向上数值; r 、 c 、 g 、 l 分别表示传输线上的单位长度的阻值、容量、电导以及电感。如果考虑导体与周围的电导率相差比较大的情况,则可以认为信号的传输为无耗传输,即 r 和 g 为 0,并且在这种情况下,无耗传输能够很好地近似信号有耗传输情况,由此可以推出其在时域下的解。简化以上方程,可以得到信号无耗传输方程(2),对方程(2)求偏微分可以得到方程(3),即信号传输的二阶非耦合方程,从而得到信号的时域传输函数(4)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V(z,t)}{\partial z^2} &= cl \frac{\partial^2 V(z,t)}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 I(z,t)}{\partial z^2} &= cd \frac{\partial^2 I(z,t)}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V(z,t) &= V^+ \left(t - \frac{z}{v}\right) + V^- \left(t + \frac{z}{v}\right) \\ I(z,t) &= \frac{1}{Z_c} V^+ \left(t - \frac{z}{v}\right) - \frac{1}{Z_c} V^- \left(t + \frac{z}{v}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

其中: V^+ 表示沿 $+z$ 方向传播的前向行波; V^- 表示沿 $-z$ 方向传播的后向行波; $Z_c = \frac{1}{lc}$ 为传输线的特性阻抗。

由这个传输函数可以看出,信号在传输线中传输时,其波形为前向波形和后向波形的叠加,也就是说信号在信号的源端和负载端分别产生了反射,使信号传输波形改变。负载端反射系数 K_L ,源端反射系数 K_S 如下

$$\begin{aligned} K_L &= \frac{V^-(t+L/v)}{V^+(t-L/v)} = \frac{R_L - Z_c}{R_L + Z_c} \\ K_S &= \frac{R_S - Z_c}{R_S + Z_c} \end{aligned} \quad (5)$$

由方程(5)可以看出,当源端电阻 R_S 、信号线的特性阻抗 Z_c 、负载阻抗 R_L 相等时,信号传输时不存在反射;若其不相等,则会出现阻抗失配现象,引起系统干扰。

如果考虑信号传输的多维环境,对传输线方程(1)推广,则要考虑信号之间的干扰,包括信号间的容性耦合和感性耦合干扰,即信号的串扰问题;考虑高速信号传输时的分布电容和电感效应形成公共阻抗耦合,引起地弹噪声即 ΔI 噪声电流^[9]问题。

高速信号传输时由于信号的反射、串扰和地弹等影响,引起接收端信号失真,产生一系列信号完整性问题,这是系统电磁干扰的主要问题。由于信号的反射、串扰和地弹等可能造成信号时序的偏移和紊乱,甚至产生逻辑错误^[10],因此必须对系统进行 EMI 分析和设计。

2 系统功能介绍

基于 DM642 高速图像采集系统是一个以 TM320DM642 为系统处理器, CPLD 为系统控制单元, SDRAM、FLASH 以及 CF 卡为系统的存储器,另外还有四块图像采集芯片 tvp5150 组成的视频解码电路,以及整个系统的电源管理和复位电路等 6 个部分组成(如图 1 所示)。当外界模拟图像通过

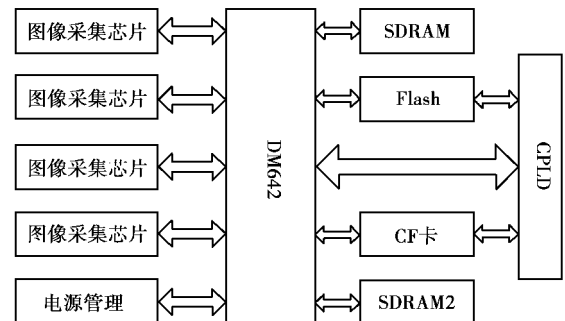


图 1 系统设计框图

CCD 进入视频解码芯片 A/D 后,得到的是一系列是数字信号,在 CPLD 的控制下,DSP 读写视频解码芯片 TVP5150 芯片,完成对系统模拟图像的控制、采集和传输,DM642 接收到图像数据后通过 EDMA 方式传送到其外部存储芯片 SDRAM 保存,以便 DM642 的处理。图像数据在 DM642 中处理后,存至 CF 卡,以使用户进行下一步处理。Flash 主要用于 DM642 程序的加载以完成自启动。电源模块主要用于产生系统需要的各种电源,如 1.4 V、3.3 V 等。

3 系统 EMI 分析

DM642 有 548 个引脚,BGA 封装,工作频率为 600 MHz,I/O 信号工作频率高,达到 133 MHz,因此,在进行 PCB 设计时必须考虑高速信号的完整性,对信号的反射、串扰以及地弹等问题进行处理;由于 DM642 存在 2 种电源,外部 I/O 电压跟系统元件的电源电压一致,这就对电源管理模块的输出电压在稳定驱动能力,以及散热等抗干扰方面提出了很高的要求,同时整个系统基本上属于数字逻辑器件,工作频率高,由此而产生开关同步噪声以及地弹噪声;整个系统设计中存在多种时钟,且频率高,如 133 MHz SDRAM 时钟等,必须保证时钟的稳定性,防止出现假时钟以及其他高速信号线或其他时钟的干扰。对时钟线、高速信号线以及电源和地进行 EMI 设计的好坏关系到整个 PCB 设计的成败。

4 系统 EMI 设计

DM642 图像采集系统是一个高速系统,必须对系统时钟、数据线、地址线、控制线等高速传输线以及电源和地进行重点设计,采取一定措施保证系统关键信号的信号完整性。

4.1 系统电源和地 EMI 设计

电源和地是整个系统回路的重要组成部分,是系统噪声的重要来源。电源和地的 EMI 设计的好坏直接关系到芯片的正常工作和系统的功能实现。因此在本系统的 PCB 板中设计必须重点考虑电源和地的 EMI 问题,必须注意以下几点:

- 1) 独立的电源和地平面及其背靠背设计,减小信号辐射,降低信号反射和环路噪声干扰。
- 2) 电源和地层分割及其处理。由于系统设计中的多种电源和地的分割处理会造成信号回流面积增大,增加信号的电磁辐射,因此在分割尽量减少分割区域,使两分割线间保持 20 mil 以上间距,如图 2、3

所示;高速信号线经过分割区域时必须包地处理,降低电磁辐射干扰,如图 4 所示;过孔造成地层或电源层分割,可以对分割区域的信号线包地处理,如图 5 所示;当信号层布不下线时,优先选择电源层布线,最好与底层走线垂直,如图 6 所示。

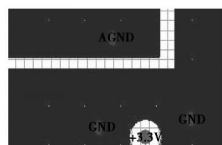


图 2 地层分割图



图 3 电源层分割图



图 4 高速信号包地处理图

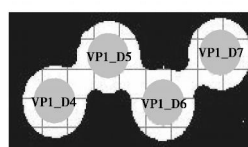


图 5 过孔形成地分割图

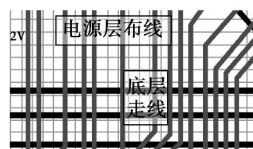


图 6 电源层布线图

3) 模拟地和数字地分开,分别采用多点单独接地,地线粗而短,以减小地弹效应。

4) 去耦电容对电源去噪和滤波处理。在设计中利用电容为电源提供一个低阻抗回路,消除共模 EMI 到敏感接受区域的 RF 噪声,同时降低信号传输浪涌。在设计中对电源引脚尽量都去耦,最好采用贴片电容,使电容尽量靠近电源引脚,缩短引线长度,降低高频感抗,同时保证电源信号先去耦后进入芯片电源引脚,滤除电源噪声,采用大小电容并联,加大电容通带带宽,改善滤波性能。如图 7 所示。

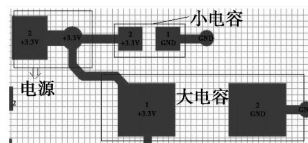


图 7 大小电容电源去耦图

4.2 时钟线 EMI 设计

系统设计的时钟多且频率高,SDRAM 时钟为 133 MHz,为了实现时钟的稳定输入输出,避免其它信号线的干扰,防止出现假时钟等,在高速信号或元

件经过时钟时的布局布线必须对其屏蔽,包地处理,如图 8、9 所示;时钟信号串联源端匹配电阻,以减小信号反射;由于过孔在高频情况下存在寄生电容和寄生电感^[11],使信号经过过孔时发生信号延时和阻抗不连续而形成反射等现象,因此时钟线要尽量少用过孔,最好在同一信号层上走线。

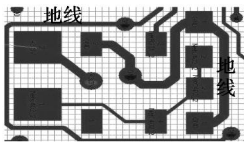


图 8 时钟源地线包裹处理图

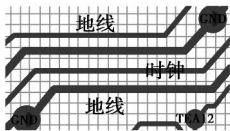


图 9 时钟线包地图

4.3 高速信号线 EMI 设计

本系统中高速信号线有数据线、地址线和控制线,这些信号线都是由 DM642 引出,布线时,对数据线和地址线加源端串联电阻,采用菊花链状走线^[12],抑制信号反射;系统控制线加粗,线距加大,与敏感信号源远离或隔离,最好采用包地处理;加大线宽、线距和用地线隔离等方法来减小信号线间的串扰,如图 10 所示;数据线长度相差不能太大 ($<300\text{mil}$),利用蛇形走线,尽量实现布线等长,如图 11 所示。

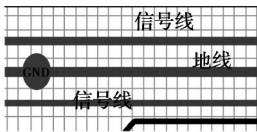


图 10 串扰处理-地线隔离

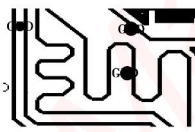


图 11 蛇形走线图

5 系统 PCB 板 EMI 仿真

对系统 PCB 板布线后,为了验证系统信号完整性的好坏,特别是系统的高速信号线,如 DM642 与 SDRAM 之间的数据线、地址线以及控制线等,可以对 PCB 进行仿真分析,查看关键信号的传输情况,找出设计中的缺陷,从而有针对性对系统设计进行改进,直到满足信号质量要求为止。下面是利用 Cadence 公司 PCB 集成设计分析仿真软件 SpectraQuest SI 630 对 DM642 与 SDRAM 之间的高速信号线的仿真情况:

由图 12 可以看出,信号 ED60 (即 AD23) 的 EMI 设计符合 FCC 标准^[13],满足 EMI 要求;由表 1 可看出,信号的过冲、下冲等的幅度也较小^[14] ($<0.7\text{V}$),符合设计要求。

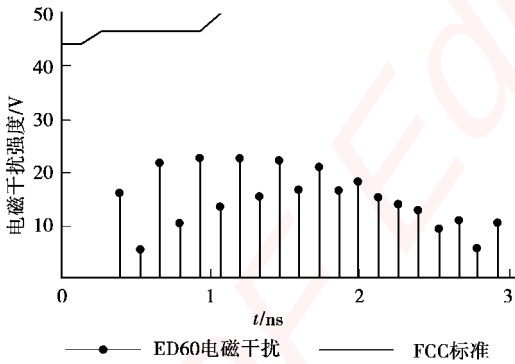


图 12 ED60 仿真 EMI 图

表 1 ED60 反射报告

过冲 / mv	下冲 / mv	开关/ ms 上升沿	开关/ ns 下降沿	建立 时间/ ns
3644	- 441.2	2.227	2.213	2.438
3830	- 620.1	2.222	2.2	2.417
3597	- 386.8	2.202	2.185	2.412
3731	- 528.7	2.213	2.19	2.404
3486	- 262.5	2.163	2.146	2.371
3484	- 261.9	2.156	2.136	2.358
3587	- 376.9	2.141	2.114	2.325
3456	- 229.2	2.104	2.077	2.291

6 结束语

对系统 EMI 进行了分析、设计和 PCB 后仿真,结果显示满足系统 EMI 设计要求,对高速系统 EMI 设计具有一定的指导作用,并已在实际的高速图像采集系统中应用,效果良好。由于系统 EMI 受环境噪声等诸多因素影响,仿真结果与特殊环境下的结果可能有点差别,甚至不满足系统 EMI 要求,这时需要对系统设计进行 PCB 前仿真,加强系统电路的 EMI 设计,然后对系统 PCB 后仿真,保证系统设计的可靠性,从而实现系统 EMI 设计。

参考文献:

[1] 邱文轶. TMS320C6201 高速电路 PCB 及电磁兼容性设计[J]. 应用科技,2004,31(11):19-20.
QIU WEN-YI. The design of PCB and EMC of high speed circuit for TMS320C6201 [J]. Applied Science and Technology,2004,31(11):19-20.
[2] 冯利民,钱照明. 基于近场探头的电力电子系统 EMC 故障诊断[J]. 电力电子技术,2007,41(6):13-15.

- FENG L F MIN, QIAN ZHAO-MING. EMC trouble diagnosing techniques in power electronic system based on near field probes [J]. Power Electronics, 2007, 41(6):13-15.
- [3] 张超,曹伯燕. 高速 DSP 数据采集的信号完整性问题[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2005(1):11-13.
- ZHANG CHAO, CAO BO-YAN. The problems of signal integrity for data acquisition of high speed DSP [J]. Microcontrollers Embedded Systems Application, 2005(1):11-13.
- [4] FERRI X, PARMANTIER J P. Application of a hybrid finite difference /finite volume method to solve an automotive EMC problem[J]. IEEE Transactions on adions on Electromagnetic Compatibility,2004, 46(4):624-634.
- [5] 戴文,王芳,刘燕竹. 高速数字电路 PCB 设计中的阻抗控制[J]. 电子技术应用,2006(6):134-136.
- DAI WEN, WANG FANG, LIU YAN-ZHU. The impedance control of PCB in the high speed digital circuit design[J]. Application of Electronic Technique, 2006(6):134-136.
- [6] BOZEC D, MCCORMACK L M, MARVIN A C. A good practice guide for the use of GTEM cells in EMC measurements according to IEC 61000-4-20 [C] IEEE Electromagnetic Compatibility, 2004 EMC International Symposium. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc,2004(2):660-665.
- [7] 刘胜,葛亚明,李军. 平面波对传输线耦合响应的仿真研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(6):1619-1622.
- LIU SHENG, GE YA-MING, LI JUN. Coupling response simulation of transmission lines excited by plane wave[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(6):1619-1622.
- [8] CHEN B, CHEN H L, CAO C, et al. Study on the HEMP induced current in the two-wire line with the metal shielded bushing [C] The Third Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics Proceedings. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2003:255-259.
- [9] SHIRAKI Y, SUGAHARA K, TANADE S. Electromagnetic field distribution inside an automobile vehicle [C] Electromagnetic Compatibility International Symposium. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2003:730-734.
- [10] 白同云. 高速 PCB 电源完整性研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2006,1(1):22-26.
- BAI TONG-YUN. Research into high speed PCB power integration [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2006, 1(1):22-26.
- [11] 周胜海,涂有超. 高速高密度 PCB 设计中电容器的选择[J]. 微计算机信息,2005,21(10):141-143.
- ZHOU SHENG-HAI, TU YOU-CHAO. How to select capacitor in high speed and high density PCB design[J]. Microcomputer Information, 2005, 21(10):141-143.
- [12] 王宏伟,高梅国,韩月秋. 高速数字电路设计中反射的影响及其抑制方法[J]. 系统工程与电子技术,2000,22(11):81-82.
- WANG HONG-WEI, GAO MEI-GUO, HAN YUE-QIU. The influence and elimination method of reflections in high speed digital circuit design [J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(11):81-82.
- [13] ENG S S, KUBILAY S. Coupling studies and shielding techniques for electromagnetic penetration through apertures on complex cavities and vehicular platforms [J]. IEEE Ations on Electromagnetic Compatibility, 2003, 45(2):245-256.
- [14] VIPUL, M. Vehicular spark ignition systems radiated emissions and reception performance [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2005, 5(5):19-23.

(编辑 侯 湘)

嵌入式资源免费下载

总线协议:

1. [基于 PCIe 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输](#)
2. [基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发](#)
3. [CANopen 协议介绍](#)
4. [基于 PXI 总线 RS422 数据通信卡 WDM 驱动程序设计](#)
5. [FPGA 实现 PCIe 总线 DMA 设计](#)
6. [PCI Express 协议实现与验证](#)
7. [VPX 总线技术及其实现](#)

VxWorks:

1. [基于 VxWorks 的多任务程序设计](#)
2. [基于 VxWorks 的数据采集存储装置设计](#)
3. [Flash 文件系统分析及其在 VxWorks 中的实现](#)
4. [VxWorks 多任务编程中的异常研究](#)
5. [VxWorks 应用技巧两例](#)
6. [一种基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统](#)
7. [在 VxWorks 系统中使用 TrueType 字库](#)
8. [基于 FreeType 的 VxWorks 中文显示方案](#)
9. [基于 Tilcon 的 VxWorks 简单动画开发](#)
10. [基于 Tilcon 的某武器显控系统界面设计](#)
11. [基于 Tilcon 的综合导航信息处理装置界面设计](#)
12. [VxWorks 的内存配置和管理](#)
13. [基于 VxWorks 系统的 PCI 配置与应用](#)

Linux:

1. [Linux 程序设计第三版及源代码](#)
2. [NAND FLASH 文件系统的设计与实现](#)
3. [多通道串行通信设备的 Linux 驱动程序实现](#)

4. [Zsh 开发指南-数组](#)
5. [常用 GDB 命令中文速览](#)
6. [嵌入式 C 进阶之道](#)

Windows CE:

1. [Windows CE.NET 下 YAFFS 文件系统 NAND Flash 驱动程序设计](#)
2. [Windows CE 的 CAN 总线驱动程序设计](#)
3. [基于 Windows CE.NET 的 ADC 驱动程序实现与应用的研究](#)
4. [基于 Windows CE.NET 平台的串行通信实现](#)
5. [基于 Windows CE.NET 下的 GPRS 模块的研究与开发](#)
6. [win2k 下 NTFS 分区用 ntldr 加载进 dos 源代码](#)
7. [Windows 下的 USB 设备驱动程序开发](#)
8. [WinCE 的大容量程控数据传输解决方案设计](#)
9. [WinCE6.0 安装开发详解](#)
10. [DOS 下仿 Windows 的自带计算器程序 C 源码](#)
11. [G726 局域网语音通话程序和源代码](#)
12. [WinCE 主板加载第三方驱动程序的方法](#)
13. [WinCE 下的注册表编辑程序和源代码](#)
14. [WinCE 串口通信源代码](#)
15. [WINCE 的 SD 卡程序\[可实现读写的源码\]](#)

PowerPC:

1. [Freescale MPC8536 开发板原理图](#)
2. [基于 MPC8548E 的固件设计](#)
3. [基于 MPC8548E 的嵌入式数据处理系统设计](#)
4. [基于 PowerPC 嵌入式网络通信平台的实现](#)
5. [PowerPC 在车辆显控系统中的应用](#)

ARM:

1. [基于 DiskOnChip 2000 的驱动程序设计及应用](#)
2. [基于 ARM 体系的 PC-104 总线设计](#)
3. [基于 ARM 的嵌入式系统中断处理机制研究](#)
4. [设计 ARM 的中断处理](#)
5. [基于 ARM 的数据采集系统并行总线的驱动设计](#)
6. [S3C2410 下的 TFT LCD 驱动源码](#)

Hardware:

1. [DSP 电源的典型设计](#)
2. [高频脉冲电源设计](#)
3. [电源的综合保护设计](#)
4. [任意波形电源的设计](#)
5. [高速 PCB 信号完整性分析及应用](#)
6. [DM642 高速图像采集系统的电磁干扰设计](#)