

电动车安全性能检测线的电磁兼容性分析与设计

郑希俊¹, 李伟权¹, 张乐超²

(1. 浙江省质量技术监督检测研究院, 浙江 杭州 310012;

2. 浙江大学 动力机械及车辆工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要:为解决基于 STC12C5A 单片机的电动自行车安全性能检测系统的测量控制单元的抗干扰性、测量稳定性等问题,将电磁兼容性(EMC)设计技术应用到系统设计中。针对不同的干扰源和耦合通道,结合电源设计、模拟量输入电路设计、开关量输入/输出电路设计以及印刷电路板布局设计方法,分析了电磁干扰源、耦合通道和控制测量系统之间的关系。在电动车生产厂家的电磁环境中使用电动自行车安全性能检测系统,进行了抗干扰性对比试验,其结果表明电磁兼容性设计后,生产环境对系统的干扰下降到 1% 以内,测量系统工作稳定。

关键词:电动自行车;电磁兼容;安全性能检测;控制;测量

中图分类号:TM15

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2010)12-0089-05

Electromagnetic compatibility analysis and design of the test line for electric bicycle

ZHENG Xi-jun¹, LI Wei-quan¹, ZHANG Le-chao²

(1. Zhejiang Test Academy of Quality and Technical Supervision, Hangzhou 310012, China;

2. Institute of Power Machinery and Vehicular Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to solve problems of anti-jamming capability and test stability of electric bicycle safety inspection system measurement control unit based on single chip microcomputer(SCM) STC12C5A08AD, electromagnetic compatibility(EMC) was applied into the system design. For different electromagnetic interference(EMI) sources and coupling channels, combining power supply design, analog input circuit design, digital input output circuit design and printed circuit boards layout design, the relationship was analyzed among EMI source, coupling channel and measurement control system. Comparison experiment of anti-interference was done with electric bicycle safety inspection system in the electromagnetic environment. The result indicates that interference to the system from production environment drops to less than 1% and the measurement system works steadily.

Key words: electric bicycle; electromagnetic compatibility(EMC); safety performance testing; control; measurement

0 引言

电磁兼容性是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作,且对该环境中的任何事物构成能承受电磁骚扰的能力。这意味着:首先设备要有一定的抗电磁干扰能力,设备中自身产生的电磁骚扰也应抑制在一定水平。它包括两个方面:电磁干扰(简称 EMI)和电磁

敏感性(简称 EMS)。电磁干扰是由干扰源、耦合通道和敏感设备 3 个要素构成,根据传播途径的不同又可分为辐射干扰和传导干扰。电磁敏感性也可分为辐射敏感度和传导敏感度。为了确保电动自行车安检线电磁兼容性(EMC)的特性,以及在恶劣的电磁环境中稳定地工作,则必须对安检线的电磁兼容进行设计^[1-4]。

电磁兼容性的设计是一种系统的方法,贯穿于电

子产品的开发过程。从功能设计到批量生产,每个阶段都要进行电磁耦合分析,对电磁兼容性进行评估,同时综合电磁兼容性设计。本研究主要探讨了电动车安全性能检测线的电磁兼容性分析与设计。

1 电动自行车安检系统

电动自行车安检线测量控制系统由上位机计算机和下位机单片机组成,硬件结构如图 1 所示,其特点如下:

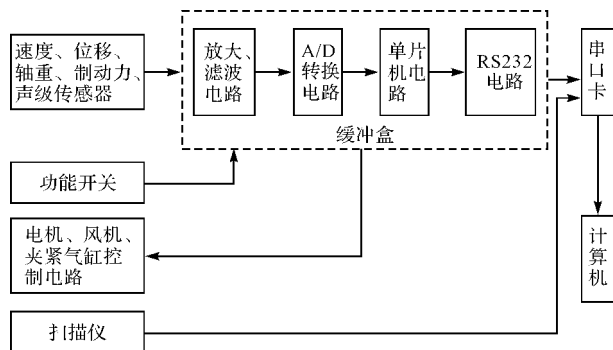


图 1 安检线硬件控制电路

(1) 传感器:测试系统采用的传感器有速度传感器,轴重传感器,制动力传感器,位移传感器,电流、电压传感器,声级传感器,其中电流、电压传感器输出的模拟电压在 $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$ 间,其余传感器输出均为 mV 级模拟量。

(2) 功能开关模块:电动自行车安检线具有以下功能,轴重、车速表校核、加速性能、制动力、电机启动电流、电机启动电压、电机启动功率、电动自行车启动力矩、轮偏、电瓶续行距离、电瓶充电功率等功能,各功能通过手动开关切换,输入 ECU 的 I/O 口,计算机自动显示测量功能对应的测量界面。

(3) 输出驱动模块:安检线有车速表校核用电机、制动力测试用电机,以及轮胎夹具气缸电磁阀需要控制。本研究采用低功耗 MOS 场效应管直接控制电磁阀线圈电流,以及电机控制用的交流接触器。

(4) 输入放大整形滤波电路为模拟量输入提供处理电路,把 mV 级模拟量放大转换成 $-2\text{ V} \sim +2\text{ V}$ 的电压输入,把电流、电压传感器输出的模拟电压 ($-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$) 转换成 $-2\text{ V} \sim +2\text{ V}$ 的电压输入,经过滤波后,由模拟开关根据不同检测功能需要的传感器切换输入 A/D 转换芯片,单片机读取 A/D 转换结果,同时也为输入脉冲提供调整电路。ECU 中还有电源电路和与上位机 PC 的通信管理电路。整个 ECU 硬件电路集中在一块电路板上。

2 干扰源及敏感设备

ECU 的电磁兼容性分析可分为两个环节:① ECU 所处的电磁环境的干扰源分析;② 作为敏感设备—电磁防护的对象 (即 ECU 本身) 易受干扰部位的分析^[5-6]。这种分析能保证对电子系统采用合适的防护措施,同时限制电子系统对外的干扰。下面针对电动自行车安全性能检测系统 ECU 所在的电磁环境进行定性分析,为后面的 EMC 设计提供依据。

2.1 干扰源及耦合通道分析

车间内干扰源大部分是由生产设备产生的,因此按设备的种类可以划分如下。

2.1.1 传导型电磁干扰

车间内有很多带有控制开关的电感性电气设备,如装配线的电机、空气压缩机电机等,它们都是含有铁芯线圈的电感性负载。当采用开关按钮或继电器来控制通/断时,会在电路中产生瞬变电压干扰,持续时间大约 1 ms ,振荡频率在 $1\text{ MHz} \sim 10\text{ MHz}$ 范围。干扰的主要耦合方式为传导耦合,通过共用的电源和电源线耦合到电子系统。

车间内大量使用的电焊设备,大功率弧焊逆变器工作时功率器件开关电路寄生参数引起的电路寄生振荡,是电磁干扰产生的重要原因。在硬开关电路中,开关管关断时,变压器的漏感所产生的反电势会使开关管的集射极之间出现电压振荡。这种电压突变会产生与变压器一次侧接通时一样的磁化冲击电流瞬变,产生传导型电磁干扰,通过电源线传导返回到配电系统,造成电网的电磁干扰,干扰频率在 $1\text{ MHz} \sim 30\text{ MHz}$ 范围。

2.1.2 空间辐射干扰

车间生产工人越来越多地装备了手机等无线电设备,它们都有功率不小的发射机。电磁波能量通过电控单元上的电缆耦合进入电控单元。这些电磁波大多有固定的频段。

车间内使用的电动工具和电动机,在旋转过程中电刷与滑环之间滑动接触产生的火花放电能形成频谱很宽的辐射噪声。

车间内大量使用的电弧焊设备工作时必然要产生很强的电磁干扰电弧。此外,目前逆变焊机多采用硬开关方式,作为一种高频开关电源,在功率元件开关过程中不可避免的会产生电磁干扰,低于 30 MHz 的电磁干扰主要以传导形式返回电网,而高于 30 MHz 的电磁干扰,大多数沿着电源线向外辐射,另外也会通过机箱表面向外辐射。

2.1.3 静电放电干扰

车间生产过程中大量使用的发泡塑料包装袋摩擦产生的静电,以及电子系统电缆的聚乙烯等绝缘材料由于弯曲和振动产生的静电是车间内主要的静电放电干扰源。由于电荷转移累积使物体成为有上千伏电压的带电体,当带电体与其它物体接触时产生电晕放电和火花放电,静电放电直接对半导体器件尤其是大规模集成电路造成危害,同时以电磁波形式向外辐射能量,其频率范围很宽。

由上述分析可知,由于干扰源属宽带干扰,不易避开,因而需要对电子系统采取必要的措施。

2.2 ECU 的敏感部位及其内部干扰源分析

2.2.1 模拟信号输入通道

测试系统有力、位移等传感器,输入信号均是 mV 级的,在 ECU 上进行放大滤波处理,印刷电路板上的模拟信号线很容易耦合进入其它高频数字信号线或时变大电流信号线向外发射的电磁脉冲中,从而干扰信号测试。

2.2.2 数字量输入通道

测试系统具有 18 项功能,各功能通过手动开关切换。一方面,开关的抖动会引起功能切换的错误,另一方面,输入数字电路虽然本身抗干扰的能力较模拟电路好,但是当有效信号中混入的干扰信号超过集成电路的噪声容限时,也会导致数字集成电路失效。此外,ECU 上采用的数字集成电路在工作时,其内部门电路频繁导通、截止,造成电源和地线上电流变化,同时电流变化率 di/dt 很大,将产生很大的高频电磁干扰,因此高速的数字电路也是 ECU 内部的重要干扰源之一。

2.2.3 输出控制电路

测试系统的输出均为感性负载,控制电机用的交流接触器,以及控制夹具的电磁阀线包,驱动电路在工作时,工作电流大,开关速度较高,是 ECU 内部和对外的的重要电磁干扰源。

2.2.4 ECU 内部的高频电路

电路的工作频率越高,就越容易受到空间高频电磁辐射的影响。在 ECU 中,最高频率的电路为单片机的时钟晶振电路,其频率为 12 MHz。因此,晶振和单片机间的连线很容易耦合进电磁干扰。同时,晶振电路本身也会向空间辐射电磁波,是 ECU 的内部干扰源之一。

针对上述 ECU 外部的干扰源以及 ECU 内部的干扰源和敏感部位,可在电路原理设计和印刷电路板的布线设计这两个阶段,采取针对性的 EMC 措施,同时

进行 ECU 的功能设计和 EMC 设计。

3 测量系统 ECU 的 EMC 设计

3.1 电路原理的 EMC 设计

3.1.1 电源和地线电路

如前所述,工厂电源中存在大量宽频干扰,采用如图 2 所示一体化的电源用噪声滤波器,可以有效地抑制来自电源的干扰。它是由集中参数元件组成的四端无源网络,主要使用的元件是共模电感线圈 L_1 、 L_2 ,差模电感 L_3 、 L_4 ,以及共模电容 C_{Y1} 、 C_{Y2} 和差模电容器 C_X 。若将此滤波器网络放在电源的输入端,则 L_1 与 C_{Y1} 及 L_2 与 C_{Y2} 分别构成交流进线上两对独立端口之间的低通滤波器,可衰减交流进线上存在的共模干扰噪声,阻止它们进入电源设备。共模电感线圈用来衰减交流进线上的共模噪声,其中 L_1 和 L_2 一般是在闭合磁路的铁氧体磁芯上同向卷绕相同匝数,接入电路后, L_1 、 L_2 两个线圈内由交流电流产生的磁通相互抵消,不致使磁芯引起磁通饱和,又使这两个线圈的电感值在共模状态下较大,且保持不变。差模电感线圈 L_3 、 L_4 与差模电容器 C_X 构成交流进线独立端口间的一个低通滤波器,用来抑制交流进线上的差模干扰噪声,防止电源设备受其干扰。

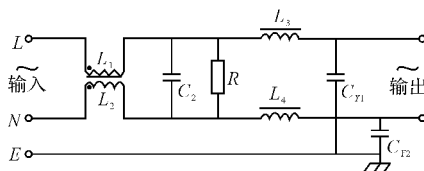


图 2 一体化的电源用噪声滤波器

电源滤波器滤波后的 220 V 交流电源经变压器降压分成 4 路输入作为 ECU 电源,电源中有模拟信号电源、电压电流传感器电源、输入开关量电源、单机电源^[7]。各电源分离,一是为了去除通过电源耦合进模拟电路的逻辑电路产生的高频干扰,二是为了避免传感器和外接电缆通过电源对 ECU 的干扰,如图 3 所示。电源电路都采用通用的三端稳压集成电路,分别提供 ± 15 V、 ± 5 V、6 V 和 5 V 的电压输出,根据负载大小,选用容值在 100 μ F 以上的电解电容作储能电容(图 4 中 C_7 、 C_8 、 C_{15} 、 C_{16} 、 C_{20} 、 C_{24}),图中 $C_3 \sim C_6$ 、 $C_{11} \sim C_{14}$ 、 C_{18} 、 C_{19} 、 C_{22} 、 C_{23} 用于高频退耦。

3.1.2 开关量输入电路 EMC 设计

测试功能切换的输入开关,由于开关的抖动有时候会出现功能混乱,采用如图 4 所示的输入,以消除开关抖动的干扰。

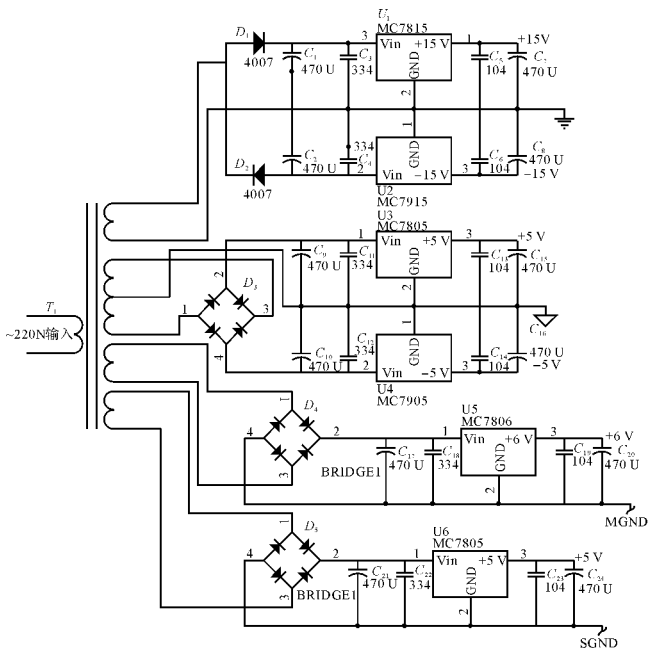


图 3 电源电路

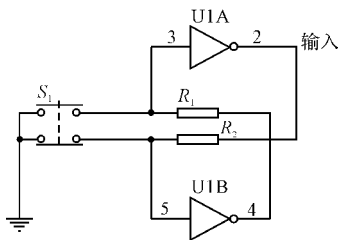


图 4 开关量输入电路

在未按钮时,U1B 的输入端经常闭开关接地,输出端为高电平状态,U1A 的输入为高电平状态,单片机输入即 U1A 的输出端为低电平;当开关被按下时,U1A 的输出端为高电平,U1B 的输出端为低电平并锁定。此时即使开关出现抖动也不会影响电路输出状态,从而达到消除抖动的目的。

每个数字集成电路的供电电源使用去耦电容。数字集成电路各门电路频繁导通、截止,电流变化率 dI/dt 很大,可以产生很大的高频电磁干扰,但是转移的电荷量并不大。去耦电容的作用是为集成电路电源线路中的交变电流提供通路,以免其远距离传导。本研究电路中采用 $0.1\ \mu\text{F}$ 瓷介电容并联 $10\ \mu\text{F}$ 电解电容的方案,电解电容通过其低频成分,瓷介电容通过高频成分,由于数字电路的时钟频率高达 $12\ \text{MHz}$,这样选取的去耦电容能很好地去除工作频率及其以上的干扰,又能消除电源电压缓慢变化的干扰。

3.1.3 模拟电路 EMC 设计

由于传感器和测试仪之间有相当的距离,ECU 输入的模拟信号容易受现场杂波的干扰。ECU 输入的模拟信号有轴重传感器、制动力传感器等,为了提高测试

精度,需在片外对模拟量进行滤波^[8]。轴重和制动力均为静态量,而干扰多为工频及其高次谐波,所以可用普通的 RC 低通滤波器,综合考虑滤波效果和稳定时间,滤波器的截止频率设为 $10\ \text{Hz}$ 。如图 5 所示, $R_3 \sim R_5$ 和 C_{25} 构成了 RC 低通滤波器,后面接一个同相放大器既起到隔离作用,也具备一定的增益以弥补滤波器的信号幅度损失。

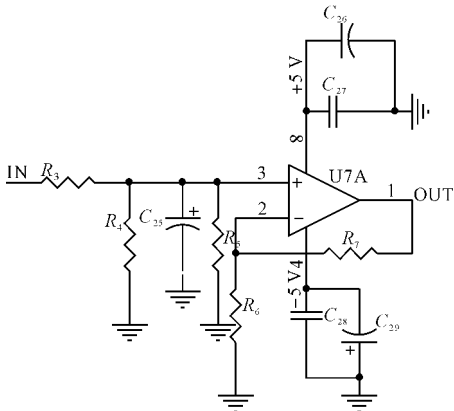


图 5 模拟信号用滤波电路

3.2 印刷电路板 EMC 设计

3.2.1 元器件布局

在电路板上元器件按功能集中布置,各功能模块分开,如图 6 所示^[9]。

(1) 单片机和外围扩展集成电路工作在较高的频率,把这些集成电路布置在一起,以缩短它们之间数据线和地址总线的走线长度,同时各外围集成电路布置在单片机四周,避免了集成电路被数据线或地址线回路包围的情况。

(2) 晶振离单片机不超过 $2\ \text{cm}$,连线周围用地线圈住,为了防止晶振向外辐射电磁波,将晶振外壳接地。

(3) ECU 外输入的信号滤波电路布置在接线端子处。功率驱动电路靠近接线端子,考虑功率管需要散热,把它们布置在电路板边上,但远离逻辑电路。

(4) 模拟信号调理电路尽量远离单片机逻辑模块和驱动模块。

模拟信号输入与放大滤波电路	RS232通讯电路		开关输入电路
	A/D转换电路	单片机	
电源电路		继电器输出控制电路	

图 6 元器件布置示意图

3.2.2 信号线分布

布线时需综合考虑以下几个方面:

(1) 避免相邻导线的线间串扰。因为有大面积的地线,导线的特性阻抗的减小大大减少了线间串扰的

发生。但还是要避免平行数字信号导向的长距离走线。

(2) 减小信号在导线上的传输延迟。导线的截面积和介电常数确定了导线的特性阻抗。如果信号传输方向上导线末端的阻抗与导线阻抗不匹配,就会引起信号的反射,干扰信号的传输,传感器差分输入端的导线尽可能对称,尽可能短。

(3) 模拟信号线避开大电流和高频器件,重要的模拟信号线采用地线包围的办法减少电磁耦合。

4 结束语

测试系统在测量轴重时,0~200 kg 的轴重对应的 A/D 转换后的数值为 0~80 000,即 1 kg 重相当于 A/D 转换后的数值为 400。在电磁兼容设计前,由于干扰引起的读数波动幅度高达 2 000(相当于 5 kg),当有开关、继电器或电动机工作时,波动的幅度更是高达 5 000 左右(相当于 12.5 kg),系统无法正常工作。按照上述 EMC 设计方法所设计的电动自行车安检线测量控制系统,测量轴重时 A/D 转换读数的波动只有 20(相当于 0.05 kg),在电动车厂实际使用中系统稳定,抗干扰能力强,测量精度达到 0.5%,符合相关的国家标准要求,因而该电动自行车安检线测量控制系统的功能设计和电磁兼容性设计都取得了成功。

[编辑:张翔]

(上接第 88 页)

致谢:本研究所开发的系统是在武汉中地数码集团的嵌入式 GIS 开发平台 EMS3.0 下完成的。这里特别感谢该集团嵌入式部门人员的支持及提出的各种宝贵建议。

参考文献 (References):

- [1] JIANG Gui-yan, ZHANG Wei, CHANG An-de. Data organization method for traffic information acquisition system based on GPS-equipped floating vehicle[J]. **Journal of Jilin University**, 2010, 40(2): 397-401.
- [2] WANG Zhi-jie, HE Li-heng, ZHENG Jia-zhu, et al. The data acquisition of digital urban management using RS, GIS and GPS technology[M]. Shanghai: 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, 2009.
- [3] 周泓,徐瑞,郁火良.基于 GPS 的客车导游系统[J]. 机电工程, 2009, 26(4): 77-79.
- [4] [作者不详]. u-blox LEA-5 Hardware Integration anual [EB/OL]. [日期不详] <http://www.ublox.com>.
- [5] 王钰婷.基于 Linux 的 Berkeley DB 嵌入式数据库开发和应用[D].杭州:杭州电子科技大学通信工程学院, 2009.
- [6] 周克贵. Qt/Embedded 和 Linux 在污水处理控制系统中应

参考文献 (References):

- [1] 余勇,李建秋,周明,等.车用柴油机 ECU 的电磁兼容性分析与设计[J]. 汽车工程, 2001, 23(6): 396-401.
- [2] LOCHOT C, CALVET S. REGINA test mask: research on EMC guidelines for integrated automotive circuits[J]. **Microelectronics Journal**, 2004, 35(6): 509-523.
- [3] MIDYA S, THOTTAPPILLIL R. An overview of electromagnetic compatibility challenges in European rail traffic management system[J]. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 2008, 16(5): 515-534.
- [4] CARLTON R M. An overview of standards in electromagnetic compatibility for integrated circuits[J]. **Microelectronics Journal**, 2004, 35(6): 487-495.
- [5] 朱玉堂,许力.变频器的电磁兼容及抑制[J]. 机电工程, 2005, 22(5): 40-50.
- [6] 谢灿华,詹晓东.基于电流输入模块的抗干扰设计[J]. 机电工程, 2009, 26(2): 95-98.
- [7] 匡宣羽,王金兰,等.综合测试转台的电磁兼容性试验分析与总结[J]. 测控技术, 2007, 26(3): 22-23.
- [8] 潘林.电子设备电磁兼容设计与分析[J]. 渤海大学学报, 2006, 27(2): 145-148.
- [9] 王幸之.单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2000.

[编辑:张翔]

用的研究[D]. 武汉:武汉理工大学自动化学院, 2008.

- [7] BAI Gui-mei, ZHANG Li-juan, ZHANG Fu. The Technology of Software Cloning in the Application of GIS Object Migration[C]//2009 2nd International Conference on Future Information Technology and Management Engineering. San-ya: [s. n.], 2009: 424-427.
- [8] 武汉中地数码科技有限公司. 中地集团—嵌入式 GIS-EMS3.0 系统和服务架构[M/CD]. 武汉中地数码科技有限公司, 2009.
- [9] JIANG Gui-yan, CHANG An-de, ZHANG Wei. Link dividing method for traffic information collecting based on GPS equipped floating car[J]. **Geomatics and Information Science of Wuhan University**, 2010, 35(1): 42-45, 50.
- [10] 武汉中地数码科技有限公司. MapGIS-EMS3.0 用户手册[M/CD]. 武汉中地数码科技有限公司, 2009.
- [11] [作者不详] iPhone 用户界面指导原则[EB/OL]. [日期不详]. <http://www.20ju.com/content/V22381.htm>.
- [12] WANG Li-jun, YANG Xiao-niu, ZHAO Hui-chang. Data Acquisition and Processing Technique for Software GPS Receivers[C]//2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings. Nanjing: [s. n.], 2008: 1987-1990.

[编辑:李辉]