

文章编号: 1001-2486(2001)04-0063-04

工控单片机系统的电磁兼容性设计*

邓正才, 黄松筠

(国防科技大学理学院, 湖南长沙 410073)

摘要:与一般计算机系统相比,工控单片机系统在电磁兼容方面表现为对电源影响敏感、易形成辐射和串扰通路,文章据此提出从电源、总体结构与功率接口等方面提高工控单片机系统电磁兼容性的若干措施。

关键词:单片机;电磁兼容性;辐射干扰;传导干扰

中图分类号:TP391 **文献标识码:**B

EMC Design of MCU Systems for Industrial Control

DENG Zheng-cai, HUANG Song-jun

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A MCU system for industrial control is more sensitive to electromagnetic noise from power supply, and more likely to be influenced and degraded by internal and external disturbance than the average computer system. In the process of designing the power system, the buses and periphery interface, some measures can be taken to improve its EMC performance.

Key words: micro-controller; electromagnetic compatibility; radiated interference; conducted interference

单片机功能强、价格低、体积小,以单片机为核心的测控系统能有效地提高生产效率,改善工作条件,大大提高控制质量与经济效益,所以单片机在工业自动化和生产过程控制领域的应用越来越深入和广泛。工业自动化和生产过程控制领域对单片机的电磁干扰,单片机本身固有的数字电路与模拟电路共存的特点,以及单片机高频率高速度、低电压低功耗的发展趋势,都是影响单片机系统电磁兼容性能的不利因素。工业自动化和生产过程控制系统中,单片机系统的电磁兼容性问题越来越突出。

1 工控单片机系统电磁兼容性的若干特点

近年来,单片机的字长在不断增长,新技术不断涌现。例如,新型 32 位高性能单片机采用精简指令集体系结构,主频达到几十兆赫。另一方面,为了发展和提高 8 位机的性能,就把 16 位以上机型的高性能、工艺、新技术下移到 8 位机上,以达到 8 位字长不变而增加新功能的目的。单片机总的发展趋势是高频率高速度、低电压低功耗,功能越来越强,接口种类越来越多。所以,单片机系统的电磁兼容性问题越来越突出。

单片机应用于工业环境时,工作场所同时有强电与弱电设备,强电设备中存在电感、电容等储能元件,当电压、电流剧烈变化时就会形成瞬变噪声干扰,其频谱宽、能量高,危害大。工控单片机必须承受比较严重的电磁污染,其电磁泄漏不太可能影响到强电回路,所以主要基于防护工控单片机系统来考虑其电磁兼容性问题。

1.1 数模混合

工控单片机系统既包括数字电路,又包括模拟电路,是一种以数字电路为主、模拟与数字共存的系统,单片机管脚的输出信号中叠加有高频分量,数据线 with 模拟线之间易形成串扰通路,其影响是十分隐蔽的,当数字电路频率高,对模拟电路有一定功率要求时最突出。从电磁兼容的观点看,在单片机系统中,数字电路和模拟电路是受影响者,又是一个不可忽视的干扰源。数模混合是单片机系统的

* 收稿日期:2001-04-10

作者简介:邓正才(1966-),男,讲师,硕士。

一个显著特点^[1]。

1.2 辐射干扰

单片机的管脚与外部连线采用开放式布线结构,由此形成辐射通道,其辐射功率与单片机的工作电流有关。由于单片机及其外围接口电路的供电与门槛电压普遍降低,以及采用贴片工艺,结构紧凑,不能忽视。

1.3 高频干扰

外部强电磁场条件是工控单片机系统的主要参考参数^[1]。由于单片机管脚输入阻抗高,对外部高频电磁场比较敏感,低频辐射不易侵入。

1.4 电源干扰

电源波动会引起信号紊乱与系统失调,电源是所有信号的交叉点而引起系统各信号之间的相互影响,所以工控单片机系统对电源波动特别敏感^[3]。

2 电源系统设计

工控单片机系统一般使用市电作为供电电源。为了使测控装置能适应负载较大范围变化和防止通过电源造成的内部干扰,整机电源必须留有较大的储备量,并有较好的动态特性。把干扰大的设备与测控装置由不同的相线供电,最好直接从配电室用屏蔽电缆分别引出两相供电。条件允许时可专为测控系统配置独立变压器、交流稳压器与测控配电箱。采用压敏电阻、稳压二极管和气体放电管是电源系统有效而廉价的防雷措施,其参数可按照 6kV 抑制电压来选择。根据 IEEE C62.41-1980 的计算,此设计参数可保证在 80% 以上的区域都可得到有效保护^[1,3]。

开关电源省去了沉重的电源变压器,体积小、重量轻、效率高,所以在单片机测控系统中得到广泛应用。不管采用什么变换器结构、激励方式或开关管组合方式,开关电源的开关管以 20 千赫以上的开关频率工作,开关回路的电磁辐射、二次整流回路的电磁辐射与浪涌、控制回路的脉冲信号和整个开关电源的分布电容,使开关电源成为一个电磁干扰源,其干扰强度随开关频率的提高、输出功率的增大而明显增强,对单片机测控系统的电子设备造成潜在的威胁^[1]。

根据输出组数、功率、电压与精度合理选择开关电源的结构,对提高开关电源的电磁兼容性是至关重要的。在二次整流回路中并接 RC 电路、串接可饱和磁芯线圈,可抑制二次整流回路的电磁干扰。减小开关管集电极与散热片之间的耦合电容,减小脉冲变压器的分布电容,可有效降低分布电容带来的电磁噪声。用导磁率高的材料屏蔽脉冲变压器,对开关点源整体屏蔽,可抑制辐射噪声。购买开关电源模块时应选择金属外壳封装者,同时对其输出纹波要做精确测量。在开关电源的输出侧插入由共模扼流圈和电容组成的电源滤波器,对单片机测控系统来说是最直接有效的措施^[3]。

3 总体结构与现场总线

3.1 工控单片机系统总线设计

在三总线上扩展外围芯片,使用集成电路做锁存器、译码器和输入输出接口时要注意接口电平兼容、驱动能力足够、时序一致,还要注意芯片的抗干扰性能。在常见芯片中,HTL 抗干扰性能最好,功耗大,速度低。ECL 抗干扰性能差,功耗大,速度高;TTL 应用广泛,成本低廉,有许多种类可供选择;CMOS 功耗最低,抗干扰性能优良,不仅适用于中、小规模集成电路,而且在大规模集成组件中应用也很广泛,使用时要注意扇出系数。HCT 系列具有 74LS 的速度,在逻辑电平和静态功耗方面与 CMOS4000B 相同,在工控单片机系统中会得到越来越广泛的应用^[3]。

3.2 线路板之间的连接

在传统的单片机应用系统中,“主板+输入输出板”结构的系统不在少数。在过去,单片机的价格高,内部资源不够丰富,外围需要扩展 EPROM、RAM 和 I/O 接口电路等资源才能构成最小系统,需要占用较大的印制板面积,软件开发周期较长,综合成本比较高。为最大限度地利用单片机的资源,设计人员将单片机最小系统与常用资源做在一块线路板(称主板)上,将输入输出信号的调理、

变送与测量电路做在输入输出接口板（称辅板）上，利用插座与扁平导线将主板的总线延伸到辅板。并行总线的紧耦合作用将降低电磁兼容性。

工控单片机系统中总线传输方式为多对多传输，源端及终端的概念相当模糊。当传输速率低、长度不太长时，长线传输效应不太严重。在高频系统中，而且距离拉长时，必须考虑匹配问题。特别是利用线缆将总线从一块线路板延伸到另一块线路板时，要注意长线传输效应。

长线的临界长度为： $L_c = 0.5 * t_r / T_p$ ，其中 L_c 为临界长度， t_r 为上升时间， T_p 为延迟时间，均采用国际标准单位计算。 L_c 是频率与波形的函数，当数据的频率为 1MHz 时，0.5m 以上的传输线即作为长线处理，频率为 3MHz 时，一根 5m 长的导线产生 17ns 的延时，高速门电路的平均延时才几 ns，其影响不可忽略。目前总线信号的频率已达数十个 MHz，长线传输的延时效应更加明显。

为保险起见，通过排线连接两块线路板时，为保证电磁兼容性，排线长度以 15cm 为上限。如果万不得已要超过此长度，或者多于两块线路板，可参考 PCI 总线的匹配方法，按照交流切换特性而不是直流驱动来规范总线驱动器，采用反射波传输信号：将信号驱动到所要求电平的一半，电波到达终端后反射回起点，使初始电压达到所要求的电压值，此时开始进行转换。若传播时间最长为 10ns，布线长度可达 60~70cm。

随着单片机片内资源日益丰富、价格不断下降，“主板 + 输入输出板”结构的工控单片机系统相对来说越来越少，即使是在同一机箱内，多主板结构的测控系统也很常见。因为每块主板上都有数据处理与运算功能，板与板之间只传输控制数据与处理结果，异步串行接口、串行外围接口与 I²C 接口是最常见的机箱内线路板之间的连接方式。

3.3 工控单片机测控系统的组网

现场总线技术把所有测控单元连接成一个完整的网络，结合部分隔离方法，提高整个系统的电磁兼容性。比较典型的现场总线有 LonWorks 与 CAN 总线^[3]。

LonWorks 现场总线技术提供了构造控制网络的完整平台，协议的完整代码作为固件由厂家提供，客户不需要再做工作，保证通讯协议的一致性和子系统之间的电磁兼容性。LonWorks 的收发器系列支持多种传输介质，常见的有 RS-485 双绞线、动力线和光缆。在强电环境下利用电力线载波或光缆构造 LonWorks 控制网络，必要时采用冗余网络（备份网络），不失为提高单片机系统电磁兼容性的有效方法。

CAN 是一种串行数据通信总线，是一种多主总线系统，通信介质可以是双绞线、同轴电缆或光纤，通信速率可达 1Mbps。总线控制器集成了协议的物理层和数据链路层功能，可完成对通信数据的成帧处理，包括零位的插入/删除、数据块编码、循环校验、优先级判别等工作，其最大特点是废除传统的站地址编码，代之以 11 位或 29 位通信数据块编码。按照这种数据块编码方式，可使不同的节点同时收到相同的数据，这一点在分布式控制系统中相当有用。正常情况下数据段长度最大为 8 个字节，对超过 8 位数据段可通过报文拆卸和拼装技术实现。协议采用校验并提供相应的错误处理功能，保证单片机系统的电磁兼容性，同样是强电领域的一种有效的现场总线。

3.4 连接上层网络

RS485 通信接口允许在一对双绞线上进行多点、双向通信，它所具有的噪声抑制能力、数据传输速率、电缆长度及可靠性是其他标准无法比拟的。所以在单片机测控系统中广泛用于与上位或 SCADA 系统的连接网络。

在使用该网络时，需严格按照总线方式连线，注意终端匹配，同时合理布置地线。一个典型的错误观点就是认为 RS485 不需要信号地，只要简单地用一对双胶线将各个接口的“A”“B”端连接起来。不连接信号地，会导致比较严重的共模干扰，轻则影响正常通信，重则损坏接口。另外，驱动器输出信号中的共模信号需要一个返回通路，如果没有信号地，就会以辐射的形式返回源端，整个总线就会像一个巨大的天线向外辐射电磁波。

3.5 接地技术

在单片机测控系统中，通常把数字电子装置和模拟电子装置的工作基准地浮空，而设备外壳或机

箱采用屏蔽接地^[1]。浮地方式可使单片机系统不受大地电流和中性点电压的影响,提高了电磁兼容性。由于强电设备大都采用保护接地,浮空技术切断了强电与弱电的联系,系统运行安全可靠。单片机测控系统外壳或机箱采用屏蔽接地,无论从防止静电干扰和电磁感应干扰的角度,或是从人身设备安全的角度,都是十分必要的。

4 功率接口的电磁兼容性设计

在单片机测控系统中,被控对象往往是强电设备,负载功率较大。因此,系统必须具有将输出的低电压、小电流信号转换成高电压、大电流信号的功率接口。由于功率接口直接控制被控设备的启停,经它引入的干扰更直接、更剧烈,因而被控设备成为工控系统的主要干扰源^[2]。工程实际表明,抑制被控设备的干扰,或者提高功率接口的抗干扰能力,是保证工控系统正常运转的关键。

4.1 普通继电器

普通继电器常用于小功率的功率接口,其触点负载能力远大于光电耦合器,可直接控制动力电路。采用普通继电器做开关量隔离输出时,在输出锁存器与低压效继电器之间要采用集电极开路门驱动器或驱动三极管。继电器的线包是感性负载,继电器由吸合变为导通时,会产生很高的感应电势,所以线包两端要接保护二极管以放掉上述反电势。

在启停负载很大时,可以把普通继电器当作中间继电器,采用全触点式的间接控制设计,由小型继电器的触点控制交流接触器的线圈回路,再由交流接触器的触点控制动力回路。

继电器的响应延迟大约为几十ms,继电器触点会产生电火花和电弧,所以只适于响应速度不高的启停操作,最好把继电器放在机箱外。

4.2 光控晶闸管输出光耦合器

光控晶闸管由发光二极管与小功率晶闸管组成,输入接口电平和电流与集成电路匹配,输入输出信号在电气上隔离,电磁兼容性好,输出端的耐压可达400~600V,电流可达200mA,并具有可控闸流特性,可直接用于高电压、大电流的控制。

4.3 固态继电器

固态继电器(SSR)是一种由固态电子元器件组成的新型无触点电子开关器件,它利用分立元件、集成器件及微电子技术,实现了控制回路(输入)与负载回路(输出)之间的电气隔离与信号耦合,工作可靠、驱动功率小、无触点、无噪声、抗干扰、开关速度快、寿命长。由于它能与TTL、HTL、CMOS等数字电路兼容,因此在单片机I/O接口、自动控制等领域应用十分广泛。

5 结论

合理选择开关电源的结构以切断来自一次电源的电磁污染,避免线路板之间长线传输效应,采用合适的现场总线、组网方式和功率接口器件,是保证整个工控单片机系统及其测控单元在重电磁污染条件下稳定运行的有效措施,对提高工控单片机系统的电磁兼容性具有明显的效果。

参考文献:

- [1] 王幸之等. 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.
- [2] 叶佩生等. 计算机机房环境技术[R]. 深圳:深圳市计通电子系统工程股份有限公司,1998.
- [3] 王庆斌等. 电磁干扰与电磁兼容技术[M]. 北京:机械工业出版社,1999.

