

工业现场测控系统的电磁干扰分析与对策

姚广平, 陈健东

(江苏工业学院 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 讨论了工业现场的电磁干扰现象, 对电磁干扰源的性质、产生和传播等环节作了分析, 介绍了工业测控系统的抗干扰措施。提出以主动和被动相结合的抗干扰策略, 给出了具体的适用于工业测控系统的屏蔽、吸收、缓冲、滤波、接地、电气布线、PCB 布线、软件陷阱和软件消抖等抗干扰措施。提高了电子测控系统的电磁兼容(EMC)性能。

关键词: 电磁干扰; 抗干扰; 测控系统; 屏蔽; 软件陷阱

中图分类号: TM933

文献标识码: B

Analysis and countermeasures for electromagnetic-interference on measurement and control systems in the field of industry

YAO Guang Ping, CHEN Jian Dong

(Department of Information Science and Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The phenomenon of electromagnetic-interference and its property, producing, transmit are analyzed in this paper. The countermeasures of anti-interference are active and passive. Especially, the specific methods are given by the article, for example, shield, absorb, buffer, filter, grounding, wiring, PCB, softer pit, soft tingle eliminate and so on. The electromagnetic compatibility (EMC) on the system well be improved where use these strategies of anti-interference.

Key words: electromagnetic-interference; anti-interference; measure and control system; shield absorb; softer pit

现代电子和计算机技术为制造、加工业或其他工业生产提供了先进的测量和自动控制系统, 极大地提高了生产效率和产品质量。然而测控系统中的电子电路的可靠性决定系统运行的成败。除去功能设计的先天不足和电子元器件、材料的质量瑕疵因素, 电子测控系统的抗电磁干扰能力直接关系到系统运行的可靠性, 抗干扰设计的依据来源于现场电磁干扰环境的了解和干扰信号作用于电子电路的物理机制。因此研究电子电路的电磁干扰现象和抑制措施, 无疑是很有意义的。

1 工业生产现场电磁干扰

1.1 电场和磁场对电子电路的干扰作用

电场和磁场均可分为恒定场和交变场两类, 静电场、直流电产生的电场属恒定电场; 永久磁铁、直流电流产生的磁场属恒定磁场。交变的电压和电流分别产生交变电场和交变磁场。恒定场会对某些电子器件产生作用, 例如恒定电场和恒定磁场均会使示波管中的电子束

发生偏转; 静电场会使物体产生电荷聚集, 改变物体电位, 出现“带电”现象。一定强度的恒定磁场会使干簧继电器吸合、仪表指针发生偏转等等。但这些现象因其行为结果表现为单一不变, 不会随机改变电路中电信号的参数, 故只能称为影响而不能称作干扰。而交变的电场和磁场往往会随机地改变极性、强度、频率等, 破坏电路中的正常电信号, 它会改变模拟电路信号波形、参数, 扰乱数字电路的逻辑关系、随机篡改数字式计数器的计数值或者存储器中的数据。在多数情况下这些行为表现为随机性、扰动性, 因此称为干扰^[1]。干扰的程度取决于交变电磁场的变化速率和强度, 同等强度的电磁场, 变化速率越大则干扰越严重。同等的变化速率, 强度越高的电磁场干扰越严重^[2]。交变电磁场对电子设备的干扰最为突出、最为严重, 本文的讨论主要集中在交变电磁场的干扰产生与抑制方面。

1.2 工业生产现场电磁干扰来源

工业生产现场产生的电磁干扰源的数量和强度,取决于生产现场设备的组成系统复杂程度及用电设备的种类、数量、功率等因素。总的来说,凡是有电流快速变化(或者有突变)的设备都会产生电磁干扰,根据电磁感应原理,感应电压:

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

式中, i 为用电设备中的电流, L 为电流回路等效电感,感应电压因电流变化而产生^[3]。这个感应电压即为干扰信号,它以电场和磁场的形式由空间传播或沿传输导线传导进入电子电路,使电路中的正常信号被额外叠加,即被干扰^[4]。产生这类干扰信号的设备和状态有:继电器、交流接触器的吸合与释放、电力刀闸(开关)的带载合闸与分闸、PWM变频调速器运行、电焊、中频感应加热、相控调压、逆变、脉冲放电、高频电压发生等。此外,工频电源频率虽不高,但在工业现场使用的电源导线往往数量很多、传输功率较大,这些导线载流时也会从空间传播 50 Hz 的电磁场,对于敏感部件也会形成干扰。

1.3 工业生产现场电磁干扰的抑制

一般情况下工业生产现场各种设备的工况以满足生产要求为前提,不便进行改变,因此应对干扰的主要措施是被动的。可以采取如下对策:(1)优先采用电磁兼容等级高的、被公认为成熟可靠的控制机种,如 PLC、高等级的工控机。(2)电子电路单元尽量远离干扰源,因为由电磁场理论可知:空间某一点的干扰信号强度与该点到干扰源的距离的平方成反比。(3)采用高导磁率材料(如:软铁板、矽钢板、铁氧体等)和高导电率材料(如:镀银铜板、铜网等)进行电磁屏蔽,将电子电路装在用这些材料做成的密闭的屏蔽空间内。有条件情况下可对现场电磁场进行测试,然后进行电磁抗干扰设计。根据实际情况,屏蔽空间可以做成屏蔽盒、屏蔽箱、屏蔽室、屏蔽笼等^[3]。(4)合理使用信号传输媒介,现场信号分为模拟量和数字量(包括开关量),对于模拟量信号应当采用屏蔽双绞线传输,最好预先将信号源的单端信号转换为差分信号,再用屏蔽双绞线的芯线传输差分信号,而将屏蔽层可靠地接大地。现场的干扰信号实际为共模信号,双绞线有自动抵消共模信号的作用,而有用信号的差分形式能有效抑制共模干扰信号^[5]。对于数字量或开关量信号可采用多芯双绞屏蔽电缆、光缆。数字量信号的传输通常会采用串行通信方式,串行通信有多种标准,现场总线 CAN 应为首选,因 CAN 的总线仲裁技术、高效率的传输、极低的数据出错率、长远的传输距离(最远距离可达 1 km)、强大的总线差分驱动能力(总线可直接挂接 110 个通信节点)等突出优点,是工业现场最为理想的数据通信标准。此外,信号以电流形式传输和以电压

形式传输,前者的抗干扰性能比后者佳,因为干扰信号表现为高阻抗,而电流传输为低阻抗,干扰信号被衰减。(5)合理安装传输线。模拟量和数字量分开走线、信号线与电源线相隔越远越好。(6)优选主控芯片,若自行研发控制系统,则主控芯片的抗干扰性能尤为重要,目前可用于控制系统的微处理器芯片的品种很多,其抗干扰性能差别很大,选型时应实际验证其抗干扰性能或采用已被实践证明抗干扰性能优越的芯片。(7)将交流接触器改用固态继电器(无触点、无电弧)。

2 电子电路本身产生的电磁干扰和抑制方法

作为测控系统的电子电路,一方面遭受工业现场的用电设备产生的电磁干扰,另一方面其本身也产生电磁干扰,即自己干扰着自己。由于这种干扰源和被干扰对象往往在同一块电路板上,或同在一个机箱内,距离很近,因此若处理不当,其干扰程度可能相当严重。电子电路产生电磁干扰的原因和应采取的应对措施可归结为如下几个方面。

2.1 继电器带载触头动作时产生的电压、电流快速变化引起的干扰及其抑制

这种干扰是电子电路产生的最为严重的干扰(其严重程度还与电路中继电器数量成正比)。抑制这种干扰最有效的方法是在继电器触头上并接 R-C 吸收回路或连接 L-C 缓冲回路。如图 1 所示。

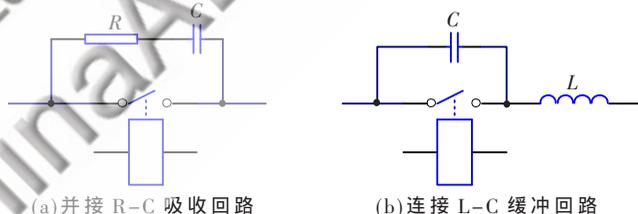


图 1 继电器触头干扰抑制方法

R 取值为 $10 \sim 100 \Omega$, C 取值为 $0.2 \sim 0.01 \mu$, L 取值为 $1 \sim 50 \mu\text{H}$ 。这些元件的连接越靠近触点则效果越好(或者采用固态继电器),但只适用交流负载。

2.2 电源线串扰

电源线包括在印制电路板(PCB)上的各个芯片、器件的电源通路。所谓串扰即干扰信号与正常信号是串联叠加的。因电源通路存在分布参数,即存在一定的阻抗,又承载着测控电路中最大的电流,电路中各种芯片、器件工作时会使电源线中的电流发生变化,特别是数字电路工作时,会引起较大的电源电流瞬间跳变,这种跳变的电流便会在电源线的阻抗上产生跳变电压,即:

$$\Delta U = \Delta I Z \quad (2)$$

式中 ΔI 为电流变化量, Z 为电源线阻抗。这个跳变电压视为干扰信号,经芯片电源端一方面耦合到芯片本身,另一方面耦合到连接在电源线上的所有其他芯片,即相互影响造成干扰。解决的方法是在电源进线端加接

L-C 滤波环节,同时应当在各芯片引脚处的电源与地之间 (V_{cc} 与 GND 之间) 并接高频电容器,取值在 $0.047\sim 0.47\ \mu\text{F}$ 范围内。该电容器应尽量靠近芯片引脚。

2.3 输出对输入干扰

电路板上的输出级相对能量较大,如空间位置安排不当,会使输出级对输入级形成信号反馈,造成干扰。尤其是高频信号成份,如数字信号的方波边沿、时钟信号、快速脉冲信号、高频模拟信号等极易从空间形成反馈。避免这种干扰的措施是元件排列和印制板走线应按照输入到输出一个方向走线,输出线不可与输入线平行。

2.4 模/数地线未分开引起的干扰

模拟信号和数字信号使用同一根公共地线,会引起干扰,尤其表现为数字信号对模拟信号造成干扰,原因是数字信号电流在地线阻抗上形成干扰信号,再叠加到模拟信号中。模拟电路和数字电路混合的电路板在设计 PCB 时务必要使模拟地和数字地分开,尽管从电源出发时仅 1 根地线。如图 2 所示。

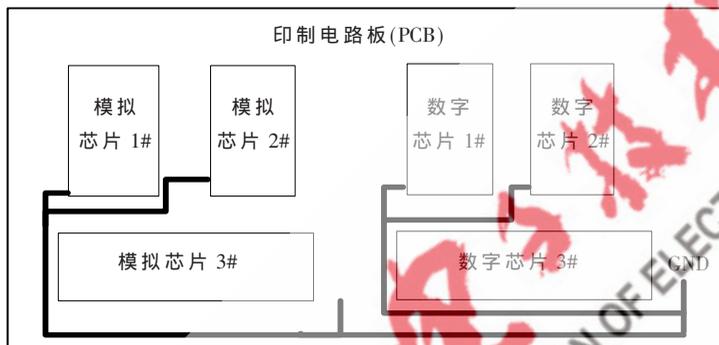


图 2 模拟地和数字地分开走线示意

2.5 数字信号方波边沿振荡产生干扰

数字信号在传输过程中如果负载阻抗不匹配,其边沿会产生振荡,这种振荡会使数字电路发生误动作,如使电路多次触发翻转、计数错误、逻辑错误等。消除方波边沿振荡的方法有 2 种:(1)在传输线终端并接吸收电阻(阻值范围为数十欧姆~数百欧姆)或吸收电容(容量为数十皮法~数千皮法),目的是在硬件上消除振荡。(2)用程序指令产生适当的延时,躲避振荡时间。此法可以不添加任何硬件且可灵活调节躲避时间,但对于纯硬件电路则只能用硬件方法处理。

2.6 输入设备或传感器误动作干扰

一些灵敏的开关型输入设备或传感器会产生误动作,如键盘被按动时会发生抖动,使得单次按键动作变为多次按键动作;温度开关、液位开关在受到振动时,其触点会误接通或误断开。这些误动作若不能加以识别必然导致控制系统产生错误的处理结果。解决的方法是设计去抖程序判别动作的真伪,其原理是抖动的时间总是短暂的,可利用软件插入 1 次或几次延时,每次延时后读取输入值,如每次读入值皆为真即为有效,否

则为无效。

3 工程实践中值得推荐的防干扰方法

工程实践中对于测控电路硬件与软件方面也有一些值得推荐的抗干扰方法,对于提高测控系统抗干扰水平均有作用。这些方法包括:(1)晶振与 CPU 引脚尽量靠近,晶振外壳接地并固定。(2)功率器件与 CPU 的地线分开走线,各自单独接电源公共端。(3)CPU 的 I/O 口线、电源线、电路板连接线等关键部位,使用抗干扰元件,如磁珠、磁环、电源滤波器。(4)PCB 布线时,电源线和地线尽量粗,尽量减少环路面积。(5)将 CPU 闲置的 I/O 口接地或通过电阻接正电源。其他 IC 的闲置端在不改变正常逻辑的情况下也应同样处理,决不可悬空。(6)CPU 使用电源监控及看门狗电路。(7)在满足要求的前提下,尽量降低 CPU 的时钟频率和选用低速数字电路。(8)将程序中不用的代码空间用“0”填充,等效于空操作指令“NOP”,在程序存储单元的最后存放 1 条长跳转语句“LJMP 0000H”,可使程序跑飞时归位。(9)在跳转指令前加几个“NOP”语句。(10)涉及外部器件参数调整或设置时,可定时将参数重新发送 1 遍,以利于当外部器件受干扰出错时能尽快恢复正确。(11)逻辑状态尽量采用电平控制而不使用边沿触发(除非不得已)。(12)逻辑电路或逻辑芯片的输入、输出端应定义成低电平有效。

电磁干扰无处不在,只是程度不同,不可能将干扰信号完全消除。工业现场抗干扰目标是设法使电子设备遭受电磁干扰的程度减至能使设备可靠正常运行的程度。如文中所述,抗干扰对策总是主动与被动相结合,主动策略表现为对干扰源进行抑制,使干扰源产生的干扰强度降至最低,被动策略表现为对干扰信号采取规避行为,使干扰无效。两种策略均不失为上策,只是要针对具体情况采取相应措施。

工业现场的抗干扰对策是一项重要而复杂的技术,抗干扰效果取决于实施者对现场设备和测控电路产生的干扰源的了解程度、电子技术运用技巧以及工程实践经验。

参考文献

- [1] 张建明.光电设备电子机柜布线工艺研究[J].电子工艺技术,2003(2):73-77.
- [2] 陈穷.电磁兼容性工程设计手册[M].北京:国防工业出版社,1993.
- [3] 顾林卫.控制机柜电磁屏蔽分析[J].舰船电子对抗,2000(1):32-37.
- [4] 毛楠,孙瑛.电子电路抗干扰实用技术[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [5] 蔡仁钢.电磁兼容原理、设计和预测技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1997.

(收稿日期:2009-06-08)