

微型计算机实时控制的抗干扰

肖冬荣 编著

湖北科学技术出版社

微型计算机实时控制的抗干扰

肖冬荣 编著

湖北科学技术出版社

微型计算机实时控制的抗干扰

肖冬荣

•

湖北科学技术出版社 湖北省新华书店发行

孝感地区印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 13印张 283,000字

1985年2月第1版 1985年2月第1次印刷

印数：1—17,300

统一书号：15304·41 定价：2.40元

内 容 提 要

本书对微型计算机实时控制系统中干扰、故障的由来及其抑制办法进行了详细而全面的论述,提供了理论分析和数学推导,并给出了实验数据和经验公式。全书共十一章。前二章介绍干扰源及其传播途径;后九章着重论述抗干扰以及提高系统可靠性、稳定性的措施。书中对计算机供电系统、地线系统、屏蔽接法、光电耦合器件的应用、电源异常保护、长线阻抗匹配、A/D及D/A抗干扰、传感器的抗干扰、微型机故障诊断与检测等一系列问题进行了探讨,尤其重要的是对软件抗干扰提出了许多切实可行的办法,因而成为微型计算机控制应用技术的必备参考书。

本书可供大专院校师生和科研单位的研究人员阅读。亦可作为大学自控专业、计算机专业、电子专业及研究生的参考教材。特别对从事过程控制可靠性、稳定性研究人员有用。

前 言

微型计算机的出现给信息管理和过程控制带来了崭新的局面。目前,从上到下,从工业、农业、国防、科技,乃至家用电器领域都掀起了“微机热”。微型机为什么能够获得这样迅速的发展呢?首先是由于大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)的出现,使得计算机的体积、重量、功耗大幅度下降,因而使计算机的性能价格比大为改善。微型计算机不仅可以作为过程控制机深入到生产现场第一线,如车间、工厂、码头、水库等。而且可以廉价地组成微型机局部网络,用于行政办公事务、财务报表统计、人事档案管理、图书资料检索、银行事务管理,等等。其次是由于现代社会的信息量越来越多,面临着所谓“信息爆炸”的危机。现代社会经济与生产高度发展,技术越来越复杂,生产和管理联系越来越复杂化,经济管理要求收集与处理的信息量愈来愈大。再就是由于工、农业生产过程愈来愈复杂,产品质量要求日益提高,生产工序、流程也日益繁杂。所有这一切,暴露一个矛盾,这就是说,用传统的古老的管理,控制方式,已远远不能满足现代生产的需要。这就是微型机得以迅猛发展的客观基础。

微型机进入过程控制领域之后,显示了它的巨大的力量,微型机不但可以把人们从繁重、有害、重复性的体力劳动中解放出来,而且可以代替人的思维、判断、推理,使错综复杂的生产过程得到最优控制。

但是,过程控制是从传感器 A/D、D/A、中央处理



机到执行机构的一个与外部世界动态地交换、处理信息的过程。过程控制系统的可靠性与稳定性是一个头等重要的问题。外界的干扰、内部的瞬间故障，不但导致系统的不稳定，而且可能导致灾难性的恶果。如果系统的干扰和故障不排除，就谈不上可靠性，再好的计算机，再好的控制方案，也将会成为泡影。正是基于这一点，作者试图在这方面作一些工作，才着手编著这本书。

本书对实时控制系统中干扰、故障的由来及其对策进行了论述，提供了理论分析和数学推导，并给出了实验数据和经验公式。全书共十一章。前二章介绍干扰源及其传播途径；后面九章着重论述抗干扰以及排除故障的措施。书中还着重对计算机供电系统、地线系统、屏蔽接法、光电耦合器件的应用，电源异常保护、长线阻抗匹配、 A/D 及 D/A 、传感器和 I/O 技术、局部网络、微型机故障诊断等问题进行探讨。

本书在编著过程中，曾得到武汉大学计算机科学系曾宪昌教授、中国科学院武汉数学物理研究所郭友中教授、华中工学院自控与计算机系陈锦江教授、武汉工学院何文蛟教授、中国科学院武汉数学物理所李龙副教授、范文涛副教授的大力支持和帮助。最后书稿的誉写和描图，也曾得到杨振常、冯枚、杨柳、焦艳等同志的大力帮助。在此，谨向以上诸位同志致以衷心的感谢。

由于作者学识有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

肖冬荣

一九八三年十月于武汉

目 录

第一章 干扰源

1.1 概述	1
1.2 按理论设计的系统为什么还会出现干扰	3
1.2.1 理想电路图与实际仍有差别	3
1.2.2 外部影响	4
1.2.3 元器件的质量	5
1.3 正态干扰和共态干扰	5
1.3.1 正态干扰	5
1.3.2 共态干扰	6
1.3.3 正态干扰和共态干扰的波形图	7
1.4 放电引起的干扰	8

第二章 干扰的耦合及其传播

2.1 概述	12
2.2 静电耦合感应	13
2.3 互感耦合方式	19
2.4 共阻抗耦合方式	23
2.5 电磁场辐射耦合方式	25
2.6 长线传输干扰	30
2.6.1 均匀长线传输方程式	30
2.6.2 均匀长线在正弦电压作用下的稳定过程	32
2.6.3 长线传输方程式解及各物理量的性质	35
2.6.4 波的反射和无反射线路	40

第三章 计算机供电系统及其保护

3.1 供电系统一般保护措施	43
3.1.1 隔离变压器	43
3.1.2 低通滤波器	44
3.1.3 交流稳压器	46
3.1.4 中频电机	47
3.1.5 晶体管开关电源	49
3.1.6 采用独立功能块单独供电	52
3.2 负阻补偿型稳压电源	52
3.2.1 负阻补偿原理和设计	53
3.2.2 负阻补偿型电源实例	60
3.3 电源异常保护	61
3.4 外部设备自动加电	67
3.4.1 外部设备自动加电是防止干扰的良好办法	67
3.4.2 零压通断器和零压触发技术	68
3.4.3 外部设备自动加电——电容式纸带输入机自动加电 电路	74
3.4.4 软开关实现外部设备联机或脱机	77

第四章 地线系统

4.1 概述	80
4.2 各种不同的接地处理	81
4.3 接地装置的施工方法	91
4.3.1 接地方法	92
4.3.2 接地工艺	94
4.4 地线系统设计	98
4.5 接地电阻的计算及其测量方法	99

4	5.1 接地电阻的物理概念及计算	99
4	5.2 接地电阻实测方法	103

第五章 光电耦合器件

5.1	概述	106
5.2	红外发光二极管——光敏三极管型光电耦合器	109
5.2.1	红外发光二极管	109
5.2.2	光敏三极管	110
5.2.3	光电耦合器的结构与特点	113
5.3	光电耦合器应用	117
5.3.1	隔离方面的应用	117
5.3.2	控制噪声的应用	126
5.3.3	固体继电器 (SSR)	129
5.4	4 PIO 光电隔离接口板	132

第六章 长线传输干扰的排除

6.1	概述	141
6.2	脉冲传输线的理论分析	141
6.3	双绞线	145
6.3.1	双绞线的参数	146
6.3.2	双绞线的使用技术	158
6.4	长线传输阻抗匹配	165
6.4.1	特性阻抗的实测	165
6.4.2	阻抗匹配的方法	166
6.5	长线传输过程中的窜扰	171
6.6	数字电路引起的干扰	174

第七章 模数转换器的性能及其抗干扰对策

7.1	概述	179
7.2	转换器应取何精度	182
7.3	误差分配分析	185
7.4	A/D 转换器的工作条件	192
7.5	基本电路对转换器性能的影响	194
7.6	采样过程的动态误差及消除措施	197
7.7	A/D 和 D/A 抗干扰对策	200
7.8	遥测遥控下 A/D (或 D/A) 的合理安置	204
7.9	软件方法提高 A/D 转换器抗干扰能力	208
7.10	数字滤波的原理和方法	210
7.11	$CROMEMCOD+7A$ 元件板的精度因素	214
7.12	提高 A/D (D/A) 分辨率的办法	216

第八章 计算机系统故障诊断及排除

8.1	概述	219
8.2	用户测试选择	226
8.3	组合逻辑检测原理	234
8.4	只读存储器 (ROM) 的检测	238
8.5	随机读写存储器 (RAM) 的检测	240
8.5.1	RAM 的故障表现	240
8.5.2	RAM 的测试图案	242
8.5.3	RAM 的筛选测试	245
8.5.4	MOS 存储器板的设计及组装	248
8.5.5	MOS 存储器可靠性估算	254
8.6	微处理器 (μP) 测试简介	256
8.7	微型计算机抗干扰措施	261

8·7·1 微指令特有的故障	265
8·8 故障诊断及排除	266
8·8·1 用软件诊断微机部件的故障	266
8·8·2 主机和外围设备故障的诊断	276
8·8·3 主机和外围设备一般故障表现	277
8·8·4 一般故障的处理	285
8·8·5 微型计算机功能测试	286
8·8·6 接口法排故原理	289
8·9 检查排除故障的一般原则	290
8·10 先进的检错工具	292

第九章 可靠性和容错技术

9·1 概述	296
9·2 系统可靠度的数学模型	299
9·3 系统可靠度的计算	303
9·3·1 串联系统的可靠度	303
9·3·2 并联系统的可靠度	304
9·3·3 串并联系统的可靠度	307
9·3·4 部件级冗余与系统级冗余的比较	307
9·4 硬件冗余	309
9·4·1 三模冗余表决系统 (TMR)	310
9·4·2 三模——单模转换系统 (TMR—S)	312
9·4·3 待命贮备冗余系统	315
9·4·4 双机工作系统	319
9·5 软件容错技术	321
9·6 时间冗余	324

9.6.1 指令复执	324
9.6.2 程序卷回	326
9.7 信息冗余	327
9.8 过程控制中软件抗扰应用举例	334
9.8.1 死循环或程序飞掉的对策	336
9.8.2 输入/输出软件抗扰措施	340
9.9 PID调节器抗失控措施	346

第十章 传感器和开关量I/O技术

10.1 传感器	352
10.2 联机用传感器的选择	354
10.3 用软件消除零点误差及零点漂移	355
10.4 用软件消除非线性误差	356
10.5 传感器的发展方向	358
10.6 开关量I/O通道	360
10.7 条件化电路	362

第十一章 局部网络可靠性措施

11.1 概述	365
11.2 通道管理	372
11.3 Ethernet网络可靠性设计	375
11.4 Ethernet网络可靠性实施	377
11.5 信息保存的可靠性措施	379
11.6 网络常见故障	381

附录一 热噪声	384
---------------	-----

附录二 散粒噪声	386
----------------	-----

附录三	噪声系数·····	387
附录四	分贝·····	392
附录五	脉冲方波(对称的)的傅利叶解···	393
附录六	名词浅释·····	396



第一章 干扰源

1.1 概 述

用于过程控制的计算机系统不同于普通计算站的计算机系统。前者的工作环境极为恶劣，干扰纷繁。而后者的工作环境相对来说要优越得多，因此干扰也就随之下降。实时过程控制系统实施起来之所以难度大，可靠性、稳定性经常成为系统调试、安装、运行中的主要问题，干扰不能不说是重要的原因之一。

现代技术的飞速发展，电子技术已广泛地应用于国民经济、家庭生活、文化娱乐等各个方面。电子计算机，特别是近十年来微型计算机的问世，使得计算机在各个领域内的应用产生了飞跃性的发展。电子元件的普遍应用，电子设备体积的日益缩小，整机电路日趋小型化、微型化，以及大量的电路安装在一个极小的空间里，所有这一切，使得干扰越来越成为一个严重的现实问题。可以毫不夸张地说，当代世界的干扰如同环境污染一样，正危及着现代工业的各个方面。抗干扰方面的课题不但有许多实际问题要解决，而且有不少理论问题要探讨。

所谓干扰，就是有用信号以外的噪声或造成恶劣影响的变化部分的总称。例如，在控制系统中，指令信号以外的电变化，使指示或指令工作失常；在检测元件中，混入了被测信号以外的电信号，就会使测量指示产生误差；计数器由于干扰脉冲而乱计数；电子计算机由于各种干扰而不能正常进

行数据检测及处理，甚至造成破坏；由于冲击电压等其他原因使机器不能正常工作，等等。

干扰产生于干扰源。干扰有的来自外部，有的来自内部。外部干扰指的那些与系统结构无关，而是由使用条件和外界环境因素决定的；而内部干扰则是由系统结构布局、生产工艺等所决定的。从物理分析来看，外部干扰和内部干扰都具有同一物理性质，因而从消除及抑制的方法上说没有原则的区别。它们的不同之处仅仅在于内部干扰发生的规律，在设计和调试中，如何能够作到把它限制在规定的范围内，那是最低的要求；但由于外部干扰是随机的，因此只能把恶劣到一定程度的环境改善到允许的范围之内就很理想。

外部干扰主要为：太阳及其他天体辐射出的电磁波；广播电台或通讯发射台发出的电磁波；周围的电气装置（包括交通工具、工厂和家用电器等）发出的电或磁的干扰；气象条件、空中雷电、气温、湿度、甚至于地磁场的影响也是外来干扰。其它来自电源的工频干扰也可视作外部干扰。

内部干扰主要为：交流声，不同信号的感应，如杂散电容、长线传输造成的波的反射，多点接地造成的电位差引起的干扰，寄生振荡引起的干扰，热骚动噪声干扰，颤噪声、散粒噪声、闪变噪声、尖峰或振铃噪声等引起的干扰均属之。

对于不同的干扰源采用不同的，行之有效的克服办法乃是排除干扰的根本方法。

1.2 按理论设计的系统为什么还会出现干扰

1.2.1 理想电路图与实际仍有差别

电路图上的导线是假设没有电阻的，但实际的导线总是有一些电阻值。另外，当电流流过导线时，它周围会产生磁场，同时导线本身也有电感，它和其它导线间还有电容值。理想电路图和实际电路图如图1.1所示。

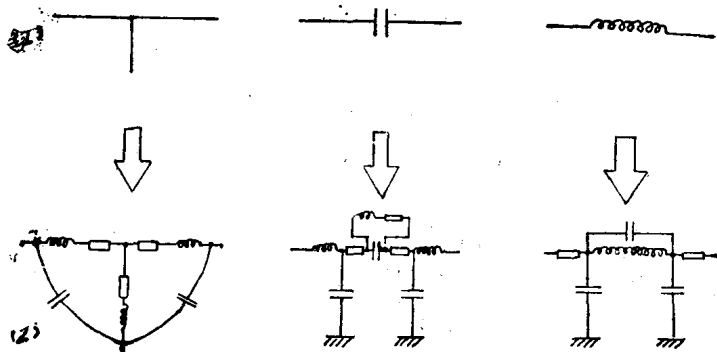


图1.1 (1) 为理想电路图

(2) 为实际电路图

由图1.1可见，实际上存在的微小的电阻 R 、电感 L 、电容 C 在理想电路图中完全看不到，也没有考虑。但是，这些微小的 R 、 L 、 C 往往也会造成恶劣的影响。例如，当电路工作在高频时，被省略的 C 、 L 的电抗 $1/2\pi fC$ 和 $2\pi fL$ 将成为一个不可忽视的因素。另外，电流流过导线时，因导线

有电阻而发热，发热不但使阻值增大，而且其电子也会因热骚动而产生运动。众所周知，绝对零度时电子能量为零，当温度每增加1度，能量增加 1.38×10^{-23} 焦耳。这个常数叫做波尔兹曼常数，用K表示（ $K = 1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/ K° ）。把温度 34°C 换算成绝对温度，即 $273 + 34 = 307^{\circ}\text{K}$ ，在这个温度下，电子所获得的能量为：

$$1.38 \times 10^{-23} \times 307 = 4.24 \times 10^{-21} \text{焦耳}$$

如果将这个能量作为电子的动能，因一个电子的质量为 $m = 9.105 \times 10^{-31}$ 千克，由动量公式：

$$\frac{1}{2}mv^2 = 4.24 \times 10^{-21} \text{焦耳}$$

可以求得电子在此时的速度为 10^5 米/秒，即电子的速度每秒可达100公里之大，而且电子的运动范围仅限于大约 $2 \sim 3 \times 10^{-10}$ 米的原子间隙中，电子在如此狭窄的范围内，作如此激烈的运动，就将产生几乎占据整个频谱的噪声。这种噪声称为白噪声。

在电原理图上标示的电路元件的数值与实际元件也有差别。例如，一个标明0.1微法的电容器，其电容值并不正好就是0.1微法，它还有 $\pm 10\%$ 的误差。再者，在频率较高的情况下，电容器就不能忽略其引线的电感，因此，它不再是理想电容。电容除了电容的作用外，还存在漏电阻，因而有漏电流。其他的绝缘导线间以及导线与底板间的电容，变压器和线圈的漏磁通，高频电流的电磁射幅，开关接点间的接触电阻，焊接部分或不同金属间的接触电势，等等，都是电路图中没有表示的许多因素，这些实际存在的因素在电路图上全都忽略了。

1.2.2 外部影响