

韩 刚 徐万玉 编著

工业电子控制装置的 抗干扰技术



工业电子控制装置的 抗干扰技术

韩刚 徐万玉 编著

GONGYE DIANZI KONGZHI ZHUANGZHI DE
KANGGANRAO JISHU



中国铁道出版社

1984年·北京

内 容 提 要

本书以理论密切结合实际为特点，对工业电子控制装置的干扰抑制技术，作了比较全面的、系统的和深入浅出的论述。并运用典型实例，对干扰源进行了定性和定量的分析。对于所采取的抑制措施进行了详细的讨论和必要的计算。书中附有一定数量的图表，以便读者分析和查用。

全书共分十章，可供从事工业电子控制装置的研究、设计、制造、调试和使用维修的技术人员和工人参考。对于其他部门的有关人员也有一定的参考价值。

工业电子控制装置的抗干扰技术

韩刚 徐万玉 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 张余昌 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092^{1/4} 印张：9.75 字数：221千

1984年2月第1版 1984年2月第1次印刷

印数：0001—11,000册 定价：1.15元

前 言

工业电子控制装置，如数控、群控、程控、数显和工业控制计算机等，在工业生产中得到了普遍的应用。随着现代化建设的发展，电子数字控制系统将越来越广泛地被应用到各个部门。但是，目前国内电子控制技术的应用还存在许多问题，其中最主要的是它的可靠性、稳定性问题。由于可靠性差，加之使用和维护人员的经验不足，导致开机率较低，使先进的技术装备，难以发挥其效用，因而提高工业电子控制装置的可靠性和稳定性成了当务之急。决定可靠性、稳定性的因素是多方面的，如元器件质量、工艺制作水平、逻辑系统的设计等等，但据普遍反映和实践证明，如何提高控制装置的抗干扰能力是解决这一问题不可忽视的一个重要方面。

据了解，对于从事工业电子控制装置的设计、制造和维护的技术人员和技术工人，都迫切需要有一本较为详细地介绍工业电子控制装置的抗干扰技术方面的书籍。但是，目前国内尚未见到较为系统的有关这方面的专著，因此，我们试图以此书作为抛砖引玉，提供广大读者参考。

本书在编写过程中得到了项曙光及武德俊同志的大力支持和协助；初稿承西南交通大学马浩同志仔细审阅，西安交通大学的于纶元同志也提出了宝贵意见；另外，还得到了长城电工机械研究所、铁道部西安车辆工厂、咸阳市电子学会和国营792厂等单位的有关人员以及杨复秦、胡康太、范正忠等同志的热情帮助。借此机会谨致谢意。

作 者

1982年5月

科技新书目66 117

统一书号：15043·5292

定 价： 1.15 元

目 录

第一章 / 绪 论	1
§ 1.1 概 述	1
§ 1.2 干扰的定义和分类	2
§ 1.3 干扰的传播途径	5
§ 1.4 抗干扰的基本方法	6
第二章 触点抖动和机械振动所致干扰的抑制	10
§ 2.1 概 述	10
§ 2.2 RC 滤波器	12
§ 2.3 RS 触发器	20
§ 2.4 JK 触发器	31
§ 2.5 单稳态触发器	32
§ 2.6 施密特整形器	34
§ 2.7 电子鉴相器	36
§ 2.8 光学编码器	40
§ 2.9 感应同步器	41
§ 2.10 信号线抖动干扰的抑制	42
§ 2.11 抖动的软件抑制技术	44
第三章 感性负载所致干扰的抑制	46
§ 3.1 反电势的产生	46
§ 3.2 反电势的幅值	52
§ 3.3 传播和抑制	53
§ 3.4 抑制网络的设置	58
第四章 / 电源所致干扰的抑制	148
§ 4.1 交流电源系统所致干扰的抑制	148
§ 4.2 直流供电系统干扰的抑制	162

第五章	布线与干扰	172
§ 5.1	概 述	172
§ 5.2	布线总则	177
§ 5.3	导线线径的选取原则	179
§ 5.4	印刷电路板的布线	180
§ 5.5	屏蔽线	181
§ 5.6	双绞线的使用	188
§ 5.7	阻抗匹配	190
§ 5.8	驱动门和接收门	194
§ 5.9	PMOS电路的传送线路	196
§ 5.10	HTL电路的长线驱动	196
§ 5.11	传输方式与线间串扰	197
第六章	接地与干扰	199
§ 6.1	概 述	199
§ 6.2	浮地和共地	200
§ 6.3	一点接地	216
§ 6.4	接地位置的确定	218
§ 6.5	地环路的隔离	223
§ 6.6	差动放大器	227
§ 6.7	地线设置实例	230
§ 6.8	接地检查技术	237
第七章	屏 蔽	241
§ 7.1	概 述	241
§ 7.2	机壳的屏蔽作用	246
§ 7.3	机壳的通风孔设置	247
§ 7.4	线间屏蔽法	248
§ 7.5	变压器的屏蔽	248
§ 7.6	放大器的屏蔽	250

第八章 过渡干扰的抑制	254
§ 8.1 传输延迟所致过渡干扰的抑制	254
§ 8.2 信号输入时间不同所致过渡干扰 的抑制	259
§ 8.3 电源切投时阈值附加脉冲的产生 和抑制	269
第九章 干扰的检测	271
§ 9.1 概 述	271
§ 9.2 程序超“1”检测	271
§ 9.3 不一致报警线路	274
§ 9.4 误执行报警线路	276
§ 9.5 误计数报警线路	276
§ 9.6 跳步检测报警线路	279
§ 9.7 多数表决电路	280
§ 9.8 奇偶校验	281
§ 9.9 数据重发和偶错校正	283
第十章 半导体逻辑元件的抗干扰特性	285
§ 10.1 概 述	285
§ 10.2 TTL电路的抗干扰特性	288
§ 10.3 HTL电路的抗干扰特性	293
§ 10.4 MOS电路的抗干扰特性	294
§ 10.5 常用逻辑电路抗干扰性能对比	297
§ 10.6 集成度与抗干扰的关系	297
§ 10.7 集成电路不用的输入端处置与抗 干扰	299
§ 10.8 逻辑元件的虚焊与干扰	301
§ 10.9 集成电路的使用注意事项	302
参考文献	306

第一章 绪 论

§ 1.1 概 述

目前,对于工业电子控制装置,如数控、数显、程控、工业控制计算机等的可靠性问题,已引起国内有关人员普遍的注意,特别是在可靠性工程中,尤其关心的是它的抗干扰性能。这是因为,抗干扰性能的好坏,是国内在工业控制方面推广应用电子技术的一个关键性问题。为数不少的电子控制装置的可靠性差,开机率低,维修量大,也多是因为抗干扰性能差所致。

抗干扰技术系属于可靠性工程的一个重要分支。即是说,各种干扰因素是造成工业电子控制装置不能可靠运行的重要原因之一,因此,抗干扰措施的设置,是提高工业电子控制装置可靠性的重要手段。

可靠性工程不仅表征着产品的质量指标和实际使用价值,而且还涉及到经济性和操作人员的安全。

对于某些简单设备,由于环节少,其可靠性问题就不显得那么突出。随着自动化技术的日新月异,设备的复杂系数大为增加,因而对自动化装置的可靠性、抗干扰性能的要求就愈来愈高。比如,电子计算机的应用,从初级阶段的巡回检测、数据处理这样一些辅助手段,发展到对产品整个生产过程的直接数字控制,进而扩大到控制整个车间、整个工厂的生产过程。从对产品生产的控制,发展到自动化管理和调度等这样的大系统,这就要求所有组成系统的子系统和元器件都能长期地可靠无误地运行。

一台大型计算机，要使用 10^6 个以上的电子元器件，而航天宇宙飞船，要使用 7×10^6 个电子元器件，象这样庞大的系统，如果使用的元器件及各子系统的抗干扰性能不佳，要使得这个系统准确无误地运行，实在是难以想象的。

在日常生活中，可靠性也是人们所关心的问题，比如一台不太复杂的电视机，如果它的可靠性差，也常常会引起人们的烦恼。

正由于上述原因，电子装置的可靠性，抗干扰能力愈来愈引起人们的普遍重视。就目前情况说来，只有可靠性技术不断提高，才能使电子技术在国民经济的实施中推广开来。

我们所要讨论的抗干扰问题，是一门实践性很强的实验性技术，往往是在理论分析所得结论的基础上，通过认真地调试，才能得到解决。

§ 1.2 干扰的定义和分类

1. 干扰和噪声的关系

干扰和噪声，在许多情况下都被笼统地看作是同义语，严格地讲，二者既有联系又有区别。

收听收音机时，常常出现“嗡嗡”、“吱……”、“咔……”声，这种给人以不愉快感觉的声音，就是“噪声”这一术语的起源。

收看电视时，在屏幕上也常常出现一些斑点和条纹，这种使人看不清、失真了的图象，被称为广义“噪声”。所有这些现象，均由叠加于有用信号之上的无用信号所造成。于是，皆可定义为噪声。

音质的好坏，图象的优劣，是相对于噪声幅值的高低、强度的大小而言的。噪声，不论其值大小，总会使输出有所表征，也就是说，不论噪声值的大小，都会对音质（或图

象)产生一定的影响,其影响程度是与噪声幅值和强度相对应的。

若将噪声的定义应用于数控、程控和电子计算机等开关电路中,其含义则不甚确切。在工业电子控制装置中,影响其可靠性的主要因素,是某一定值的噪声,而不是任意的噪声值。具体地说,在开关电路中,形成干扰的是噪声的某一定值,而不是噪声的所有值。在噪声未达到某一定值(如开关门电平)时,不论噪声值有多大,不管是哪一种类型的噪声,都不会破坏机器的正常工作,也就不存在什么干扰。关于“干扰”和“噪声”的关系及区别,在这里可以这样概括:

(1) 噪声是干扰之因,干扰是噪声之果,噪声转变为干扰的过程,是由量变到质变的过程。

(2) 在线性电路中,噪声可以看成是干扰,在开关电路中,噪声不应笼统称之为干扰。

(3) 干扰的存在是相对的,噪声的存在是绝对的。

(4) 干扰在满足一定条件时,可以消除。而噪声在一般情况下只能降低,难以完全消除。

(5) 在线性电路中,噪声定义为叠加在有用信号之上的无用信号。在开关线路中,干扰则定义为某值以上的无用信号。

在工业电子控制装置中,所谓提高稳定性,就是消除干扰。只要干扰不存在,不管噪声有多少,对机器的正常工作也是无关紧要的。

2. 干扰的分类

1) 从干扰产生的原因来分,有:

(1) 固有干扰源,即器件内部物理性的无规则的波动所造成的干扰,如热噪声和散粒噪声等。对于工业电子控制

装置，散粒噪声的影响可以忽略。

(2) 人为干扰源，如感性负载的切投、可控硅的通断、机械振动和触点抖动等，由人为因素造成的，皆称为噪声源。

(3) 自然界干扰，如天电和气温等因素造成的干扰。

2) 从干扰的表现形式来分，有：

(1) 规则干扰，如直流电源的纹波、50Hz的交流电源和放大器引起的自激等。

(2) 不规则的干扰，如其额定值及特性随使用条件而变化的元器件引起的干扰。

(3) 随机干扰，如电磁耦合、接触不良和虚焊假焊等引起的干扰。

3) 从干扰出现的区域来分，有：

(1) 内部干扰，如尖峰、振铃、过渡过程和交叉电路等引起的干扰。

(2) 外部干扰，如天电和电网电压波动等引起的干扰。

4) 从干扰对电路的作用形式来分，有：

(1) 共态干扰，又称共模干扰和纵向干扰，就其意义而言，可称为对地干扰，就其性质而言，可称为不平衡干扰。

共态干扰，一般是由地电位变化引起的，如图1·1(a)所示。图中 V_1 为信号电压， V_n 为干扰电压。又如如图1·1(b)所示，图中 A_1 和 A_2 两点之间流过两个电路的电流时，其上所产生的压降对 V_1 会产生一定的影响。

(2) 常态干扰，习惯上又称其为横向干扰、正态干扰和串联干扰等。所谓常态干扰，就是在信号电压 V_1 上串联一个干扰电压 V_n ，如图1·2(a)所示。

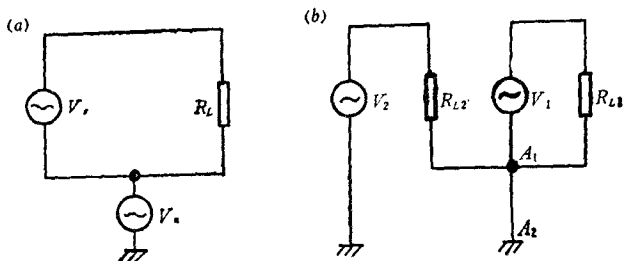


图1·1 共态干扰形成示意图
 (a) 地电位变化形成的共态干扰；
 (b) 公共阻抗引起的共态干扰。

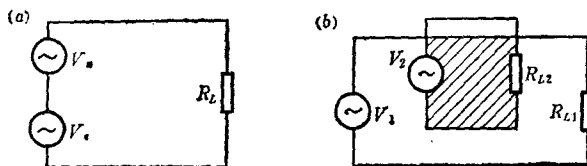


图1·2 常态干扰形成示意图
 (a) 干扰电压与信号电压串联；
 (b) 两回路互感耦合形成的常态干扰。

当两个回路靠近，具有公共面积时，一个回路所产生的磁通与另一回路交链，在回路中产生的感应电动势就会成为常态干扰，如图1·2 (b) 所示。

§ 1.3 干扰的传播途径

1. 形成干扰的三要素

某值以上的噪声信号如能形成干扰，必须具备三个主要的基本因素。即

(a) 干扰源；(b) 耦合通道；(c) 对于干扰信号敏感接收电路。如图1·3所示。

2. 耦合方式

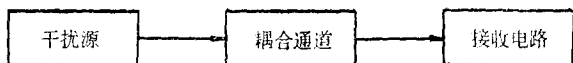


图1·3 干扰形成的途径

干扰的耦合方式，一般可分为以下几种类型。

(a) 传导耦合 当导线寓于干扰环境时，所拾取的干扰电压造成的干扰，称之为传导耦合，如通过装置的电源线而引进的电网干扰等。

(b) 公共阻抗耦合 当两个以上电路的电流，流经公共阻抗时，在阻抗上产生的相互影响，称为公共阻抗耦合。如图1·4电路中的电流 i_1 和 i_2 ，流经共同的接地阻抗 R_0 ，电路I在M点的电位被电路II流经该点的电流所调制，这一被调制的电位，就会耦合到电路I中去。

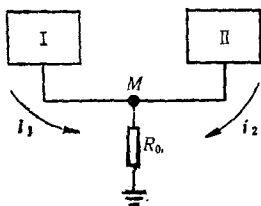


图1·4 公共阻抗耦合示意图

(c) 电磁耦合 一信号线的电流所产生的电场或磁场，通过分布电容或分布电感耦合到另一信号线上去的传播方式，称之为电磁耦合。在电子装置中，电磁耦合是干扰信号的主要传播方式。对电磁耦合的抑制，应依据不同的情况（是电场还是磁场起主导作用），采取不同的措施。

§ 1·4 抗干扰的基本方法

抗干扰的方法是很多的，概括地讲，最基本的方法是消除干扰源、抑制噪声耦合和设计低噪声电路。在这三种基本方法的实施中，常采用如下措施。

1. 抑制噪声源

- (1) 凡能产生噪声的部位，都尽量加以屏蔽。
- (2) 传输有干扰信号的导线单独编织为一束。
- (3) 对感性器件的反电势可设置如下抑制网络：

- a) D 网络；
- b) $R-D$ 网络；
- c) $R-C$ 网络；
- d) $R-C-D$ 网络；
- e) 稳压管网络；
- f) 压敏电阻网络。

- (4) 适当延长脉冲上升沿时间。
- (5) 载有噪声信号的导线，采用双绞线或屏蔽线。
- (6) 对置于噪声中的导线设置滤波器。

2. 抑制干扰耦合

- (1) 低电平信号线单独编织成束。
- (2) 高阻抗电路的信号线沿地线敷设。
- (3) 灵敏电路的信号线，应采用屏蔽线。
- (4) 同一接插件的相邻信号线中间用地线隔离。
- (5) 为避开地环路对电路的影响，须采用光电耦合器、隔离变压器、隔离继电器和差分放大器等器件进行隔离。
- (6) 地线和信号线等引线应尽量短。
- (7) 高电平信号线和低电平信号线应分开敷设。
- (8) 将载有干扰信号的导线与灵敏信号线分开。
- (9) 系统中含有模数转换器件时，宜采用共地接法的系统处理方案。

(10) 对触点抖动和机械振动所致干扰的抑制，可采用如下措施：

- a) RC 滤波器；

- b) RS 自锁触发器;
- c) 脉冲展宽器;
- d) 单稳态触发器;
- e) JK 触发器;
- f) 光电编码器;
- g) 电子鉴相器。

3. 设计低噪声电路

- 1) 在满足需要的前提下, 尽量降低系统的工作频率。
- 2) 采用稳压性能较好的直流稳压电源。
- 3) 采用抗干扰容限较大的逻辑元件。
- 4) 各印刷板均设置电源去耦电路。
- 5) 印刷板采用环抱地线。
- 6) 避免过渡干扰的产生。
- 7) 在可能的条件下尽量减小电路的输入阻抗。

以上诸措施都是可行的。有时只用一种措施即可, 有时则要求几种措施配合使用方能见效。

本书所讨论的仅是工业电子控制装置的抗干扰技术, 而不是所有电子设备的抗干扰技术。尽管一切电子设备在抗干扰问题上有许多共同之处, 但也有不少方面是不一样的。如高频电子设备的地线敷设需要多点接地, 而低频电子设备则一点接地为好。一些电子测量仪器对元器件的热噪声指标控制得很严, 而对感性负载切投时所产生的反电势影响则可不必多加考虑等。一般说来, 工业电子控制装置的特点是工作频率较低, 速度较慢, 抗干扰容限也较大, 但是工业企业现场对这种装置的抗干扰性能要求的更高更严, 不允许出现差错。另外, 考虑到成本和收益等经济效果, 在工业电子控制

装置中一般较少采用冗余备份技术。由此可见，要想设计出既简便经济，而又得当有力的抗干扰措施，是必须下点功夫的。

抗干扰技术的采用主要应在系统的线路设计中考虑进去，而不应依靠在机器的调试中再采取措施。否则，不仅会使调试困难，造成被动，而且还会延误工期，增加成本。