

● GONGYE SHUZI ZHUANGZHIDE KANGGANRAO

● 商斌雄 彭济棠 编

工业数字装置的抗干扰

工业数字装置的抗干扰

商斌雄 彭济棠 编

电子工业出版社

前 言

在当前工业企业的技术改造中，工业数字装置的推广应用，占有重要的地位，它关系到如何应用新兴技术改造传统技术的问题。例如，用简易程控器、可编程序控制器、数控、数显、微型计算机、工业控制计算机以及通过数/模（或模/数）转换处理模拟量的数字仪表等来武装和改造旧有的设备，可以较快地在各方面获得明显的经济效益，提高生产技术水平。但由于这些装置都工作在干扰弥布的车间现场，因而装置的可靠性和抗干扰性能就成为推广应用中的突出问题。由于装置的抗干扰性能差，加之维修经验不足，严重影响着装置正常功能的发挥。因此，如何提高装置的抗干扰能力，就成为生产实践中急待解决的重要课题。广大工程技术人员和装置维修工人迫切希望有一本专门探讨抗干扰问题的书籍。为此，本书试图在这一方面作一初步尝试，本着理论联系实际的原则，阐述了抗干扰的原理、方法及一些单位的实践经验，供广大实际工作者研究参考。

本书是在武汉工学院工业电气自动化专业所用讲义的基础上修改而成的。除彭济棠写了第五章外，其余各章都由商斌雄改写并统编全书。

本书在修改过程中，得到武汉工学院何文蛟、周省三教授的大力支持与帮助，何文蛟教授还仔细地审阅了全书，给予了具体指导。另外，第二汽车制造厂的孙鸿德工程师及许多单位的有关同志为本书提供了实际资料，谨在此一并致谢。

作者

目 录

第一章 概述	1
第一节 引言	1
第二节 工业数字装置的常见干扰	3
一、 干扰的含义.....	3
二、 工业数字装置常见干扰的种类.....	4
第三节 影响工业数字装置抗干扰性能的因素	12
第二章 工业数字装置干扰产生的原因	14
第一节 内部干扰的来源	14
一、 过渡干扰.....	14
二、 传输反射噪声干扰.....	25
三、 线间串扰.....	32
四、 漏电耦合干扰.....	45
五、 由于环境温度变化形成的内部干扰.....	47
六、 TTL集成电路的低频浮空失真干扰.....	50
第二节 外部干扰的窜入形式	52
一、 悬空长线的干扰.....	52
二、 静电干扰.....	53
三、 辐射干扰.....	56
四、 电磁感应干扰.....	58
第三节 电源干扰和接地干扰的成因	59
一、 交流电源是引进外部干扰的重要来源.....	60
二、 共阻抗感应是形成内部干扰的主要原因.....	65
三、 交流地与直流地的共态干扰.....	71
四、 电源突然中断故障.....	72
第三章 提高工业数字装置抗干扰性能的基本措施	73
第一节 必须从设计到使用各个环节 提高装置的抗干扰性能	73

一、	从整体和逻辑线路设计上提高装置的抗干扰能力	73
二、	按抗干扰要求合理选用元件, 严格制作工艺	81
三、	精心做好调试工作, 及早消除隐患	85
四、	要特别重视现场安装和维护保养工作, 确保装置可靠运行	86
五、	部件标准化、通用化、系列化解决共同性的抗干扰问题	87
第二节 过渡干扰的抑制		88
一、	在逻辑设计上尽量避免竞争冒险现象	88
二、	消除过渡干扰的方法	90
第三节 选择高质量的电源方案		98
一、	交流馈电引入干扰的频率范围	98
二、	交流侧采取措施抑制干扰输入	98
三、	整流电路加高频滤波	117
四、	采用直流稳压电源	118
五、	直流退耦	119
六、	加大电源功率容限和电压调整范围	121
七、	设立必要的附加直流工作电源	121
八、	设立不中断电源系统 (UPS)	122
第四节 正确接地		125
一、	接地方式	125
二、	浮地系统和接地系统	128
三、	工业数字装置的接地问题	129
第四章 工业数字装置现场外部干扰的抑制		132
第一节 现场环境分析和输入信号线的选用、敷设		132
一、	现场环境分析和装置安装原则	132
二、	信号线的选用	133
三、	信号线的屏蔽	135
四、	信号线的敷设	146
第二节 现场干扰的隔离		150
一、	隔离现场干扰的基本含义	150
二、	光电隔离	151
三、	继电器隔离	163

四、 其它方式隔离.....	171
第三节 现场干扰的抑制.....	175
一、 用电容或阻容环节抑制干扰.....	175
二、 屏蔽干扰源.....	198
三、 信号开关触点抖动和漏电干扰的抑制措施.....	199
四、 抑制长线干扰的其它措施.....	204
第五章 数字仪表抗干扰的特殊问题.....	207
第一节 串模干扰及其抑制.....	208
一、 串模干扰引入数字仪表的途径.....	208
二、 串模干扰的抑制.....	210
第二节 共模干扰及其抑制.....	228
一、 共模干扰.....	228
二、 共模干扰引入数字仪表的途径.....	230
三、 共模干扰的抑制.....	233
第六章 工业数字装置干扰故障的查寻与处置.....	244
第一节 寻找工业数字装置干扰故障的一般方法.....	244
一、 充分利用装置的监控电路及时发现干扰故障.....	246
二、 利用装置的调机功能部分及检查程序寻找故障点.....	246
第二节 工业数字装置干扰故障的处置.....	251
一、 设计不周或工艺不当导致干扰故障的处置措施.....	252
二、 电源和接地系统干扰故障的处置.....	253
三、 随输入信号和信号线引进的干扰故障的防止和处置措施.....	255
四、 感性负载引起干扰故障的处置措施.....	256
五、 串模干扰与共模干扰的抑制措施.....	257
六、 电磁感应、辐射干扰故障的处置措施.....	257

第一章 概 述

第一节 引 言

随着科学技术的发展和我国现代化建设事业的进行，电子技术在工业企业中得到了越来越广泛地应用，日益显示出其巨大的生命力。在电子技术的推广应用中，工业数字装置的推广应用占有极重要的地位。微型电子计算机的应用又促进了工业数字装置的应用向着更深、更广泛的领域发展。

所谓工业数字装置，主要是指应用于工业生产过程中的各种数字控制设备和数字检测设备。诸如数控、程控装置、顺序控制器、晶体管逻辑控制装置、可编程控制器、以工业控制单元ICU (INDUSTRIAL CONTROL UNIT) 为核心的一位微计算机、用于工业生产过程控制的电子计算机（包括微型计算机和工业控制计算机）、以及通过模/数或数/模转换进行检测或处理模拟量的数字式仪表等。

实践表明，用工业数字装置因地制宜地改造旧有设备，是当前实现工业生产自动化，提高劳动生产率的有效办法；用工业数字装置控制加工，是保证加工精度，提高产品质量的有力措施。机械行业中有的企业采用了数字显示和其它一些简易数控装置改造老设备的实用技术，使劳动生产率得到了大幅度提高；用数控机床加工零件，生产效率一般可提高几倍到几十倍，零件型面越复杂，生产效率越高，并且能极大地降低废品率，提高加工精度。

生产过程中有关参量的检测是实现工业控制的前提，数字检测技术具有直观、准确的效果，因此采用数字检测装置是实现精

确测量、最优控制的必备条件。

利用工业数字装置控制生产过程，减少了操作人员的直接参与，也是改善劳动条件、实现安全生产的重要保证。

应用工业数字装置对工业生产过程进行最优控制，还是节约能源、减少材料消耗、降低成本的有效手段。例如，用数控装置经过计算控制下料，可使加工裕量、边角料减至最低；在钢铁企业中，用单板计算机控制炉内燃烧，可以使燃烧充分，大幅度降低燃料消耗，能取得很好的经济效益。

应该指出，采用工业数字装置，特别是使用计算机，可以逐步把各种控制设备有机地结合起来，辅之以必要的传动设备，组成一个可靠的全自动化的分级控制的生产和管理综合系统，以实现工业生产和管理的现代化。

但是，大量实践说明，可靠性和抗干扰性能是各种电子装置的生命线。只有保证可靠运行，才能使装置充分发挥作用，取得好的经济效益。而工业数字装置又多在环境恶劣、各种干扰弥布的车间现场工作，因而对其抗干扰性能要求更高，随着系统复杂性的增加和应用领域的扩大，对装置的可靠性和抗干扰性能的要求越来越高，因此，提高数字装置抗干扰的能力，已经成为工业数字装置推广应用中的一个突出问题。无论在国外还是国内，都是如此。就国内而言，七十年代以后，不少工厂陆续应用了许多简易数控装置，在实现单机自动化和生产自动线方面发挥了很好的作用，获得了明显的经济效益，促进了企业的技术革新和技术改造。但是，在这个过程中也出现了研制人员一撤走，装置就不能正常运行的情况。这不仅没有发挥工业数字装置在技术改造中的作用，而且增加了进一步推广应用工业数字装置的障碍。虽然这里有多方面的原因，但装置的可靠性和抗干扰能力差，缺乏必要的维修力量不能不是重要的原因。因而，无论是就以前的经验来说，还是对当前微型计算机推广应用于生产过程控制而言，如何提高工业数字装置的抗干扰性能，有效地排除和抑制各种干扰，就成为必须探讨和解决的迫切问题。

本书试图从分析工业数字装置中常见的各种干扰现象入手，从复杂的现象中找出规律性的东西，向读者介绍一些常用的抗干扰方法，并适当地进行一些理论分析。为了适应各方面读者的需要，本书着重从物理意义方面分析，不作复杂的数学运算。书中所述的各种抗干扰方法，也适用于进行生产过程控制的电子计算机，但以工业数字装置共性的硬件抗干扰方法为主。本书的重点在过渡干扰、电源和接地干扰以及随输入信号（包括数字量和模拟量信号）一起窜进的外部干扰的抑制上。这些问题的恰当解决，装置的正常使用时就有了基本保证。因为构成模拟量干扰的影响和数字量干扰的影响是有区别的，所以我们在重点讨论数字量的抗干扰方法的同时，也通过数字仪表抗干扰的特殊问题，辟专章较详细地讨论模拟量的抗干扰问题。为了便于工程技术人员在实际工作中及时查找有关抗干扰措施，本书在最后一章还对有关抗干扰方法进行了归纳总结。

第二节 工业数字装置的常见干扰

一、干扰的含义

工业生产中的干扰现象多种多样，此处涉及的只是电气干扰。

所谓电气干扰，一般是指与信号无关的，在信号输入、传输和输出的过程中出现的一些不需要的有害的电气变化现象。这些有害的电气变化现象迫使数据的传输值、指示值或输出值发生变化，从而增大误差，出现假象。

在工业数字装置中的电气干扰，一般系指由各种外部的和内部的电气干扰源产生的各种电气瞬变脉冲，通过一定的途径（例如信号传输线或电源线等）窜入工业数字装置（或装置内部的互相窜扰），对控制系统的正常工作造成一定程度的影响。

应该指出，低电平模拟量输入信号，尤其是输入通道距离较

远时，最易受干扰的影响。例如，在轧钢厂或发电厂、化工厂的计算机控制系统中，大量传感器和信号线经过几十米甚至超过百米以上的距离从测量点引到控制室，传感器的信号电平，往往从微伏以下（或毫微安）到几伏（或几毫安），而这些信号受到的干扰电平往往高达几毫伏甚至几伏，这无疑是严重的。但是，对于数字量系统来说，几毫伏的噪声电平，不能构成干扰威胁。因此，无论对任何系统而言，干扰的概念是包含着对系统的正常工作造成一定程度的影响这一含义在内的。

干扰对电路的影响，轻则降低信号质量，降低电路的稳定性储备；重则破坏电路的正常功能，造成逻辑关系混乱，控制失灵，影响正常生产，甚至发生损坏设备等严重事故。

二、工业数字装置常见干扰的种类

尽管现场干扰及其对工业数字装置的影响是多方面的，但为了便于讨论问题和综合采取措施的需要，可依一定的特征，对干扰作如下分类归纳：

1. 从干扰的来源划分

（1）内部干扰

内部干扰是指装置本身引起的各种干扰。它又包括固定干扰和过渡干扰。过渡干扰是电路在动态工作时引起的干扰。固定干扰包括信号线间的相互串扰、长线传输阻抗失配时的反射噪声、负载突变噪声以及馈电系统的浪涌噪声干扰等。

（2）外部干扰

外部干扰是由装置外部窜入到装置内的各种干扰。它包括某些自然现象（如闪电、雷击、地球或宇宙辐射等）引起的自然干扰和人为干扰（主要是工业干扰，也即用电干扰）。一般说来，自然干扰对工业数字装置影响不大，可以不予考虑；而工业干扰（即用电干扰）则是外部干扰的关键。

上述两种来源的干扰，我们粗略地示意于图 1-1。图中各代号所代表的干扰分别为

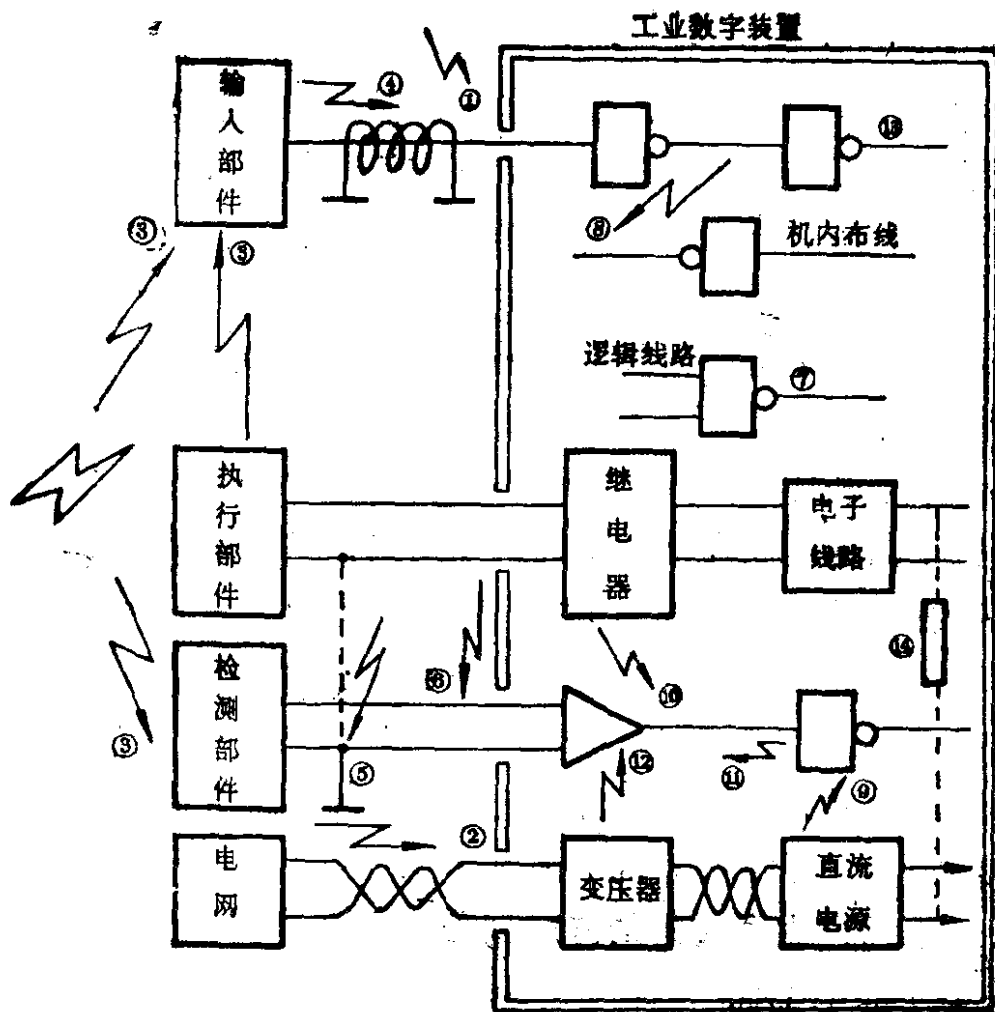


图 1-1 内部和外部干扰示意图

- ①——装置开口或隙缝处进入的辐射干扰（辐射）
- ②——电网变化干扰（传输）
- ③——周围环境用电干扰（辐射、传输、感应）
- ④——传输线上的反射干扰（传输）
- ⑤——系统接地不妥引入的干扰（传输、感应）
- ⑥——外部线间串扰（传输、感应）
- ⑦——逻辑线路不妥造成的过渡干扰（传输）
- ⑧——线间串扰（感应、传输）
- ⑨——电源干扰（传输）
- ⑩——强电器引入的接触电弧和反电动势干扰（辐射、传输、感应）
- ⑪——内部接地不妥引入的干扰（传输）
- ⑫——漏磁感应（感应）
- ⑬——传输线反射干扰（传输）
- ⑭——漏电干扰（传输）

2. 按干扰出现的规律划分

(1) 固定干扰

在装置邻近固定的电气设备运行时发出的干扰属于固定干扰。例如，一个系统中既有“强电”部分，又有“弱电”部分，作为整个系统的工作是有节奏的，要按事先安排好的程序先后动作。在这样的系统中，“强电”设备的启停就有可能引入一个固定时刻的干扰，从而使同一系统中数字逻辑电路出错。

(2) 半固定干扰

半固定干扰是指那些偶尔使用的电气设备（如行车、电钻等）引起的干扰。

(3) 随机干扰

随机干扰纯属偶发性的干扰。如闪电、供电系统继电保护的動作、绝缘子的泄漏、汽车发火线圈干扰等。

半固定干扰和随机干扰的区分在于，前者是尚可预计的，后者是突发性的。

对这三种干扰，也可把它们归之为随机干扰和固定时刻的干扰。半固定干扰可归入随机干扰内。

3. 从干扰产生和传播的方式划分

(1) 静电干扰

静电干扰实际是电场通过电容耦合的干扰。它包括电路周围物件或设备上积聚的电荷直接对电路的泄放，大载流导体产生的电场通过寄生电容向受扰装置耦合而产生的干扰等。

(2) 磁场耦合干扰

磁场耦合干扰是一种感应干扰，它是与装置相邻的大电流线路周围的磁场对装置回路的耦合所造成的干扰。在诸如动力线、变压器、电动机、发电机、继电器、电扇、断路器等附近都会有这种磁场，它以工频形式耦合到数字装置的闭合回路中，形成干扰。

(3) 电磁辐射干扰

在工厂内部，包括各种大功率高频、中频发生装置（如高频感应加热和高频介质加热装置、可控硅中频炉）以及各种电火花等，都将产生高频电磁波向周围空间辐射，形成电磁辐射干扰

源，可能造成对数字装置的干扰。虽然高频、中频发生装置不是每个车间都有，但车间现场能产生电火花的条件却很多。例如，整流子电机电刷的滑动、各种有触点开关电器（如开关、继电器、接触器）接点断开时的拉弧、电焊机的弧光、汽车发火线圈、电车集流环所产生的电火花等等。

此外，在广播电台和电视台附近的企业中的工业数字装置，也容易受到电台电磁波的辐射干扰。

（4）共阻抗干扰

这是一种普遍存在的干扰。由于逻辑系统各部分间的公共导线存在着电阻和电感，一个线路上的电流流过这些公共阻抗将产生压降，对于高频及瞬变情况，这种压降就更为严重，这一阻抗压降耦合到其它线路，就形成公共阻抗干扰。

（5）漏电耦合干扰

漏电耦合干扰是由于装置内部的电路或装置外与之相连器件的绝缘电阻下降产生的漏电流所引起的。这种干扰多发生在工作条件恶劣的环境中。

上述五种干扰的耦合情况如图 1-2 所示。

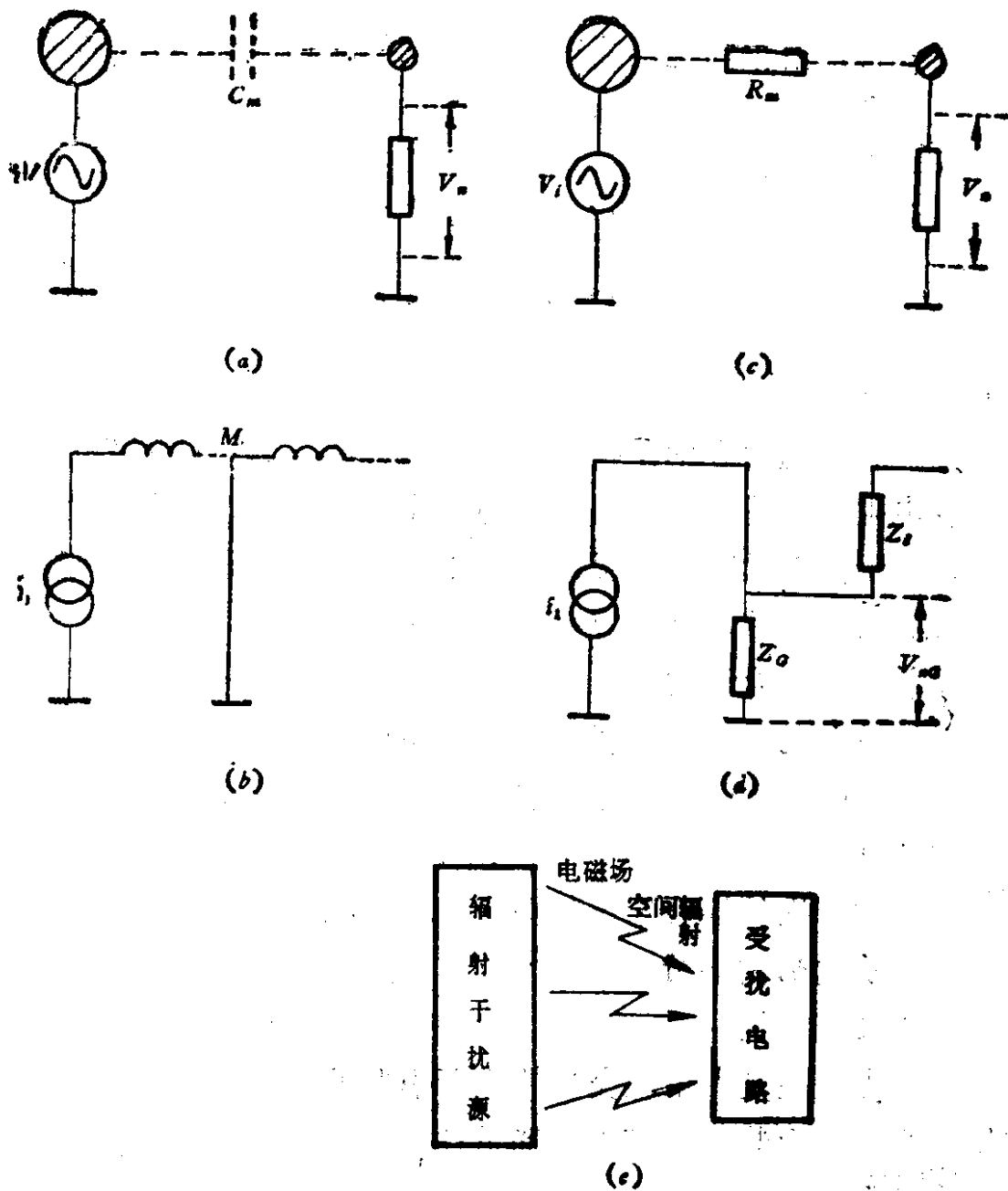
4. 从干扰的形式划分

（1）交流干扰

这种干扰往往是由电源交流感应所引起的，这是最通常的一种干扰形式。因为装置及其输入通道往往处于杂散电场和磁场分布甚多的场合，还有交流供电系统的影响，所以最容易引进各种交流干扰。图 1-3 (b) 示出了 50 周的干扰波形，此外，还可能具有高次谐波干扰。

（2）直流干扰

这种干扰是以直流电压或直流电流的形式出现的[图 1-3 (e)]，一般是由于热电效应或电化学效应引起的。如铜导线直接焊在干簧继电器的磁铁上就产生热电势，而当铜线接在镀锌接地螺钉上时，在带腐蚀性气体的空气中，会产生伏打电池效应，对模拟量信号会造成干扰。



- (a) 静电干扰
- (b) 电磁感应
- (c) 漏电耦合
- (d) 共阻抗感应
- (e) 电磁场辐射

图 1-2 干扰的耦合形式

(3) 不规则噪声干扰

图 1-3 (a) 和 (d) 示出两种不规则干扰，前者是以高频

形式出现的，后者是以低频形式出现的，还有以尖峰脉冲形式出现的。以高频和尖峰脉冲形式出现时，多数是由于电感负载的间断工作所引起，还有各种电源整流器和电动工具的火花也都是这

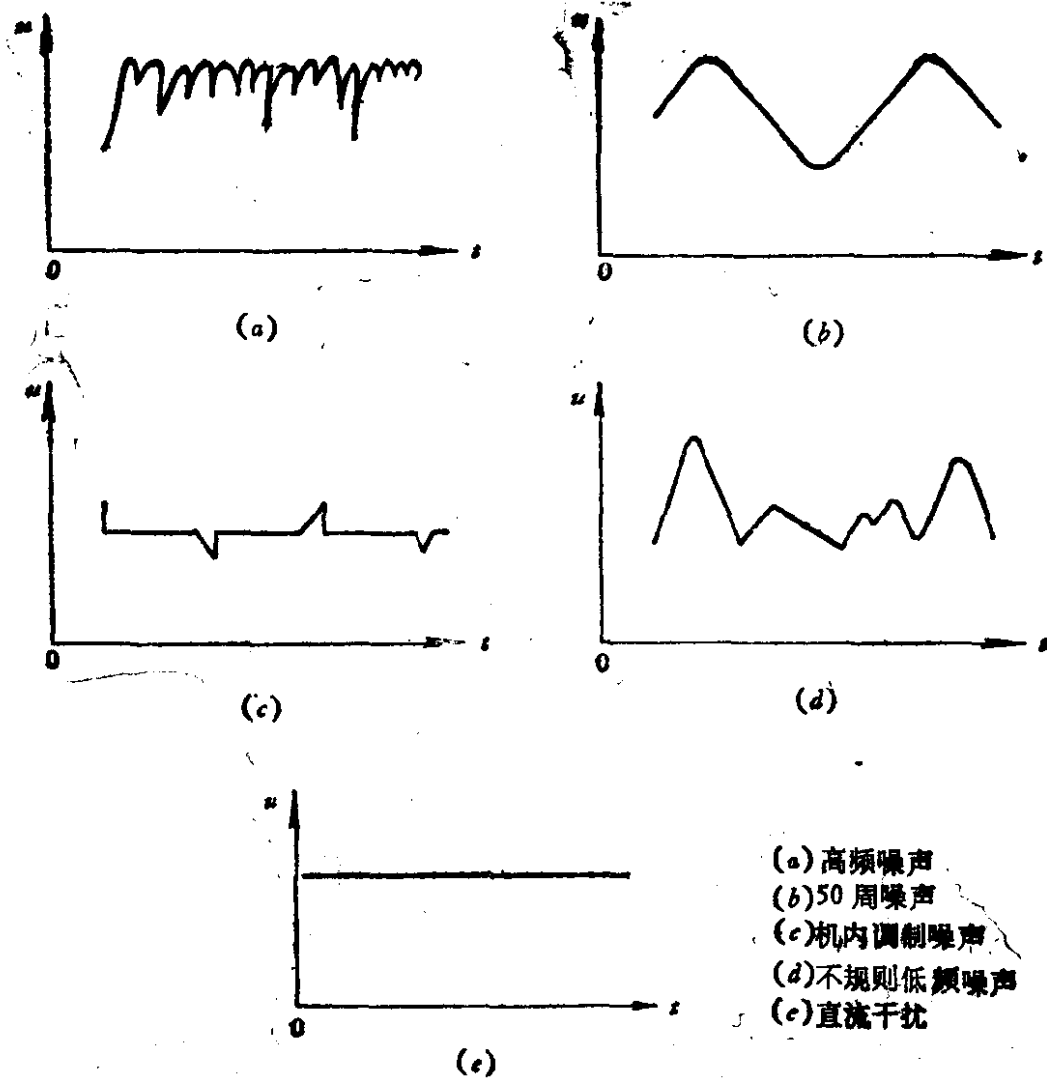


图 1-3 几种形式的干扰

种干扰的来源。至于低频形式则多通过电源和接地系统耦合而来。

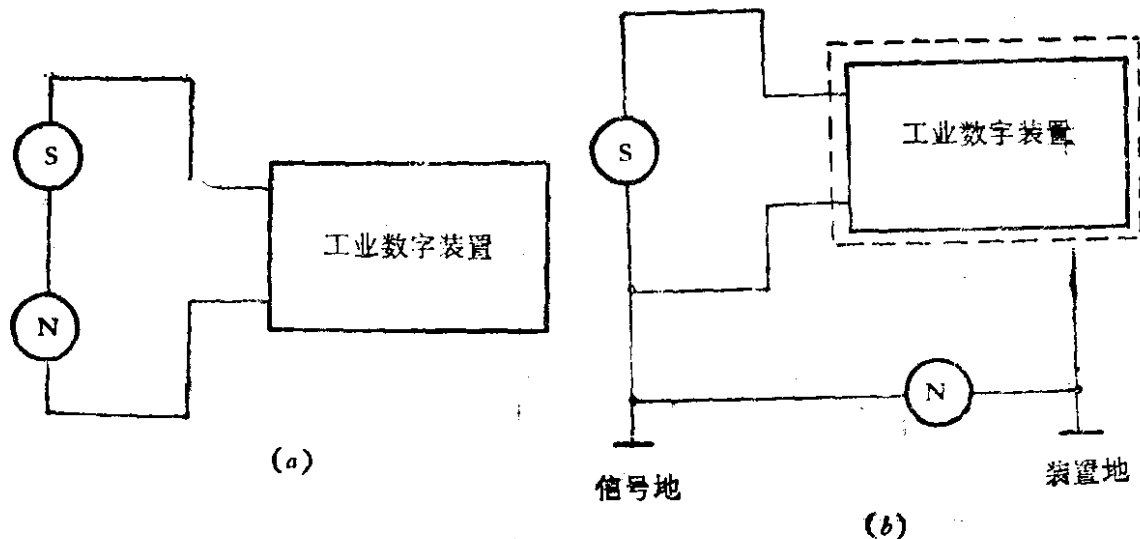
(4) 机内调制干扰

这种干扰波形如图 1-3 (c) 所示。这种干扰多发生在有线性放大的电路中，一个放大器的输入电路中，如果有了两个频率的信号，其中一个为干扰信号时，在输出端就可能有受干扰波调制的信号，这就是调制干扰的原因。

5. 从干扰与输入信号的关系划分

(1) 串模干扰

串模干扰又称常态干扰、横向干扰。这种干扰表现为干扰信号和有用信号串接在一起[见图 1-4 (a)]。干扰可能是有用信号源本身产生的，也可能是引线上感应的。它迭加在有用信号



(a) 串模干扰 (b) 共模干扰

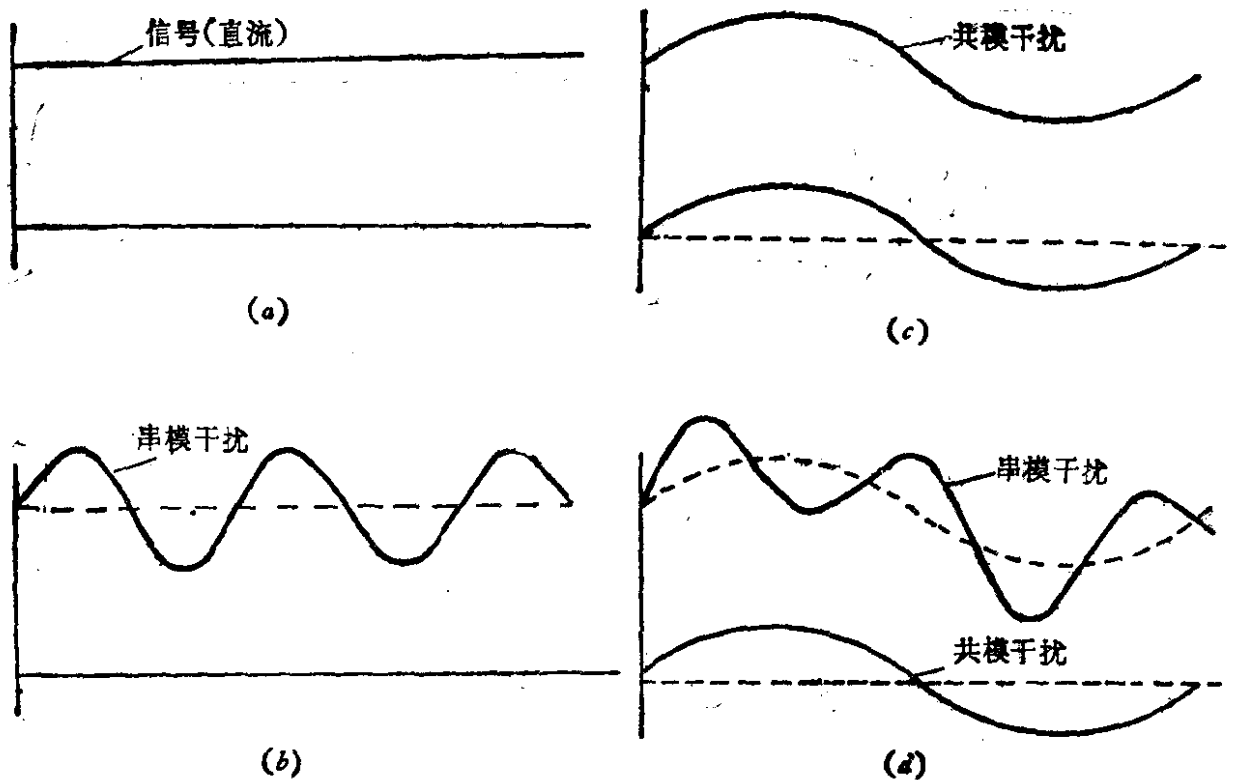
图 1-4 串模干扰与共模干扰

之上，成为有用信号的一部分，直接送到装置的输入端。如作为检测信号，就被送到放大器的输入端进行放大，影响很大。

(2) 共模干扰

共模干扰又称共态干扰、纵向干扰。这种干扰出现在取信号点和装置本体接地之间[见图 1-4 (b)]。主要是因为两者接地之间存在干扰电压引起的。这种干扰电压主要来源于 50 周交流电源的接地系统在大地上的电位分布，以及某些电气设备通过接地系统的电流所形成的。

图 1-5 给出了信号为直流电压时串模干扰与共模干扰的波形。图 (a) 表示单纯的直流信号电压；图 (b) 表示信号电压串联加上交流电压的波形，也就是有串模干扰时的波形；图 (c) 表示基准电位——地电位的变动情况，即产生共模干扰时的情况；图 (d) 表示同时受二者影响的波形。



(a) 直流信号 (b) 串模干扰 (c) 共模干扰
(d) 串模干扰与共模干扰共同作用

图 1-5 串模干扰与共模干扰波形

上述几种分类方法归纳于表 1-1 中。

应该说明, 尽管干扰的分类方法多种多样(包括还有其它分法), 但在讨论不同的问题时, 一般习惯于用其中一种分法。例如, 在讨论检测仪表或计算机外部设备模拟量输入时, 习惯于用第 5 种分类法; 在工业数字装置中, 则习惯于按干扰的来源分。因此, 我们以第 1 种分类方法为主, 讨论工业数字装置的内部干扰、外部干扰以及单独列出的电源和接地干扰产生的原因及其对电路工作的影响, 研究抵抗这些干扰的措施。同时, 在讨论数字仪表抗干扰的一些特殊问题时, 我们也将以第 5 种分类方法为主讨论串模干扰和共模干扰的抑制。