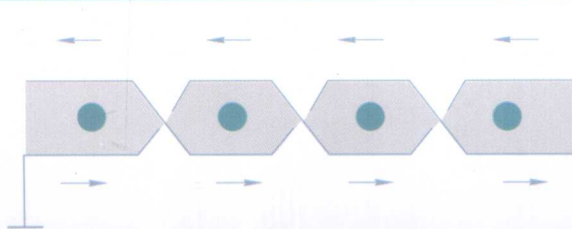




ONGYE
KONGZHI
GONGCHENGZHONG
DE KANGGANRAO JISHU

工业控制工程中的 抗干扰技术



徐义亨 编著

控制系统在工业生产过程中，最困难和最迷惑的问题之一是如何抑制系统所面临的种种干扰，本书讨论的就是控制系统在工程应用中的抗干扰技术，其中有关控制系统的雷电防护，汇总了笔者及其同仁们近几年的工作经验。

上海科学技术出版社

工业控制工程中的 抗干扰技术

徐义亨 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业控制工程中的抗干扰技术 / 徐义亨编著. —上海:
上海科学技术出版社, 2010.1
ISBN 978 - 7 - 5478 - 0042 - 3

I. 工… II. 徐… III. 工业 - 自动控制系统 - 抗干扰
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183500 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行

上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 889 × 1194 1/32 印张: 7

字数: 208 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1 - 4 300

ISBN 978 - 7 - 5478 - 0042 - 3/TP·6

定价: 21.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严
重质量问题请向工厂联系调换

■ 内容提要

本书共分 8 章:第 1 章从电磁兼容性(EMC)的角度概述工业控制系统面临的各种电磁干扰和控制系统应具备的抗扰度能力;第 2 章介绍干扰的耦合途径以及电缆的静电屏蔽和电磁屏蔽;第 3 章讨论控制系统的接地工程设计,强调应采用公用接地网实现等电位连接;第 4 章讨论控制系统的雷电保护,并介绍了有关控制系统遭雷击的案例分析;第 5 章引入了控制室网格屏蔽的设计计算方法;第 6 章讨论控制室的静电防护,综述了防静电工作区的理念;第 7 章阐述电源与信号的隔离和干扰抑制;第 8 章概述控制室诸如自然环境条件、电气工作条件和机械工作条件对控制系统性能的影响。其中重点介绍了控制系统的雷电保护技术、控制室的格栅型屏蔽设计计算方法、控制室的静电防护和 EPA 设计。

本书兼顾抗干扰技术的基础知识和工程实践,实际应用广泛,是一本很实用的工程技术类参考书。本书可供自动化工程领域内从事与控制系统相关工作的技术人员使用,也可供高等院校有关专业的师生参阅。

前 言

控制系统的抗干扰无疑是一门专业技术,它应该包括两大方面:一是在对系统本体的电子线路、结构以及软件进行设计时应考虑的抗干扰措施;二是控制系统在工程应用中的抗干扰技术。本书讨论的是后者。

我们在实践中发现,由于工程环境的多样性和复杂性,解决这一类问题非常耗时,也很伤人脑筋;再则,从事自动化工程的人们在工科大学学习期间,一般没有机会专门去接受系统抗干扰方面的培训,而且大多数与此相关的文献资料又都零散地刊登在许多不同的书刊上,并非所有的工程师都有条件或能方便、快速地找到所需的资料。为此,有必要编写一本控制系统在工程实践中的抗干扰技术方面的参考书,为从事自动化工程的人们提供帮助。

通过抗干扰技术的深入研究,实际遇到的大多数的干扰问题往往源自于那些基本的噪声源和基本的耦合途径。任何的干扰现象都可以用一些基本的物理概念来解释,这就是所谓的“天道崇简”。因而将多样而又复杂的干扰问题分解为一系列简单的机理,是编写本书时所作的一种尝试。

在完成了本书的初稿后,作者曾应邀到全国各地包括宝钢、中石化、中石油、浙江中控等许多企业和行业协会举办的培训班进行了二十多次的讲授,几经修定和补充形成了本书稿。

本书除第1章概述外,后面其他章在内容上是可以独立的,其中有关控制系统的雷电防护,汇总了笔者及其同仁在近几年所做的大量工作。每章的最后都列出了一些参考文献,为那些期望了解更多信息的人们提供方便。

由于控制系统的抗干扰技术涉及的学科和领域非常广泛,而且又是不断发展中的边缘学科,限于编者水平,加之时间仓促,本书不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。作者 E-mail: yiheng_xu@163.com。

徐义亨

2009年10月

目 录

第 1 章 概述

1

- 1.1 噪声和干扰 / 1
- 1.2 噪声的三要素 / 2
- 1.3 噪声的耦合途径 / 3
- 1.4 串模干扰和共模干扰 / 4
- 1.5 控制系统的电磁兼容性 / 7
 - 1.5.1 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度 / 8
 - 1.5.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度 / 9
 - 1.5.3 浪涌抗扰度 / 10
 - 1.5.4 静电抗扰度 / 11
 - 1.5.5 工频磁场抗扰度 / 12
 - 1.5.6 脉冲磁场抗扰度 / 12
 - 1.5.7 射频电磁场辐射抗扰度 / 13
 - 1.5.8 射频场感应的传导骚扰抗扰度 / 15
 - 1.5.9 评定抗扰度试验结果的通用原则 / 16
 - 1.5.10 控制系统的发射 / 16
 - 1.5.11 电磁兼容性的设计 / 18
- 1.6 控制系统消除干扰的主要途径 / 18
- 参考文献 / 19

第 2 章 电缆的静电屏蔽和电磁屏蔽

21

- 2.1 电容性耦合噪声及其抑制方法 / 21
 - 2.1.1 耦合机理 / 21
 - 2.1.2 电容性耦合与距离的关系 / 23
 - 2.1.3 屏蔽对电容性耦合的影响 / 24
- 2.2 电感性耦合噪声及其抑制方法 / 25
 - 2.2.1 耦合机理 / 25
 - 2.2.2 回路之间的相对位置与耦合程度的关系 / 26

- 2.2.3 对作为噪声源的导线施行的电磁屏蔽 / 27
- 2.2.4 对作为信号线路施行的电磁屏蔽 / 29
- 2.2.5 双绞线的电磁屏蔽原理及其应用 / 30
- 2.2.6 同轴电缆和屏蔽双绞线 / 31
- 2.2.7 电容性耦合与电感性耦合噪声的区分 / 32
- 2.3 金属管线对低频磁场的屏蔽作用 / 33
 - 2.3.1 屏蔽系数 / 33
 - 2.3.2 应用 / 34
- 2.4 电磁场耦合噪声及其抑制方法 / 34
 - 2.4.1 近场和远场 / 34
 - 2.4.2 波阻抗 / 35
 - 2.4.3 电磁场耦合的感应噪声 / 36
 - 2.4.4 抑制电磁波传播的主要方法 / 37
- 2.5 外部信号线缆的选择和敷设 / 39
 - 2.5.1 信号线缆的选择 / 39
 - 2.5.2 信号电缆和电力电缆平行敷设的最小距离 / 40
 - 2.5.3 本安电路与非本安电路敷设的最小距离 / 40
 - 2.5.4 汇线桥架的敷设 / 41
 - 2.5.5 其他注意事项 / 41
- 参考文献 / 42

第3章 控制系统的接地工程设计

43

- 3.1 接地基本知识 / 43
 - 3.1.1 接地系统的结构 / 44
 - 3.1.2 S型星形结构和M型网形结构的等电位连接 / 44
 - 3.1.3 串联接地和并联接地 / 46
 - 3.1.4 工频接地电阻和冲击接地电阻 / 48
 - 3.1.5 接地系统产生的电磁干扰 / 50
- 3.2 低压交流供电系统的接地 / 50
 - 3.2.1 低压交流供电系统的接地制式 / 50
 - 3.2.2 相关标准对控制系统采用TN-S系统的规定 / 52
- 3.3 接地电阻 / 53
 - 3.3.1 接地电阻的定义 / 53



- 3.3.2 接地电阻的理论值 / 56
- 3.3.3 接地电阻的测量误差 / 60
- 3.3.4 降低接地电阻的方法 / 63
- 3.3.5 接地材料的选择 / 64
- 3.3.6 土壤电阻率的测量 / 64
- 3.3.7 共用接地网接地电阻的测量 / 65
- 3.3.8 接地电阻的季节因数 / 66
- 3.4 接地系统的实施 / 66
 - 3.4.1 组成接地系统各部分的名称 / 66
 - 3.4.2 接地系统的实施方法 / 66
 - 3.4.3 接地连接线的规格 / 68
 - 3.4.4 接地连接的结构要求 / 68
- 3.5 接地案例的分析 / 69
- 3.6 有关接地系统实施过程中的问题 / 70
 - 3.6.1 控制系统机柜的对地浮空 / 70
 - 3.6.2 控制系统的接地参考图 / 71
 - 3.6.3 浮地 / 71
- 3.7 独立接地和共用接地 / 72
 - 3.7.1 接地方式的形态 / 72
 - 3.7.2 独立接地 / 73
 - 3.7.3 共用接地 / 74
 - 3.7.4 用建筑物结构体作共用接地网 / 77
- 3.8 接地技术面临的挑战 / 81
 - 3.8.1 “接地电阻不可测,应予废除” / 81
 - 3.8.2 人类科学技术的发展,总是呈螺旋式的上升 / 81
- 附录 3A 接地装置电气连续性的测量电路 / 82
- 参考文献 / 83

第 4 章 控制系统的雷电防护

85

- 4.1 雷电的基础知识 / 85
 - 4.1.1 雷云结构和放电原理 / 85
 - 4.1.2 外部防雷装置的基本原理 / 87
 - 4.1.3 用滚球法确定防直击雷装置的保护范围 / 88

- 4.2 雷电对控制系统侵害的途径 / 89
 - 4.2.1 静电感应(电容性耦合) / 89
 - 4.2.2 电磁感应(电感性耦合) / 90
 - 4.2.3 反击(电阻性耦合) / 91
 - 4.2.4 电磁场辐射(电磁耦合) / 91
 - 4.2.5 感应过电压的估算 / 92
- 4.3 雷电电磁脉冲(LEMP)的基本防护措施 / 92
 - 4.3.1 屏蔽 / 92
 - 4.3.2 合理布线 / 95
 - 4.3.3 使用浪涌保护器(SPD) / 96
 - 4.3.4 接地 / 等电位连接 / 99
- 4.4 雷电活动区、雷电防护区和防护措施分级 / 100
 - 4.4.1 雷电活动区 / 100
 - 4.4.2 雷电防护区(LPZ) / 101
 - 4.4.3 雷电防护等级(LPL) / 103
- 4.5 控制系统遭雷击的典型案例分析 / 104
 - 4.5.1 某化工公司污水处理装置的雷击案例分析 / 104
 - 4.5.2 某化工公司邻硝装置的雷击案例分析 / 105
 - 4.5.3 某石化公司石蜡加氢装置的雷击案例分析 / 107
 - 4.5.4 某石化总厂沥青装置的雷击案例分析 / 108
 - 4.5.5 某石化公司苯酚装置的雷击案例分析 / 108
 - 4.5.6 某燃气公司混配站的雷击案例分析 / 109
 - 4.5.7 某石化公司加氢裂化装置DCS的雷害隐患 / 110
 - 4.5.8 从“亡羊补牢”到“防患于未然” / 111
- 4.6 控制系统雷害的风险评估 / 112
 - 4.6.1 控制室建筑物年预计雷击次数 N_1 的计算 / 113
 - 4.6.2 进控制室电缆年预计雷击次数 N_2 的计算 / 114
 - 4.6.3 工艺装置年预计雷击次数 N_3 的计算 / 115
 - 4.6.4 控制室所在建筑物、工艺装置以及进控制室电缆年预计雷击次数 N 的计算 / 115
 - 4.6.5 控制系统因直击雷和雷电电磁脉冲损坏的可接受的最大年平均雷击次数 N_c 的计算 / 115
 - 4.6.6 雷电防护等级的确定 / 116



- 4.6.7 计算实例 / 116
- 4.7 低压系统浪涌保护器(SPD)的配置和应用 / 120
 - 4.7.1 概述 / 120
 - 4.7.2 交流低压电源系统 SPD 的应用 / 121
 - 4.7.3 信号、通信线路的 SPD / 128
 - 4.7.4 SPD 的安装 / 130
- 4.8 一个实例给控制系统防雷带来的思考 / 133
 - 4.8.1 工程环境的描述 / 133
 - 4.8.2 风险评估的计算 / 134
 - 4.8.3 对已有防雷措施的评价 / 134
 - 4.8.4 结论与思考 / 136
- 附录4A 术语 / 136
 - 4A.1 综合防雷工程 / 136
 - 4A.2 雷电电磁感应 / 138
 - 4A.3 等电位连接系统 / 138
 - 4A.4 浪涌保护器(SPD) / 139
- 参考文献 / 139

第 5 章 控制室格栅型屏蔽的设计计算

141

- 5.1 概述 / 141
- 5.2 计算步骤 / 142
- 5.3 脉冲磁场抗扰度 H_a 的取值 / 145
- 5.4 计算实例 / 146
- 5.5 关于屏蔽导体截面的影响 / 147
- 5.6 工程用查表 / 148
- 参考文献 / 149

第 6 章 控制室的静电防护

151

- 6.1 静电放电的特点 / 152
- 6.2 人体的静电模型(HBM) / 154
- 6.3 静电防护的软接地 / 157
- 6.4 防静电工作区的理念 / 159
 - 6.4.1 EPA 等级的划分 / 160

- 6.4.2 EPA 要素 / 160
- 6.4.3 EPA 静电泄漏电阻的取值 / 161
- 6.5 控制室静电防护的基本措施 / 162
- 6.6 防静电地面及其接地 / 164
- 附录 6A 物体带电顺序表和人体、器件带电电压值 / 165
- 附录 6B 防静电工作区的环境条件要求 / 166
- 附录 6C 控制系统静电放电抗扰度的试验 / 166
- 附录 6D 术语 / 168
 - 6D.1 基本概念 / 168
 - 6D.2 静电起电、积聚和消散 / 169
 - 6D.3 静电放电现象 / 169
 - 6D.4 材料及制品 / 170
 - 6D.5 静电安全和灾害预防 / 171
- 参考文献 / 173

第7章 电源与信号的隔离、滤波和干扰抑制 **174**

- 7.1 供电系统的抗干扰设计 / 174
 - 7.1.1 控制系统的电源电路对电源的一般要求 / 174
 - 7.1.2 交流电源中产生干扰的主要原因 / 176
 - 7.1.3 隔离变压器 / 177
 - 7.1.4 开关电源产生的干扰及抗干扰措施 / 178
- 7.2 I/O 信号的处理 / 181
 - 7.2.1 模拟信号的数字滤波 / 182
 - 7.2.2 开关量信号的采样滤波 / 184
- 7.3 长线传输干扰的抑制 / 186
 - 7.3.1 数字信号传输过程中的波反射 / 186
 - 7.3.2 终端开路时的波反射 / 186
 - 7.3.3 终端短路时的波反射 / 188
 - 7.3.4 终端电阻的匹配 / 188
 - 7.3.5 抑制波反射的匹配措施 / 188
- 7.4 变频器高次谐波的抑制 / 189
 - 7.4.1 变频器高次谐波的产生 / 189
 - 7.4.2 高次谐波对控制系统的影响 / 190



- 7.4.3 消除高次谐波对控制信号干扰的对策 / 191
- 7.5 信号隔离 / 192
 - 7.5.1 信号的传输隔离 / 193
 - 7.5.2 信号的转换隔离 / 193
 - 7.5.3 信号的分配隔离 / 194
 - 7.5.4 信号的安全隔离 / 194
 - 7.5.5 电源隔离 / 195
 - 7.5.6 隔离精度 / 195
 - 7.5.7 无源隔离器和信号的驱动能力 / 195
 - 7.5.8 隔离器的响应时间 / 196
 - 7.5.9 开关量的隔离 / 196
- 7.6 铁氧体磁珠滤波器 / 199
- 参考文献 / 202

第8章 控制室环境对控制系统性能的影响

203

- 8.1 控制室的环境气候条件 / 203
 - 8.1.1 环境气候条件对控制系统的影响 / 203
 - 8.1.2 标准规定的环境气候条件 / 204
 - 8.1.3 控制室设计应采取的对策 / 205
- 8.2 控制室的空气洁净条件 / 205
 - 8.2.1 空气洁净条件对控制系统的影响 / 205
 - 8.2.2 IEC 标准对反应性环境(腐蚀气氛)的分级方法 / 205
 - 8.2.3 控制室对腐蚀性气氛和空气含尘量的要求 / 206
 - 8.2.4 控制室设计应采取的对策 / 206
- 8.3 控制室的机械工作条件——振动 / 207
 - 8.3.1 振动对控制系统的影响 / 207
 - 8.3.2 振动的限制条件 / 208
 - 8.3.3 控制室设计应采取的对策 / 208
 - 8.3.4 控制柜的抗振要求 / 209
- 参考文献 / 209

第 1 章 概 述

工业的高速发展对控制系统的依赖性越来越强。随着微电子技术和控制系统集成化程度的提高,所传递的信号电流也越来越小,系统的供电电压也越来越低(现已降到 5 V、3 V 乃至 1.8 V),因此,芯片对外界的噪声也越趋敏感,显示出来的抗干扰能力也就越低。再则,控制系统周围的电磁环境日趋复杂,电磁干扰及其防护问题日益突出。相对于其他的电子信息系统,控制系统不但系统复杂、设备多、输入/输出(I/O)端口多,特别是外部的连接电缆又多又长,这类类似于拾取噪声的高效天线,给噪声的耦合提供了充分的条件,使得各种噪声容易侵入控制系统。

欲提高控制系统的抗干扰能力,除了在设计系统本体的电子线路、结构以及软件时应予以考虑的各项抗干扰措施外,更重要的是如何提高控制系统在工程应用中的抗干扰技术,因为目前我们还不可能做到将控制系统的抗干扰性能完全由控制系统本体去承担。

控制系统在工程中的应用必将遇到各种各样的噪声,噪声又会通过各种耦合途径干扰控制系统的正常运行。如何对噪声的产生以及噪声在传播途径中的影响予以有效的抑制,便是控制系统在工程应用中抗干扰技术的主要内容。

1.1 噪声和干扰

对有用信号以外的所有电子信号总称为噪声,可以将噪声源分成三大类:

- 1) 本征噪声源,其来源于物理系统内部的随机波动,例如热噪声(导体中自由电子的无规则运动)和交流声等。

- 2) 人为噪声源,例如电动机、开关、数字电子设备、无线电发射装置等在运行过程中所带来的噪声。

3) 自然界干扰引起的噪声,例如雷击、宇宙线和太阳的黑子活动等。

本征噪声为内部噪声,人为噪声和自然界干扰引起的噪声均为外部噪声。本书讨论的是对外部噪声的抑制。

当噪声电压足够大时,足以在接收中造成骚扰使一个电路产生误操作,这就形成一个干扰。

噪声是一种电子信号,它是无法消除干净的,而只能在量级上尽量减小直到不再引起干扰;干扰是指某种效应,是由于噪声对电路造成的一种不良反应。所以电路中存在着噪声,但不一定形成干扰。

抗干扰技术就是将影响控制系统正常工作的干扰减少到最小的一种方法。

1.2 噪声的三要素

典型的噪声路径如图 1-1 所示,即一个噪声源通过噪声的传播途径(或称耦合途径)去干扰感受体。由此可见,一个噪声,它包括噪声源、噪声的传播途径和感受体三个要素。处理控制系统的抗干扰问题首先要回答如下的三个问题:

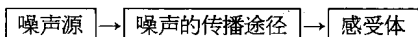


图 1-1 噪声问题的三要素

- 1) 产生噪声的源头是什么?
- 2) 哪些是对噪声有敏感的感受体?
- 3) 将噪声从源头传送到感受体的耦合途径是什么?

通常,回答了这三个问题后,就可以着手解决所遇到的干扰问题。一般而言,有三种基本的方法去抑制干扰:

1) 尽量将客观存在的噪声源的强度在发生处进行抑制或消除,这是最有效的方法。但是并非所有的噪声源都可以抑制或消除的,如雷击、无线电天线发射、汽车发动机的点火等。

2) 提高感受体对干扰的抗扰度,这取决于控制系统本身电磁兼容性(EMC)中的抗扰度。

3) 减小或拦截通过耦合路径传输的噪声量,即减少传播路径上噪声的传输量。这是控制系统在工程应用中所面临的一大问题,也是在工



程中抑制干扰最有效的措施。所以就要求在布线、接地、屏蔽、控制室设计、信号的处理和隔离、供源等多方面采取措施。

图 1-2 是一个直流电动机系统,它包括直流电动机和其控制电路两大部分。该系统的主要噪声源为直流电动机的电刷与换向器之间产生的电弧;传播途径为直流电动机和控制电路间的连接导线以及通过导线辐射出来的电磁场;感受体为直流电动机附近的弱信号回路和电动机控制电路。在这种情况下,不大可能对噪声源采用更多的抑制措施,因而只能通过抑制耦合路径的方式来消除干扰,即减小通过导线传导到电动机控制电路的噪声量和屏蔽来自导线的辐射噪声。在后面的章节里,我们将对这些抑制方法作详细地讨论。

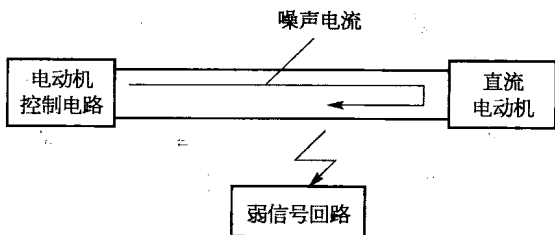


图 1-2 直流电动机系统

1.3 噪声的耦合途径

从物理概念上说,噪声的耦合途径大致有五种:导线直接传导耦合;经公共阻抗的耦合;电容性耦合;电感性耦合;电磁场耦合。

导线直接传导耦合是指噪声通过信号线和交、直流电源线以及通信线等将信号源或电源里夹带的噪声直接传导给电路。这种耦合是最常见的,如串模干扰等。抑制此类噪声的最基本方法就是避免导线拾取噪声,或者在它干扰敏感电路前用去耦或滤波(包括数字滤波)的方式消除噪声的影响。

公共阻抗耦合是指噪声源回路和受干扰回路之间存在着一个公共阻抗,噪声电流通过这个公共阻抗所产生的噪声电压,传导给受干扰回路。如图 1-3 所示的电路,回路 1 的不正常运行会引起公共阻抗顶端电位的变化,从而给回路 2 带来一个干扰,影响回路 2 的运行。抑制此类噪声的

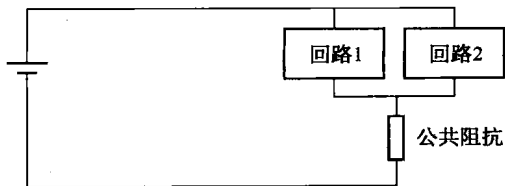


图 1-3 公共阻抗耦合电路

最基本方法就是减小公共阻抗的阻值。

电容性耦合又称静电耦合或静电感应，它是由电路间电场的相互作用而产生的。产生这种耦合的主要原因是电路间存在着分布电容。

电感性耦合又称电磁耦合或电磁感应，它是由电路间磁场的相互作用而产生的。产生这种耦合的主要原因是电路间存在着互感。

这四种耦合均称为传导性耦合，其中电容性耦合和电感性耦合又称为近场辐射。

此外还有电磁场辐射，它又称为辐射耦合或远场辐射，它是电场和磁场相结合的耦合，并通过能量的辐射对线路产生干扰的。

有关电容性耦合、电感性耦合和电磁场辐射等这些内容将在第 2 章中详细地讨论。

严格地说，有关噪声问题的求解，需要通过麦克斯韦方程组才能得到，该方程组是三个空间变量(x, y, z)和时间(t)的函数。这样，问题就变得比较复杂，非一般工程技术人员能够接受和理解。为此，在本书还是采用“电路”的理论，用集中参数来近似地求解，并采取了如下的假设：

- 1) 用一个连接在两导体间的电容来表示两导体间存在的一个随时间变化的电场。
- 2) 用一个连接在两导体间的互感来表示两导体间互相耦合的一个随时间变化的磁场。

1.4 串模干扰和共模干扰

在信号传递通道中的所谓干扰是指由外能源引起的使所需信号的接收受到扰乱或使信号本身受到扰动的一种现象。

根据干扰源 V_C 和信号源 V_S 的连接关系，或者说按干扰源 V_C 对电



路作用的形态有串模干扰和共模干扰之分(见图 1-4)。

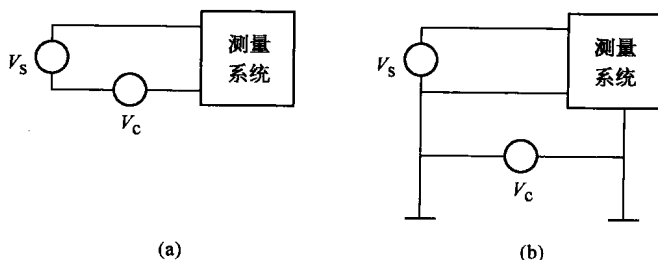


图 1-4 串模干扰和共模干扰

(a) 串模干扰; (b) 共模干扰

串模干扰也称横向干扰或差模干扰,它就是干扰源 V_C 串联于信号源 V_S 之中,或者简单地认为干扰源 V_C 和信号源 V_S 是迭加在一起的。在输入回路中干扰源 V_C 与信号源 V_S 所处的地位完全相同。

串模干扰源自于:

- 1) 信号线受空间电磁辐射的感应。
- 2) 通过信号变送器的供电电源串入的电网干扰。
- 3) 信号源本身产生的干扰。

放大器的地和信号源的地之间由于地电平的差异所形成的干扰称共模干扰,或谓出现在输入电路端子和地之间的一种干扰形式,也称纵向干扰或共态干扰。这种干扰(地电位差)在实际测量中是普遍存在的,根据干扰环境、输入信号源和输入系统的距离等因素,这地电位差一般可达几伏、十几伏甚至 100 V 以上,有雷击时的浪涌电压甚至可达数十万伏以上。

图 1-5 所示的单端对地输入系统,共模干扰直接全部转换成串模干扰而影响输入系统的;图 1-6 所示的双端对地系统,共模干扰并不直接影响电路,它是通过输入电路的不对称转化成串模电压而造成干扰的。

如果仅考虑共模干扰,即假设信号为零时,那么作用在 Z_5 上的电压为

$$V = \left(\frac{Z_4}{Z_1 + Z_4} - \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) V_C \quad (1-1)$$

如果电路对称,即 $Z_1 = Z_2, Z_3 = Z_4$, 则 $V = 0$ 。但一般电路做不到完全对称,所以 $V \neq 0$, 即共模干扰对测量系统产生影响。