

GONGYE
CEKONG
XITONG DE
KANG GANRAO
JISHU

葛长虹 编著

工业测控系统的
抗干扰技术



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

工业测控系统的抗干扰技术

葛长虹 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2006

内 容 简 介

本书从抑制电磁干扰的观点出发,从理论上对电磁感应等干扰源的性质、产生和传播等环节做了充分的分析,并结合具体实例,详细介绍了屏蔽技术、滤波技术、接地技术、电气布线技术、静电防护技术等常用抗干扰措施。全书共6章,分别为干扰的产生、干扰波的传播、工业测控系统的电磁干扰抑制、单片机测控系统的抗干扰技术、微机测控系统的抗干扰技术、工业测控系统抗干扰应用实例等。

本书可供化工、电子、冶金、电力、计算机、航空航天、国防等领域从事计算机自动控制系统设计、智能仪器仪表开发的工程技术人员阅读,也可供大专院校自动控制专业师生教学时参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业测控系统的抗干扰技术/葛长虹编著. —北京:冶金工业出版社, 2006. 4

ISBN 7-5024-3912-9

I. 工… II. 葛… III. 工业—自动检测系统—抗干扰
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004738 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
责任编辑 张 卫 (联系电话: 010-64027930; 电子信箱: bull2820@sina.com)
文字编辑 顾宝德 美术编辑 王耀忠
责任校对 王永欣 李文彦 责任印制 牛晓波
北京密云红光印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
2006 年 4 月第 1 版, 2006 年 4 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 15.5 印张; 335 千字; 237 页; 1—3000 册
39.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893
冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

在工业测量和控制系统中,人们总是希望自己设计的产品在被制造出来后,能够按照自己的设计意愿顺利运行,但往往事与愿违。特别是在费了九牛二虎之力制作出来之后,产品在实验室使用正常,而一旦应用于环境比较恶劣的工业现场,系统工作的问题一下子就会暴露出来,这往往是由于各种电磁干扰在起作用。

在工业测控系统中,电磁干扰是影响正常工作的重要问题,其产生既可能存在于设备内部,即受到自身产生的干扰影响,也可能来自于设备外部,即受到外来干扰的影响。

电磁干扰是指引起电子设备工作不正常的各种电磁效应。电磁干扰从甚低频到微波波段,无孔不入地辐射或传导至运行中的电子设备或系统以及周围的环境,不但对电子设备的正常工作造成严重干扰,而且对人类健康造成危害。因此,抗干扰设计就成为军用武器装备和民用电子设备研制、生产中必须严格遵循的原则和步骤。

在世界范围内,预防电磁干扰的研究始于19世纪,到20世纪90年代,美国、德国、日本、俄罗斯、法国等科技发达国家对电子设备防干扰研究和应用方面达到了很高的水平,先后研制出高精度的电磁干扰及电磁敏感度自动测量系统,开发出多种系统内和系统间抗干扰分析和预测软件,形成了一套完整的设计体系,并成功开发了多种防电磁干扰的新材料和新工艺。我国自20世纪90年代以来,随着国民经济和高新技术产业的迅速发展,电子设备抗干扰技术得到格外重视和迅速发展。

作者多年从事于电气控制系统的设计、开发工作。由于工作需要,作者在实际过程中制作了一些设备、测控装置。在实际制作过程中,遇到过许多很棘手的干扰问题,每遇到一个问题,都要做详细的理论分析,并通过反复实验,才找到比较满意的解决方案,并在此过程中积累了一定的抗干扰方面的经验。

本书就是作者在总结自己实践工作经验与成功案例的基础上编写而成的。

本书从抑制干扰的观点出发,首先从理论上具体分析了电磁感应等干扰源的性质,并对干扰的感应、传播等机理做了简要的综述;然后详细介绍了屏蔽技术、滤波技术、接地技术、电气布线技术、静电防护技术等常用抗干扰措施。其中对最常见的单片机测控系统和微机测控系统的抗干扰技术进行

了详细的阐述，并从电源、传感器、模拟电路、数字电路、软件、PCB 印刷电路板、RS-485 通信以及机床数控系统（变频器、PLC）等诸多方面对各种抗干扰技术进行了全面分析和论述。

最后选择几个实例进行详细分析，如应根据不同的应用场所，采取不同的抗干扰措施，既要保证系统长期可靠的运行，又要考虑到经济成本，选取最佳方案等。书中介绍的一些实践结果和经验，希望与读者共享。

在本书的编写中，作者力求从实际出发，注重内容的科学性、实用性，理论密切联系实际应用，文字力求深入浅出，通俗易懂。

本书可供从事工业测控系统设计的工程技术人员阅读。

由于作者的水平有限，书中存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

2005 年 10 月

目 录

1 干扰的产生	1
1.1 干扰的分类	1
1.2 放电噪声	1
1.2.1 电晕放电噪声	1
1.2.2 火花放电噪声	1
1.3 振荡噪声	2
1.3.1 工频干扰噪声	2
1.3.2 设备振荡噪声	2
1.4 浪涌噪声	3
2 干扰波的传播	5
2.1 干扰波的耦合感应方式	5
2.1.1 静电耦合感应	5
2.1.2 电磁耦合感应	5
2.1.3 负载耦合感应	6
2.1.4 漏电流耦合感应	7
2.2 干扰波的传递途径	7
2.2.1 辐射干扰	7
2.2.2 导线干扰	8
3 工业测控系统的电磁干扰抑制	10
3.1 屏蔽技术	10
3.1.1 电磁屏蔽	10
3.1.2 静电屏蔽	13
3.2 滤波技术	14
3.2.1 滤波器	14
3.2.2 EMI 滤波器的选用	20
3.2.3 EMI 滤波器的安装	21
3.3 接地技术	22
3.3.1 安全接地	22
3.3.2 抑制干扰接地	22
3.3.3 工作接地	22
3.3.4 屏蔽接地	25
3.4 电气布线技术	27

3.4.1 常用线型及应用	27
3.4.2 系统布线原则	33
3.4.3 系统布线接续设计	34
3.5 静电防护	35
3.5.1 静电的产生及危害	35
3.5.2 静电放电防护的一般措施	36
4 单片机测控系统的抗干扰技术	38
4.1 电源的干扰及其抑制技术	38
4.1.1 电力供电系统的抗干扰	38
4.1.2 稳压电源的抗干扰	38
4.1.3 开关电源的抗干扰	40
4.2 传感器的干扰抑制	46
4.2.1 传感器的分类	46
4.2.2 传感器的发展方向	47
4.2.3 传感器干扰噪声分类	48
4.2.4 传感器的干扰抑制措施	49
4.2.5 新型传感器	51
4.3 模拟电路抗干扰技术	53
4.3.1 无源滤波器	53
4.3.2 有源滤波器	54
4.3.3 测量放大器	59
4.3.4 采样保持电路	66
4.3.5 A/D 和 D/A 转换电路	71
4.3.6 前向通道单元应考虑的问题	81
4.4 数字电路抗干扰技术	84
4.4.1 数字电路的特点	84
4.4.2 数字电路的分类	84
4.4.3 数字集成电路的使用	85
4.4.4 数字信号传输通道	87
4.4.5 触点抖动消除方法	91
4.4.6 数字电路其他抗干扰措施	93
4.5 隔离技术	99
4.5.1 变压器隔离	99
4.5.2 继电器隔离	100
4.5.3 光电隔离	102
4.6 软件抗干扰措施	111
4.6.1 干扰对测控系统的影响	111
4.6.2 软件抗干扰的基本要求	112
4.6.3 数据采集的软件抗干扰方法	113
4.6.4 数字量输出的软件抗干扰方法	118

4.6.5	程序运行过程中的软件抗干扰方法	119
4.6.6	系统故障恢复	124
4.7	单片机主控单元抗干扰技术	132
4.7.1	PIC 系列单片机型号分类和主要特点	132
4.7.2	I/O 口结构	133
4.7.3	振荡电路	136
4.7.4	低功耗运行模式	138
4.7.5	复位电路	138
4.7.6	掉电保护	142
4.7.7	总线设计	143
4.7.8	中断保护	145
4.8	印刷电路板的抗干扰设计	146
4.8.1	PCB 的布局、布线原则	146
4.8.2	模拟与数字混合电路布线	150
4.8.3	地线设计	151
4.8.4	PCB 电容设计	153
4.8.5	PCB 防静电放电设计	155
4.8.6	PCB 热设计	156
5	微机测控系统的抗干扰技术	157
5.1	RS-232/RS-485 通信标准简介	157
5.1.1	串行通信方式	158
5.1.2	串行通信参数	160
5.1.3	RS-232 标准	162
5.1.4	RS-485 标准	165
5.2	RS-485 通信抗干扰措施	169
5.2.1	硬件抗干扰措施	169
5.2.2	软件抗干扰措施	177
5.3	机床数控系统的抗干扰措施	181
5.3.1	电气控制系统	181
5.3.2	变频器	186
5.3.3	PLC	193
6	工业测控系统抗干扰应用实例	204
6.1	电压可调开关电源	204
6.1.1	原理框图	204
6.1.2	X9511 数字电位器	205
6.1.3	干扰问题及其解决措施	205
6.2	工件表面淬火装置	209
6.2.1	结构简介	209
6.2.2	电气工作原理	211

6.2.3 干扰问题的解决	213
6.3 液体分离机	214
6.3.1 工作原理	214
6.3.2 程序设计思想	220
6.3.3 抗干扰设计	222
附录 常用数据表格	223
附表1 有代表性的几类 EMI 滤波器	223
附表2 常用交流电源 EMI 滤波器主要技术参数	223
附表3 电缆选择原则	224
附表4 晶闸管阻容保护元件选取表	225
附表5 设备电源端传导骚扰电压限值 (GB 4824—1996)	225
附表6 辐射骚扰限值 (GB 4824—1996)	225
附表7 单片机系统 EMC 测试规范	226
附表8 我国现行的电子设备抑制干扰标准	226
术语索引	231
参考文献	236

1 干扰的产生

1.1 干扰的分类

电子设备在工作时，往往产生一些起副作用的干扰电压。干扰产生于干扰源，干扰源可以划分为：（1）由于静电、大功率开关触点断开、电机电刷跳动等引起的放电噪声；（2）由感应电炉、中高频电源、开关电源、逆变电源、可控硅变流器等产生的中高频振荡以及大功率输电线产生的电气干扰噪声；（3）由于电机启动电流、大功率用电器合闸电流、开关电路的导通电流等产生的浪涌噪声。

有些严重的干扰甚至掩盖了有用的信号电压，必须加以抑制。一般来说，为了抑制干扰，对干扰源方面采取措施是比较有效的。

1.2 放电噪声

放电现象主要有以下 4 种：（1）电晕放电；（2）辉光放电；（3）弧光放电；（4）火花放电。

1.2.1 电晕放电噪声

电晕放电具有间歇性质，并产生脉冲电流，从而形成各种干扰噪声。这种噪声的危害主要来自输电线。随着超高压输电线的建设，它将对电力线载波电话、航空无线电和调幅广播接收等产生影响。

1.2.2 火花放电噪声

火花放电产生的噪声干扰，主要是大自然现象的天电（雷电）干扰，同时还有电气设备、大功率开关触点、汽车发动机的点火装置等引起的干扰。雷电作为大自然现象的典型代表，是大气层中产生火花放电噪声的主要原因，可以在低频至高频或更高频率范围内造成干扰，可以传播到很远的距离。

电动机的旋转运动因其火花放电而成为噪声源。在有整流子换向装置的电动机中，电刷将相邻的整流子片（存在电位差）短接，于是就在与整流片相连接的电机转子绕组中流过短路电流，而转动一角度后，电刷又很快地转入断开状态，在此瞬间即产生了火花。旋转过程是循环往复进行的，因此形成了频率范围很宽的噪声干扰。在没有整流子的电机中，其转子引出电流是采用滑环和电刷，在运转过程中两者接触状态也要发生上述类似变化，同样也会产生火花放电噪声干扰。

汽车发动机点火是利用火花塞产生非常陡峭的冲击电流，从而激励了其附属电路的振荡，并由点火导线等辐射出去。这种干扰波具有很高的频率分量，并含有任意类型的

极化波状态, 因此对电视广播以及其他高频通信是一种极为有害的噪声干扰源。

火花式高频焊机和汽车发动机点火装置一样, 都是利用其所产生的火花来进行工作的设备。高频焊机在工作时产生的火花能量很大, 所以放电噪声干扰也很强, 而且从电源电路回馈到输电线所引起的干扰影响比其直接辐射到空间的影响要大。

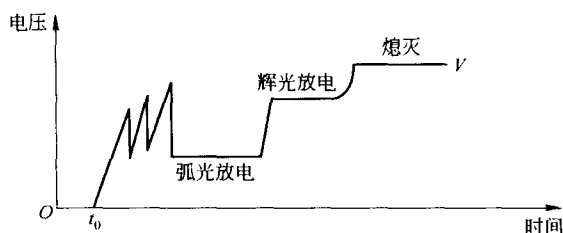


图 1.1 火花放电特性图

开关设备类由于开关的通断而使电流通断也是形成火花放电噪声干扰的原因之一。设备由运行状态转为停止状态, 即当开关断开时, 开关两极(触点)间的距离由零过渡到断开状态。触点断开瞬间, 电极间距离非常小, 触点间电压若在最小点火电压以上时, 就产生火花放电。特别是感性负载, 当切断

流经电感的电流时, 由于电感的反电动势, 将会在触点间产生很大的感应电压, 更容易产生火花放电。在产生火花放电之后, 往往还伴随着弧光放电和辉光放电, 直至熄灭, 如图 1.1 所示。

这种极小间隙的火花放电特性与触点表面特性紧密相关。若触点表面沾有污物, 并附着有机物蒸气, 那么小间隙间的起始放电电压就显著降低, 即更容易产生火花, 从而成为噪声干扰的主要原因。此噪声的频率取决于电路时间常数以及火花路径的离子扩散速度。如果处于产生弧光放电的临界状态时, 则在经过高频火花放电状态后还产生弧光放电或辉光放电, 直至熄灭。

1.3 振荡噪声

1.3.1 工频干扰噪声

大功率输电线是工业频率的干扰噪声来源。低电平的信号线只要有一段距离与输电线相平行, 即使输电线功率不够大, 也会使其遭受工频干扰。在电子设备内部, 由于工频感应也会产生交流声。如果工频电源的波形失真较大, 其所包含的高次谐波分量也就多, 因此而产生的干扰也就越大。

1.3.2 设备振荡噪声

感应电炉、中高频电弧炉、开关电源、直流-交流变换器(变频器)、可控硅变流器等设备在工作时, 将会产生振荡噪声干扰。这些运用脉冲波形工作的设备在工作过程中会产生感应噪声。因为脉冲波形的电流、电压上升前沿陡峭, 从而包含丰富的高次谐波分量, 容易引起感应噪声。

电子开关(固态继电器、IGBT、可控硅等)的通断可使电流发生急剧变化, 从而形成干扰。如果电子开关通断的电路是上述脉冲振荡设备, 则由于电子开关的通断会产生

阻尼振荡。电子开关虽然不会产生火花放电干扰,但是由于电流的急剧变化也能造成干扰。假设电流的上升时间为 τ (s), 传输此波形时所必需的通频带宽度为 ω , 其关系式为

$$\tau\omega = 0.5 \sim 1.0 \quad (1.1)$$

所以上升前沿陡峭的电流(τ 很小)包含有丰富的高次谐波。

使用可控硅(SCR)的电压调整电路就是一种由电子开关造成干扰的典型例子。可控硅变流器所控制的电气负载在切换时往往产生强烈的干扰,会影响其他设备正常工作,同时还可能影响自身的同步电路、移相触发电路的正常工作。

可控硅变流装置作为电源的非线性负载,使电源含有很多高次谐波电流。该谐波电流流过电源内阻时即产生高次谐波电压降,从而使电源电压波形发生更为严重的畸变。

由于可控硅电压调整电路在电源周期的每半周就触发一次,可控硅处于起始导通状态时,电流前沿陡峭,负载电流发生急剧变化,含有丰富的高频成分,此高频噪声经电源线或空间辐射从而干扰其他电子设备的工作。特别是在可控硅换相导通时,由于电流变化率很大,从而造成电源电压波形产生缺口,污染了电源。当可控硅两端电压过零从而关断时,如果负载为感性,则还会产生感应电压。

随着电源技术的发展,开关电源作为一种开关方式控制的直流稳压电源,以其体积小、重量轻、效率高的特点被广泛应用于工作控制系统的各个领域,成为工业发展不可或缺的一种电源方式。但事物总是一分为二的,开发开关电源的一个重要目的旨在实现小型化,越是小型化,就越是要提高开关频率。针对频率较低的开关电源,只有开关脉冲的高次谐波产生噪声干扰,而经过高频化设计后,其基波本身也构成了一种噪声干扰源,产生一种更为强烈的传导干扰波,同时也会产生一种超标准的杂散信号。

开关电源作为开关状态的能量转换装置,其电压、电流变化率很高,产生较大的电磁干扰波(EMI),这种干扰波主要对无线电通信及测控系统产生不良影响。为了消除这种影响,就要限制这种干扰波的大小。

电磁干扰波的传播途径一般有两种:一种是以波长为单位的频带通过电源线传播,这种噪声称为传导噪声,以测量电源线上的干扰电压,评价干扰的大小;另一种是通过直接测定传播到空间的干扰波来评价噪声大小,该噪声叫做辐射噪声。

1.4 浪涌噪声

有些用电设备诸如炼钢电弧炉、电弧焊机,由固态继电器控制的大电流设备(如电炉)、电机启动(启动电流通常达到额定电流的4~6倍)等,其工作于频繁通断状态,将会产生很大的电流冲击,周期性地从供电网中获取快速变动的冲击性功率,从而引起电网电压的波动,产生浪涌噪声干扰。电压调幅波中相邻两个极值电压均方根值之差称为电压波动值 V_L ,以额定电压的百分数表示。电网电压的波动会使人眼产生一定的敏感反应。人眼对灯闪的主观感觉称为闪变,引起闪变刺激程度的电压波动值称为闪变电压限值 ΔV_L 。在电压调幅波中不同频率的正弦波分量的均方根值等效为10Hz值的一分钟

平均值,称为等效闪变值 ΔV_{10} ,以额定电压的百分数表示为

$$\Delta V_{10} = \sqrt{\sum (\alpha_f \Delta V_{fn})^2} \quad (1.2)$$

式中, ΔV_{fn} 为电压调幅波中频率为 f 的正弦波分量一分钟均方根平均值,以额定电压的百分数表示; α_f 为闪变视感度系数,即人眼对不同频率的电压波动而引起灯闪的敏感程度,与频率 f 呈非线性关系,当 $f=0.01\sim 30\text{Hz}$ 时, $\alpha_f=0\sim 1.0$; 当 $f=10\text{Hz}$ 时, α_f 达到最大值 1.0。

电压波动和闪变的允许值:电力系统中公共供电点,由冲击性功率负荷产生的电压波动允许值见表 1.1。

由冲击性功率负荷产生的闪变电压值应满足 ΔV_{10} 的允许值(表 1.2)。

表 1.1 电压波动允许值

额定电压/kV	电压波动允许值 $V_t/\%$
10 及以下	2.5
35~110	2
220 及以下	1.6

表 1.2 闪变电压值

应用场合	ΔV_{10} 允许值/ $\%$
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4 (推荐值)
一般性照明负荷	0.6 (推荐值)

由大电流冲击而引起的浪涌噪声往往使得电网电源产生很大波动,干扰公共供电点的其他用电设备不能正常工作,因此这种浪涌噪声须加以抑制,控制其最大值在允许范围之内。

2 干扰波的传播

2.1 干扰波的耦合感应方式

干扰源产生的干扰是通过感应耦合对电子设备测控系统发生电磁干扰作用的。主要是在系统的低电平端（比如信号输入端）感应出噪声电压，经过放大后构成了噪声输出。

2.1.1 静电耦合感应

由静电电容耦合引起的感应，主要是在射频频率设备内部由于元器件和导线之间存在分布电容而产生的。另外，还有化纤、纤维之间的摩擦而使人体带电，从而对电气设备产生干扰。

如图 2.1 所示静电感应的等效电路中可得到电容耦合感应的干扰电压为

$$U_{ni} = j\omega C_m U_{ng} Z_i / (j\omega C_m Z_i + 1) \quad (2.1)$$

式中， C_m 为耦合电容； Z_i 为输入阻抗。

通常 $|j\omega C_m Z_i| \ll 1$ ，因此式 (2.1) 可表示为

$$U_{ni} = j\omega C_m U_{ng} Z_i \quad (2.2)$$

由式 (2.2) 可以看出干扰电压具有如下性质：

- (1) 干扰电压的大小正比于频率；
- (2) 干扰电压的大小正比于输入阻抗。

低电平信号放大器的输入阻抗应尽可能小，一般希望在几百欧以下。当有若干个干扰源存在时，可以使用叠加原理对各干扰源分别进行考虑，如图 2.2 所示。其干扰电压的大小为

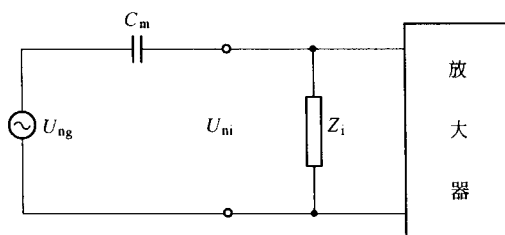


图 2.1 静电感应的等效电路

$$U_{ni} = j\omega_1 C_1 U_1 Z_x + j\omega_2 C_2 U_2 Z_x + j\omega_3 C_3 U_3 Z_x \quad (2.3)$$

2.1.2 电磁耦合感应

干扰源以电流形式出现，此电流产生的磁场通过互感耦合，形成的磁通随时间变化，从而对邻近信号形成干扰。电子设备所用的电感性元器件存在的漏磁或者两根邻近输电线之间能形成很大的互感磁通。如图 2.3 所示， I_1 为导线 1 上流过的干扰电流， M 为导线 1 和导线 2 的互感。由互感耦合在导线 2 上产生的串联干扰电压 U_2 为

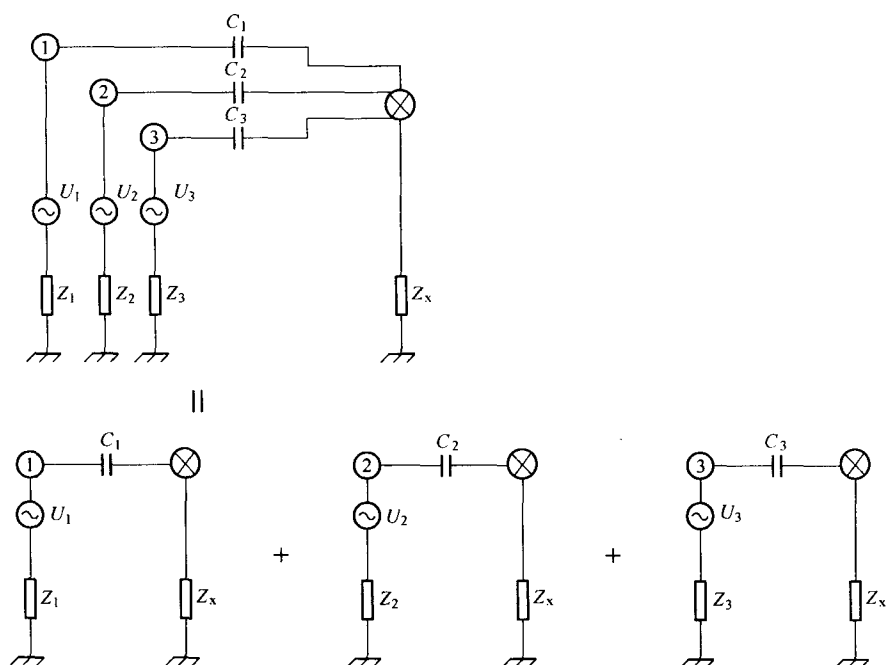


图 2.2 由若干干扰源引起的干扰电压

$$U_2 = j\omega M I_1 \quad (2.4)$$

式 (2.4) 表明, 干扰电压与频率、互感、电流成正比。

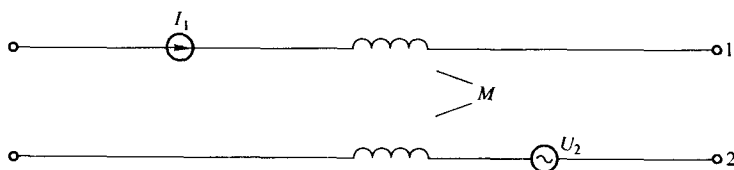


图 2.3 邻近导线的电磁耦合

2.1.3 负载耦合感应

在低电平电路和高电平电路的共同阻抗上, 由流过的干扰电流引起感应干扰电压 (图 2.4)。电源输出阻抗、接地线的阻抗等都能产生这种干扰电压。共负载干扰电压大小为

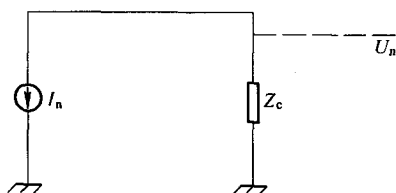


图 2.4 共阻抗系统

$$U_n = I_n Z_c \quad (2.5)$$

干扰电流 I_n 流过阻抗 Z_c 时产生了干扰电压, 其大小正比于干扰电流。如果此阻抗又构成测控系统放大电路的一部分, 则干扰电压又被放大, 从而造成恶劣影响。

2.1.3.1 电源输出阻抗

当一个电源供给几个电路时, 高电平电路的输出电流就会全部或部分地流进电源, 从而形成干扰。当电源输出阻抗较大时, 会产生比较大的干扰电压, 从而通过电源线影响其他电路。

2.1.3.2 信号输出通道

当信号输出通道为若干支路而且连接几个负载时, 若在某一支路执行诸如瞬变的操作, 则产生的浪涌噪声波将通过信号输出给其他输出支路, 形成各支路间的相互串扰。

2.1.3.3 地线干扰

测控系统中往往共用一个电源或者不同电源共用一个地线, 当各部分电路的电流均流过公用地线时, 会在地线阻抗上产生电压, 当这部分电压构成信号放大电路的一部分时, 地线电压即被放大形成干扰输出。

2.1.4 漏电流耦合感应

由流经绝缘电阻的漏电流引起的干扰电压 (图 2.5), 其干扰影响不是很严重。但当绝缘体被击穿, 电阻降低时, 后果将不堪设想。此时感应电压 U_{ni} 正比于干扰电压 U_{ng} 。

$$U_{ni} \propto U_{ng}/R_i \quad (2.6)$$

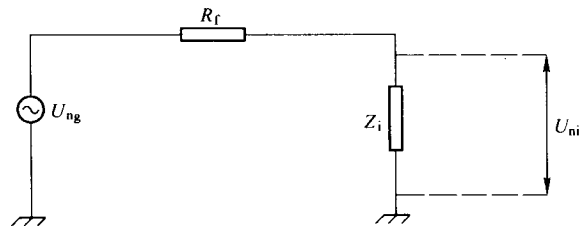


图 2.5 由漏电流引起的感应

2.2 干扰波的传递途径

干扰波从干扰源传递到控制系统, 其传播途径大体分为辐射干扰和导线干扰两大类 (图 2.6)。这两种干扰在很多情况下同时存在。譬如, 当载有干扰波的导线在接收天线附近通过时, 可以同时由辐射和导线传播两种方式产生干扰电压。

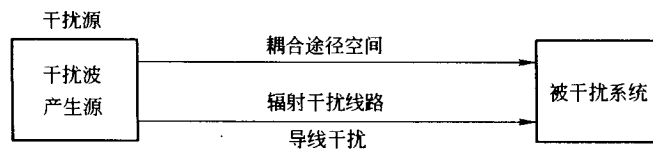


图 2.6 干扰波的传播途径

2.2.1 辐射干扰

辐射干扰主要指由辐射电磁场传播的干扰波, 以干扰源的电源电路、信号的输入输出电路、控制电路等的导线作为辐射天线。另外, 当干扰源的外壳有高频电流时, 整个设备本身也就变成了辐射天线。

干扰波在空间的传播以及被感应是由于电场和磁场相互作用的结果。当空间有静电荷时则产生静电场, 当该电荷移动时就形成电流, 由于电磁作用同时产生了电场和磁场。

一根导线有电流通过, 则在导线周围产生了磁力线, 而沿着导线方向产生了电力线。也就是说, 在导线附近同时产生了电场与磁场。当电流变化时, 存在于导线附近的电场与磁场也发生了相应变化, 这种变化的电场与磁场在空间的传播即形成了电磁波, 其传播速度为光速。

2.2.2 导线干扰

干扰波也可以通过导线传播。如果干扰波的产生源与被干扰系统由同一电源线或其他传输线连接, 那么干扰波则通过该导线传输。其他传输线, 诸如信号的输入输出电路、控制电路等虽然也能够传输干扰波, 但一般来说, 由电源线传输干扰波占大多数。这种干扰波的传输方式也称为直接耦合方式。这种干扰传导模式分为差模噪声 (主要是线间电压干扰) 和共模噪声 (主要是对地电压干扰) 两种方式。

2.2.2.1 线间电压干扰和对地电压干扰

传播干扰波的导线多数是来回往复的一对平行导线, 如电话线、同轴电缆等。这种平行导线由于感应而产生干扰电压。从设备的干扰影响及其抑制的观点来看可将这种感应干扰分为在线间电路产生的分量和在对地电路产生的分量, 分别被称作线间电压和对地电压。

干扰电压在导线上传播时, 线间电压的传输一般比对地电压的传输衰减大。原因是针对线间电压来说, 线路上的分布电容是并联的, 给干扰电压源造成很大负载。因此只要干扰源和被干扰系统的距离相对远一些, 线间干扰电压即发生很大的衰减, 干扰就会变得很小。对地电压因为衰减比较小, 尽管传输距离很长, 也往往会造成很大的干扰, 因此在干扰严重的情况下必须设法抑制。

在导线上会同时传播感应产生的线间干扰电压和对地干扰电压。如果导线阻抗是完全对称的, 则线间电压和对地电压完全应单独考虑。当阻抗不平衡时, 在传播过程中则能由线间电压产生对地电压; 反之, 也能由对地电压产生线间电压。对电话线之类的平衡电路, 线间电压是直接给予干扰的。

2.2.2.2 干扰波通过信号线传输

系统的信号输入电路或输出电路在用导线做远距离传输时, 干扰波同时也被传送了出去。针对干扰源来说, 主要是输出电路的影响大; 而对被干扰的系统来说, 主要是输入信号线的影响比较大。干扰波并不是这些信号线直接产生的, 而是通过如下途径感应并传播干扰的。

(1) 信号传输线的天线效应

信号输入线作为接收天线, 并从辐射干扰波中感应了干扰电压。干扰源的信号输出线也具有辐射天线的作用, 虽然没有像信号输入线那样大的影响, 但它具有类似电源线的感