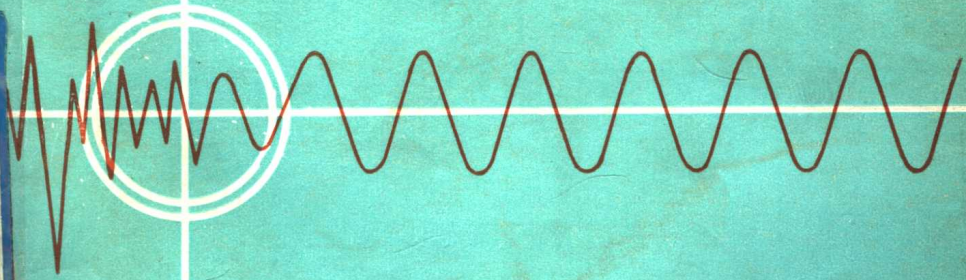


信息和控制系统 防干扰

滕福生 梁碧俊 编译



成都科技大学出版社

信息和控制系统防干扰

顾福生 梁碧俊 编译

成都科技大学出版社

一九八七年六月成都

内 容 提 要

现代的企业和事业中，逐渐采用电子元件和电子计算机组成的信息和控制系统，在装设的环境中，经常存在着电的和磁的干扰，使系统不能正常工作，因而需要采取有针对性的防干扰的措施和方法。本书介绍和分析了信息和控制系统中常见的干扰源、防干扰的理论和计算、防干扰的系统性方法以及防干扰的实用安装和布线技术。书中还列举了许多图表，对具体系统的设计和调试工作，都有参考意义。

本书可作为电工技术人员的参考书籍和大专院校有关专业的教学用书。

信息和控制系统防干扰

编 译 者：滕福生 梁碧俊

责任编辑：盛宇康

* * *

成都科技大学出版、发行

中国科学院光电所印刷厂 印刷

开本787×1092 1/32 印张5.375

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数1—1500 字数116千字

ISBN 7—5616—0056—9/T·18

统一书号：15475·37

定价：0.92元

前 言

现代的企业和事业中，逐渐采用电子元件和计算机组成的信息和控制系统。不少的系统，它的各组成部件分布的地区很广；在装设的环境中，经常存在着电的和磁的干扰，而使系统不能正常的工作。为了防止干扰的不利影响，保证系统能正常和可靠的运行，就需要采用许多减少干扰影响的措施和方法。本书对各种可能遇到的干扰，从理论上作了分析和研究，以便有助于识别存在的干扰。然后介绍各种防止干扰、减少干扰影响的方法。

经验表明：在设计 and 研制一个信息和控制系统时，很难估计到运行时可能遇到的各种干扰，而采取相应的技术措施。所以常常在安装调试时，对环境中存在的干扰，加以测量和识别。为此对环境干扰必须加以科学的分类，掌握各类干扰的特点、耦合方式及所产生的影响。识别出是哪一类或哪几类干扰以后，才能有针对性的选择采用合适的防止干扰的有效方法；才能收到明显的效果。

本书是根据《IEEE Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources》一书编译的。原书采用单位为英制，现已改为公制。原书编排次序内容，也作了调整，以便于教学和阅读。书中有约一百幅的图表，其中的大多数对具体工作，都有直接的参考意义。

目 录

前 言

第一章 信息和控制系统中的电干扰…………… (1)

§ 1.1 干扰的危害…………… (1)

§ 1.2 干扰源…………… (2)

§ 1.3 干扰源和电路间的耦合…………… (3)

§ 1.4 干扰敏感度…………… (13)

第二章 防干扰的理论分析和计算…………… (15)

§ 2.1 干扰的分类和特性…………… (15)

§ 2.2 系统对干扰敏感度的分析…………… (29)

§ 2.3 系统布线…………… (51)

§ 2.4 设备屏蔽…………… (58)

§ 2.5 滤波和阻尼…………… (70)

第三章 防干扰的系统性方法…………… (88)

§ 3.1 概述…………… (88)

§ 3.2 系统性方法…………… (90)

§ 3.3 抗扰度的测试方法…………… (98)

第四章 防干扰的实用安装和布线技术…………… (102)

§ 4.1 电干扰存在的基本因素…………… (102)

§ 4.2 接地和屏蔽接地…………… (105)

§ 4·3 屏蔽的实用方法·····	(115)
§ 4·4 布线技术·····	(116)
§ 4·5 抑制干扰的方法·····	(141)
§ 4·6 降低干扰的方法·····	(149)
参 考 资 料 ·····	(153)

第一章 信息和控制系统中的电干扰

§ 1.1 干扰的危害

电干扰是一种不需要的电信号，它在信息和控制系统的电路中出现以后，会使电路产生不良的后果。

在任何信息变换或控制的过程中，有两类变量，即：

第一，受控变量或目标变量：如温度、压力、液面、速度或其它类似的物理量。这些量能够被测量，并能加以控制，使系统的工作满足要求的条件和运行的需要。

第二，控制变量或工质变量：如电功率、能量或其它材料，用来使系统的运行受到控制。

为此，信息和控制系统应该具有受控变量的检测、变换和处理的设备，以及调整控制变量的执行装置。

在一般的控制系统中，信号的传送情况如图1—1所示。信息系统也是类似的情况。受控变量的大小和变化，用检测元件检测以后，并变换成相应的电信号，称为量测信号，如图中①。再送入控制器，经过整形和放大，与要求的条件如图中②，即规定的受控变量的允许范围值直接地或间接地进行比较。控制器输出的信号③，加到执行装置上，使它对接受到的信号作出响应，调整控制变量，以保证被控过程合乎要求。控制器和相应控制系统的复杂性，与控制过程的工作特点有关。现在，控制器已逐渐愈来愈多地使用电子计算机来实现，检测到的信号，要经过模—数变换，成为数字信号，送入计算机进行信息处理，计算机处理后的输出信号

经过数一模变换以后，指挥执行装置去执行。所以，这样的控制系统也就是用计算机的信息变换和处理系统。这种系统的结构较为复杂，而且电路工作的电平较低，这就容易受到外

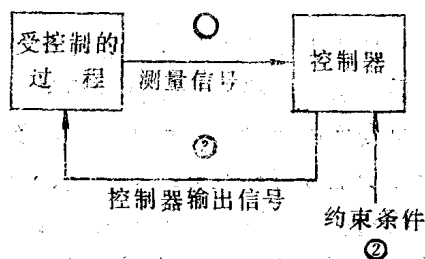


图 1—1 控制系统中信息的传送情况

界传来干扰的不良影响。此外，这种系统为了达到要求的速度响应，有时必须在高速情况下工作。而干扰就是影响这种系统正常工作的一个重要因素。

为了对干扰的作用和传输情况能有一清晰的概念，本章将介绍和分析下述三个方面的问题：

第一，干扰源（见 § 1·2 节）；

第二，干扰源和电路间的耦合（见 § 1·3 节）；

第三，系统对干扰的敏感度（见 § 1·4 节）。

§ 1·2 干扰源

一些电的或机电设备，如使电压或电流发生很大变化，就会产生干扰，就是干扰源。下述设备，就是常见的干扰源：

- (1) 接通和断开电感负载的开关。
- (2) 用作开关的可控硅或其它半导体元件。
- (3) 电焊机。
- (4) 大电流导体。
- (5) 日光灯。
- (9) 闸流管或引燃管。
- (7) 氖灯(霓虹灯)。

除上述干扰源外，在电路中还会出现其它一些干扰。这些干扰是由于电路联结的方法不当而产生，有如下几种：

- (1) 不同金属接触或联结，因热效应产生的电压。
- (2) 接头间因连结不良，由于电解作用产生的化学性质的电压。
- (3) 电阻器的热噪声。

这些干扰源与电路中的信号串联，因而使信号失真。所以，如能在连结线上仔细考虑，干扰就能受到抑制。

§ 1.3 干扰源和电路间的耦合

如果电压或电流干扰源与电路的接线或元件之间，有某种形式的耦合存在，则在电路中就会出现干扰电压。电路中出现的这种干扰电压，在实际上是否会造成不良影响，则与电路对干扰的敏感性有关。这一节要讨论四种形式的耦合。

1. 阻容耦合

当两个电路有共用的联线和阻抗，又共用同一电源，就会出现相互干扰的问题。两个电路经常使用较长的公共中线和地线，就相当于共用一个阻抗。现用图1—2来加以说

明。图中因信号电压是加在一根信号线和中线之间，所以这种电路可以看成是单线联结。放大器AR1和AR2用来放大用铁-康铜做的热电偶的输出。由接触器1a等控制的负载，也

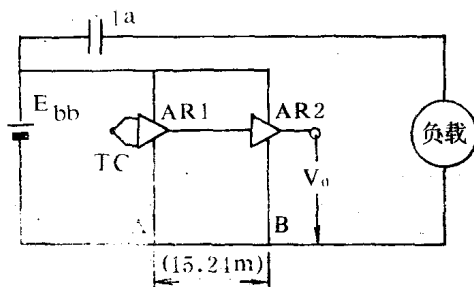


图 1—2 用公共线的单线联结的电路

属于这一电路。联结线A—B长15.24m，它的电阻为每 km 5.25Ω。则

$$R_{AB} = \frac{15.24}{1000} \times 5.25 = 0.08\Omega$$

如果电源供给负载的电流为0.5A，则点A和B间的电压为：

$$V_{AB} = 0.5 \times 0.08 = 0.04V$$

设热电偶TC所接的放大器AR1，放大倍数为100。点A和B间的0.04V电压加到AR2上，也即是说相当于有一0.04/100V，或0.4mV的输入电压变化，加到AR1。对于铁和康铜热电偶来说，就相当于在温度37.8°C附近，出现了7.8°C的温度变化。

当接触器1断开负载的电流，于是电流可能在1μs内从0.5A降为0。这样快的电流变化，就必须考虑线段AB自感

的影响。一般说来，电感涉及到一个闭合回路的特性，但是也可以只考虑回路中某一段线段的电感值。一根直导线用在高频情况下的自感，由下式计算^[1]：

$$L = 0.002l \left[\log. \frac{2l}{r} - \frac{3}{4} \right] \mu\text{H} \quad (1-1)$$

式中 l 为导线长cm，

r 为导线半径cm，

对于图1—2上的导线AB，有

$$l = 1524\text{cm}$$

$$r = 0.205\text{cm} ;$$

则

$$\begin{aligned} L &= 3.05 \left[\log. \frac{2 \times 1524}{0.205} - 0.75 \right] \\ &= 3.05 [9.6 - 0.75] \\ &= 3.05 \times 8.85 \\ &= 27\mu\text{H} \end{aligned}$$

当负载电流中断时，电流在 $1\mu\text{s}$ 内从 0.5A 变为0，则点A和B间的电压为：

$$\begin{aligned} V_{AB} &= L \frac{\Delta i}{\Delta t} \\ &= 27 \cdot 10^{-6} \times \frac{0.5}{10^{-6}} \\ &= 13.5\text{V (峰值)} \end{aligned}$$

虽然这一干扰电压会很快消失，但也会给电路造成不良后果。

在电路中，经常可以找到一些公用阻抗支路，应加以消除。一个很好的例子就是每一个传感器都各自用两根导线接

到系统的电路输入端，以消除公共支路。但是，也有一些其它的公共支路不容易被发现。为了有助于理解这一问题，现举例如下：

- (1) 公用电源。
- (2) 高频情况下电容器具有的电感。
- (3) 引线的电感。
- (4) 机壳和地间分布电容。
- (5) 建筑物内的公共总线和中线的电感。
- (9) 接地电阻。

2. 磁耦合

磁耦合通常称为电感耦合。因为产生的干扰电压与干扰源和系统电路间的互感成比例。它的大小也与干扰电流的变化率有关。但是这种耦合却与干扰源和系统电路间的电导耦合无关。磁耦合的性质可用图1—3来说明。

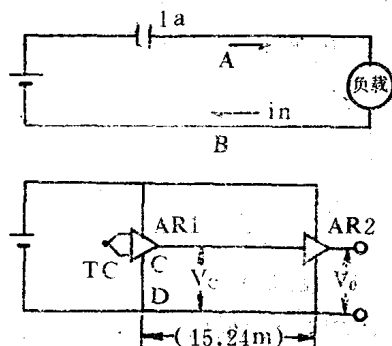
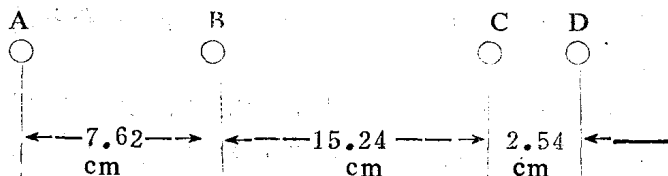


图1—3 磁耦合电路的情况

图1—3所示的电路，设四根导线A、B、C和D都放在

同一非金属线槽内，导线A和B间相距7.62cm，导线B和C间相距15.24cm，导线C和D间相距2.54cm。在这种情况下，导线A和B为干扰源。导线C和D为系统电路中的一部分，则导线A和B与导线C和D间的互感，可以如下计算^[2]：

已知导线间的距离为：



则导线AB和导线CD间的互感，即干扰源和系统电路间的互感用下式计算：

$$M_{nc} = \frac{460.6}{10^9} \cdot l \cdot \log_{10} \left[\frac{d_{AC} \cdot d_{BD}}{d_{BC} \cdot d_{AD}} \right] \mu H \quad (1-2)$$

式中 l 为导线长m；

d 为导线间距cm。

于是可得

$$\begin{aligned} M_{nc} &= 460.6 \times 10^{-9} \times 15.24 \times \log_{10} \left[\frac{22.86 \times 17.78}{15.24 \times 25.4} \right] \\ &= 0.149 \mu H \end{aligned}$$

如果电流的变化率 $\Delta i_n / \Delta t$ 为0.5A/ μs ，系统电路CD中感应的电压则为

$$V_{CD} = M_{nc} \frac{\Delta i_n}{\Delta t}$$

$$= 0.149 \times 10^{-6} \times 0.5 / 10^{-6}$$

$$= 0.0745 V$$

图1—3中的放大器AR1的放大倍数为100，如前所述。这一电压就相当于在热电偶上加一等值电压0.745mv，相

当于热电偶温度变化 14.4°C 。

3. 静电耦合

这类耦合又常称为电容耦合，这是由于干扰电压与干扰源和系统电路引线间的电容成比例。它的大小还与干扰源的电压变化率有关，也与干扰电路各元件和系统电路各元件的阻抗有关。

前面用来说明磁耦合的电路，也能用来说明静电耦合，见图1—4。但是，现在情况下的电容和线间的电压都很重要。空气中两平行导线间的电容由下式计算⁽²⁾：

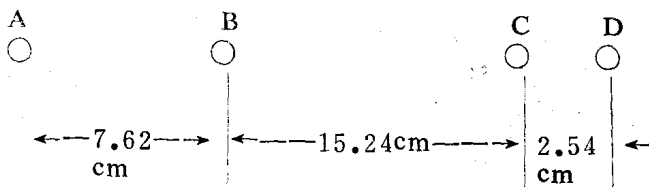
$$C = \frac{12.07 \epsilon_r}{\log_1 0 \left(\frac{2s}{d} - \frac{d}{2s} \right)} \text{PF/m} \quad (1-3)$$

式中 d 为导线的直径 cm ；

S 为导线间距离 cm ；

ϵ_r 为导线间介质的相对介电常数。

仍用如下所示距离的四根导线来分析和计算



导线的直径为 0.205cm 。导线敷设在空气中，取相对介电常数为1已能满足要求。实际上，根据导线绝缘材料的类型和厚度，等值的介电常数约在1与8之间。

由公式(1—3)计算得：

$$C_{AD} = \frac{12.07 \times 1 \times 15.24}{\log_{10} \left(\frac{50.8}{0.205} - \frac{0.205}{50.8} \right)} = \frac{184}{2.398} = 76.7 \text{ PF}$$

式中15.24为导线长度m。

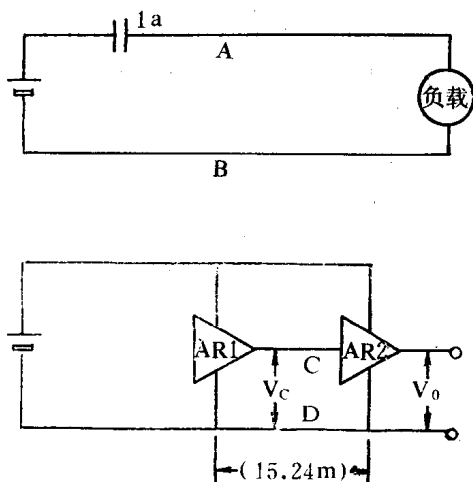


图 1—4 静电耦合

$$C_{AC} = \frac{12.07 \times 1 \times 15.24}{\log_{10} \left(\frac{45.72}{0.205} - \frac{0.205}{45.72} \right)} = 78.3 \text{ PF}$$

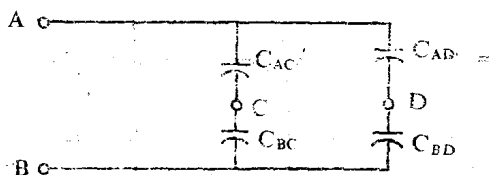
$$C_{BD} = \frac{12.07 \times 1 \times 15.24}{\log_{10} \left(\frac{35.56}{0.205} - \frac{0.205}{35.56} \right)} = 82.1 \text{ PF}$$

和 $C_{BC} = \frac{12.07 \times 1 \times 15.24}{\log_{10} \left(\frac{30.48}{0.205} - \frac{0.205}{30.48} \right)} = 84.6 \text{ PF}$

上面计算的电容都是图1—4所示情况值得重视的电容，因为还必须看到，所有的物体和其它各个物体间都存在电容，有时就形成一些不希望有的潜在电路。例如用来寻找绝缘故障装置的示波器，与水泥地板钢筋网间的电容，可能有150 PF。

当断开负载电流时，导线A和B间的电压可能升高到2000伏。这一数字具有代表意义，因为是用两对接点断开继电器线圈时产生的电弧电压值。

线路A—B和C—D间耦合的情况非常复杂。但是可以用下述简单的分析来说明有关原理。设等值电路如图1—5所示。用电容分压的关系



1—5 等值电路

$$V_1 = \frac{V_2 C_2}{C_1}$$

则有

$$\begin{aligned} V_{BC} &= \frac{V_{AB}}{C_{BC}} \cdot \frac{C_{AC} \cdot C_{BC}}{C_{AC} + C_{BC}} \\ &= \frac{2000}{84.6} \times \frac{78.3 \times 84.6}{78.3 + 84.6} = 961.32 \text{ V} \end{aligned}$$

同样有

$$V_{BD} = \frac{V_{AB}}{C_{BD}} \cdot \frac{C_{AD} \cdot C_{BD}}{C_{AD} + C_{BD}}$$

$$= \frac{2000}{82.1} \times \frac{76.7 \times 82.1}{76.7 + 82.1} = 965.99 \text{ V}$$

以及

$$\begin{aligned} V_{CD} &= V_{ED} - V_{BC} \\ &= 965.99 - 961.32 = 4.67 \text{ (V)} \end{aligned}$$

因此在引线C和D上感应了一个相当大的电压,也即在放大器AR2的输入端有4.67V的电压。选择这一例子为了说明情况的严重性。实际上这个电压值还小于共阻抗支路引起的干扰电压。下一节还要加以说明。

在引线上因静电作用而感应的电压,可以归结为如下的方程式(参见图1—6)。

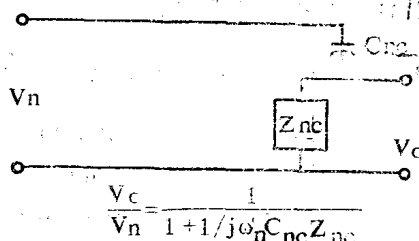


图1—6 计算参考图

$$\frac{V_c}{V_n} = \frac{1}{1 + 1/j\omega_n C_{nc} Z_{nc}} \quad (1-4)$$

式中 V_c = 系统电路引线上感应的电压;

V_n = 干扰源电压;

ω_n = 干扰电压的频率;

C_{nc} = 干扰电路和系统电路间的电容;

Z_{nc} = 干扰电压的参考线和系统电路引线间的阻抗。