

第一章 可靠性与抗干扰技术概述

1.1 研究抗干扰技术的重要性

近年来,微机测控系统,特别是单片机在工业自动化、生产过程控制、智能化仪器仪表等领域的应用越来越深入和广泛,有效地提高了生产效率,改善了工作条件,大大提高了控制质量与经济效益。但是,测控系统的工作环境往往是比较恶劣和复杂的,其应用的可靠性、安全性就成为一个非常突出的问题。微机测控系统必须长期稳定、可靠地运行,否则将导致控制误差加大,严重时会使系统失灵,甚至造成巨大的损失。

影响测控系统可靠、安全运行的主要因素是来自系统内部和外部的各种电气干扰,以及系统结构设计、元器件选择、安装、制造工艺和外部环境条件等。这些因素对测控系统造成的干扰后果主要表现在下述几个方面。

1. 数据采集误差加大

干扰侵入微机系统测量单元模拟信号的输入通道,叠加在有用信号之上,会使数据采集误差加大,特别是当传感器输出微弱信号时,干扰更加严重。

2. 控制状态失灵

一般微机输出的控制信号较大,不易受到外界的干扰。但微机输出的控制信号常依据某些条件的状态输入信号和这些信号的逻辑处理结果。若这些输入的状态信号受到干扰,引入虚假状态信号,将导致输出控制误差加大,甚至控制失常。

3. 数据受干扰发生变化

微机系统中,由于 RAM 存储器是可以读/写的,因此在干扰的侵害下, RAM 中的数据有可能被窜改。在单片机系统中,程序及表格、常数存于程序存储器 EPROM 中,避免了这些数据受干扰破坏。但是,对于内 RAM,外扩 RAM 中的数据都有可能受到外界干扰而变化。根据干扰窜入的途径、受干扰数据的性质不同,系统受损坏的情况也不同。有的造成数据误差,有的使控制失灵,有的改变程序状态,有的改变某些部件(如定时器/计数器,串行口等)的工作状态等。例如, MCS-51 系列单片机的复位端(RESET)没有特殊抗干扰措施时,干扰侵入该端口,虽然不易造成系统复位,但会使单片机内特殊功能寄存器(SFR)状态变化,导致系统工作不正常。又如,当程序计数器 PC 值超过芯片地址范围(当系统扩展小于 64K),CPU 获得虚假数据 FFH 时,对应执行“MOV R7,A”指令,造成工作寄存器 R7 内容变化。

4. 程序运行失常

微机中程序计数器 PC 的正常工作,是系统维持程序正常运行的关键所在。但若外界干扰导致 PC 值的改变,破坏了程序的正常运行。由于受干扰后的 PC 值是随机的,因而导致程序混乱。通常的情况是程序将执行一系列毫无意义的指令,最后进入“死循环”,这将使输出严重混乱或系统失灵。

由于存在干扰,如何保证和提高微机测控系统的可靠性和安全性,成为一个亟待解决的问题。

题。这是因为：

(1) 随着微型计算机在测控系统中的广泛应用，使用条件从环境优良的机房转向工厂、野外、水上、空中等复杂环境，其工作条件往往比较恶劣，导致计算机受干扰而出错的概率增加。

(2) 随着微机功能的日益完善和运算速度的加快，其系统的组成日趋复杂，所使用的元器件增多，印刷电路板装配密度加大，这些都使测控系统发生故障的概率增大。

(3) 随着工业自动化程度的提高和数字化、智能化仪器仪表的广泛采用，人们对计算机的依赖程度也越来越高，成为提高生产率和产品质量的重要技术手段。若计算机在运行中经常发生故障，轻则影响产品的质量和产量，重则可以导致事故，造成巨大的经济损失。

(4) 随着计算机应用的迅速普及，操作人员一时难以全面、深入地了解 and 掌握复杂系统的各个环节。这就要求微机测控系统能自动防止和容许工作人员操作失误，而不至于产生严重的控制误差和系统发生故障。

综上所述，提高微机系统的可靠性、安全性，成为人们日益关心的课题。微机测控系统抗干扰技术的研究，就是在这种需求下产生的。人们在不断完善微机测控系统硬件配置过程中，分析系统受干扰的原因，探讨和提高系统的抗干扰能力，这不仅具有一定的科学理论意义，而且具有很高的工程实用价值。因此，微机测控系统抗干扰技术的研究和应用，已成为计算机应用技术中一个十分重要的课题。

1.2 可靠性概念

在深入研究微机测控系统的可靠性和抗干扰技术之前，我们先介绍有关可靠性技术方面的一些基本知识，作为今后选用电子元器件、电路设计、软件编制的理论基础。

一、可靠性定义及定量描述

可靠性是描述系统长期稳定、正常运行能力的一个通用概念，也是产品质量在时间方面的特征表示。可靠性又是一个统计的概念，表明在某一时间内某个产品或系统稳定正常完成预定功能指标的概率。对于应用在工业现场的微机测控系统而言，可靠性水平是最重要的质量指标。

可靠性的定义是指产品或系统在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。例如，一台计算机在室内有空调的条件下，使用 3 000 小时不出故障的可能性为 67%，即意味着在 3 000 小时内无故障的概率为 67%。一台电视机在室内工作 5 000 小时无故障概率为 84%。可靠性最集中反映了某种产品或设备的质量指标。

描述可靠性的定量指标常用可靠度、失效率、平均无故障时间这些特征量。

1. 可靠度(Reliability)

可靠度是指产品或系统在规定条件下和规定的时间内完成规定功能的概率。这里的规定条件包括运行的环境条件、使用条件、维修条件和操作水平等等。

系统在时刻 t 的可靠度用 $R(t)$ 表示。 $R(t)$ 也是随机变量 T 大于时间 t 的条件概率，即

$$R(t) = P(T > t)$$

与可靠度相对应的另一个特征量称为不可靠度，用 $F(t)$ 表示，即

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$F(t)$ 又称为到 t 时刻为止的累计失效率。

2. 失效率(Failure rate)

失效率又称故障率,是指工作到某一时刻尚未失效的产品,在该时刻后单位时间内发生失效的概率。即某一时刻单位时间内,产品失效的概率记为 $\lambda(t)$ 。

数字电路以及其他电子产品,在其有效寿命期间内,如果它的失效率是由电子元器件、集成电路芯片的故障所引起的,则失效率为常数。这是因为电子器件、集成电路芯片经过老化筛选后,就进入偶发故障期。在这一时期内,它们的故障是随机均匀分布的,故障率为一常数。电子元器件的平均寿命总是比整机高得多,整机总比元器件先进入耗损故障期。因此,对电子产品、数字系统最常用的一种失效率就是 $\lambda(t)$ 为常数的情况。

设某一电子产品,共有 N 台在 $t=0$ 时刻投入运行,到 t 时刻有 $n_f(t)$ 台失效, $n_r(t)$ 台仍在正常运行, $n_f(t) + n_r(t) = N$ 。

根据定义

$$\begin{aligned} R(t) &= \frac{n_r(t)}{N} = \frac{1 - n_f(t)}{N} \\ F(t) &= \frac{n_f(t)}{N} \\ \lambda(t) &= \frac{(t \sim t + \Delta t) \text{ 时间内,单位时间失效台数}}{\text{在 } t \text{ 时刻仍正常工作的台数}} \\ &= \frac{1}{n_r(t)} \cdot \frac{\Delta n_f(t)}{\Delta t} \end{aligned}$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,则有

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{n_r(t)} \cdot \frac{\Delta n_f(t)}{\Delta t} \\ &= \frac{N}{n_r(t)} \cdot \frac{dn_f(t)}{N \cdot dt} \\ &= \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt} \\ &= \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d[1 - R(t)]}{dt} \\ &= - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \end{aligned}$$

即

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda(t)dt$$

$$\int_0^{R(t)} \frac{1}{R(t)} dR(t) = \int_0^t -\lambda(t)dt$$

得到

$$R(t) = e^{\int_0^t -\lambda(t)dt}$$

设 $\lambda(t) = \lambda$, 为一常数, 则

$$R(t) = e^{-\lambda t} = 1 - F(t)$$

这表明,当失效率为常数时,可靠度为一指数函数,即随时间按指数规律变化,称之为指数

分布。这是电子产品，绝大部分数字设备的可靠度分布规律。图 1.2-1 所示为指数分布的 $R(t)$ 及 $F(t)$ 函数。

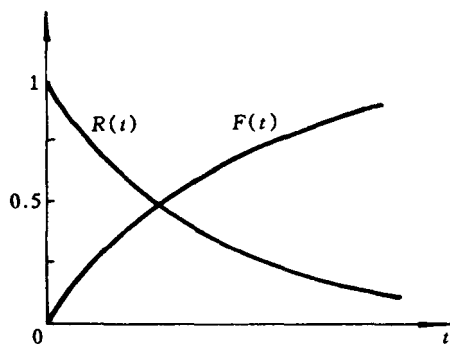


图 1.2-1 可靠度与不可靠度函数

3. 平均寿命(Mean life)

产品的平均寿命又称平均无故障工作时间 (Mean time between failure)，是产品寿命的平均值。对于可修复系统，平均寿命可看作是“指一个或多个产品在它的使用寿命期内某个观察期间累积工作时间与故障次数之比”。对于不可修复的产品，平均寿命看作是“当所有试验样品都观察到寿命终了的实际值时，是指它们的算术平均值；当不是所有试验样品都观测到寿命终了的截尾试验时，是指试样品累积试验时间与失效数之比”。

平均寿命用 t_{MTBF} 表示，也就是平均无故障工作时间（或平均无故障间隔时间）。平均寿命是最常用的描述可靠性的特征量，它比可靠度、失效率更直接形象地给出了一个产品或系统可靠性的参数指标。

当产品的可靠度为 $R(t)$ 时，平均无故障时间可表示为

$$t_{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

当 $R(t)$ 为指数分布时,则

$$t_{MTBF} = \int_0^{\infty} \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right] dt$$

设失效率 $\lambda(t) = \lambda$, 为一常数时,则

$$t_{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

已知失效率 $\lambda(t) = \lambda$ 的可靠度为

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

令 $t = t_{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$, 可得

$$R(t = t_{MTBF}) = e^{-1} = 0.368$$

这表明，产品的可靠度为指数分布时，当产品工作到 t_{MTBF} 时间,其可靠度为 0.368。

二、系统的可靠性模型

一个复杂的系统总是由许多的基本元件或部件组成的，如何根据这些元部件的可靠性去估计系统的可靠性，是系统可靠性工程研究的重要内容。在微机测控系统中，元器件怎样在保证完成功能的前提下，去合理地组成一个可靠性高的电路，这对工程实践有着十分重要的意义。在工程实践中，一方面首先要知道组成系统的基本元器件或部件在相应使用条件下的可靠性，另一方面还要知道这些基本元部件的可靠性对组成整个系统可靠性的关系。描述基本元部件可靠性的基本数据可由生产元部件的厂家提供，或由试验确定，或者通过实际观察的统计数据或经验得到。基本元部件的可靠性对整个系统的影响，可以通过几种可靠性结构模型获得。

在不知道基本元器件可靠性基本数据的情况下，研究可靠性结构模型仍然具有重要的指导意义，可成为我们进行电路设计时的指导性原则。可以通过可靠性模型分析，选择最优的结构方案。例如，若已知某元件的开路故障率要比其短路故障率高得多，那么我们在电路设计中就多采用并联形式，尽量避免或少用串联形式。

构造系统的可靠性模型时，首先应明确可靠性框图与系统的功能性框图有所不同。功能性框图是根据系统的工作原理进行连接，各部分之间的关系是确定的，其位置不能变动。而可靠性框图是根据各组成部分的故障对系统的影响构成的，其位置在何处没有关系。

1. 串联结构模型

串联结构是系统由几个功能器件组成，其中任何一个器件失效，都将引起所有部件和整个系统失效。图 1.2-2 所示的几种电路都具有串联的可靠性结构模型。

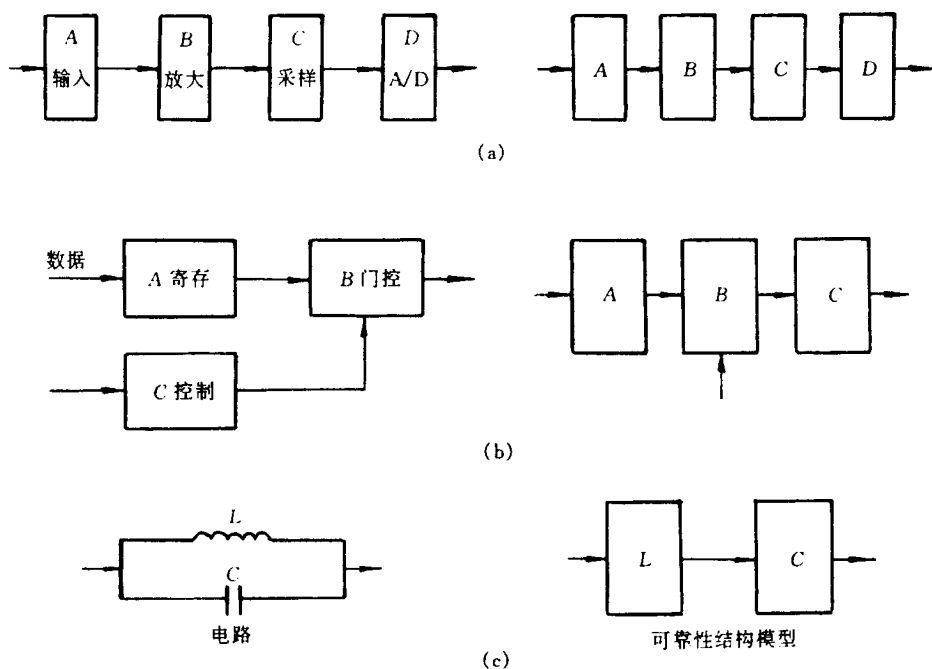


图 1.2-2 串联可靠性结构模型举例

在图 1.2-2(b) 中，数据传送通道与控制通道是一种树形连接结构，但可靠性结构框图为串联的，这是因为任何一部分发生故障，都将导致整个电路不能工作。图 1.2-2(c) 为 LC 并联谐振电路，其可靠性结构框图也为串联的，因为任何一个环节发生故障，则整个电路将不发生谐振。

串联可靠性结构的一般模型如图 1.2-3 所示。

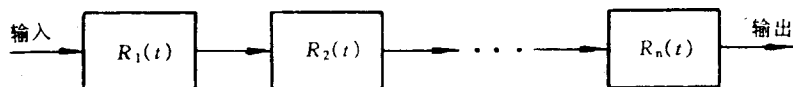


图 1.2-3 串联形式可靠性模型

如果第 i 个部件的可靠度为 R_i ，则系统的可靠度为

$$R_S(t) = P[R_1(t) \cap R_2(t) \cdots \cap R_n(t)] \\ = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

式中 n 为串联部件数, $R_S(t)$ 是系统的可靠度。上式只适用于各部件的故障是随机不相关的。这时系统的总失效率为

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

式中 $\lambda_s(t)$ 为系统的失效率, $\lambda_i(t)$ 为各部件的失效率。系统的 t_{MTBF} 为

$$t_{\text{MTBF}} = \int_0^{\infty} \exp\left[-t \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)\right] dt$$

若系统的第 i 个部件的失效率为常数 λ_i , 则系统的可靠度为

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda t}$$

式中

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

系统的平均无故障时间 t_{MTBF} 为

$$t_{\text{MTBF}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n}$$

若系统中每一个部件又是由几种元件组成的, 每一种元件都有一定的数量。如果部件中每个元件的失效率都将造成部件的失效, 那么这个部件就成为由一系列元件组成的串联结构。这个部件的失效率为

$$\lambda = K_1 \lambda_1 + K_2 \lambda_2 + \cdots + K_n \lambda_n = \sum_{i=1}^n K_i \lambda_i$$

式中, K_i 为第 i 个元件的数量, λ_i 为第 i 个元件的故障率。

串联结构是一种无冗余结构, 构造简单, 是一种常用的基本方案。

例如, 某系统是由 6 种元件组成的串联结构系统, 有关元件的名称、数量、失效率列于表 1.2-1。试计算该系统的失效率和 t_{MTBF} 。

[解] 系统的失效率为

$$\lambda = (13.3 + 3.5 + 0.37 + 0.41 + 1.0 + 0.83) \times 10^{-4} \\ = 19.41 \times 10^{-4}$$

系统的平均无故障时间为

$$t_{\text{MTBF}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{19.41} = 515(\text{h})$$

2. 并联结构模型

并联形式的可靠性结构又叫冗余结构, 是指一个系统由几个部件构成, 只要其中至少有一个部件正常工作, 系统就能正常工作。并联结构系统按其组成部件的数量又可分为双重、三重或多重系统。

表 1.2-1 串联元件的数量和失效率

项 目	元件失效率 λ_i	元件数量 K_i	总失效率 $K\lambda_i$
元 器 件			
集成电路	3.7×10^{-7}	3 600	13.3×10^{-4}
晶体管	10^{-7}	3 500	3.5×10^{-4}
电 阻	10^{-8}	3 700	0.37×10^{-4}
电 容	10^{-8}	4 050	0.41×10^{-4}
接插点	10^{-8}	10 000	1.0×10^{-4}
焊接点	10^{-9}	83 000	0.83×10^{-4}

例如,当设备具有交、直流两套供电系统,且任一套都可以保证系统供电时,其电源的可靠性模型即为并联结构。又如,两个二极管并联使用,且每一个管子的容量都是足够时,那么,仅考虑二极管开路故障时,它们的可靠性亦为并联结构。这两种电路的可靠性结构模型如图 1.2-4 所示。

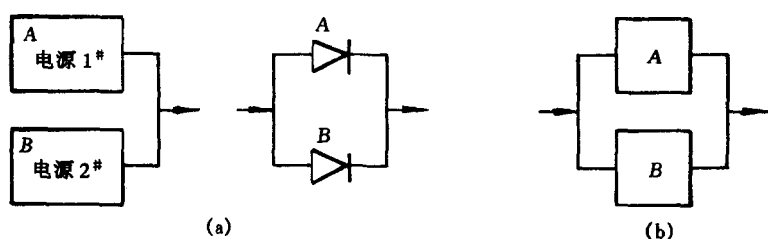


图 1.2-4 并联可靠性结构模型举例

设 A 、 B 两个部件组成的系统为并联的可靠性结构模型,则系统的可靠度为 A 与 B 中任一正常工作或两个均正常工作的概率,即

$$\begin{aligned}
 R_S(t) &= P(A \cup B) = P[A \cap (1 - B)] + P[B \cap (1 - A)] + P(A \cap B) \\
 &= P(A)P(1 - B) + P(B)P(1 - A) + P(A)P(B) \\
 &= P(A) - P(A)P(B) + P(B) - P(B)P(A) + P(A)P(B) \\
 &= P(A) + P(B) - P(A)P(B) \\
 &= R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \cdot R_2(t) \\
 &= 1 - [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)]
 \end{aligned}$$

式中 $R_1(t)$ 、 $R_2(t)$ 分别为 A 、 B 部件的可靠度。

由此可推出两个独立事件 A 、 B 并联的可靠度一般可写作为

$$R_S(t) = P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B)$$

若系统中有 n 个部件,可靠性并联形式如图 1.2-5 所示。

根据概率论,不难得出具有 n 个部件并联系统的可靠度为

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

式中 $R_S(t)$ 分别为各部件的可靠度, $i=1, 2, \dots, n$ 。

并联系统的平均无故障时间为

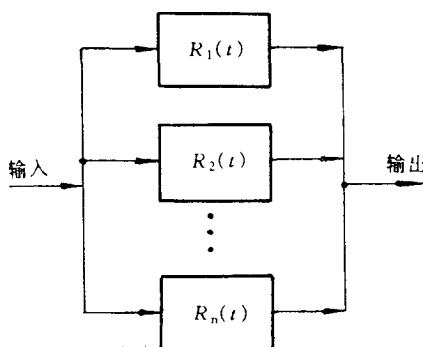


图 1.2-5 并联形式的结构图

$$t_{\text{MTBF}} = \int_0^{\infty} R_S(t) dt$$

设 $R_i(t)$ 均为指数分布, 即 $R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$, 则有

$$t_{\text{MTBF}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j} + \dots + (-1)^{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i)^{-1}$$

3. 混联结构模型

混联结构是由若干并联和串联结构组成的混合系统, 这种系统在计算机中应用得最多, 如图 1.2-6 所示。

估算这样一个模型的可靠性, 通常应先将各并

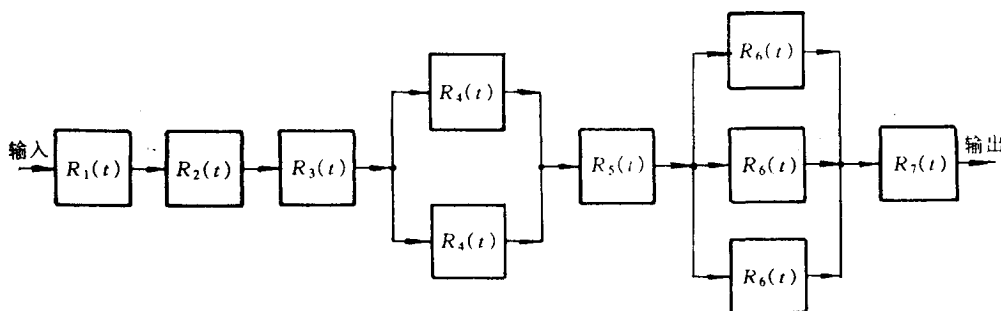


图 1.2-6 混联形式结构图

联部分估算好, 然后再对整个系统按串联模型进行计算。因此, 图 1.2-6 所示混联结构系统的可靠性为

$$R_S(t) = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot R'_4(t) \cdot R_5(t) \cdot R'_6(t) \cdot R_7(t)$$

式中:

$$R'_4(t) = R_4(t)[2 - R_4(t)] = 2R_4(t) - R_4^2(t)$$

$$\begin{aligned} R'_6(t) &= 3R_6(t) - 3R_6^2(t) + R_6^3(t) \\ &= R_6(t)[3 - 3R_6(t) + R_6^2(t)] \end{aligned}$$

于是

$$R_S(t) = [2 - R_4(t)][3 - 3R_6^2(t)] \cdot \prod_{i=1}^7 R_i(t)$$

混联结构应用较多的是双重结构, 又叫备份系统, 一般有如图 1.2-7 所示的三种结构形式。

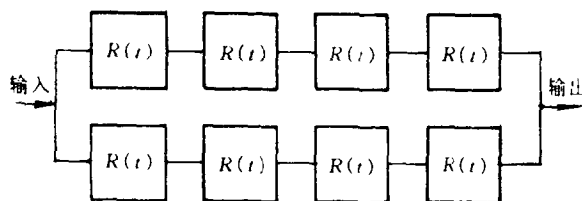
为分析方便起见, 假定图 1.2-7 中每个部件的可靠度都是相同的, 用 r 表示。由此可计算出各个系统的可靠度为:

双通道结构系统 $R_S(t) = 2r^4 - r^8$

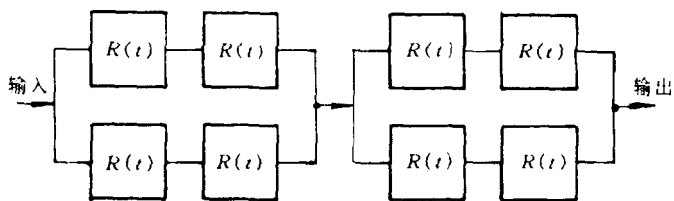
串并结构系统 $R_S(t) = (2r^2 - r^4)^2 = 4r^4 - 4r^6 + r^8$

双部件结构系统 $R_S(t) = (2r - r^2)^4 = r^4(1 - r)^4$

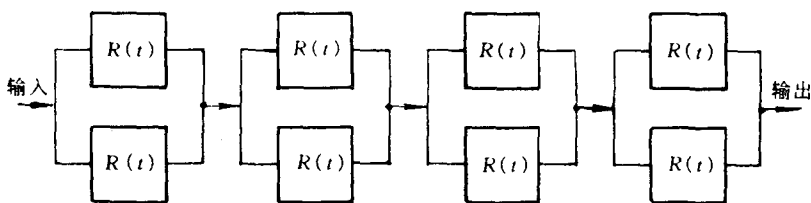
为了比较三种结构系统的可靠性,取 $r = 0.70, 0.80, 0.90, 0.95$ 四种情况,将其可靠性列于表 1.2-2。



(a) 双通道结构系统



(b) 串并结构系统



(c) 双部件结构系统

图 1.2-7 双重结构系统

表 1.2-2 双重结构系统可靠性比较

R r 结 构 形 式 <th>0.70</th> <th>0.80</th> <th>0.90</th> <th>0.95</th>	0.70	0.80	0.90	0.95
双通道结构系统	0.422 6	0.651 4	0.881 7	0.965 6
串并结构系统	0.547 4	0.757 6	0.920 1	0.981 1
双部件结构系统	0.685 7	0.849 3	0.960 6	0.990 0

由上表可以看出,在备份结构系统中,双部件结构系统的可靠性是最高的。一般情况下,可以采用双重化电路结构,例如双重放大器、双重逻辑门等,以改善电路的可靠性。

应当注意,系统的可靠性结构模型与工作条件或故障模式有关。例如,两个电源并联供电,若每一个电源的容量都不足以维持供电给负载,那么它的可靠性模型为串联结构;若每一个电源的容量都足以维持供给负载,那么它的可靠性模型为并联结构。又如,当两个二极管并

联使用时，若只考虑开路故障，它们的可靠性模型是并联形式；若仅考虑短路故障这一失效模式时，那么其可靠性模型就是串联的。也就是任何一个二极管短路时，其电路的整流功能就不存在了。只考虑短路故障时，两个二极管的可靠度反而比单管的低许多。

例如，设二极管的开路可靠度为 R_0 ，短路时的可靠度为 R_S ，且 $R_0 = R_S = R_d$ 。则采用一对二极管 A 、 B 并联使用时，首先考虑开路故障，可靠性结构为并联模型，其可靠度 $R_{\text{并}} = P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) = 2R_d - R_d^2$ 。然后再考虑短路故障，则并联二极管 A 、 B 的可靠性为串联模型，即任何一个二极管的短路都导致电路短路。所以电路短路可靠度 $R_{\text{串}} = P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) = R_d^2$ 。并联后的总可靠度为 $R_{\text{并}} + R_{\text{串}} = 2R_d$ 。与单管相比，可靠性有所提高。图 1.2-8 给出了并联二极管完整的可靠性结构模型。图 1.2-8(b) 为考虑开路故障的结构模型。图 1.2-8(c) 为考虑短路故障的结构模型。图 1.2-8(d) 为同时考虑短路故障与开路故障的模型。假定并联事件为 N ，串联事件为 M ，已知 $P(N) = 2R_d - R_d^2$ ， $P(M) = R_d^2$ ，由于并联与串联故障不能同时发生，故 $P(N) \cdot P(M) = 0$ ，则得

$$P(N \cup M) = P(N) + P(M) - P(N) \cdot P(M) = 2R_d$$

式中 $P(M) = R_{\text{串}} = R_d^2$ ， $P(N) = R_{\text{并}} = 2R_d - R_d^2$ 。

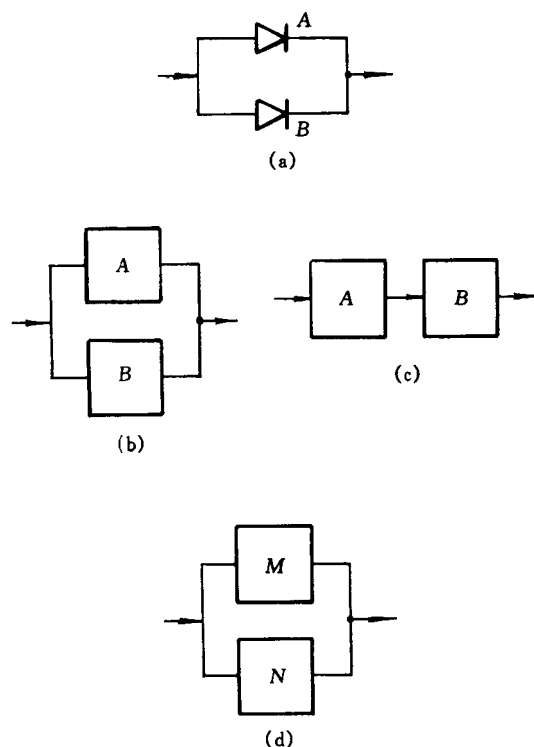


图 1.2-8 并联二极管可靠性结构

4. K/n 系统的可靠性

K/n 系统即 n 中取 K 表决系统。图 1.2-9 所示为最常见的三中取二表决系统。设表决器的可靠度大大高于模块，即可靠度近似认为是 1。各单元模块 A 、 B 、 C 具有相同的可靠度，为简单起见，记为 R 。

由于是 2/3 表决系统，因而至少任意两个模块正常，系统都将正常。这样我们就可以把这一表决系统的可靠性结构框图画成如图 1.2-10 所示。

在图 1.2-10 中，由于串联回路中存在着相关事件，故求概率时应需先求事件的集合，再取概率，否则会造成错误。即

第一集合：A、B 同时发生，且 C 不发生；

第二集合：A、C 同时发生，且 B 不发生；

第三集合：B、C 同时发生，且 A 不发生；

第四集合：A、B；A、C；B、C 同时发生。

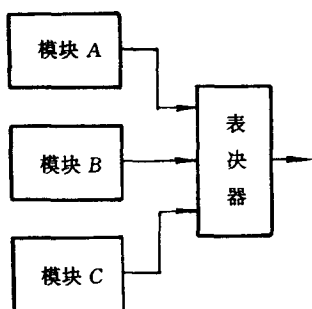


图 1.2-9 2/3 表决系统

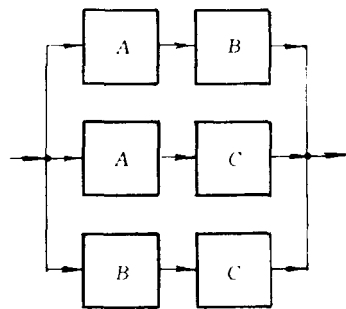


图 1.2-10 2/3 系统串-并结构

第一集合可靠度为

$$\begin{aligned} R_{AB} &= P(A \cap B) \cdot [1 - P(C)] = P(A) \cdot P(B) \cdot [1 - P(C)] \\ &= R^2(1 - R) \end{aligned}$$

第二集合可

$$\begin{aligned} R_{AC} &= P(A \cap C)[1 - P(B)] = P(A) \cdot P(C) \cdot [1 - P(B)] \\ &= R^2(1 - R) \end{aligned}$$

第三集合可靠度为

$$\begin{aligned} R_{BC} &= P(B \cap C)[1 - P(A)] = P(B) \cdot P(C) \cdot [1 - P(A)] \\ &= R^2(1 - R) \end{aligned}$$

第四集合可靠度为

$$\begin{aligned} R_{ABC} &= P[(A \cap B) \cap (A \cap C) \cap (B \cap C)] \\ &= P[A \cap B \cap A \cap C \cap B \cap C] \end{aligned}$$

因为

$$A \cap A = A, B \cap B = B, C \cap C = C$$

所以

$$R_{ABC} = P(A \cap B \cap C) = R^3$$

整个系统的可靠度 $R_{3,2}$ 为

$$\begin{aligned} R_{3,2} &= R_{AB} + R_{AC} + R_{BC} + R_{ABC} \\ &= 3R^2(1 - R) + R^3 \\ &= 3R^2 - 2R^3 \end{aligned}$$

按 2/3 系统的特点，我们知道整个系统要正常，只需任意两个模块正常或者三个均正常。因而可以得到系统的可靠度为

$$R_{n,K} = \sum_{i=K}^n C_n^i R^i (1 - R)^{n-i}$$

系统在计算机中广泛采用，在本书的软件抗干扰设计当中，就应用该系统实现数据的保护与恢复。

微机测控系统可靠性设计任务与方法

微机测控系统的可靠性技术涉及到生产过程的方方面面，不仅仅与设计、制造、检验、安装、维护有关，还与生产管理、质量监控体系、使用人员的专业技术水平与素质有关。我们主要是从技术的角度介绍提高微机测控系统 读5 置角6

近 20 年来, 电子元器件的可靠性提高了三个数量级以上。现在小功率晶体管及中、小规模数字集成电路芯片的实际故障率降到了 $10 \times 10^{-9}/\text{h}$ 。把 $10^{-9}/\text{h}$ 的故障率定义为“菲特”(fit)。由于大规模集成技术的进步, 大规模数字电路以及模拟集成芯片的可靠性与性能也大大提高, 这就为设计高性能、高可靠性的微机测控系统奠定了基础。

电子元器件故障率的降低主要由生产厂家来保证。作为设计与使用者主要是保证所选用的元器件的质量或可靠性指标符合设计要求。为此, 必须采取下列措施:

(1) 严格管理元器件的购置、储运

元器件的质量是主要由厂方的技术、工艺及质量管理体系保证的。采购元器件之前, 应首先对生产厂家的质量信誉有所了解。这可通过厂方提供的有关数据资料获得, 也可以通过调查用户来了解, 必要时可亲自做试验加以检验。厂家一旦选定, 就不应轻易更换, 尽量避免在一台设备中使用不同厂家的同一型号的元器件。

元器件的储运要符合技术条件, 避免意外损伤。入库后需要严格管理, 建立科学的档案资料, 并及时了解使用情况, 尤其发生故障情况。对于存放时间较长的元器件, 在使用前需仔细检查测试。严禁将不同类别、不同型号、不同批号的元器件混合堆放。

(2) 老化、筛选、测试

电子元器件在装机前应经过老化筛选, 淘汰那些质量不佳的元件。老化处理的时间长短与所用元件量、型号、可靠性要求有关, 一般为 24 h 或 48 h。老化时所施用的电气应力(电压或电流等)应等于或略高于额定值, 常为额定值的 110% ~ 120%。老化后测试应注意淘汰那些功耗偏大, 性能指标明显变化或不稳定的元器件。老化前后性能指标保持稳定的是优选的元器件。

(3) 降额使用

所谓降额使用, 就是在低于额定电压和电流条件下使用元器件, 这将能提高元器件的可靠性。

降额使用多用于无源元件(电阻、电容等)、大功率器件、电源模块或大电流高压开关器件等。

降额使用不适用于 TTL 器件, 因为 TTL 电路对工作电压范围要求较严, 不能降额使用。

MOS 型电路也可降压使用, 但因其工作电流十分微小, 失效主要不是功耗发热引起的, 故降额使用对于 MOS 集成电路效果不大。

(4) 选用集成度高的元器件

近年来, 电子元器件的集成化程度越来越高。系统选用集成度高的芯片可减少元器件的数量, 使得印刷电路板布局简单, 减少焊接和连线, 因而大大减少故障率和受干扰的概率。近几年来, 国外芯片厂家研制了许多高性能的、高集成化的专用芯片, 使系统的可靠性大大提高。

和传统的抗干扰技术相比, 选用高集成度的芯片以提高系统的可靠性是抗干扰设计的新趋势, 是抗干扰技术先进性的重要标志。在本书以后各有关章节的介绍中, 对高性能的集成芯片作了详尽介绍, 供读者选用。在微机测控系统中, 应能选用集成芯片而就不选用分离元件, 能选用大规模集成芯片而就不选用小规模集成芯片。这应是可靠性与抗干扰设计的一条准则。

2. 部件及系统级的可靠性措施

部件及系统级的可靠性技术是指功能部件或整个系统在设计、制造、检验等环节所采取的可靠性措施。元器件的可靠性主要取决于元器件制造商, 部件及系统的可靠性则取决于设计者的精心设计。可靠性研究资料表明, 影响计算机可靠性因素, 有 40% 来自电路及系统设计。

关于电路及系统的可靠性技术已有大量研究成果及可行的成功经验。这些成果及经验归纳起来主要从以下七个方面来阐述。

(1) 冗余技术

冗余技术也称容错技术或故障掩盖技术，它是通过增加完成同一功能的并联或备用单元（包括硬件单元或软件单元）数目来提高系统可靠性的一种设计方法。如在电路设计中，对那些容易产生短路的部分，以串联形式复制；对那些容易产生开路的部分，以并联的形式被复制。冗余技术包括硬件冗余、软件冗余、信息冗余、时间冗余等。

硬件冗余是用增加硬件设备的方法，当系统发生故障时，将备份硬件顶替上去，使系统仍能正常工作。一般来说，在电路级、功能单元级、部件级和系统级都可以采用冗余结构。增加的硬件设备，可以采用多重结构、双机系统、表决系统等。硬件冗余结构主要用在高可靠性场合。

(2) 电磁兼容性设计

电磁兼容性是指计算机系统电磁环境中的适应性，即能保持完成规定功能的能力。电磁兼容性设计的目的，使系统既不受外部电磁干扰的影响，也不对其他电子设备产生影响。

由以上看出，电磁兼容性设计是针对电磁环境对系统的干扰问题的研究，所以又称之为抗电磁干扰设计，简称抗干扰设计。根据前面提到的可靠性设计概念，不难看出电磁兼容性设计是可靠性设计的一个重要分支。可靠性技术所指系统的外部条件较为广泛，抗干扰设计仅针对外部电磁环境而言。由于外部电磁环境是影响微机测控系统运行稳定性的主要因素，抗干扰设计是诸多可靠性设计内容中的重点。这就是本书取名为《单片机应用系统抗干扰技术》的原因。当然，本书在介绍抗干扰技术的同时，也讨论了可靠性技术的其他一部分内容，如元器件的选择与降额使用等等。

微机测控系统常用的抗电磁干扰的硬件措施有滤波技术、去耦电路、屏蔽技术、接地技术等；常用的软件措施主要有数字滤波、软件冗余、程序运行监视及故障自动恢复技术等等。

(3) 信息冗余技术

对微机测控系统而言，保护信号信息和重要数据是提高可靠性的重要方面。为了防止系统因故障等原因而丢失信息，常将重要数据或文件多重化，复制一份或多份“拷贝”，并存于不同的空间。一旦某一区间或某一备份被破坏，则自动从其他部分重新复制，使信息得以恢复。不难看出，这种信息冗余技术是“ K/n 可靠性结构模型”的具体应用。

(4) 时间冗余技术

为了提高微机测控系统的可靠性，可以采用重复执行某一操作或某一程序，并将执行结果与前一次的结果进行比较对照来确认系统工作是否正常。只有当两次结果相同时，才被认可，并进行下一步操作。如果两次结果不相同，可以再重复执行一次，当第三次结果与前两次之中的一次相同时，则认为另一结果是偶然故障引起的，应当剔除。如果三次结构均不相同，则初步判定为硬件永久性故障，需进一步检查。

这种办法是用时间为代价来换取可靠性，称为时间冗余技术，俗称重复检测技术。它的优点是不用增加设备的硬件投资，简单易行。其不足之处是减慢了运行速度。因而只能用在执行时间比较宽余，操作步骤又是非常重要的情况。

(5) 故障自动检测与诊断技术

对于复杂系统，为了保证能及时检验出有故障装置或单元模块，以便及时把有用单元替换

上去，就需要对系统进行在线的测试与诊断。这样做的目的有两个：一是为了判定动作或功能的正常性；二是为了及时指出故障部位，缩短维修时间。

(6) 软件可靠性技术

微机运行软件是系统欲实行的各项功能的具体反映，是设计人员高级脑力劳动的结晶。软件的可靠性主要标志是软件是否真实而准确地描述了欲实现的各种功能。因此，对生产工艺的了解熟悉程度直接关系到软件的编写质量。提高软件可靠性的前提条件是设计人员对生产工艺过程的深入了解，并且使软件易读、易测和易修改。

软件可靠性技术尚属探索研究阶段，许多理论问题有待解决，例如软件的可测性问题。

为了提高软件的可靠性，应尽量将软件规范化、标准化和模块化，尽可能把复杂的问题化成若干较为简单明确的小任务。把一个大程序分成若干独立的小模块，这有助于及时发现设计中的不合理部分，而且检查和测试几个小模块要比检查和测试大程序方便得多。

(7) 失效保险技术

有些重要系统，一旦发生故障时希望整个系统应处于安全或保险状态。例如，某些工业自动化装置一旦发生故障，不论性质如何，应自动切断执行设备，以免造成更大事故。

1.4 电磁兼容性设计及常用术语

从电磁场的观点看，我们所处的外部环境是个十分复杂的电磁空间。在这个电磁环境中，有来自大自然的各种放电现象、宇宙空间的各种电磁变化，也有人类利用电和电磁场所进行的各种活动。在科学技术和工业生产高度发展的今天，人类在破坏生态环境的同时，也制造了新的环境污染——“电磁污染”。各种各样的电子设备，微机系统对周围电磁环境的变化都十分敏感。也就是说，空间电磁场的变化对各种应用电子设备都会造成不同程度的干扰。从产生干扰和被干扰的角度可将设备分为三类：一类是本身能产生干扰的干扰源，但却不受其他干扰的影响，如大功率电力设备、工业高频炉等；第二类设备既是干扰源，本身又受其他电磁干扰，如各种通讯设备；第三类设备是基本不干扰其他设备，而以被干扰为主，如小功率电子设备、单片机应用系统等。这类设备应以防护免受干扰为主。

一、电磁兼容性设计及内容

所谓电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility,简称 EMC,俗称抗电磁干扰或抗干扰)是指电子装置在预定的工作环境条件下，既不受周围电磁场的影响，也不影响周围环境，不发生性能变异或误动作，而按设计要求正常工作的能力。电磁兼容性又称电磁相容性。

由此可见，使处于复杂电磁环境中的设备不受周围电磁环境的影响是电磁兼容性技术的核心内容。电磁兼容性设计也就是研究如何设计电子设备使其不受电磁干扰的影响。具体来说，就是研究如何使干扰信号不损害有用信息、不影响系统正常工作前提下与有用信号“和平共处”，互不影响。通俗地说，就是抗干扰设计。

电磁相容性设计主要包括两方面内容：

(1) 对周围电磁干扰物理特性进行估算与测定。

(2) 对设备承受电磁干扰能力，即抗干扰裕度进行分析计算或试验测定。

前者要求对电子设备所处电磁环境进行评估，要研究电磁干扰源的特性及干扰传播途径，

估算和测定出现有环境条件下可能出现的最大干扰强度。在此基础上，采取必要的措施抑制干扰源或者阻断干扰源的传播途径，使干扰强度不至于影响整个系统或设备的正常工作。

后者要求对可能受干扰影响的设备的抗干扰能力作出评价，利用分析计算方法或者试验测量求得设备承受电磁干扰的极限值和噪声敏感度，提高信噪比等。

抗电磁干扰设计要求对上述两方面内容进行比较权衡，寻求效果最佳而成本最低的方案。电磁相容性设计要求可用下列不等式来说明：

$$\text{干扰源强度} \times \text{传播衰减因子} < \text{设备抗干扰能力}$$

“电磁相容性不等式”中的三个因素可以分别或同时采取措施，使不等式成立。设计就是要减小不等式左边两个因子，提高不等式右边的能力（即降低设备对干扰的敏感度），并使效果最佳而代价最小。

二、电磁兼容性标准

由于电子技术的迅速发展和各种电子设备、电气设备的广泛应用，人类所处的电磁环境日益恶化。面对这种情况，对电子、电气设备的抗干扰能力的要求也越来越高。随着世界经济全球化进程的加快，为了促进各种电子产品的交流与发展，对产品的 EMC 性能的要求和检测方法的标准化工作显得更为迫切与重要。

国外电磁兼容性的标准化工作起步较早，目前制订电磁标准的组织和机构很多，有代表性的是国际无线电干扰特别委员会（CISPR）和国际电工委员会（IEC）。国际无线电干扰特别委员会是国际电工委员会内的一个特别技术委员会，具有相对的独立性，其成员除 IEC 各国家委员会外，还包括欧洲广播联盟（EBU）等国际组织，因此，它有别于 IEC 的其他技术委员会。除了 CISPR 外，IEC 内有若干技术委员会也制订了一些适合有关设备的电磁兼容性标准，作为 IEC 出版物。其中有代表性的是 18 技术委员会（TC18）制定的 IEC555 出版物《船舶电气电子设备的电磁兼容性》、第 65 技术委员会（TC65）制定的 IEC801 出版物《工业过程测量和控制装置的电磁兼容性》以及第 77 技术委员会（TC77）制定的一系列出版物。IEC 第 77 技术委员会是 1977 年组建的，其名称为“电气设备（包括网络）之间的电磁兼容性”委员会，这个技术委员会成立的目的是研究 CISPR 研究范围以外的所有电磁兼容性标准问题。

由于影响 EMC 的因素很多，产生机理的认识不同就可能产生标准的差异。不同的标准采用不同的测量方法、参数和仪器，对同一设备测得的数据缺乏可比性。这样对技术和产品的交流是不利的。因此，目前 EMC 标准化发展中的一个趋势是国际统一化，即各国标准都趋向于等效采用国际标准。IEC801 出版物已是广泛采用的国际标准，包括我国在内的许多国家都采用。

下面是 CISPR、TC65 和 TC77 等几个委员会近几年来编制的在国际上很有影响力的标准情况。

1. CISPR（国际无线电干扰特别委员会）

CISPR11（1990 年）工业、科学和医疗射频设备无线电骚扰特性的测量方法及限值

CISPR12（1990 年）车辆、机动船和火花点火发动机驱动装置无线电骚扰特性的测量方法及限值

CISPR13（1990 年）收音和电视接收机及有关设备无线电骚扰特性测量方法及限值

CISPR14（1993 年）家用和类似用途电动、电热器具、电动工具及类似电器的无线电骚扰特性测量方法及限值

CISPR15（1992 年）荧光灯和照明装置无线电骚扰特性测量法及限值

CISPR16—1(1993年) 无线电骚扰和抗扰度测量设备规范
CISPR17 (1981年) 无源无线电线路骚扰滤波器及抑制元件抑制特性的测量方法
CISPR18 (1986年) 架空电力线路和高压设备的无线骚扰特性
CISPR19 (1983年) 采用替代法测量微波炉在 1 GHz 以上频率所产生辐射的导则
CISPR20 (1996年) 声音和电视机及有关设备抗扰度的测量方法及限值
CISPR21 (1985 年) 脉冲噪声对移动无线电通信的骚扰评定其性能降级的方法和提高性能的措施
CISPR22 (1993 年) 信息技术设备的无线电骚扰特性的测量方法及限值
CISPR23 (1987 年) 工业、科学、医疗设备骚扰限值的确定方法

从上述标准出版物名称看,它主要涉及各种设备无线电骚扰特性的测量方法及限值,较少提及抗扰度问题,即使有,也是关于无线电骚扰的抗扰度试验。

2. TC65 (工业过程测量和控制装置专业委员会)

IEC801—1 (1984 年) 总论
IEC801—2 (1991 年) 静电放电要求
IEC801—3 (1992 年) 辐射频率电磁场的抗扰度
IEC801—4 (1988 年) 电快速瞬变脉冲群的要求
IEC801—5 (1991 年草案) 浪涌的抗扰度要求
IEC801—6 (1992年草案) 高于 9 kHz 的、由射频电磁感应所引起的射频传导骚扰的抗扰度

从上述标准出版物名称可以看出 IEC801 属 EMC 基础出版物,具有标准的先进性、基础性和实用性,因此其他专业委员会在标准编制时总是引用 IEC801 标准。

3. TC77 (研究设备、包括网络间的电磁兼容技术委员会)

IEC1000—4—1 (1992 年) 抗扰度试验概述 (源于 IEC801—1)
IEC1000—4—2 (1995 年) 静电放电的抗扰度试验 (源于 IEC801—2)
IEC1000—4—3 (1995 年) 射频辐射电磁场的抗扰度试验 (源于 IEC801—3)
IEC1000—4—4 (1995 年) 电快速瞬变脉冲群的抗扰度试验 (源于 IEC801—4)
IEC1000—4—5 (1995 年) 浪涌的抗扰度试验 (源于 IEC801—5)
IEC1000—4—6 (1995 年) 由射频场感应引起的射频传导干扰的抗扰度试验 (源于 IEC801—6)
IEC1000—4—7 (1991 年) 关于电源系统和设备连接时的谐波测量和测量仪器导论
IEC1000—4—8 (1993 年) 工频磁场的抗扰度试验
IEC1000—4—9 (1993 年) 脉冲磁场的抗扰度试验
IEC1000—4—10 (1993 年) 衰减振荡磁场的抗扰度试验
IEC1000—4—11 (1994 年) 电压跌落、短时中断和电压变化的抗扰度试验
IEC1000—4—12 (1995 年) 振荡波的抗扰度试验

从标准名称上可见 IEC1000—4 中的 1~6 标准起源于 IEC801 标准,但作为面向所有电气与电子设备基础性电磁兼容性标准,又补充进如谐波、磁场、电压波动和衰减振荡等内容。新标准主要针对于抗扰度试验,标准号 IEC1000—4,即《电气和电子设备的电磁兼容性》的第 4 部分 测试技术。

综上所述,在国际上有影响的 CISPR、IEC801 和 IEC1000—4 标准实际上包含了对设备自身所产生的电磁骚扰特性及设备的抗干扰性能两方面的测试,符合对电磁兼容概念的说明。其中 CISPR 所制定的标准,大多数属于设备的骚扰发射测试;而 IEC801 和 IEC1000—4 标准则全部属于设备的抗扰度性能测试。

为了适应国际上对 EMC 标准的要求,促进对外经济技术交流,也为了对当前国内电磁污