

# 测试系统可靠性研究\*

顾志兰<sup>1</sup>, 王 莉<sup>2</sup>

(1. 盐城工学院 广电处, 江苏 盐城 224003 2. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 介绍了测试系统可靠性的概念、国内外测试仪器发展趋势, 研究了提高测试系统精度的方法, 并以实例说明如何提高测试系统的可靠性。

**关键词:** 测试; VXI 仪器; 硬件; 软件; 可靠性

**中图分类号:** TM93

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-532X(2002)02-0008-

04

测试系统的可靠性是指系统在规定的条件下, 规定的时间内完成规定功能测试的能力。测试系统的可靠性事实上是贯穿于 3 个环节: 设计环节、制造环节和使用环节, 任何环节上的失误都可以使系统的可靠性降低甚至被破坏。目前国内对测试系统可靠性已经有了相应的标准体系。国内 1995 年已颁布国家军用标准 GJB2547-95 “装备测试性大纲”测试标准, 使测试工作规范化、标准化。计算机技术与测试技术结合, 使测试仪器进入智能化时代, 使采用误差修正的高精度测量、实时测量和自动测量成为可能。从而形成了两种设计思想: 一是传统智能化仪器, 以测试技术为核心进行仪器设计, 根据测试需要, 采用一个或多个微处理器控制, 实现数据采集、数据处理和图形显示等功能; 二是自动测试系统, 以通用 PC 为基础, 增加测试功能、数据接口和控制接口, 充分利用计算机的图形显示、数据处理、外设接口和软件等功能, 通常仪器用户界面就是计算机界面, 如 Windows 等。

本文涉及的飞机电源测试系统便是以 PC 为基础, 采用外接式计算机, 用 GPIB 总线以及相应的接口板来实现 VXI 系统仪器控制。重点研究测量方法, 被测系统与测量系统之间的连接方式及实现方法, 用计算机软件技术进行数据处理和误差修正以提高测试精度, 实现多功能、多参数自动化测试。

## 1 重视设计环节

设计者的任务是要设计出一套能在规定条件下, 规定时间内完成规定功能的系统。这要求设计者设计的每一个项目的每个环节都应确认它是否满足所规定的条件, 是否能不折不扣地完成规定的功能。任何设计上的疏忽都可能给系统埋下故障的种子, 原理上的不合理有时候不会使故障立即发作, 而是处于潜伏萌芽状态。因此设计者有必要对系统的原理进行反复推敲、认真论证, 必须考虑到测试过程中可能出现的各种干扰因素, 并提出排除干扰提高系统可靠性的方法与步骤。让制造者有明确的目标方案, 不能让制造者做一步试验一步。

## 2 提高测试系统硬件的可靠性

### 2.1 测试仪器与元器件的选择

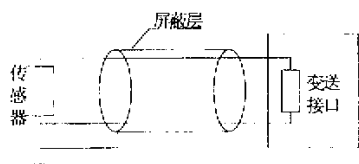
改善元器件的可靠性是提高系统可靠性的重要途径。首先在现有条件下要选择精度级别高的元器件; 其次要避免元器件焊接过程中的损伤, 如过热、过长时间的焊接会造成元器件的损伤, 有些元器件(如霍尔器件)还需用低温焊锡瞬时焊接; 对元器件要进行老化筛选试验、尽量使用功耗小、电流小的元器件等。

### 2.2 在调理电路制作过程中, 应注意的问题

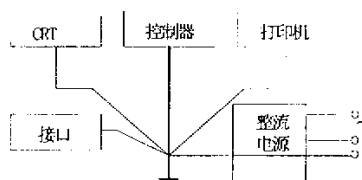
\* 收稿日期: 2001-11-29

作者简介: 顾志兰(1969-), 女, 江苏建湖县人, 硕士, 盐城工学院讲师。

(1)正确接地。接地是抗干扰的主要手段。要防止从接地系统传来的干扰,就必须采用正确的接地方法,防止形成接地环路而引起干扰。通常采用一点接地、并联接地和光电隔离等措施。



(a)一点接地



(b)并联接地

图1 接地示意图

Fig.1 Earthing Sketch Map

(2)采用电源滤波器、浪涌吸收器、交流稳压器和直流稳压电源。在交流电源的输入端串联一个电源滤波器,可以有效地抑制高频干扰的进入。一般采用的是LC构成的各种低通滤波器。在电源线之间及电源线对地之间分别装设浪涌吸收器,可避免由于电源线对地的浪涌电压造成的对设备绝缘的击穿,在某些电网电压变动范围较大的场合,常在电源的交流侧采用交流稳压器,这可衰减暂态冲击、幅度波动和电压脉冲。通常是采用净化电源来作为交流稳压器。采用直流稳压电源可进一步抑制来自交流电网的干扰,还可抑制由于负载波动所造成的电路直流工作电压的波动。

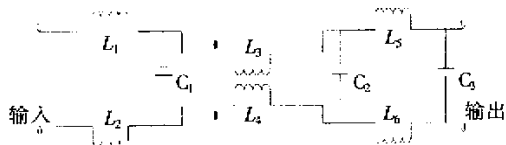


图2 电源滤波器电路基本原理图

Fig.2 The Principle Picture of Power Supply Filter

图2中 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_5$ 、 $L_6$ 为导线绕在磁环上形成的电感。 $L_3$ 、 $L_4$ 组成共模扼流圈,采用双线并绕,同一磁环上绕2个相同匝数的线圈。 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 为旁路电容。 $L_1$ 、 $L_2$ 以强大的阻尼作用大幅度衰减高频信号。 $C_1$ 使高频信号对地短路。 $L_1$ 、 $L_2$ 和 $C_1$ 对直流信号没有影响。 $C_2$ 、 $C_3$ 和 $L_5$ 、 $L_6$ 和 $C_1$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 作用一样。共模干扰主要由共模扼流圈去除。从图2可见,电源线的输入、输出电流产生的磁通在磁环中相互抵消,无电感作用,而电源和地之间的共模干扰在进入扼流圈时方向相同,故电感抑制作用强,去除共模式干扰效果好。

(3)隔离和屏蔽。隔离和屏蔽是抑制干扰耦合的有效措施。典型的隔离器件为隔离变压器和

对于由于接地点远离形成的环路,可采用如图1(a)所示的一点接地方法来切断。对于由于多个设备采用公共地线串联接地而形成的环路,可用如图1(b)所示的并联接地方法来切断。

光电耦合器。由于干扰信号一般电压很大,但电流却很小,所以可采用隔离变压器来减小其对有用信号的影响。为把系统和工业电网隔离开来,消除因公共地电阻引起的耦合,减少负载波动的影响,可在电源变压器和低通滤波器之间加隔离变压器。还可在电源变压器与隔离变压器的初级与次级之间加静电屏蔽层,减少从交流电网引入的高频干扰信号。采用光电耦合器进行数字量的隔离是常用的一种抗干扰方法。在A/D、D/A、数字量输入通道、数字量输出通道进行地电位隔离,可以切断传输接口内外线路之间的电气连接,从而减弱漏抗、地阻抗耦合等传导性干扰的影响。

(4)电路板的抗干扰措施。计算机和电子电路组成的测试系统中有数字、模拟、高频、低频等各种信号,要求印刷电路板(PCB)布线应尽量减少同一电路板上不同部分的各种耦合干扰。

### 2.3 参数说明

对硬件电路接口和元器件选择依据必须有详细的说明。

## 3 提高测试系统软件的可靠性

由于环境影响的复杂性,以及不可预测的因素,上面采用的各种硬件可靠性实现方法未必能完全滤除干扰,因此,必须在软件上考虑采取提高可靠性措施。利用软件提高系统的可靠性主要是根据一定的原则来识别有用信号和干扰信号,并把干扰信号滤除,因此也称作软件滤波。常用的滤波方法有最小二乘法滤波法、加权滤波法、中值滤波法、RC低通数字滤波法、滑动平均滤波法以及滤波系数法等。在飞机电源测试系统软件设计中,主要采用了以下一些措施:

### 3.1 测量数据的编辑

测量数据的编辑是数据预处理中一个很重要的步骤。在测量数据中,往往包含有大量多余的,或由于噪声严重,信号丢失,传感器和测量仪器失灵等引起的错误或无用信息。例如,我们得到了一批缓变参数的测量数据,由于数据采集系统的采样率远远大于数据变化的最高频率,因而许多组数据实际上是多余的。为了减少数据处理的工作量,往往要在这些数据中再进行一次采样(称为二次采样)。

为了使待处理的数据能正确地反映被测参数的特性,并且尽可能减少数据处理的工作量,仅选出少量的有用数据。这样一个过程称为数据编辑。

### 3.2 检出测量数据中的奇异项

测量数据在传输过程中,由于干扰或意外情况,有可能丢掉数据点或出现有较大误差数据点。另外,在记录过程中,由于各种因素,也会使数据丢失。在数据处理时,这些错误的数据点便混在大量正确数据之中,作为正确数据而出现。但是,这些点的数据并不真正代表被测物理参数的实际值,而是在测量过程中偶尔出现的坏点。我们称之为奇异点(项)。这些奇异项的存在,会使数据处理误差大大增加。对于奇异项的处理采用一阶差分方程来处理。

### 3.3 提取测量数据的趋势项

等待处理的数据中,一般包括 2 种分量。其一是周期大于记录或测量长度的频率成分,并随时间呈固定趋势变化,称之为趋势项;其二是周期小于记录或测量长度的频率成分,称之为交变分量。在数据处理时,并不是在任何情况下都需要这 2 种分量。例如,对于直流脉动电压信号,其中的直流分量即平均值电压,是趋势项,高次谐波分量是交变分量。在进行直流脉动频谱分析时,我们只对其中的交变分量(10 Hz ~ 150 kHz 的谐波分量)感兴趣。如果对直流脉动电压进行频谱分析时,较大的直流分量会在信号频谱中表现为  $W=0$  处的一个谱峰,该谱峰会影响其附近的频谱曲线,从而造成较大的误差。为了改善频谱分析的质量,就很有必要去除信号中的趋势项,即直流分量。

提取趋势项的方法有 2 种:平均斜率法和最小二乘法(这里不作详述)。

去除或提取趋势项,是数据处理中的一个很

重要的预处理步骤。它对以后的数据处理,例如频谱分析等会带来相当大的好处。它能消除处理中有可能出现的很大畸变。例如,数据中的趋势项甚至可以使低频部分的频谱完全失去真实性。但是,消除趋势项的工作要做得特别谨慎,只有物理上或数据中的明显趋势项才能消除。

### 3.4 时域平滑滤波

叠加在数据上的随机噪声,在很多情况下可以近似地认为是白噪声。白噪声具有一个很重要的统计特性,即它的统计平均值为零。例如,在计算稳态交流电压值时便采用先求出每周波电压有效值,再求出若干个周波有效值的平均值作为本相交流电压的有效值。

在概率论中我们已经知道,一个平稳的随机过程的统计平均值可以从随机过程一个样本的时域平均求得。即

$$E[n(t)] = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{T_0} n(t) dt \quad (1)$$

式 1 中  $n(t)$ ——随机噪声的一个样本;

$E[n(t)]$ ——对  $n(t)$  取均值;

$T_0$ ——观察时间。

$$\text{其离散形式为 } E[n_k] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_k \quad (2)$$

如果  $\{n_k\}$  是随机白噪声的一个样本,那么显然有

$$E[n_k] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_k = 0 \quad (3)$$

实际上,取无限多个采样点是不可能的。但是,只要  $N$  的数目足够大,就可以近似地用有限个观察点  $N$  的算术平均值来逼近统计平均值。

假设测量数据由 2 部分组成

$$\sum_{k=1}^N x_k = \sum_{k=1}^N s_k + \sum_{k=1}^N n_k \quad (4)$$

式中  $x_k$ ——处理前的数据;

$s_k$ ——有用数据;

$n_k$ ——随机噪声。

并假设在  $N$  次的采样过程中,  $s_k$  的值基本不变,可以近似地看成为一个常数  $C$ 。那么对  $x_k$  取平均值就有

$$\begin{aligned} E\left[\sum_{k=1}^N x_k\right] &= E\left[\sum_{k=1}^N s_k\right] + E\left[\sum_{k=1}^N n_k\right] = \\ E\left[\sum_{k=1}^N s_k\right] + 0 &= C \end{aligned} \quad (5)$$

式 5 表明,利用时域平均可以平滑噪声(严格地说,只能平滑周期小于观察时间的噪声),这就是时域平滑滤波的出发点。

在实际应用中,如果采用单纯移动平均滤波法,则会带来很大的方法误差。由于在所取的平均区段中,数据的真正值(有用值)往往是有变化的,而在单纯移动平滑处理中,不但对噪声进行了平滑,而且也对有用数据的变化部分进行了平滑,从而引入了由于处理本身所产生的方法误差,它随着 $N$ 值的增大而增大。这恰恰和滤波噪声的条件相反( $N$ 值越大,滤波效果越好)。因此,用单纯移动平均方法平滑数据,一般不能达到良好的效果。

### 3.5 频域滤波

在时域上有用信号和噪声是混在一起的。即在每个时刻 $t$ 的值都是有用信号和噪声两个取值叠加,但是,在频域却不是这样,它们两个具有各自不同的统计特性。一般来说,有用信号的频谱总是有限的,而噪声频谱却比有用信号频谱宽得多,甚至在很高频段仍有相当大的值。正是利用这一特性,使用频域滤波方法,来滤除噪声,改善测量数据的质量,或者通过低通或高通滤波,达到分频段进行频谱分析的目的。

为了处理噪声很大的普通交流信号,在计算交流信号频率过程中采用剔除噪声引起的非真正过零点的处理程序(相当于频域滤波)。

### 3.6 软件测试

对所编制软件程序进行严格测试,利用软件仿真产生标准数据,不仅检验测试程序对标准信号的处理能力,重要的是要检验程序对畸变的、含有大量噪声的信号的处理能力。

### 3.7 误差估计(包括硬件、软件连调)

利用多次测量结果与实际值比较,一般来说,软件上只要算法正确,其精度是较高的。但硬件上由于元器件精度或是元器件的温度系数影响,存在每次结果误差不稳定现象。实践中,须采用多次测量结果与被测量比较,求出误差,通过拟合进行误差修正。

### 3.8 参数说明

参考文献:

- [1] 吴维宁. 电力测控系统硬件抗干扰技术的研究[J]. 高电压技术, 1997, 23(2): 30.
- [2] 周若. 测控系统的可靠性[J]. 测控技术, 1997, 16(5): 54.
- [3] 郑仲明. 飞机导航设备自动测试系统[J]. 计算机自动测量与控制, 2000, 8(4): 46.

对软件中所有的输入输出参数要有详细的说明。

## 4 在使用环节上提高系统可靠性

无论是设计者、制造者还是使用者,都应当明确系统的使用条件和功能。设计者有义务满足使用者所提出的条件;使用者也必须遵循设计者所赋予系统的条件。设计者与制造者必须给出详细的设计与制造说明,使用者必须充分了解系统的各项性能及掌握系统的操作规程。

人为误操作一般起因于技术不过关,对系统的性能掌握不充分、操作不当、环境恶劣、效率低下等。

在使用环节上提高系统可靠性有以下几个途径:

- ①对系统的设计要便于监视、控制和维护;
- ②制造工艺、材料要适当,要充分考虑使用环境的特殊性;
- ③对操作人员进行足够的培训,按正确的规程操作,不能擅自进入维护界面;
- ④正确的运输和贮藏,按技术要求定期维护。

## 5 结束语

在测试系统中恰当正确地使用抗干扰措施,可有效地提高系统的精度,增强系统的稳定性。南京航空航天大学航空电源重点实验室选择了抗电磁干扰能力强、性能稳定可靠、精度高的VXI总线仪器开发研制的飞机电源测试系统,设计时充分考虑了各种可能存在的干扰因素,在实现过程中制作了信号调理电路,设计了相关的测试软件,完成了对飞机电源系统的测试,能为国产飞机定型设计提供依据。文中提出的测试系统硬件与软件可靠性措施大多在飞机电源测试系统中实际应用并取得明显效果。实践证明该测试系统性能优良,稳定可靠,精度满足需求。

一种最优的空间索引机制几乎不可能。目前在对 据的索引机制等方面人们正在做大量研究工作。  
多维空间数据对象建立索引以及支持并行存取数

### 参考文献 :

- [ 1 ] Guttman A. R - trees : A Dynamic Index Structure for Spatial Searching[ J ]. In Proc. ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data , 1984 ( 5 ) : 47 - 57.
- [ 2 ] Brinkhoff T , Kriegel H P , Seeger B. Efficient processing of spatial joins using R - trees[ J ]. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data. 1993 22 ( 6 ) : 237 - 246.
- [ 3 ] Roussopoulos N , Kelley S , Vincent F. Nearest Neighbor Queries[ J ]. In Proc. ACM SIGMOD conf. , 1995 ( 5 ) : 71 - 79.
- [ 4 ] Beckmann N , Kriegel H P , Schneider R etc. The R \* tree : An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles[ J ]. In Proc. ACM SIGMOD Intl. Symp. on the Management of Data , 1990 , 19 ( 2 ) : 322 - 331.
- [ 5 ] Leutenegger S , Edgington J , Lopez M. STR : a Simple and Efficient Algorithm for Rtree Packing. In Proc[ J ]. IEEE Intl. Conf. on Data Engineering ( ICDE ) , 1997 ( 13 ) : 497 - 506.
- [ 6 ] Kamel I , Faloutsos C. On Packing R - trees[ J ]. In Proc. Intl. Conf. on Information and Knowledge Management , 1993 , ( 2 ) : 490 - 499.
- [ 7 ] Sellis T K , Roussopoulos N , Faloutsos C. The R + - Trees : A Dynamic Index for Multidimensional Objects[ J ] In Proc. of Intl. Conf. on Very Large Database ( VLDB ) 1988 ( 13 ) : 507 - 518.
- [ 8 ] Güting R H , Schneider M. Realms : A Foundation for Spatial Data Types in Database System[ J ]. Proc. Intl. Symposium on Large Spatial Databases , 1993 ( 3 ) : 14 - 35.

## An Efficient Spatial Index Structure

LI Ping

( Department of Computers Engineering of Yancheng Institute of Technology Jiangsu Yancheng 224003 , China )

**Abstract :** In order to handle spatial data efficiently , a database system needs an index mechanism that will help it retrieve data items quickly. However , traditional index methods are not well suited to access spatial data objects because of the special properties of spatial data. In this paper we introduce one of the most popular index structure-Rtree and its major algorithms. We implement the R - tree indexing in SADEBS which is a spatial analysis database system developed by us.

**Keywords** Spatial data ; Rtree ; Index ; Algorithm ; Minimum bounding rectangle

( 上接第 11 页 )

## The Research for the Reliability of the Testing System

GU Zhi-lan<sup>1</sup> , WANG Li<sup>2</sup>

( 1. Department of Radio and TV of Yancheng Institute of Technology Jiangsu Yancheng 224003 , China ; 2. College of Automation Engineering , Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Jiangsu Nanjing 210016 , China )

**Abstract :** The concept of the reliability of a testing system and the developing trend of testing instruments home and abroad are introduced. The ways to improve the reliability of the testing system are also studied in this paper. Examples are given to illustrate the reliability of the improvement from some aspects , such as in hardware and software.

**Keywords** testing ; VXI ; hardware ; software ; reliability

万方数据