

基于虚拟仪器及 Matlab 的陀螺仪零偏稳定性参数测试

张宪起 鞠莉娜 俞瑛

(中国兵器工业第 214 研究所 蚌埠 233042)

摘 要 介绍了基于虚拟仪器测试技术和 Matlab 软件的陀螺仪性能指标的测试和计算方法,详细阐述了基于 GPB 虚拟仪器测试系统的陀螺仪测试方法,具体介绍了陀螺仪零偏稳定性的动力调谐陀螺计算方法和 Allan 方差计算方法,以及如何用 Matlab 软件来实现。

关键词 虚拟仪器 Matlab 陀螺仪 零偏稳定性 Allan 方差

1 引 言

一般来说,陀螺仪的测试主要包括标度因子、零偏稳定性、随机游走、分辨率、带宽、非线性度、测量范围等性能指标,其中陀螺仪的零偏性能是关键参数,包括零偏值稳定性、零偏重复性、零偏温度灵敏性等。陀螺仪的参数测试需要对陀螺仪进行长时间(几十分钟~几个小时)的重复(几次~几十次)测试,然后对测试得到的数据进行分析 and 计算,从而得到陀螺仪的性能参数指标,因此陀螺仪的测试必须将自动化的测试手段和专业的数学计算软件有机结合才能高效率完成。虚拟仪器测试技术和 Matlab 软件的有机组合可以满足陀螺仪的测试需求,本文主要介绍如何利用虚拟仪器测试技术对陀螺仪进行测试以及如何用 Matlab 软件计算零偏稳定性。

虚拟仪器测试技术代表了现代测试技术和仪器技术发展的方向,虚拟仪器的概念是由美国国家仪器公司(简称 NI)最早提出的,所谓虚拟仪器是说使用者在操作计算机进行测试时,像是在操作一台自己设计的测试仪器一样,可以根据自己的需求,设计自己的仪器系统,可以充分利用计算机技术来实现和扩展仪器的功能,“软件就是仪器”是虚拟仪器概念最简单、最本质的表述。Matlab 是一种适合多学科多工作平台的大型软件,涉

及领域包括数字信号处理、控制系统、神经网络、模糊控制、系统仿真和数据统计等,是一种高级的科学分析与计算软件,被广泛地使用于从个人计算机到超级计算机范围内的各种计算机上。

2 用虚拟仪器测试技术对陀螺仪输出进行测试

虚拟仪器的组成包括硬件和软件两个基本要素,虚拟仪器中硬件的主要功能是获取真实世界中的被测信号,而软件的作用是控制实现数据采集、分析、处理、显示等功能,并将其集成为仪器操作与运行的命令环境。用 GPB 虚拟仪器进行陀螺仪零偏稳定性测试,虚拟仪器的组成主要包括工业控制计算机、GPB 控制卡、HP34401 万用表、LabVIEW 软件、GPB 驱动程序、HP34401 万用表驱动程序。

虚拟仪器测试系统的 GPB 控制卡选用的是 NI 公司的 PCI-GPB 控制卡,其通讯协议是 IEEE488.1,传输速率为 1.5Mb/s,只要具有 GPB 接口的仪器都可以与 PCI-GPB 仪器控制卡进行连接。典型的 GPB 仪器系统均由一台 PC 机,一块 GPB 控制卡和若干台 GPB 仪器通过 GPB 标准总线连接而成,GPB 仪器系统任意两个设备间的最大距离为 4 米,线缆总长度的最大值为 20 米,对于高速应用,最大值最好为 15 米,每条总线

上最多可连接 15 台设备并至少有 2/3 的设备开启,对于高速应用,必须开启所有设备。

虚拟仪器软件开发环境是虚拟仪器技术的重要组成部分,LabV IEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)是实验室虚拟仪器

集成环境的简称,是目前应用最广、发展最快、功能最强的图形化软件开发环境,可以建立直观、灵活、快捷的虚拟仪器测试界面,基于 GPB 虚拟仪器的陀螺仪零偏稳定性测试程序 LabV IEW 软件界面如图 1 所示,框图程序如图 2 所示。



图 1 基于 GPB 虚拟仪器的陀螺仪零偏稳定性测试程序 LabV IEW 软件界面

图 1 中按照陀螺仪零偏稳定性的一般测试要求,测试程序需设置测试总时间、测试点采样间隔、测试数据存储路径及文件名,并可以根据需要

在每次测试时进行设定,同时软件界面指示出当前时刻的测试值、总的测试点数、当前时刻的测试点数以及测试数据的图形显示。

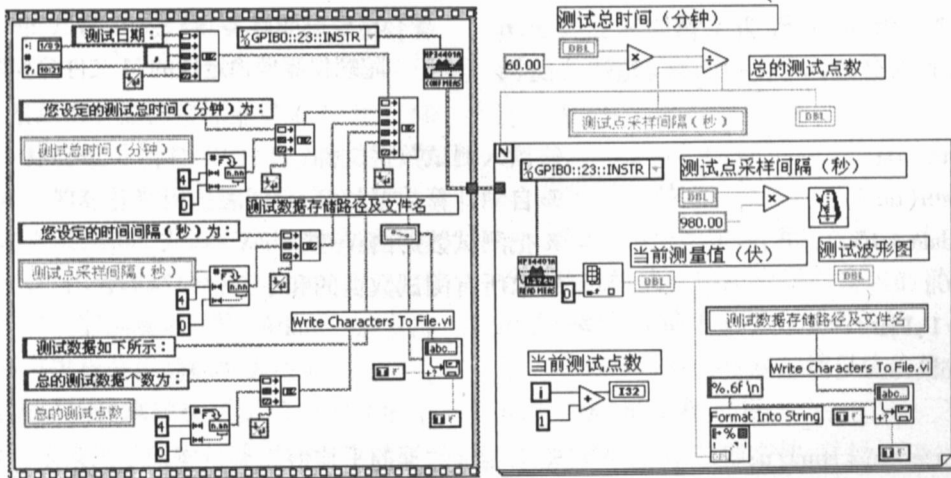


图 2 基于 GPB 虚拟仪器的陀螺仪零偏稳定性测试 LabV IEW 软件框图程序

3 陀螺仪零偏稳定性计算方法

陀螺仪零偏稳定性就是当输入角速率为零时,衡量陀螺仪输出量围绕其均值的离散程度,用规定时间内输出量的标准偏差相应的等效输入角速率表示,也可以称为零漂。零偏稳定性是功率谱密度函数服从 $1/f$ 分布的一类随机噪声过程,这种噪声广泛存在于许多自然现象中,是一种非平稳随机过程。陀螺仪零偏稳定性的算法有两种——动力调谐陀螺算法和 Allan 方差算法,下面将详细介绍这两种算法的数学实现以及如何用 Matlab 软件来实现这两种算法。

3.1 陀螺仪零偏稳定性计算——动力调谐陀螺计算方法

在国军标《惯性导航系统用动力调谐陀螺仪通用规范》中规定了陀螺仪零偏稳定性的算法,即从规定的某个时间点开始至测试终了,将所测电流数据分为 n 个相等的时间间隔,分别求出各间隔中电流的平均值 I_i ,然后由诸 I_i 值计算出平均值和标准偏差。陀螺仪的漂移率计算公式为:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (1-1)$$

$$= S_d \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-2)$$

在公式 1-1 和公式 1-2 中, I_i 为各相等时间间隔力矩器电流平均值 (单位为 mA), \bar{I} 为各 I_i 的平均值 (单位为 mA), S_d 为陀螺的标度因子, n 为测试数据的总个数, 为一次启动陀螺仪随机

漂移率 (单位为 %/h)。

通用规范中规定的动力调谐陀螺仪的输出为电流,但是它同样适用于输出为电压的微机械陀螺仪。下面以微机械陀螺仪为例介绍采用 Matlab 软件计算其零偏稳定性的方法,首先把动力调谐陀螺仪的零偏稳定性计算公式修改为电压形式:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (1-3)$$

$$= S_d \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-4)$$

在公式 1-3 和公式 1-4 中, V_i 为各相等时间间隔测试得到的电压值 (单位为 mV), \bar{V} 为各 V_i 的平均值 (单位为 mV), S_d 为陀螺仪的标度因子, n 为测试数据的总个数, 为一次启动陀螺仪随机漂移率 (单位为 %/h)。用 Matlab 软件计算陀螺仪零偏稳定性的步骤如下:

- 1) 读入测试数据文件,并自动计算出测试数据的长度;
- 2) 把测试得到的 n 点数据求平均;
- 3) 把 n 点数据中的每一个数据与平均值相减,并把相减的结果求平方,再把所有的平方值求和;
- 4) 把平方求和后的值除以 $(n-1)$,再把结果开平方;
- 5) 开平方后的结果与陀螺的标度因子相乘,即得到陀螺的零偏稳定性;
- 6) 绘制陀螺零偏稳定性测试曲线。

陀螺仪零偏稳定性的 M 文件源程序如下所示:

```
load data txt; %读入测试数据文件
n = length(data); %自动计算数据长度
data = data * 1000; %把测试数据由 V 变为 mV
sum i = 0; %求所有测试数据的和
for m = 1: 1: n
    sum i = sum i + data(m);
end
sum i_ average = sum i/n; %求测试数据的平均值
sum ii = 0; %求与平均值差的平方和
for k = 1: 1: n
```

```

sum ii = sum ii + (data(k) - sum i_average) ^2;
end
sum iii = sum ii / (n - 1);           %差的平方和求平均
sum sqr = sqrt( sum iii);           %求开方运算
value = 3600 / 50 * sum sqr         %标度因子 50mV / %S
plot( data / 50);                   %绘制测试数据图形
title( '陀螺仪输入零位偏移数据曲线 ');
xlabel( '时间 (秒) ');
ylabel( '输入偏移量 (度 /秒) ');
grid on;

```

陀螺仪零偏稳定性测试曲线如图 3 所示。

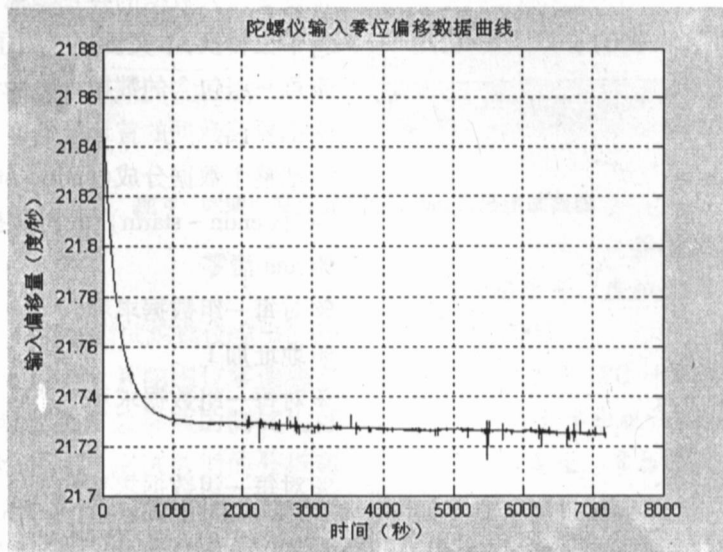


图 3 陀螺仪零偏稳定性测试曲线

3.2 陀螺仪零偏稳定性计算——Allan 方差计算方法

Allan 方差是由美国国家标准局于 20 世纪 60 年代提出的一种时域分析技术,这种方法的特点是能够比较容易的对各种误差源的统计特性进行细致的表征和辨识,Allan 方差可以作为单独的数据分析方法,也可作为频域分析技术的补充,此技术可应用于任何仪器的噪声研究,Allan 方差方法是对陀螺仪噪声进行分析的标准方法。

用 Allan 方差法计算陀螺仪零偏稳定性的基本思想为:假设采集到了陀螺仪输出的 n 个数据,首先要把 n 个数据进行分组,设每一组包含的数据个数为变量 x (x 变量为 Allan 方差曲线的横坐

标, x 的取值范围根据实际需要来定义),数据分组的个数为变量 y (y 是 x 的变量),则 Allan 方差定义为:

$$\sigma_y^2(x) = \frac{1}{2M} \sum_{k=1}^M (\bar{y}_k - \bar{y}_{k-1})^2 \quad (1-5)$$

在公式 1-5 中, \bar{y}_k 和 \bar{y}_{k-1} 为在某一确定 x 值下第 k 组和 $(k-1)$ 组数据测量值的平均值, M 为在某一确定 x 值下数据分组的份数。

用 Matlab 软件计算陀螺仪零偏稳定性 (Allan 方差算法) 的步骤如下:

1) 读入测试数据文件,并设置读入数据的起始坐标和终止坐标 (即可以截取整个数据文件的某一部分进行计算);

2)把读入的测试数据进行分割——分成许多小组,每一小组包含的数据个数为 x 向坐标(每一组包含的数据个数设为 $1 \sim 100$);

3)对每一组包含的数据求平均值(变量名称设为 average);

4)求相邻组数据平均值(average)差的平方和(变量名设为 sum);

5)对差的平方和(sum)求平均后再除以 2

(设变量名设为 value);

6)对 value 开平方,绘制 Allan 方差曲线图,Allan 方差曲线图的最低且平坦处(即 Allan 方差曲线图上斜率为 0 部分的纵坐标)就是 Allan 方差的值。

陀螺仪零偏稳定性 Allan 方差算法的 M 文件源程序如下所示:

```
load data txt; %读入测试数据文件
startn = 1; %设置读入数据的起始坐标
endn = 3600; %设置读入数据的终止坐标
data1 = 3600 * (data/0.050); %单位转换,本文设刻度因子为 50
for m = 1: 1: 100 %每一组包含的数据个数为 1 到 100
n = startn - 1; %把要读数据的首地址给 n
t = (endn - startn) / m; %把整个数据分成 (endn - startn) / m 份
for p = 1: 1: t %对 (endn - startn) / m 份数据逐个求平均
sum = 0; % sum 清零
for j = 1: 1: m %对每一组数据求和
n = n + 1; %地址加 1
sum = sum + data1(n); %对每一组数据求和
end %对每一组数据求平均
ss(p) = sum / m;
end
a = 2; b = 1; ff = 0; % a, b, ff 清零
for k = 1: 1: t - 1
ff = ff + (ss(a) - ss(b)) * (ss(a) - ss(b)); %求相邻数据差的平方和
a = a + 1; b = b + 1;
end
aa(m) = (ff / (t - 1)) / 2; %对平方和求平均并除 2
end
x = [1: 100]; %每一组包含的数据个数为 X 坐标
y = sqrt(aa); %开方运算
semilogx(x, y); %x 方向半对数画曲线
title('陀螺仪零偏稳定性 Allan 方差结果曲线');
xlabel('数组中数据个数');
ylabel('Allan 方差值 (度 / 小时)');
grid on;
```

陀螺仪零偏稳定性 Allan 方差测试曲线如图 4 所示。

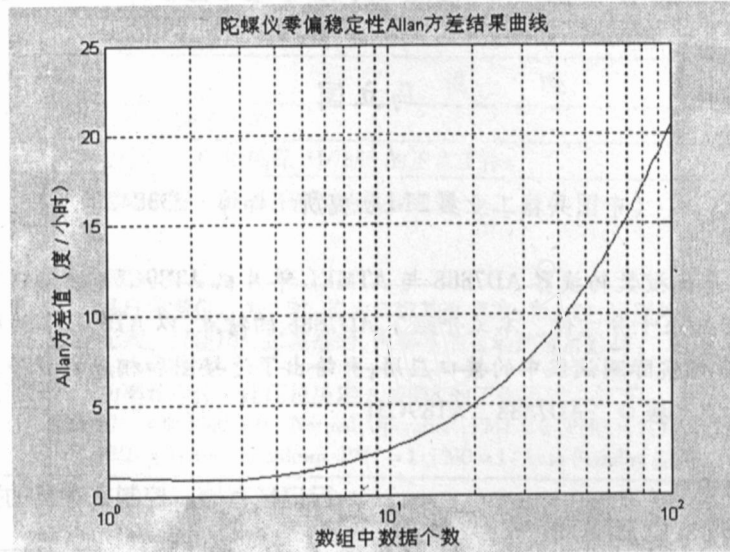


图 4 陀螺仪零偏稳定性 Allan 方差测试曲线

4 结束语

本文给出了用虚拟仪器测试陀螺仪输出的基本方法,以及用 Matlab 软件计算陀螺仪零偏稳定性的算法和程序,陀螺仪大多数参数的测试均可采用虚拟仪器进行数据采集,测试数据的分析和计算可采用 Matlab 软件进行,只要掌握了陀螺仪参数的基本定义和计算公式,运用 Matlab 软件就可以很方便的计算出陀螺的各项性能指标。

参考文献

- 1 杨乐平. 虚拟仪器技术概论. 电子工业出版社, 2003
- 2 李世平. PC 计算机测控技术及应用. 西安电子科技大学出版社, 2003
- 3 苏晓生. 掌握 MATLAB 6.0 及其工程应用. 科学出版社, 2002
- 4 王正林. 精通 MATLAB 7. 电子工业出版社, 2006

高 功 能 开 关 电 源 IC - FA 5 5 2 3

为适应开关电源的低待机(静态)功率,仍然内装高耐压的起动元件和 8 引脚的封装。因 IC 内设置有:由原来外部元件构成的为降低噪音的频率跳动功能,以及监视交流输入电压的功能,故新开发的高功能开关电源,外部元件数减少。其它特点如下:1)内装轻载时频率减小的功能(可降到 1kHz);2)停止闭锁与自动复归过载时的保护功能(FA5523:自动复归;FA5524:停止闭锁);3)配置有过热保护的热敏电阻用端子;4)内装对应于电源端子过电压、电源端子低电压输入的保护功能;5)具备 DIP - 8 或 SOP - 8 两种标准部件。

邓隐北 摘自《富士时报》2006 No 1