

AD598 的 RVDT 数据采集系统 校准方法研究及分析

Calibration Method Research and Analysis for RVDT Data Acquisition System Based on AD598

柯一春 盛承勋/Ke Yichun Sheng Chengxun

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

RVDT(Rotary Variable Differential Transformer)数据采集系统广泛应用于民用航空领域飞行控制系统功能的研究及测试。RVDT 将机械位移信号转换成电信号。数据采集系统接收 RVDT 输出的差分信号,将信号调理、转化并计算后显示。分析了基于 AD598 的 RVDT 数据采集系统的校准方法,并对系统的不确定度来源及分析方法进行了介绍。

关键词:AD598;RVDT;数据采集系统;校准方法

[Abstract] RVDT data acquisition system is widely used in the flight control system research and testing for the field of civil aviation. RVDT transforms the mechanical displacement signal into electrical signal. Data acquisition system receives the differential signal which is exported from RVDT, then displays the signal after being transformed and calculated. The calibration method for RVDT data acquisition system based on AD598 is discussed, then uncertainty source and analysis method are introduced.

[Key words] AD598;RVDT;Data Acquisition System;Calibration Method

0 引言

RVDT(旋转可变差动传感器)数据采集系统(以下简称数据采集系统)在民用飞机研制的机械系统地面模拟试验中应用广泛,也是飞行控制数据采集系统的重要组成部分,其作用是采集驾驶杆、驾驶盘、方向舵脚踏等位移信号及显示舵面位置信号(如方向舵、升降舵、副翼、襟缝翼、扰流板等)并转换成角度值进行显示。

数据采集系统属于专用测试设备,体积庞大,安装拆卸麻烦,复位查找困难,并且无法像通用设备那样搬运到实验室进行校准。另外,目前国内没有该类专用测试设备相应的校准规范。因此,如何保证其校准的正确性,保证其量值溯源的可靠性,关系到项目产品的研制质量。经过多年实践总结,笔者提出了适合数据采集系统的校准方法,为该类专用测试设备的量值溯源提供技术依据,并规范其

校准程序。本文通过对数据采集系统原理的分析研究,就其校准方法及不确定度分析进行探讨。

1 RVDT 及 AD598 简介

RVDT 属于互感式传感器,其原理是将被测量的角位移变化转换成线圈互感的变化,在理想情况下(忽略线圈寄生电容及衔铁损耗),旋转差动变压器的等效电路如图 1 所示。图中, e_1 为一次线圈激励电压; L_1 、 R_1 分别为一次线圈的电感和电阻; M_1 、 M_2 分别为一次线圈与二次线圈间的互感; L_{21} 、 L_{22} 分别为两个二次线圈的电感; R_{21} 、 R_{22} 分别为两个二次线圈的电阻。图 2 为旋转可变差动传感器输出电势与衔铁位移之间的关系图。其中, e_{21} 、 e_{22} 分别为两个二次线圈的输出电势, e_2 为差动输出电势, x 表示衔铁偏离中心位置的距离,即衔铁位移。互感式传感器线圈的输出信号经过测量电路的处理得到最终的输出电压。

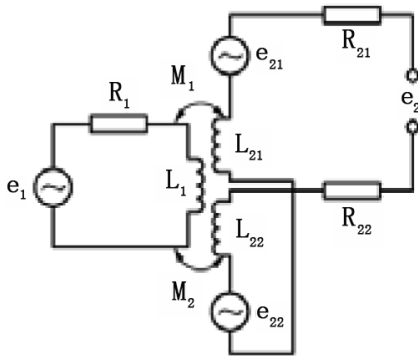


图1 旋转可变差动传感器的等效电路

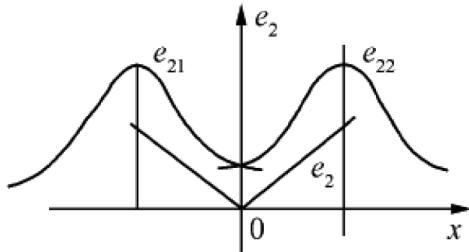


图2 旋转可变差动传感器的输出特性

AD598 是 Analog Device 公司推出的旋转可变差动传感器专用信号处理芯片,原理如图3所示。该芯片主要包含两部分:一部分为正弦波发生器,其频率及幅值由少数外接元件确定;另一部分为差动传感器次级的信号处理部分。通过这一部分产生一个与铁芯位移成正比的直流电压输出信号。

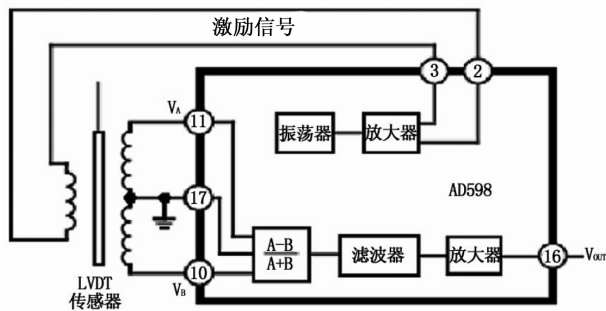


图3 AD598 的结构功能简图

2 系统组成与工作原理

该系统有 12 个独立测试通道,可分别进行 12 路机械角度的测试。RVDT 静态精度为 0.5 级。测试通道最大允许误差为 $\pm 0.6\%$ FS。

RVDT 将接收到的机械角度信号转化为两路正弦信号(V_a 、 V_b)后输出至 AD598 解调模块,AD598 解调模块将输入信号调理为直流电压信号,经低通滤波及信号放大后输入至多通道数据采集卡,后经

A/D 采样进行比例线性环节的电平测量。A/D 采样得到的电压最后根据采样通道上各环节的传递函数解算得到 RVDT 输入的实测机械角度值并显示。数据采集系统原理结构框图如图4所示。

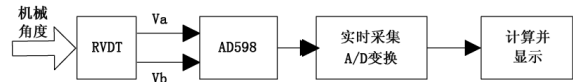


图4 数据采集系统原理结构框图

3 RVDT 输入输出特性

依据 RVDT 的输入(激励电压、频率)及输出特性,以飞机升降舵 RVDT 为例,其理论机械角度值与理论输出电压有效值关系如表1所示。

表1 升降舵 RVDT 输入输出特性

理论机械角度($^{\circ}$)	V_a (V)	V_b (V)
-35	3.203	1.234
-30	3.062	1.375
-25	2.922	1.515
-20	2.781	1.660
-15	2.640	1.797
-10	2.500	1.937
-5	2.359	2.080
0	2.218	2.218
5	2.080	2.359
10	1.937	2.500
15	1.797	2.640
20	1.660	2.781
25	1.515	2.922
30	1.375	3.062
35	1.234	3.203

4 校准方法

4.1 校准设备

校准设备的要求如下:

1) 双通道正弦信号发生器:0.01Hz ~ 1MHz, $\pm 1 \times 10^{-5}$; 10mVrms ~ 5Vrms。

2) 数字万用表: 0Hz ~ 10kHz; 10uVrms ~ 10Vrms, 0.06%。

4.2 校准原理

采用直接测量法,由双通道正弦信号发生器模

拟 RVDT 的输出信号,提供两路正弦信号(频率为 2kHz)至数据采集系统的测试通道,数字万用表同时监测输出正弦信号的电压有效值。由数据采集系统采集记录角度测试数据,并对数据进行处理和分析,得出该测试通道相应校准点的机械角度实测值。系统校准原理如图 5 所示。

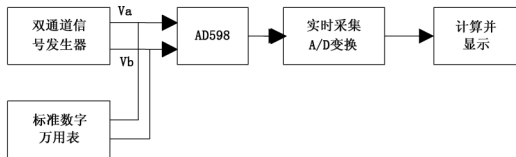


图 5 系统校准原理图

4.3 校准步骤

(1) 按图 5 连接好双通道正弦信号发生器、数字万用表、数据采集系统之间的校准线路,经校准人员和设备使用人员进行自检和互检,确认无误后给系统通电,预热 1 小时。

(2) 依据测试通道的 RVDT 类型选取校准点,以升降舵测试通道为例,按表 1 中的序号选取校准点。

(3) 由双通道正弦信号发生器按表 1 顺序依次输出电压信号到第一号测试通道,正弦电压幅值有效值由数字万用表进行监控。由采集控制计算机控制数据采集系统采集记录机械角度实测值。逐一对所有 RVDT 测试通道进行校准,并分别记录实测数据。

(4) 校准完毕后及时清理工作现场,关闭校准设备电源,按要求填写相关记录。

4.4 实际校准结果

以升降舵 RVDT 测试通道为例,实际校准结果如表 2 所示。

5 示值误差不确定度的分析

本校准系统的标准设备配置如下。

正弦信号发生器 81150A (Agilent 公司),标准数字万用表 8846A (Fluke 公司)。不确定度来源主要有:

(1) 读数重复性引入的标准不确定度分量 u_0

选取一校准点 10° 为评定点,对其进行 n 次测量,求出 n 次测量结果的平均值,实际测量次数为 8 次。按 A 类方法进行评定,用贝塞尔公式计算实验标准偏差 $s(x)$,读数重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u_0 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = 0.004^\circ$$

表 2 升降舵测试通道校准结果

理论机械角度($^\circ$)	实测机械角度($^\circ$)	误差($^\circ$)	最大允许误差($^\circ$)
-35	-34.990	0.010	± 0.420
-30	-30.052	-0.052	
-25	-25.114	-0.114	
-20	-20.127	-0.127	
-15	-15.093	-0.093	
-10	-9.984	0.016	
-5	-4.967	0.033	
0	0.039	0.039	
5	4.975	-0.025	
10	9.900	-0.100	
15	15.006	0.006	
20	20.034	0.034	
25	25.029	0.029	
30	30.056	0.056	
35	34.970	-0.030	

(2) 标准数字万用表年最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_1

由 8846A 的说明书得知,8846A 的交流电压年允许误差限为 $\pm(0.06\% \text{ 测量值} + 0.03\% \text{ 量程})$, 10° 评定点 V_a 的年允许误差 Δ_a 为 0.004 2V, V_b 的年允许误差为 0.004 5V。 35° 点的 AD598 电压输出实测值为 7.875V, -35° 点的实测值为 -7.901V。

引入的误差为:

$$e_1 = \frac{\sqrt{\Delta_a^2 + \Delta_b^2}}{7.875V - (-7.901V)} \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.027^\circ$$

设该分布为均匀分布,置信因子 k_1 取 $\sqrt{3}$, 则

$$u_1 = \frac{e_1}{k_1} = 0.016^\circ$$

(3) 正弦信号发生器短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_2

通过 8846A 对 81150A 正弦信号发生器进行短期(1min)稳定性测量,测量了 8 次,得知 81150A 交流(2V、2kHz)输出电压 1min 内最大值为 $u_{max} = 2.000V$,最小值为 $u_{min} = 1.999V$ 。短期稳定性引入

(下转第 63 页)

些位置的凹坑仅通过工卡的记录去确定位置比较困难或核实位置的时间比较长,且随着飞机老龄化,凹坑也会越来越多,控制起来也就比较困难。这里,建议航空公司针对飞机上的凹坑编写控制程序,在飞机上采用凹坑周围喷涂绿圈(Green Mark)或黄圈(Yellow Mark)的方法进行标识,并制做凹坑布局图。其中,绿圈标识表示此位置凹坑已经进行过评估,不需要后续监控;黄圈标识表示此位置凹坑需要后续的监控,适合时应当及时进行修理。这样做会更加方便航线或定检中对凹坑的监控,配合凹坑布局图可以实现更加准确、快速的凹坑定位,有利于工作开展和飞机凹坑的持久监控。

5 结论

在维护手册特定章节的特定部件,对凹坑的允

(上接第 59 页)

的误差 $e_2 = \frac{1 \times 10^{-3} \text{V}}{7.875 \text{V} - (-7.901 \text{V})} \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.004^\circ$ 。按 A 类评定,用极差法计算,查极差系数表得极差系数 $d_n = 2.85$,则 $u_2 = \frac{e_2}{d_n} = 0.001^\circ$ 。

(4) AD598 引入的标准不确定度分量 u_3

AD598 线性误差为 0.05% FS,引入的误差 $e_3 = 0.05\% \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.035^\circ$,设该分布为均匀分布,置信因子 k_3 取 $\sqrt{3}$,则 $u_3 = \frac{e_3}{k_3} = 0.020^\circ$ 。

(5) AD 转换器引入的标准不确定度分量 u_4

根据 AD 转换器技术指标,其绝对精度为 $\pm 2 \text{mV}$,引入的误差 $e_4 = \frac{2 \times 10^{-3} \text{V}}{7.875 \text{V} - (-7.901 \text{V})} \times [35^\circ - (-35^\circ)] = 0.009^\circ$ 。

设该分布为均匀分布,置信因子 k_4 取 $\sqrt{3}$,则 $u_4 = \frac{e_4}{k_4} = 0.005^\circ$ 。

(6) 环境温度变化引起的标准不确定度分量 u_5

AD598 的增益温漂 α 为 50ppm/ $^\circ\text{C}$,按环境温度最大偏离标准温度 $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ 估计,在评定点 T 处,环境温度变化引入的误差 $e_5 = \Delta t \times \alpha \times T = 10^\circ\text{C} \times 50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \times 10^\circ = 0.005^\circ$,按均匀分布考虑,取包含因子 $k_5 = \sqrt{3}$,则 $u_5 = \frac{e_5}{k_5} = 0.003^\circ$ 。

(7) 合成标准不确定度 u_c

以上各分量独立且互不相关,则测试通道在

许条件可能会有不同的规定,但是其基本原理及评估方法是一致的。在实际维修过程中,应当对凹坑进行仔细的测量、对比和判断。有时较厚蒙皮区域的类似凹坑形状的损伤可能是由外物敲击引起,但如果内表面轮廓没有变化,那这个损伤可以认为是局部横截面发生了变化,不能采用凹坑的评估方法进行处理。总之,对于凹坑损伤应当清晰明了其本质,才更有利于做好飞机结构的维护工作。

参考文献:

[1] Airframe and Powerplant Mechanics Airframe Handbook AC65-15A.

10°时的合成标准不确定度为:

$$u = \sqrt{u_0^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.028^\circ$$

(8) 扩展不确定度 U

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.028^\circ = 0.056^\circ (k=2)$$

由以上数据可知,扩展不确定度值小于测量范围 70°、RVDT 数据采集系统最大允许误差的 1/3,即小于 $(70 \times 0.6\%) / 3 = 0.117^\circ$ 。

6 结论

目前国内还没有 RVDT 传感器数据采集系统校准方面的规范,本文通过对其校准方法的研究,结合不确定度分析,结果表明该方法合理有效,为该类专用测试设备技术指标的确定提供了校准依据,有助于规范地开展 RVDT 数据采集系统的校准工作。

参考文献:

[1] 李稷. RVDT 传感器仿真电路的设计与研究[J]. 民用飞机设计与研究,2011,2:56-59.

[2] 罗幼果,李醒飞. 基于 AD598 的位移传感器的误差研究[J]. 电子测量技术,2007,30(7):189-191.

[3] 刘文杰,张茂青,杨正,等. 线性差动变压器专用集成电路 AD598 及其应用[J]. 电测与仪表,2000,37(11):45-46.

[4] 马建. 数据采集与处理技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2005.

[5] 国家质量技术监督局. JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社,1999.