

# 故障注入技术在机载计算机模拟量采集中的应用

索晓杰<sup>1</sup>, 康晓东<sup>1</sup>, 周青<sup>1</sup>, 张锐<sup>1</sup>, 都云<sup>2</sup>

(1. 中航工业西安航空计算技术研究所, 西安 710065; 2. 西安翻译学院, 西安 710105)

**摘要:** 近年来航空武器的功能性能快速提高, 机载计算机处理能力也越来越强; 接口模块作为处理多种接口信号的重要部件, 在机载计算机中起着至关重要的作用; 文中结合故障注入技术, 在以往常用模拟量采集电路基础上, 设计了模拟量激励产生电路, 实现模拟量采集电路的故障注入, 结合测试软件完成模拟量采集电路的检测, 达到提高机载计算机的测试性的目标。

**关键词:** 模拟量; 故障注入; 接口模块; 机载计算机

## Application of Fault Injection Technique in Analog Signal Acquisition of Airborne Computer

Suo Xiaojie<sup>1</sup>, Kang Xiaodong<sup>1</sup>, Zhou Qing<sup>1</sup>, Zhang Rui<sup>1</sup>, Du Yun<sup>2</sup>

(1. AVIC Computing Technique Research Institute, Xi'an 710065, China;

2. Xi'an FANYI University, Xi'an 710105, China)

**Abstract:** In recent years, The function and performance of aviation weapon is increasing rapidly, Airborne computer processing ability is also becoming stronger. As an important part of processing multiple interface signals, Interface module plays a vital role in airborne computer. Based on the fault injection technology and the widely used analog signal acquisition circuit, Designed the analog signal generating circuit to injection fault for analog signal acquisition circuit, with the test software to complete the detection of the analog signal acquisition circuit, so as to improve the test performance of the airborne computer.

**Keywords:** analog signal; fault Injection; iInterface module; airborne computer

## 0 引言

随着航空武器功能性能的提高, 机载计算机前端输入信号种类越来越多, 机载计算机的测试性、故障检测率越来越受到设计人员重视。航空接口模块作为处理多种接口信号的重要部件, 在机载计算机中起着至关重要的作用。模拟量采集在航空接口模块中使用较为广泛, 采集电路设计比较成熟。然而模拟量采集电路的测试逐渐受到广大设计人员的关注。文中分析了模拟量采集电路工作原理及故障注入技术, 通过设计模拟量产生电路, 实现故障注入的硬件环境, 结合测试软件完成模拟量采集电路的检测。提高系统的自检测率。

## 1 故障注入技术

故障是指系统因设计缺陷或部件失效而导致系统无法正常工作。为了及时发现并隔离机载计算机的故障, 机载计算机设计了机内测试 BIT (Built-in-Test) 实现故障检测和隔离, 因此要求 BIT 有较高的检测覆盖率和正确性<sup>[1]</sup>。

故障注入是指按照事先选定的故障模型, 采用某种策略人为地将故障引入目标系统中, 通过观察和分析系统在被注入故障情况下的行为, 可以为试验者提供所需的定性、定量的评价结果<sup>[2]</sup>。

故障注入作为一种有效的测试技术手段, 是系统测试性、

安全性及功能验证研究的重要方面, 也是验证工作得以实现的基础<sup>[3]</sup>。故障注入大致分为基于软件、硬件和仿真 3 种。基于硬件的故障注入主要是探针法和插入法。基于软件的故障注入主要应用于程序变异和估算程序中错误数量的播种模型。基于仿真的故障注入, 是建立在仿真系统的基础上, 即接受测试验证的目标系统是一个仿真系统, 是一种仿真实现方法。

对电路进行故障注入, 选用硬件故障注入技术。注入故障需要仿真卡实现, 仿真卡能够产生被测对象的输入激励, 且该激励能够导致被测对象故障的产品或电路。仿真卡有独立设计、集成设计和混合设计。故障注入系统也可分为外部注入和内部注入两种。两种故障注入系统结构图如图 1 所示。

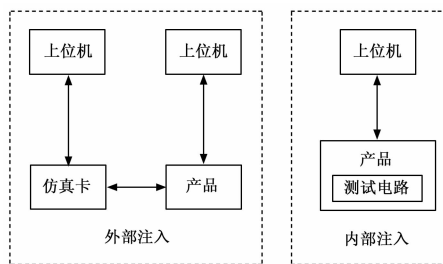


图 1 故障注入系统结构图

## 2 模拟量采集电路设计

航空接口是机载环境中用到的各种接口资源的总称, 接口模块是指机载计算机中实现多种接口资源的电路单元。常用的模拟信号、离散信号、ARINC429 总线数据、MIL-STD-1

收稿日期: 2015-08-21; 修回日期: 2015-09-16。

作者简介: 索晓杰(1986-), 男, 陕西渭南人, 工学硕士, 主要从事航空接口设计与测控技术方向的研究。

1553B 总线数据、ARINC659 总线数据等数据、信号, 机载计算机都需要接口处理单元进行采集、解析, 然后计算机才可使用。文中主要介绍模拟信号的采集过程及故障注入方法。

接口模块中的模拟量一般包含直流模拟量和交流模拟量<sup>[4]</sup>两种, 其中直流模拟量又有单端输入和双端输入两种。模拟量转换为数字量的处理过程如图 2 所示。

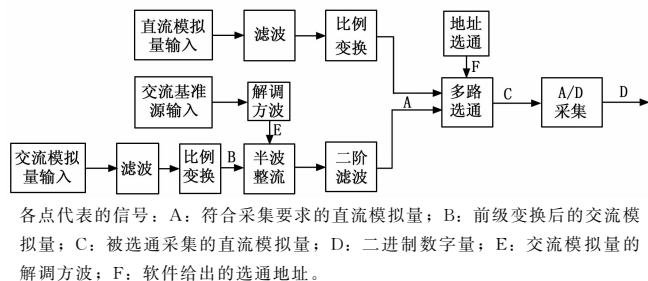


图 2 模拟量转换为数字量的处理流程

由图 2 可知, 直流模拟量和交流模拟量都需经过滤波、比例变换等步骤。在到达图中 A 点时, 两种模拟量均被调整变换为符合多路选通输入及 A/D 采集电路电平要求的直流模拟量信号。

图 2 中设计使用了一路 A/D 采集电路, 用多路选通电路控制 A/D 采集电路某一刻对那路模拟量进行采集, 这种设计可以节省硬件资源, 降低成本。但是由于多路选通开关及 A/D 转换均有耗时, 因此在设计中必须根据系统的要求(采集时间, 电路板面积, 成本)来设计 A/D 采集的路数及转换时间。

A/D 采集电路的转换精度, 需要根据系统要求选用不同的 A/D 采集芯片。

### 2.1 直流模拟量

如图 2 所示, 直流模拟量输入后, 首先经过滤波和比例变换电路, 将直流模拟量调整为符合多路选通电路及 A/D 采集电路电压要求的直流信号。然后根据上层应用要求, 地址选通电路将需要采集的直流模拟量信号选通送给 A/D 采集电路。A/D 采集电路将直流信号转换为二进制数据送给应用软件使用。

### 2.2 交流模拟量

如图 2 所示, 交流模拟量输入后, 首先经过滤波和比例变换电路, 完成交流模拟量的初步调整。解调方波是通过交流基准源提取的方波信号, 用以作为半波整流电路的参考门限。半波整流电路依据解调方波将交流模拟量的正半波或负半波输出给二阶滤波, 通过二阶滤波后调整为直流模拟量进入多路选通器。然后根据上层应用要求, 地址选通电路将需要采集的模拟量信号选通送给 A/D 采集电路。A/D 采集电路将直流信号转换为二进制数据送给应用软件使用。

## 3 故障注入技术的应用

机内测试 BIT (Built-in-Test) 是系统和设备内部提供的检测、隔离故障的自动测试能力, 是复杂系统或设备整体设计、分系统设计、状态监测、故障诊断和维修决策等方面的关键共性技术。机载计算机中的航空接口模块主要完成航空接口信号的处理, 模拟量在航空接口模块中使用较多。为了提高测试覆盖率, 采用故障注入技术, 用软硬件结合的方法对模拟量采集电路进行故障注入测试, 文中设计了模拟量激励电路, 通过自测试软件, 完成模拟量采集电路的测试, 提高测试覆盖率。

### 3.1 模拟量激励电路设计

模拟量激励产生电路由 D/A 转换电路组成, 如图 3 所示。D/A 转换器选用 DA7547 集成芯片, 该器件可输出两路独立的模拟量信号。本设计中, 一路用于产生交流模拟量信号, 一路用于产生直流模拟量信号。工作参数的简要描述见表 1, 其中交流激励源采用 7 V, 1 800 Hz。

电路中设计有 RC 电路用于相位补偿, 以确保运放电路的稳定输出和采样电路的同步解调。开关电路控制激励信号数据的输出。

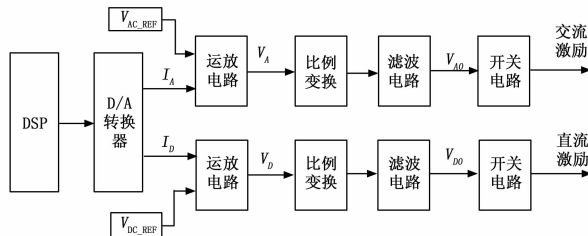


图 3 激励产生电路框图

表 1 D/A 转换器工作参数

|      | 直流激励           |     | 交流激励       |     |
|------|----------------|-----|------------|-----|
| 输出范围 | ±10 V 输出       |     | 最大有效值: 7 V |     |
| 数据位  | 12 位           |     |            |     |
| 数据偏差 | ±6LSB          |     |            |     |
| 数据定义 | 电压             | 数据  | 电压         | 数据  |
|      | +10 V          | FFF | +7 V       | FFF |
|      | 0 V            | 800 | +4 V       | C91 |
|      | -10 V          | 000 | 0 V        | 800 |
| 转换时间 | (25 °C) 1.5 μS |     |            |     |

如图 3,  $R_F$  是 D/A 芯片内部的固有反馈电阻,  $V_{AC\_REF}$  为交流参考源,  $V_{DC\_REF}$  为直流参考源, 比例变换系数为  $K$  (直流模拟量与交流模拟量比例系数可不相同)。则交流模拟量激励的输出电压  $V_{AO}$  见公式 (1)。

$$V_{AO} = KV_A = K(I_A R_F - V_{AC\_REF}) \quad (1)$$

直流模拟量激励的输出电压  $V_{DO}$  见公式 (2):

$$V_{DO} = KV_D = K(I_D R_F - V_{DC\_REF}) \quad (2)$$

直流模拟量激励信号和交流激励信号的控制开关电路采用相同的控制方式, 采用继电器实现, 当继电器通电, 开关闭合, 模拟量输出。输出的模拟量作为采集电路的输入, 进行采集, 然后根据采集结果判断模拟量采集电路是否正常工作。

### 3.2 测试软件设计

系统中设计了模拟量测试软件, 在系统上电进行 BIT 检测或人为启动 BIT 检测的情况下, 模拟量测试软件会自动执行测试用例, 驱动模拟量激励电路产生模拟信号, 根据模拟量采集电路采集到的结果, 判断模拟量采集电路是否正常工作。测试软件流程如图 4 所示。

为了不影系统正常工作, BIT 仅在系统上电或者根据系统要求执行。

## 4 系统测试

模拟量采集系统采用 DSP+FPGA+接口电路实现, 接口电路实现电压的变换, FPGA 完成逻辑译码, DSP 执行采集软 (下转第 312 页)