

## 航空测试用程控信号源设计

## Design of Program Controlled Signal Generator for Aviation Testing

西北工业大学自动化学院

吴小华 卢金金 董延军

[摘要] 针对目前用于航空测试仪器校准的信号源现状,提出了一种基于PC104总线和直接数字频率合成技术的程控信号源设计方案。介绍了整个信号源系统的构成与工作原理,并详细叙述了其中DDS信号发生模块和功率放大模块的硬件设计。

关键词: 航空测试 DDS PC104总线 信号源

[ABSTRACT] According to the present conditions of signal generator for the aviation testing instrument calibration, a design plan for signal generator based on PC104 bus and direct digital synthesize(DDS) is put forward. The structure and function principle of whole signal generator is introduced, and the hardware design of DDS signal generation module and power amplified module are discussed in detail.

Keywords: Aviation testing DDS PC104 bus Signal generator

飞机供电系统是机载设备安全稳定工作的重要保障,在其生产和检修过程中都需要对其电气参数进行测试。目前,在航空领域用于测试仪器校准的特种测试信号源存在体积大、精度低、可靠性差等问题。不仅投资大,占地面积大,维护成本高,操作人员危险性高,而且大部分相关产品性能测试系统及软件都是专用的,具有很大的局限性。

随着飞机供电系统测试标准的制定日益完善和不断发展,以及航空电子设备的不断增加,向新一代飞机电气参数测试仪的校准提出了更高的要求,同时,在一些航空电气电子装备检测中,为适应不同的用电设备环境,也需要频率、幅度都能由计算机来调整的程控信号源。

近些年来,基于直接数字频率合成(Direct Digital Synthesize,DDS)技术的信号发生器在正弦信号源中的应用变得日益广泛。与以往的射频信号源、锁相信号源和模拟频率合成信号源相比较,其频率分辨率高,范围宽,并且体积小,功耗低,易于程序控制。目前,在工程应用领域采用DDS技术的信号源大多集中在高

频、低压小信号方面。所以将DDS技术应用于航空领域具有较大的理论意义和工程价值。

1 信号源的设计与实现<sup>[1-2]</sup>

本课题来源于航空工业集团某研究所,主要完成对该研究所设计的航空电气特性参数测试仪的校准。信号源将模拟飞机交流供电系统可能出现的正常的和非正常的供电状态,从而保证测试仪能够及时检测出飞机电源系统的供电品质是否达到规定要求,保证机载设备的供电安全,并为供电系统的地面检修提供依据。根据GJB 181A-2003《飞机供电特性》的相关要求,信号源的功能要求包括:

(1) 电压输出范围为0~180V(均方根值),精度为0.5%;

(2) 频率输出范围为320~800Hz,精度为0.1Hz;

(3) 瞬态参数包括过压、欠压、过频、欠频、电压调制、频率调制以及电压浪涌(电压瞬变)和频率瞬变。

## 1.1 系统硬件设计

系统硬件有4个模块:PC104 CPU模块、DDS信号发生模块、功率放大模块以及电源模块,具体的硬件设计如图1所示。系统采用嵌入式结构,PC104 CPU模块作为控制核心,由薄膜键盘输入字符通过PC104总线将相关控制字写入DDS芯片对应的寄存器端口;DDS信号发生模块是系统的核心部分,产生的初始信号通过功率放大、隔离后得到所需的测试信号。

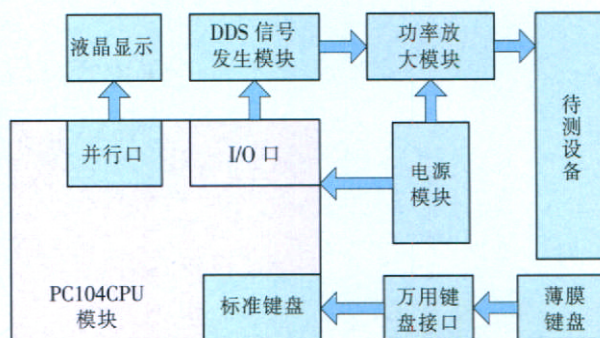


图1 系统硬件结构

Fig.1 Structure of system hardware

### 1.1.1 DDS信号发生模块设计

DDS模块是整个信号源系统的核心部分,作为系统的初始信号合成模块,模块的结构如图2所示。模块在硬件上按照PC104标准模板尺寸(96mm×90mm)进行设计,结构紧凑,通用性强,插于PC104总线插槽上即可方便地使用。硬件结构主要由接口电路、译码控制电路以及幅度控制电路组成。

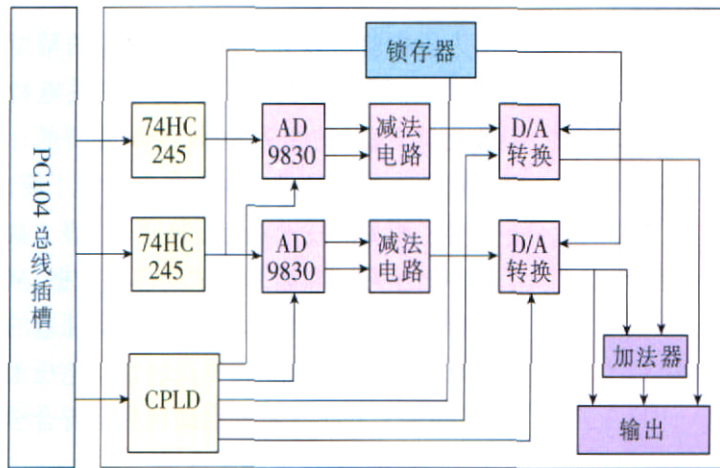


图2 DDS模块结构

Fig.2 Structure of DDS module

AD9830芯片是AD公司生产的DDS集成芯片,输出电压的幅值可以通过芯片的参考输入电压和外部电阻来进行调节,而输出信号频率、相位的控制则可以通过实时修改芯片内的频率控制字和相位控制字来完成。输出信号的幅度控制由D/A芯片AD7541来实现。为减少软件开销,提高系统的可靠性,采用CPLD来完成各芯片的地址译码和控制信号的编译,增加电路的可靠性,减小整个系统的体积,同时也可减轻计算机的负担,减少线路损耗。

### 1.1.2 功率放大模块设计<sup>[3-5]</sup>

功率放大电路主要将DDS信号模块提供的初级信号先调理后再功率放大,最后隔离输出所需的测试信号。根据课题技术要求,输出信号最大幅值180V(有效值),即电压峰值为 $180\sqrt{2}$  255V。按照设计要求,电压输出精度为0.5%。文献[3]提出了以PC104作为设计开发平台,采用DDS技术设计信号发生器,但功率变换主电路采用电压电流双闭环瞬时值反馈控制方式,所以整个系统是一个有差的调节系统,突

加突卸负载前后,输出电压不一致,空载到满载切换时,有电压降落,不能实现无差调节。这样,输出信号的线性度和分辨率得不到保证。

本设计采用两级放大+负反馈调节的框架,如图3所示,前级放大电路主要完成输入信号的隔直流、调理放大等功能;负反馈电路由电压采样电路、电压跟随器及反相器组成;加法器选用高精度运放芯片

AD707,前级电路输出和负反馈电路的输出构成加法电路;每个芯片端都设计了调零电路和去耦电容,后级放大电路选用APEX高压芯片PA95作为主运算放大器,PA95输入电压范围为 $\pm 50 \sim \pm 450V$ ,芯片的最大输出电流为100mA,最大失调电压仅为5mV,最大偏置电流为2mA,符合电路设计要求。

选用高压集成运放芯片不仅节省了系统的体积,更提高了整个功率放大模块的稳定性,同时在具体的电路中,为芯片PA95设计了调零电路,减少了最后输出信号的偏移。同时为了提高电路在不同负载(容性、感性和电抗性负载)时的承受能力,在电路的后级设计了隔离电路,提高了电路的稳定性。

为了最大程度地保证输出信号的对称

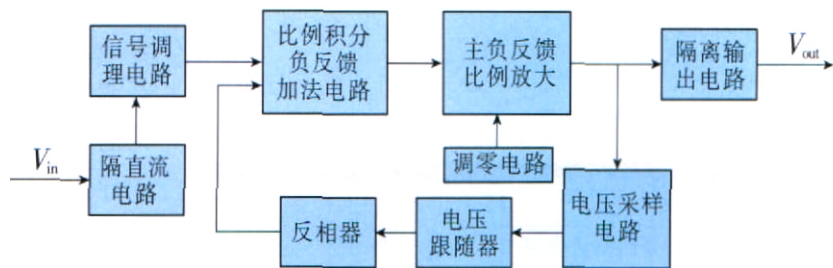


图3 功率放大电路原理

Fig.3 Principle of power amplified circuit

性,主运放的供电电源的设计采用2路完全独立的可调整线性电源,分别调整至相同输出后再组成主运放的正、负供电电源。

### 1.2 系统软件设计

系统软件主要由PC104 CPU模块的控制及显示部分和DDS信号合成模块的端口读写2部分组成,整个模块采用C语言编程。程序流程如图4所示。考虑到本系统没有过多的调度算法和多任务的属性,只涉及到总线端口的读写操作,且现有商用的操作系统价格昂贵,如果采用上述操作系统性价比不高,所以系统采用DOS环境下对系统输出的实时输入和显示。

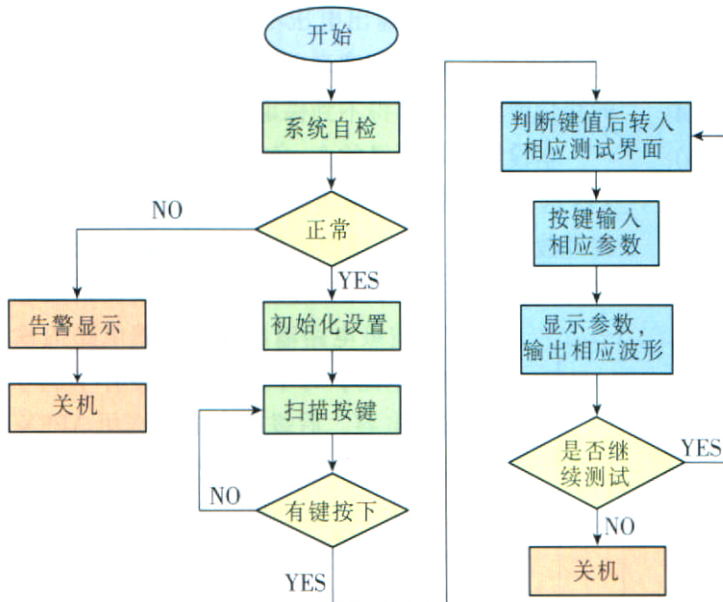


图 4 信号源软件流程

Fig.4 Flowchart of signal generator software

本课题选用 PC104 技术开发信号源, 与用普通单片机开发设备相比有以下优点:

(1) 程序可移植性强, 程序用 C 语言编程, 可在 PC 机上先把程序调试通过, 然后直接移植在 PC104 上, 鉴于 PC104 本身就是一种计算机, 也可在上面直接进行程序调试。

表 1 信号输出值测量数据

电压测试(0~180V)/V		误差/%
信号输出值	专用测量设备测量值	
10	10.036	0.360
50	50.172	0.344
100	100.388	0.388
115	115.530	0.461
150	150.694	0.463
180	180.815	0.453
频率测试(0~800Hz)/Hz		误差/%
信号输出值	专用测量设备测量值	
10	10.016	0.160
100	100.009	0.090
200	200.004	0.002
400	400.001	0
600	600.000	0
800	799.998	0

(2) 开发周期短, 由于硬件本身已经模块化, 只需根据需要选择相应的模块, 然后把各个模块按标准接口接起来即可进行调试, 因此节省了相当的硬件设计工作量, 维护起来也比较容易。而在开发调试过程中, 软件程序调试有一定的工作量。

## 2 测试结果

为了检验所设计的测试信号源的精度和稳定性, 按照 GJB 5189-2003 《飞机供电特性参数测试方法》的相关要求, 某研究所的计量部门使用专用测量设备对信号源进行了测试, 并出具了相关的技术鉴定合格报告。表 1 摘取了其中电压测试和频率测试的部分数据, 从表中可以看出信号源精度较高, 达到了课题的设计要求。而电压调制、频率调制以及电压浪涌(电压瞬变)和频率瞬变测试也完全符合国军标 GJB 181A-2003 的相关标准。

## 3 结束语

在实际应用中, 与传统测试模拟频率合成信号源相比, 基于 DDS 技术的数字合成信号源具有明显的优势。除了易于实现数字显示频率, 频率分辨率高之外, 它还能在全数字模式控制下对输出频率和相位进行调整, 更有利于实现信号的同步。目前, 本课题所设计的信号源已顺利通过相关部门的鉴定, 交付使用, 工作指标完全符合 GJB 181A-2003 的相关要求, 电压和频率精度都达到设计要求。该信号源体现了良好的实用性与较高的性价比, 完全可以满足各种测试环境的要求。随着数字技术的进一步发展以及 DDS 技术的不断改进, 采用 DDS 产生线性调频信号及其他复杂信号的技术日益受到重视。

## 参 考 文 献

- [1] GJB 181A-2003. 飞机供电特性. 国防科学技术工业委员会, 2003.
- [2] GJB 5189-2003. 飞机供电特性参数测试方法. 国防科学技术工业委员会, 2003.
- [3] 叶建峰, 基于 PC/104 的机载设备用试验电源的研制[D]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [4] 代忠, 樊晓光. 航空交流供电系统测试信号源的设计与实现. 中国测试技术, 2006, 32(3).
- [5] 郭德淳. 直接数字频率合成技术研究与设计[D]. 北京: 北京理工大学, 2001.

(责编 依然)