

# 飞机电源系统综合实验平台设计与实现

郝世勇<sup>1</sup> 程政<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院青岛校区 青岛 266041; 2. 南昌航空大学 南昌 330063)

**摘要:** 针对军用飞机电源系统种类多,为保证在一种实验平台上实现多种电源装备的实验训练,满足机务维护人员能力培训的要求,研究设计了飞机电源系统综合实验平台。实验平台采用综合化、通用化的设计思路,综合运用计算机测控、虚拟仪器等现代测试技术,可实现飞机主电源系统、二次电源、控制保护类附件的性能测试实验,并具备新型设备的拓展实验能力。通过开展实验教学,证明该实验平台功能完善,性能稳定,设计方案合理,能够满足飞机电源系统通用性实验要求,具有很强的推广应用价值。

**关键词:** 虚拟仪器;飞机电源;实验系统

**中图分类号:** TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## Design and realization of universal experiment for aircraft electric power supply system

Hao Shiyong<sup>1</sup> Cheng Zheng<sup>2</sup>

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy Qingdao Branch, Qingdao 266041, China; 2. Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** Despite various aircraft power supply system, the needs for maintenance personnel capacity training require a universal experiment system that can carry out multiple aircraft power equipments. Comprehensive and universal design method and modern measurement technology, such as computer measurement, virtual instruments, etc are used in the experiment system. The experiment system can take experiment on aircraft main power system, secondary electrical power source, power system accessories, etc. The result shows that the universal experiment has a fine and reliable performance and reach to the design requirement.

**Keywords:** virtual instruments; aircraft power supply; experiment system

### 1 引言

飞机电源系统是飞机系统中重要的平台系统,负责向飞机所有用电设备提供符合标准的交直流电能<sup>[1]</sup>。军用飞机因其种类多,电源系统多样性、复杂性、技术差异性特点突出。因此,开展有针对性的航空电源系统实验教学的难度较大。通过综合分析航空电源实验测试需求,采取综合化及拓展性设计方式,研制了飞机电源系统综合实验平台。经过几年的使用,实验平台功能完善、工作可靠、拓展性好,较好的满足了实践教学<sup>[2]</sup>的需求,对于提高受训人员的专业能力起到了重要作用。

### 2 系统总体结构

飞机电源系统通用型实验平台所测试的对象应能够兼

顾飞机电源系统的主要设备,包括主发电机、二次电源、应急电源、电源控制保护装置等。从测试资源分析,其主要资源包括拖动系统、功率电源系统、信号电源系统、测试及控制系统、负载系统这几个主要方面。传统的实验测试平台大多是单一设计,其测试资源,尤其是测试电路不具备扩展性。为打破这一设计难题,实验系统的各类资源在设计中充分考虑了多设备的兼容性,尤其是连接控制电路的扩展性。

实验平台由变频拖动机组、增速齿轮箱、接口法兰及散热装置、实验操作台、交直流通用负载箱等主要部分组成,系统组成原理如图1所示。

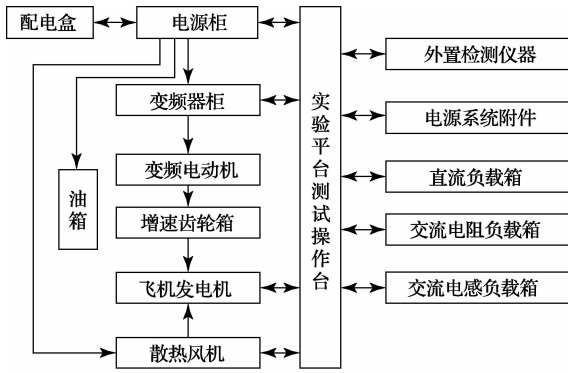


图 1 综合实验平台组成原理

### 3 硬件设计

通用实验平台的硬件部分将电源系统实验测试所需的功率信号资源、检测资源、控制资源及航空实装资源等有效融合,通过综合化、模块化、通用化的设计,提供软件系统所需的硬件支持。

#### 3.1 发电机拖动系统

飞机发电机拖动系统的功能是模拟飞机发动机的拖动转速,用于拖动飞机发电机使其高速旋转<sup>[3]</sup>。目前,常见的

高速拖动系统有两大类。一是直流拖动系统;二是交流变频拖动系统。直流拖动系统虽然具有调速精度高、调节速度快等优势,但是价格昂贵,建设成本高;交流变频拖动系统的调速精度虽然比直流拖动低,但仍可较好地满足航空电源训练系统的建设需求。结合现有基础,选用了变频拖动系统,并利用开关量及 0~5 V 的电压信号作为控制信号,实现变频拖动系统的计算机远程控制。拖动系统总功率 45 kW,能够产生 0~10 000 r/min 的拖动转速,在 2 000~10 000 r/min 转速范围内的转速误差不超过 1%,基本能够覆盖大多数航空发电机的拖动转速需求。

#### 3.2 实验平台测试操作台

操作台是综合实验平台的重要组成部分,也是核心部分,负责所有外部资源的连接及控制,飞机电源系统及外部附件的连接接口,被测信号的检测,电源参数的分析、计算及显示等<sup>[4]</sup>。

测试操作台主要由通用接口板、继电器组、接触器组、电压传感器组、电流传感器组、内部控制电路、通用测量接口板、工业控制计算机、多功能模拟量采集卡、开关量采集卡、开关量控制卡、触摸显示器、可调直流电源、可调交流电源、可调电阻器组等部分组成<sup>[5-6]</sup>。其组成原理如图 2 所示。

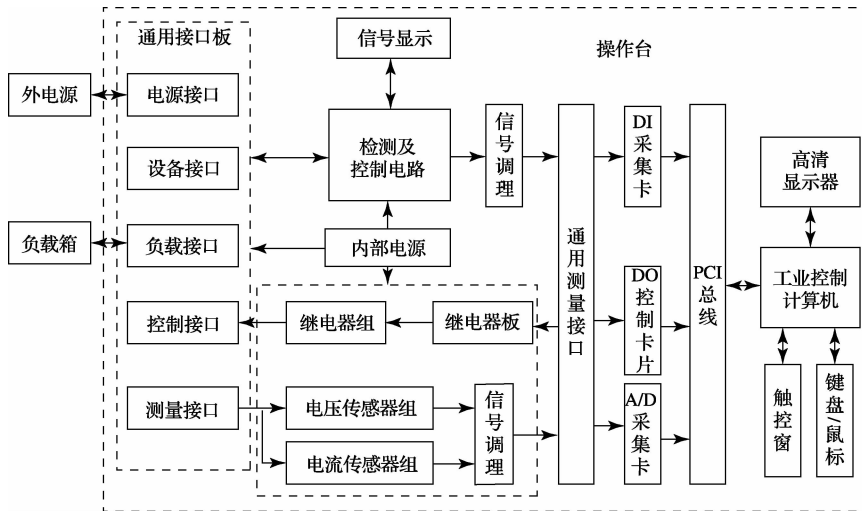


图 2 实验平台操作台组成原理

图中,通用接口板负责外部资源的接入,由于航空电源系统的各种组成部件种类多,接口差异大,为了能够使实验平台尽可能满足“一机多能”的要求,实验系统的接口全部设计为敞开式,类似“大面包板”,每一条支路既是连接点,也是测试点。

通用测量接口是实现检测信号与计算机控制系统有效连接的关键部件,由于接口板上的测量点、控制点较多,如果将信号全部直接引入计算机,就要求计算机测控系统提供足够丰富的板卡资源。操作台可提供 34 路电压传感器和 34 路电流传感器的模拟量输入,而计算机板卡只能

提供 32 路信号测量功能,因此,通用测量接口就可以根据测试不同的不同,合理连接对应信号,并进行软件配置,即可实现规定的实验测试任务。

#### 3.3 综合负载箱

负载箱的作用是模拟飞机负载设备将电源系统产生的电能进行消耗,以便测试电源系统的性能。实验平台中共包含交流、直流两类负载箱。其中直流负载电压最大为 30 V,额定功率为 20 kW,并具有多档位负载提供功能;交流负载(三相)电压最大为 120 V,额定功率为 30 kVA,功率因数最低可达 0.5,并具有多档位负载选择功能。

### 4 软件设计

综合实验平台的软件部分是系统的控制核心,负责对硬件系统进行有效管理,为了能够与通用化、综合化、可扩展的硬件测试平台相适应,平台的软件部分充分体现了虚拟仪器的设计思想<sup>[7-8]</sup>,即“软件即仪器”,整个系统基于 LabVIEW8.2 进行开发。在设计中,充分利用了 LabVIEW 面向对象编程、多线程等特点<sup>[9]</sup>,实现了软件系统的通用化。

#### 4.1 模拟量采集模块

模拟量采集模块负责将传感器输出的电压信号转变为实际的测量信号,通过控制 PCI8335A 多功能数据采集

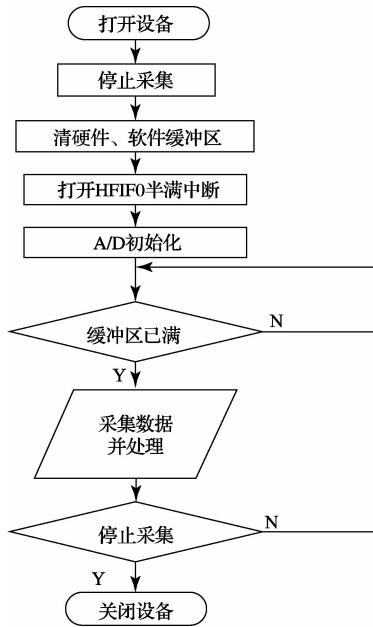


图3 模拟量采集模块软件流程

卡的工作状态,得到所需的信号。模拟量采集模块的软件流程如图3所示。

#### 4.2 数据分析显示模块

数据分析及显示模块主要负责将采集卡采集的数字量信号通过分析、处理、解算,还原为源信号的真实数值并进行显示。由于在硬件系统中,仅设置了交直流通用型电压、电流传感器,因此,反应电源特性的参数,如电压有效值、频率、相位差、纹波、直流分量、畸变系数、电压不平衡、波形等所有参数必需经过数字信号处理后才能得出,而不同于传统的硬件仪表测量。同时,为了适应通用化设计,每一个数据分析模块均可根据实际电路连接状态,设置合适的控制及显示通道。

#### 4.3 开关量输入输出模块

开关量输入输出模块负责所有开关量的控制与检测。其中,开关量输出控制采取状态机模式,避免了程序循环访问硬件造成的系统资源占用过高的问题;开关量输入采集模块采用了累积判断的方式,避免干扰造成开关量状态的误动作。

### 5 综合实验平台运行结果

为满足教学实验训练需求,设计开发了多套应用程序,可适应直流主电源系统、交流主电源系统、二次电源系统、应急电源系统、电源系统控制装置、电源系统保护装置及各类附件的实操训练功能。

#### 5.1 某型飞机直流主电源系统实验结果

利用航空电源综合测试系统、直流发电机、发电机控制盒、反流断路器、电缆等组成某型飞机直流主电源系统,通过模拟发电机正常起动、运转、性能调整及故障排除等方式,测量、研究、分析某型飞机直流主电源系统及其附件的性能及技术数据<sup>[10]</sup>。试验的工作界面如图4所示。

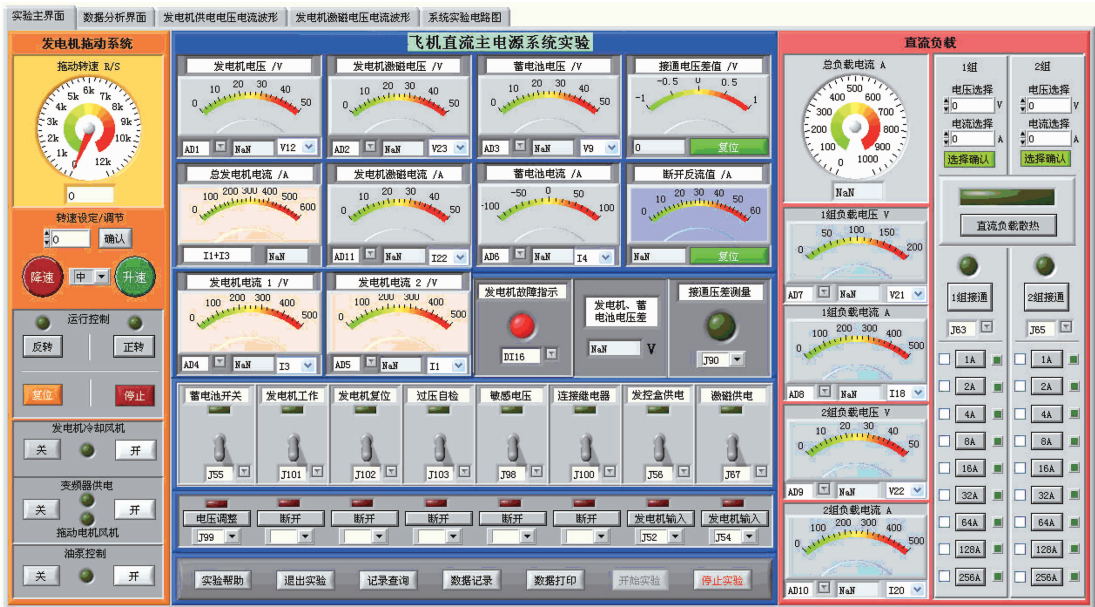


图4 某型飞机直流电源系统试验界面

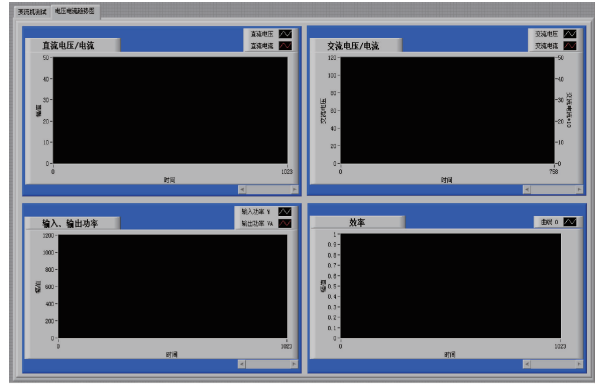
在试验操作界面上,左侧为拖动台控制区,右侧为负载控制区、中央上部为参数显示区、中央下部为操作控制区。除此界面外,还包括有数据分析、发电机电压电流波形、发电机激磁电压电流波形、试验电路图 4 个子界面供使用人员参考分析。

### 5.2 二次电源实验

该实验主要是针对飞机二次电源系统,通过开展对典型的二次电源系统设备——旋转变流机性能的测试,分析研究二次电源设备的原理、结构及工作特性。该实验的试验界面见图 5 所示。图(a)为实验主界面,左侧上方是试验



(a)实验主界面



(b)辅助界面

图 5 二次电源实验界面

原理接线图、下方是电压电流波形图、右侧上方是性能参数、右侧下方是负载控制区;图(b)是辅助界面,主要负责整个实验过程的参数记录,监控试验过程。

### 5.3 电源系统控制保护设备实验

该试验针对电源系统保护类附件开展测试工作。该实验软件针对交流过压保护器开展实验,通过原理分析、性能测试及调整,提供参训人员对电源保护类附件的检修能力。实验界面见图 6 所示。

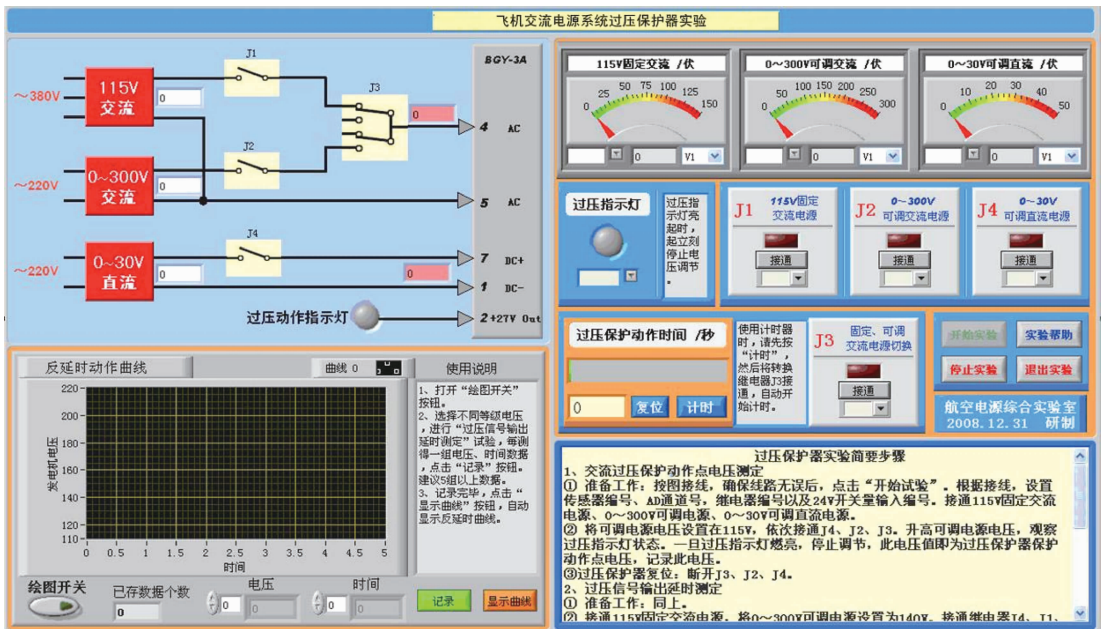


图 6 电源系统控制保护附件实验界面

## 6 结 论

设计了一种飞机电源系统综合实验平台与传统封闭式电源实验平台相比,充分发挥了计算机测控系统强大的软硬件集成功能。实验平台采用了交流变频调速技术、虚拟仪器技术、虚拟仪器、软硬件抗干扰等现代测控技术,保

证了系统的可靠性、稳定性和准确性。目前,该实验平台已完成验收,并在部队院校多层次、多任务的实验教学过程中得以应用。应用情况表明,该实验平台工作可靠、功能完善,能够及时根据装备技术发展,拓展实验项目。平台的通用性、扩展性强,达到了设计目标,满足了机务部队电气专业维护人员一二线检测技术培训的任务要求。

## 参考文献

- [1] 张晓斌,程玺菱,雷涛. 基于 PXI 总线的飞机供电测试系统设计[J]. 自动化测试, 2011, 19(5): 1024-1026.
- [2] 司剑飞,郝世勇,战祥新. 飞机地面电源供电品质在线测试系统设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(7): 116-118.
- [3] 郝世勇,战祥新,司剑飞,等. 基于 PXI 总线的飞机交直流电源综合试验系统研究[J]. 现代电子技术, 2014, 37(11): 121-123.
- [4] 陈福彬,柴海莉,高晶敏. 基于 LabVIEW 的自动化测试平台设计[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(11): 9-14.
- [5] 罗秋风,肖前贵. 飞控 PXI 型自动测试系统的实现[J]. 计算机测量与控制, 2011(9): 768-771.
- [6] 董廷君,郭鹏,张晓斌. 基于 LabVIEW 的汇流条功率控制器测试系统设计[J]. 测控技术, 2012(11): 92-95.
- [7] 包贵浩,苏东林,戴飞,等. 飞机油量表电磁兼容半实物仿真预测平台设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(2): 152-158.
- [8] 朱维娜,林敏. 基于随机共振和人工鱼群算法的微弱信号智能检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(11): 2467-2468.
- [9] 张黎,蔡亮. 基于 LabVIEW 的虚拟信号发生器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(1): 82-85.
- [10] 张树团,王晶,皮之军. 通用航空电源综合测试系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2011(5): 48-49.

## 作者简介

郝世勇, 1969 年出生, 硕士研究生, 高工。主要研究方向为航空电源、航空电气系统。

(上接第 43 页)

- [4] ONDEL O, BOUTLEUX E, VENET P. A decision system for electrolytic capacitors diagnosis [C]// Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual. IEEE, 2004, 6: 4360-4364.
- [5] AMARAL A M R. Use of ESR to predict failure of output filtering capacitors in boost converters [C]// 2004 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. IEEE, 2004, 2: 1309-1314.
- [6] IMAM A M, HABETLER T G, HARLEY R G, et al. Failure prediction of electrolytic capacitor using DSP methods [C]// Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. APEC 2005.
- [7] IMAM A M, DIVAN D M, HARLEY R G, et al. Real-time condition monitoring of the electrolytic capacitors for power electronics applications [C]// Applied Power Electronics Conference, APEC 2007-Twenty Second Annual IEEE. IEEE, 2007: 1057-1061.
- [8] 陈宇,陈怀海,李赞澄,等. 基于时变 AR 模型和小波变换的时变参数识别[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(7): 20-23.
- [9] AMARAL A M R. A simple offline technique for evaluating the condition of aluminum-electrolytic-capacitors [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(8): 3230-3237.
- [10] 马皓,毛兴云,徐德鸿. 兼顾电感电流连续导通和断续运行模式的 DC/DC 电路建模和参数辨识[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(5): 64-69.
- [11] CHEN Y M, WU H C, CHOU M W, et al. Online failure prediction of the electrolytic capacitor for LC filter of switching-mode power converters [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1): 400-406.

## 作者简介

贾云涛, 1986 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向电学计量和科研等。

E-mail: 549372021@qq.com