

# 某型飞机武器控制系统执行组件测试仪

吕晓峰<sup>1</sup>, 马 羚<sup>1</sup>, 李学章<sup>2</sup>, 贺英政<sup>1</sup>

(1. 海军航空大学, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 92975 部队, 浙江 宁波 315000)

**摘要:** 某型飞机武器控制系统执行组件测试设备在测试诊断过程中, 操作复杂且需人工排除故障, 因此测试诊断效率低下; 为了提高测试诊断效率, 设计了某型飞机武器控制系统执行组件测试仪; 首先, 基于执行组件接口信号分析, 获得测试需求, 设计了执行组件测试仪的系统结构和工作原理; 然后, 搭建了以 STC89C51 单片机为控制核心, 具有 8 路开关量输入和输出功能的硬件电路, 并且在 Keil 编程环境下采用 C 语言开发了包含测试和诊断模块的系统软件; 最后, 采用多路测试技术和故障字典法, 设置执行组件故障, 并通过测试仪的按键控制模块模拟所有可能的测试情况, 验证了执行组件测试仪的有效性; 实际使用表明, 该测试仪可自动故障定位到元器件级, 有效提高测试诊断效率。

**关键词:** 执行组件; 测试仪; 单片机; 故障诊断

## Test Equipment for Executing Component in a Certain Airborne Weapon Control System

Lü Xiaofeng<sup>1</sup>, Ma Ling<sup>1</sup>, Li Xuezhang<sup>2</sup>, He Yingzheng<sup>1</sup>

(1. Naval Aviation University, Yantai 264001, China; 2. 92975 Troops of PLA, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** In the process of test and diagnosis, the test equipment for execution component in a certain airborne weapon control system needs complex operation and manual troubleshooting, so the efficiency of test and diagnosis is low. To improve test efficiency, a new test equipment for executing component in a certain airborne weapon control system is designed. First, According to the test requirement based on the relationship with input and output of the executing component, the system structure and working principle of the test equipment are designed. Then, The circuit of test system based on STC89C51 microcontroller which has the function of receiving and sending eight-channel switching signal is built, and the software based on Keil development environment for the STC89C51 microcontroller is designed with C-language, which contains test and diagnostic modules. Last, The multi-channel test technology and fault dictionary method are used, the execution component failures are set, and all possible test conditions through the key control module of the test equipment are simulated. All of above verify the validity of the test equipment. The practical application shows that the test equipment can automatically locate faults to the component level and effectively improve the efficiency of test and diagnosis.

**Keywords:** executing component; test equipment; microcontroller; fault diagnosis

## 0 引言

某型飞机武器控制系统主要用于管理和控制所携带的武器和相关悬挂投放装置。执行组件是该型武器控制系统的核心部件, 其主要功能是: 用于武器发射逻辑信号的控制, 涉及 8 路开关量信号的输入输出<sup>[1-2]</sup>。

随机配备的执行组件测试设备在测试的过程中, 需人工逐步操作与判读, 操作复杂且需人工排除故障, 测试诊断效率较低。因此, 为了提高测试诊断效率, 设计了基于 STC89C51 单片机、多路测试技术和故障字典法的某型飞机武器控制系统执行组件测试仪<sup>[3-5]</sup>。

## 1 系统结构与原理

某型武器控制系统执行组件需要测试的信号涉及 8 路

开关量信号, 信号属性为“+27 V/空”。测试原理是: 向执行组件发送 8 路开关量, 接收其输出的 8 路开关量, 将接收到的电压值与标准电压值比较, 进行检测和诊断, 判断武器控制系统执行组件逻辑的正确性。

测试仪系统结构设计分为硬件设计和软件设计两部分。硬件设计包括按键控制模块、单片机模块、开关量输入/输出模块、电源模块和液晶显示屏; 软件设计分为测试模块和诊断模块。系统结构设计方案如图 1 所示。

测试仪工作原理: 一方面由按键控制模块控制单片机模块模拟武器按发射逻辑发出 8 路数字信号, 经开关量输出模块转换为 8 路开关量信号, 输入到执行组件; 另一方面接收执行组件返回的 8 路开关量信号, 经开关量输入模块转换为数字信号, 输入到单片机模块, 整个系统由电源模块进行供电, 软件测试模块进行控制。软件诊断模块根据输入至单片机模块的电压值与标准值进行对比, 从而进行故障诊断, 同时将采集到电压值和诊断的结果实时显示。

收稿日期: 2020-03-09; 修回日期: 2020-04-03。

作者简介: 吕晓峰(1982-), 男, 江苏盐城人, 硕士, 讲师, 主要从事航空装备测试与诊断方向的研究。

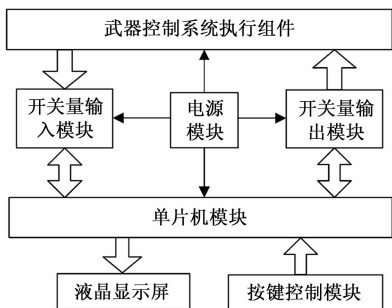


图 1 测试仪系统结构设计方案

## 2 硬件设计

测试仪的硬件主要分为按键控制模块、单片机模块、开关量输入/输出模块、电源模块和液晶显示屏。测试仪的核心是单片机模块，一方面通过控制开关量输出模块中的输出开关量转换电路和电压放大电路完成开关量转换和输出，另一方面通过控制开关量输入模块中的数据缓冲电路和 A/D 转换电路实现对开关量的采集以及电压数据的处理，并根据电路逻辑顺序及标准值做出判断。硬件电路的控制原理如图 2 所示。

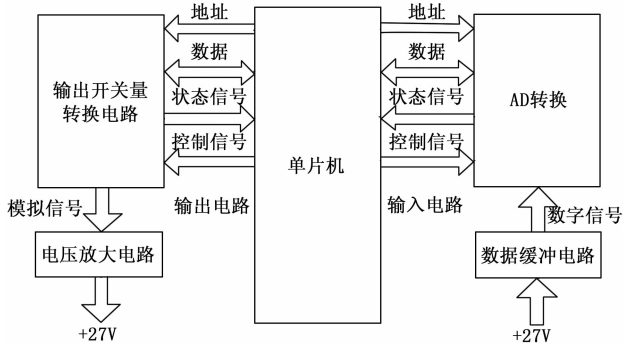


图 2 硬件电路的控制原理图

### 2.1 单片机模块

该模块采用 STC89C51 单片机作为硬件电路的核心处理器，通过控制单片机的 I/O 接口来模拟发射信号，同样利用 I/O 接口来接收测试电压信号，对数据进行 AD 转换处理后做出判断。

STC89C51 的控制电路如图 3 所示，电路共有 40 个引脚，大致可分为 4 类：电源、时钟、控制和 I/O 引脚<sup>[6]</sup>。STC89C51 的 I/O 引脚共有 4 个 8 位并行 I/O 端口：P0、P1、P2、P3 口，共 32 个引脚，主要用于控制 8 路开关量的输入输出控制和液晶显示屏的显示。其中引脚 P0.0~P0.7 用于控制液晶显示屏显示 8 位数据，引脚 P1.0~P1.7 用于控制 AD 转换电路采集 8 路开关量信号，引脚 P2.3~P2.7 和 P3.0~P3.2 用于控制输出开关量转换电路输出 8 路开关量信号。

### 2.2 开关量输入/输出模块

开关量的输入输出控制以 STC89C51 单片机为核心处理器，实现测试仪的开关量输入输出功能以及数据处理

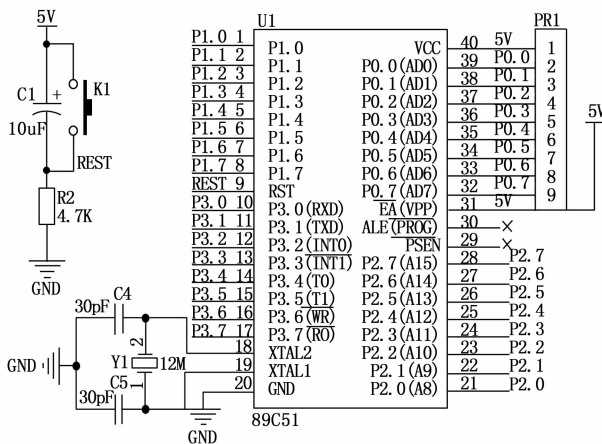


图 3 单片机控制电路图

功能。

#### 2.2.1 开关量输入模块

该模块主要是为了完成对 8 路电压值的采集，首先将执行组件输出的 8 路开关量信号，输入到数据缓存放大电路进行缓冲和放大，然后再经过 AD 转换电路将模拟信号转换为数字信号，最后送入到 STC89C51 单片机中进行处理。

通过分析，该模块若直接利用 ADC0809 芯片采集被测电压，量程达不到要求且电压误差较大，故需要对采集的电压值进行放大缓冲，具备从模拟信号转换成数字信号的功能，开关量输入电路原理如图 4 所示。

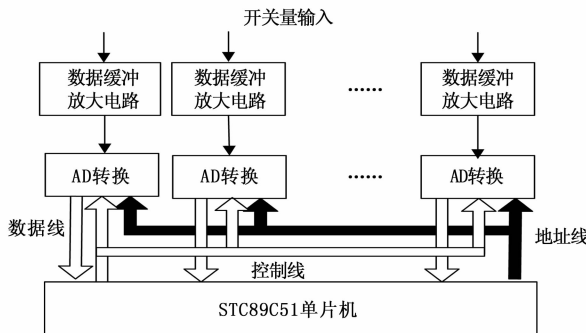


图 4 开关量输入模块原理图

1) 数据缓冲放大电路。该电路主要完成对采集信号的处理，首先信号经过十倍衰减电路，将电压降为原来的十分之一，然后经过功能性放大电路，即将输入到 LM324 四运算放大器的信号完成十倍放大，从而实现数据电压值缓冲和放大，减少信号失真、抗干扰，确保电压值的实时性和准确性。

2) AD 转换电路。ADC0809 芯片是 8 位逐次逼近式 AD 模数转换器，具有 28 个管脚<sup>[7]</sup>，主要用来采集数据缓冲放大电路输入的 8 个模拟信号电压值，通过采用逐次逼近法完成 8 路数据的 AD 转换后，将数据需及时传送给 STC89C51 单片机进行数据处理，其电路原理如图 5 所示。

其中引脚 IN0~IN7 为 8 路开关量信号输入端，引脚 P1.0~P1.7 为 8 路数字信号输出端。

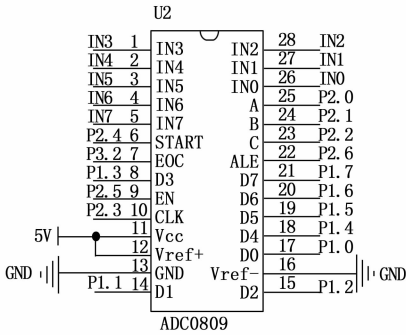


图 5 ADC0809 电路原理图

### 2.2.2 开关量输出模块

测试仪需要模拟武器发射的时序信号发送至执行组件，因此该模块主要是完成模拟开关量的发送，主要涉及两个方面：一是由于单片机不能直接驱动继电器，需要对其输出的数字信号进行电压放大，实现单片机控制继电器；二是单片机提供的电压只有 +5 V，而执行组件工作需要 +27 V，所以需设计电压放大电路，完成对执行组件的供电。另外由于测试仪还具备对数据处理做出判断，并在液晶屏上进行动态显示，所以在输出电路的设计上需要考虑液晶屏控制及显示，其设计原理如图 6 所示。

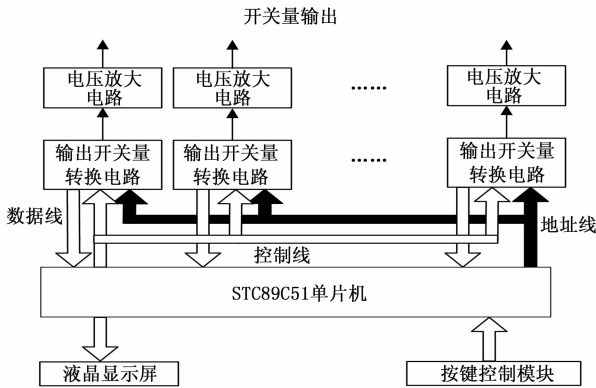


图 6 开关量输出电路原理图

1) 输出开关量转换电路。该电路主要实现开关量的输出和转换，包含按键控制模块和三极管放大电路两部分。

按键控制模块主要实现开关量的输出，通过模拟武器发射过程中所需要的时序信号，将按键产生的数字信号送到单片机后进行处理。该模块分为手动模式和自动模式。手动模式需在手动方式下按武器发射时序按压相应的按键 SW1~SW8；自动模式只需按下按键 SW9，武器发射时序信号将自动送到单片机。具体设计原理如图 7 所示。

三极管放大电路主要将单片机输出的控制信号实现电流和功率放大，使通过继电器电流能够驱动继电器，完成对继电器的控制。

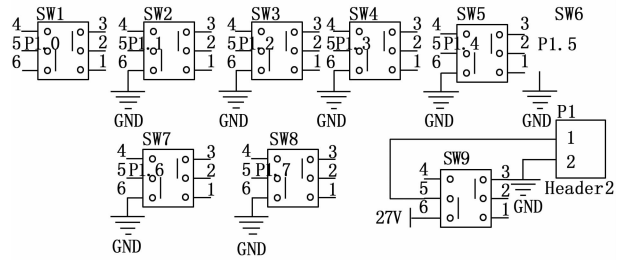


图 7 按键控制模块

三极管放大电路的设计原理如图 8 所示。其工作原理为单片机输出的小电流控制信号 P2.7 至三极管 Q8 的基极，使 Q8 导通，继电器 U10 引脚 3 接地，而引脚 2 接入 +27 V 大功率电源，从而继电器电磁线圈通电控制 U10 工作，实现对继电器的控制。

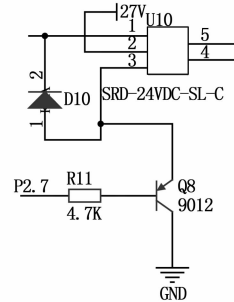


图 8 三极管电压放大电路

2) 电压放大电路。单片机所用电压均为 +5 V，而继电器需要输出开关量 +28 V，不满足测试需求，所以要对电压进行放大，在放大的过程中电流功率均会损失，在设计电压放大电路时，最重要的是考虑输出的电流是否满足测试的需要，由于执行组件本身功耗较小，满足测试的需求。

输出电路的电压放大电路设计原理如图 9 所示。该电路主要基于 LM2587 开关式电压调节器，当输入电压经过端口 P2 输入时，电流通过 LM2587 电压调节器，在次级电感线圈 L1 处充电，把电能储存在电感线圈中；当端口 P2 断开时，次级电感线圈 L1 通过二极管 D1 将其存储的电能释放到电容器 C3、C4 和 C5 中，这样次级电感线圈 L1 在端

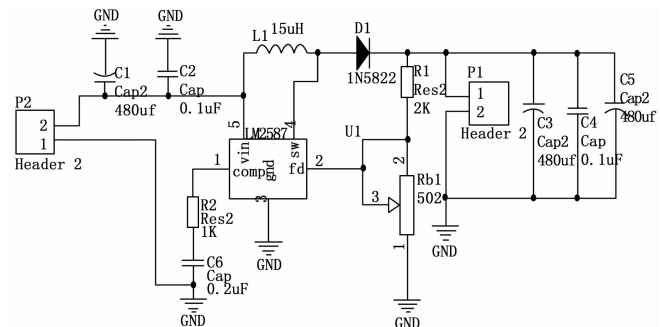


图 9 电压放大电路原理图

口 P2 导通期间存储的电能在 P2 断开时传递给输出电容器, 进而通过端口 P1 输出。其输出电压的高低可由传递电能的多少来控制, 而传递电能的多少则可通过调制电感器的峰值电流来控制<sup>[8]</sup>。

3) 液晶显示电路 LCD1602。该电路主要将单片机处理后电压值与判断结果实时显示到液晶屏上, 以便于观察。1602 液晶屏可以显示两行, 每行 16 个字符, 第一行用来显示采集到每路的电压值, 第二行显示的是经单片机处理后做出的结果, 若无故障, 则“OK”; 若存在故障, 则“NO OK”。液晶显示屏可以在固定时间后完成每路电压的切换, 实现 8 路电压的动态显示。1602 采用标准的 16 脚接口, 其中 DB0~DB7 为双向数据线, 具体电路原理如图 10 所示。

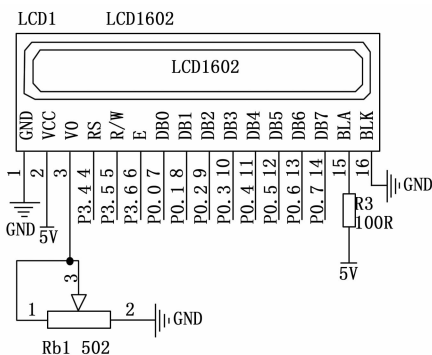


图 10 LCD1602 液晶显示电路

### 2.3 电源模块

该模块主要由 28 V/10 A 的开关电源和分压电路组成。开关电源可将输入的 220 V/50 Hz 交流电变换为 +28 V/10 A 直流电, 而分压电路, 可将 +28 V 直流电分压输出为 +5 V 的直流电, 从而实现对执行组件及其测试仪的供电。

### 3 软件设计

执行组件测试仪的软件设计是在 Windows7 操作系统和 Keil5 编程开发环境支持下基于 C 语言开发的, 执行组件测试仪的软件设计分为自检模块、测试模块和诊断模块设计。软件设计的逻辑流程如图 11 所示。

第一步, 系统自检。软件中的自检模块控制单片机上电对执行组件测试仪进行自检。

第二步, 组件测试。软件中的测试模块分输入和输出两个通道进行, 每个通道均为 8 路。输出通道是测试软件控制 I/O 口发送开关量信号, 经功率放大电路送入执行组件; 输入通道将 ADC0809 采集到的 8 路电压开关量信号, 通过 AD 转换成数字量, 然后送到单片机。

第三步, 组件诊断。软件中的诊断模块控制单片机将输入的数字量与标准值进行比较, 若对比数据在合格范围内, 则将合格的数据存入 A 数组, 否则存入 B 数组。最后判断所有数据是否均在 A 数组, 若在, 则输出“合格”, 组件正常, 否则输出“不合格”, 进而进行故障分析, 将采集

到电压值和分析出的结果实时显示。

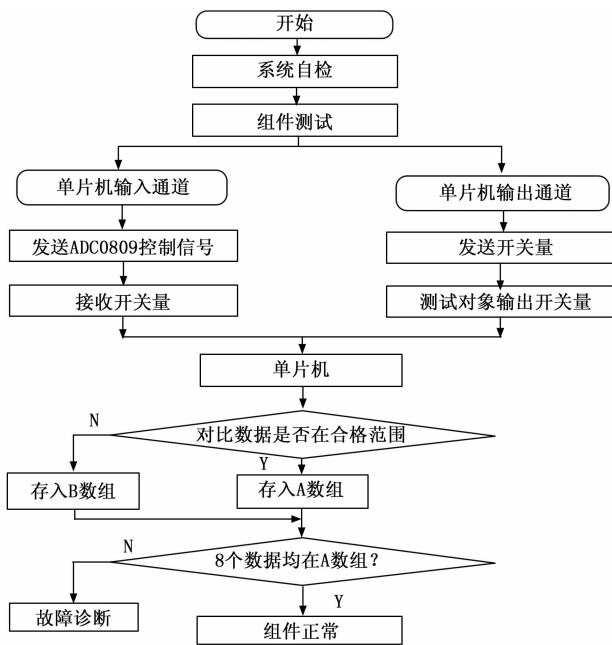


图 11 测试软件总体逻辑流程

测试仪采用故障字典法进行故障定位<sup>[9-10]</sup>。故障字典法诊断故障的主要思想是: 首先采用电路仿真软件如 Altium-designer 对执行组件设置测试点和元器件故障, 并对其进行电路仿真, 获得各测试点和各元器件之间一一对应关系; 然后将所有测试点和元器件的对应关系列成一个故障字典; 最后, 在实际诊断时, 只要获得执行组件所有测试点的实际测量结果, 就可以从故障字典中查出此时对应的故障。

为了节省测试所需的时间, 提高效率, 决定采用多路测试技术实现 8 路开关量输入输出, 利用 ADC0809 芯片完成 AD 转换, 并将采集结果送入到单片机中, 通过单片机内的标准值对测试结果做出判断并通过显示屏进行显示, 最后利用故障字典法将执行组件的故障定位至元器件级。

### 4 实验结果与分析

实验的过程是按照武器的发射时序来模拟的, 通过设置具体的故障, 来验证检测仪的测试诊断功能。具体实验步骤如下:

1) 设置故障: 设置执行组件中控制武器总电门的继电器故障, 造成武器总电门断路。

2) 故障现象: 发动机点火信号不正常, 输出电压为 +0 V。

3) 测试诊断过程:

(1) 按照执行组件和检测仪的接口关系, 对其进行对应连接;

(2) 进行通电检查, 完成系统自检;

(3) 按武器发射时序依次手动方式按下检测仪上按键控制模块中的按键开关 SW1~SW8, 也可采用自动方式按

下按键开关 SW9, 即自动测试开关。

(4) 按照按下按键开关的顺序依次观察液晶屏显示的结果。

经过上述的实验步骤, 得到仿真实验结果如表 1 所示。

表 1 仿真实验结果

按键开关	测量数据/V	标准数据/V	测量结果
系统供电	+26.69	+28±3	合格
收起落架	+26.42	+28±3	合格
供直流电	+26.42	+28±3	合格
供气	+26.03	+28±3	合格
武器总电门	0	+28±3	不合格
发射 1	0	+28±3	不合格
发射 2	0	+28±3	不合格
发动机点火	0	+28±3	不合格

通过上述仿真实验结果可以得出, 造成发动机点火信号异常的原因是武器总电门单元故障。再通过电路软件仿真得到的故障字典对比可知, 是由于武器总电门单元中的继电器故障造成, 处理措施应及时检查并维修继电器。

### 5 结束语

实际应用表明: 论文设计了以单片机为控制核心的某型飞机武器控制系统执行组件测试仪, 实现了 8 路开关量输入输出的控制, 同时利用穷举测试法可将故障定位到元

器件。该系统工作稳定, 测试效率较高, 满足测试需求。

### 参考文献:

[1] 党广利, 冯金富, 闫威. 某型机载武器控制系统自动测试仪的研制 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (5): 362-364.

[2] 马登武, 马羚, 吕晓峰. 某型飞机武器控制系统交联组件测试仪 [J]. 兵工自动化, 2011, 30 (4): 77-80.

[3] 梅寒剑. 某发射装置便携测试设备的设计与实现 [J]. 计量与测试技术, 2018, 45 (2): 42-44.

[4] 吕晓峰, 马羚, 张勇亮. 某型飞机悬挂物管理系统接口组件检测仪研制 [J]. 电子技术应用, 2011 (9): 97-99.

[5] 周明光, 马海潮. 计算机测试系统原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[6] 魏庆涛, 徐器. 单片机原理及设计原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.

[7] 杨士元. 数字系统的故障诊断与可靠性设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[8] 沈冰虎. 反馈式开关电源芯片 LM2587 在模拟汽车供电系统中的应用 [J]. 测控技术, 2006 (12): 81-83.

[9] 张正文, 魏勇. Altium Designer17 电路设计与仿真——从入门到精通 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2018.

[10] 李莉, 于沛, 吴志川, 等. 故障字典技术在机载电源系统故障诊断中的应用 [J]. 电光与控制, 2015, 22 (11): 72-75.

(上接第 119 页)

大数据传输速率的提升, 然而该系统仍然存在一些微小的缺陷, 日后将进一步对其进行改进。

### 参考文献:

[1] 亢良伊, 王建飞. 可扩展机器学习的并行与分布式优化算法综述 [J]. 软件学报, 2018, 29 (1): 109-130.

[2] 易明雨, 肖赤心, 潘晖, 等. 用于大数据分类的快速隐层优化分布式极限学习机 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55 (16): 165-169.

[3] 肖文, 胡娟, 周晓峰. 基于 MapReduce 计算模型的并行关联规则挖掘算法研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2018, 35 (1): 13-23.

[4] 季一木. HOS: 一种基于 HBase 的分布式存储系统设计与实现 [J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2019, 39 (5): 63-71.

[5] 李冰, 张志斌, 钟巧灵, 等. 支持 Unikernel 的流式计算引擎: Hummer [J]. 计算机学报, 2019, 42 (8): 1755-1766.

[6] 田永亮, 王永庆, 熊培森, 等. 面向战斗机云作战的构造型仿真平台架构 [J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45 (10): 1938-1945.

[7] 李俊楠, 李伟, 李会君, 等. 基于大数据云平台的电力能源

大数据采集与应用研究 [J]. 电测与仪表, 2018, 56 (12): 104-109.

[8] 张力文, 王瑞波, 李茹, 等. 基于词分布式表征的汉语框架排歧模型 [J]. 中文信息学报, 2017, 31 (6): 50-57.

[9] 杨蓉, 曹旺斌, 尹成群. 基于自适应遗传算法的 PLC 信道动态子载波分配 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47 (12): 111-116.

[10] 谢朝臣, 谭晓衡, 刘琴, 等. 基于空间信道控制方式的频谱感知资源分配技术 [J]. 北京邮电大学学报, 2019, 42 (1): 87-92.

[11] 崔壮壮, 钟章队, 官科, 等. 基于射线跟踪的车联网毫米波信道准平稳区间研究 [J]. 电波科学学报, 2017, 32 (5): 570-577.

[12] 付磊, 李卫良. 特高压直流配套稳控系统的典型试验方法与应用 [J]. 电网技术, 2018, 12 (12): 3850-3856.

[13] 王洋, 杨义勇, 孙富春, 等. 含饱和问题的模糊奇异摄动系统控制器设计 [J]. 控制工程, 2019, 26 (4): 638-644.

[14] 王天堃. 火电厂主蒸汽温度 UMDA 整定模糊 PID 控制算法 [J]. 动力工程学报, 2017, 37 (7): 546-551.

[15] 赫荣伟, 郭强, 付春岭, 等. 嫦娥四号探测器系统组织管理风险识别与控制 [J]. 航天器工程, 2019, 28 (4): 1-6.