|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 档号 |  |  | 编号 | 21C852-0\_CS\_DB\_V1.00 |
| 保管期限 |  |  | 密级 | 非密 |
|  |  |  | 阶段标记 | S |

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 21C852-0供输油泵控制 |
|  | 器软件单元测试报告 |

|  |  |
| --- | --- |
| 部门 | 控制工程部 |
| 编写 | 李 盛 20230703 |
| 校对 | 唐春茂 20230703 |
| 审核 | 曾庆军 20230703 |
| 会签 |  |
| 标审 |  |
| 批准 | 郑自伟 20230703 |

|  |
| --- |
| 贵州航天林泉电机有限公司 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容提要：  本报告主要是对21C852-0电机控制器软件的功能、性能进行测试，检验对设计说明的符合情况，形成软件的自测试报告。 | | | | |
| 主题词 | 21C852-0供输油泵，测试报告 | | | |
| 更改栏 | 更改单号 | 更改日期 | 更改人 | 更改办法 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目 次

[1.1 范围 3](#_Toc148030583)

[1.2 标识 3](#_Toc148030584)

[1.3 系统概述 3](#_Toc148030585)

[1.4 文档概述 4](#_Toc148030586)

[2 引用文档 4](#_Toc148030587)

[3 测试结果概述 5](#_Toc148030588)

[3.1 被测试软件总体评估 5](#_Toc148030589)

[3.2 测试环境影响 6](#_Toc148030590)

[3.3 改进建议 6](#_Toc148030591)

[4 详细测试结果 6](#_Toc148030592)

[4.1 CSCI级测试 6](#_Toc148030593)

[4.1.1 DB\_GN\_0001上电初始化 7](#_Toc148030594)

[4.1.2 DB\_GN\_0002上电自检 7](#_Toc148030595)

[4.1.3 DB\_GD\_0003模拟信号采集 27](#_Toc148030596)

[4.1.4 DB\_GN\_0005油泵电机闭环调速单元 32](#_Toc148030597)

[4.1.5 DB\_GN\_0006周期自检单元 50](#_Toc148030598)

[4.1.6 DB\_GN\_0007自保护停机单元 120](#_Toc148030599)

[4.1.7 DB\_GN\_0008 RS422通讯单元 159](#_Toc148030600)

[4.2 接口测试 175](#_Toc148030601)

[4.2.1 DB\_IN\_0001模拟量采集接口 175](#_Toc148030602)

[4.2.2 DB\_IN\_0002 RS422通讯接口1 176](#_Toc148030603)

[4.2.3 DB\_IN\_0003 RS422通讯接口2 176](#_Toc148030604)

[4.2.4 DB\_OUT\_0001 PWM信号输出接口 176](#_Toc148030605)

[5 软件安全性分析 176](#_Toc148030606)

[6 注释 177](#_Toc148030607)

## 范围

## 标识

21C852-0电机控制器软件是针对控制器驱动两路高温蝶阀电机、一路油泵电机功能开发的软件，对文档标识号、文档标题、术语和缩略语等定义如下：

1. 文档标识号：21C852-0\_CS\_DB\_V1.00；
2. 文档标题：21C852-0电机控制器软件单元测试报告
3. 软件名称：21C852-0电机控制器软件；
4. 本文档中的术语和缩略语：
5. 软件：电机控制器软件；
6. 电机：高温蝶阀电机、油泵电机；
7. 适用系统：电机控制器控制系统。

## 系统概述

21C852-0电机控制器是XX项目两路高温蝶阀电机、一路油泵电机的驱动部件。21C852-0电机控制器软件嵌在控制器DSP中，接收发动机控制器下发的控制器指令，驱动电机按指令运行，并向发动机控制器实时上传控制器和电机的运行参数。系统结构框图见图 1。



图 1 系统结构框图

软件属于嵌入式实时系统软件，实现两路高温蝶阀电机、一路油泵电机的控制功能：1）软件执行上电自检功能，对系统运行的初始状态进行判断；2）采集各路模拟量，一方面用于闭环调速算法的数据输入，另一方面用于自保护功能的数据输入；3）具备自保护停机功能；4）接收发动机控制指令，实时上传电机的运行参数及故障检测信息；5）具备数据存储功能。

电机控制器设备交联图如图 2所示。



图 2 电机控制器设备交联图

电机控制器软件的需方：中国航天科技集团有限公司第六研究院xx所；

电机控制器软件的开发方：贵州航天林泉电机有限公司；

电机控制器软件的保障机构：贵州航天林泉电机有限公司质量管理部。

## 文档概述

该文档是软件的测试报告，文档中描述了测试结果、详细测试结果、CSCI级测试、系统级测试等内容，针对软件需求规格说明书中的需求，开展测试工作，其目的是评估软件开发与需求的符合性、软件使用的合法性，为软件完善提供依据。

# 引用文档

引用的标准及法规见表1，引用文件见表3。

表 1 贯彻的标准和法规

| 序号 | 文件号 | 文件名称 | 编写单位 | 修订版本 | 发布日期 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 装型[2010]37号 | 《空军重点型号软件研制管理办法》 | 空军装备部 | / | 201002 |
|  | GJB 2786A-2009 | 《军用软件开发通用要求》 | 总装备部 | / | 20090525 |
|  | GJB 438B-2009 | 《军用软件开发文档通用要求》 | 总装备部 | / | 20090525 |
|  | GJB 5000A-2008 | 《军用软件研制能力成熟度模型》 | 总装备部 | / | 20080330 |

表 2 引用文件

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 文件号 | 文件名称 | 编写单位 | 修订版本 | 发布日期 |
|  | / | 《电机控制器成品技术协议书》 | 六院xx所 | A | 20221220 |
|  | / | 《电机控制器任务书》 | 贵州航天林泉电机有限公司 | / | 20221220 |
|  | / | 《21C852-0电机控制器通讯协议》 | 六院xx所 | / | 20230120 |

# 测试结果概述

## 被测试软件总体评估

根据型号相关要求，软件为B级软件，软件共6508行，注释率30%，暂用硬件CPU存储空间的8.7%。

软件涉及9个CSCI级测试、5个外部接口，具体见表3。从测试结果看皆满足《21C852-0电机控制器软件任务书》的要求。

软件工作模式采用任务工作模式，不管在地面、任务中、测试中皆一致；软件不需外部设置，装载在电机控制器硬件平台，即可通过相关的串口操作命令执行相关功能。软件对错误的指令不响应，保持前一次正确状态运行。

软件采取C语言进行开发，代码的开发遵循C语言的语法，对DSP的操作遵循器件的详细规范，软件采用模块化开发的思路，程序逻辑结构清晰。功能单元代码均被封装成函数，方便程序调用及管理维护。整个软件需求、开发、配置、计划皆明确。对于目前阶段产品无遗留问题。

表 3 软件测试项目表

| 序号 | 测试项目 | 测试等级 |
| --- | --- | --- |
|  | 上电初始化 | CSCI级 |
|  | 上电自检 | CSCI级 |
|  | 模拟信号采集 | CSCI级 |
|  | 旋变信号采集 | CSCI级 |
|  | 油泵电机闭环调速 | CSCI级 |
|  | 蝶阀电机位置闭环 | CSCI级 |
|  | 周期自检 | CSCI级 |
|  | RS422通讯 | CSCI级 |
|  | 余度切换 | CSCI级 |
|  | 模拟量采集 | 接口 |
|  | RS422通讯串口1 | 接口 |
|  | RS422通讯串口2 | 接口 |
|  | RS422通讯串口3 | 接口 |
|  | PWM信号输出 | 接口 |

## 测试环境影响

该软件的运行不得脱离电机控制器硬件平台，在满足该条件下，不会受到相关环境因数的影响。

## 改进建议

无。

# 详细测试结果

## CSCI级测试

测试接线图见图3，功能单元测试有以下几个方法：1）通过串口的发送和接收的数据进行分析，得到测试结果，2）通过连仿真器在线仿真的方法，读取测试过程中变量的数据，3）借助示波器、三用表等计量工具，对信号进行测试，得到测试结果。软件的CSCI能力需求如图4所示。



图 3 CSCI测试接线图



图 4 软件CSCI能力需求图

### DB\_GN\_0001上电初始化

DSP上电初始化执行的操作是初始化各变量参数、系统的时钟、中断向量表、SPI、SCI、ADC采样、EV事件管理器。该功能模块的测试是对DSP各寄存器赋初值，使其工作在一个稳定的配置状态。

表 4 上电初始化测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 初始化 | 功能分解、等价类划分 | 系统上电，通过调试方式查看系统时钟、中断控制寄存器、中断向量表、SPI总线、SCI总线、定时器T1中断、SCI发送中断、SCI接收中断、CAP中断、EV寄存器、IO口输出、ADC寄存器等初始化要求是否与需求一致，验证软件初始化功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 通过调试方式查看系统时钟、中断控制寄存器、中断向量表、SPI总线、SCI总线、定时器T1中断、SCI发送中断、SCI接收中断、CAP中断、EV寄存器、IO口输出、ADC寄存器初始化结果。 | 系统时钟、中断控制寄存器、中断向量表、SPI总线、SCI总线（波特率115200bps，1位起始位，8位数据位，1位停止位、1位奇校验位）、定时器T1中断、SCI发送接收缓存器、CAP中断、EV寄存器、IO口输出、ADC寄存器初始化与需求一致。 | 系统时钟、中断控制寄存器、中断向量表、SPI总线、SCI总线、定时器T1中断、SCI发送中断、SCI发送接收缓存器、CAP中断、EV寄存器、IO口输出、ADC寄存器初始化与需求一致。 | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GN\_0002上电自检

控制器在上电初始化完成后，需对控制器的初始参数进行自检，以确保系统能运行在可以正常工作的初始状态。自检的参数包含6路CPU状态（蝶阀1主CPU、蝶阀1副CPU、蝶阀2主CPU、蝶阀2副CPU、油泵电机主CPU、油泵电机副CPU）、28V电源状态、270V电源状态等参数。自检结果将通过串口上传。其中，蝶阀1主副CPU自检不通过时，不允许启动蝶阀1；蝶阀2主副CU自检不通过时，不允许启动蝶阀2；油泵电机主副CPU自检不通过时，不允许起动油泵电机；28V电源状态指示控制器28V通电状态是否正常，270V电源状态指示270V油泵电机驱动通电状态是否正常，自检时间不大于1s。

表 5 自检项目表、测试方法及测试结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 自检项目 | 自检方法及故障判据 | 串口上报故障位 | 备注 |
| 蝶阀1主CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 | 若自检不通过，蝶阀电机1不启动，并上故障。 |  |
| 蝶阀1副CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 |  |
| 蝶阀2主CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 | 若自检不通过，蝶阀电机2不启动，并上报故障。 |  |
| 蝶阀2副CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 |  |
| 泵主CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 | 若自检不通过，油泵电机不启动，并上报故障。 |  |
| 泵副CPU | 上电之后是否发生硬件保护，若不发生硬件保护自检通过 |  |
| 28V电源电压 | 28V电源电压小于30V，大于22V，自检通过 | 若自检不通过，允许电机起动，并上报故障。 |  |
| 270V电源电压 | 270V电源电压大于220V，小于300V，自检通过 |  |

表 6 上电自检测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 上电自检正常 | 功能分解、等价类划分 | 系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息均为正常，验证上电自检功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 机上发动机控制器接收软件上报的故障信息均为正常 | 发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 55 05 41 FA 41 4C | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-蝶阀1主CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L23插入：cpu11\_state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 蝶阀1主CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 15 50 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-蝶阀1副CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L24插入：cpu12\_state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 蝶阀1副CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 05 50 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-蝶阀2主CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L25插入：cpu21\_state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 蝶阀2主CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 51 50 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-蝶阀2副CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L26插入：cpu22state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 蝶阀2副CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 50 50 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-泵主CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L27插入：cpu31state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 泵主CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 55 10 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-泵主CPU故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置母线电流大于16A，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数CPU\_Init的L27插入：cpu31state = 0; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 泵副CPU对应状态位显示异常 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 55 00 40 40 55 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-270V电源故障 | 功能分解、等价类划分 | 程序插装设置270V电源电压大于300V，系统正常上电，上位机软件查看故障信息，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L177插入：vdcfilupr = 62; | 读取日志文件中存储故障信息且查看电机运行状态。 | 1、EEPROM中存储故障信息中包含270V电源电流故障：0x0002 2、电机不允许启动 | 1、发动机控制器接收软件上报的上电信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 50 05 41 FA 41 4C  2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-270V电源电压过压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置270V电源电压大于330V，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障且电机不允许启动，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F2812\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L135插入：udc = 335; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息且且查看电机运行状态。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障（第4字节的D0位为1） 2、电机不允许启动 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 50 05 41 FA 41 4C 2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-270V电源电压欠压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置270V电源电压小于190V，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障且电机不允许启动，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F2812\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L135插入：udc = 188; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息且且查看电机运行状态。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障（第4字节的D1位为1） 2、电机不允许启动 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 50 05 41 FA 41 4C 2、电机不允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-+28V电源电压小于下限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+28V电源电压小于23V，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障且电机允许启动，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F2812\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L145插入：Vol28 = 2250; | 1.通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息且查看电机运行状态。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障（第4字节的D3位为1） 2、电机允许启动 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 05 05 41 FA 41 4C 2、电机允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 上电自检-+28V电源电压大于上限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+28V电源电压大于33V，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障且电机允许启动，验证上电自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F2812\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L145插入：Vol28 = 3350; | 1.通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息且查看电机运行状态。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障（第4字节的D2位为1） 2、电机允许启动 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：EB 90 50 00 08 55 50 40 40 05 05 41 FA 41 4C 2、电机允许启动 | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GD\_0003模拟信号采集

模拟量信号采集单元主要对28V电源电压、28V电源电流、270V电源电压、270V电源电流、控制器温度、U相电流、V相电流、W相电流等模拟信号进行采集。模拟量信号采集单元进入的条件是100us的定时中断被正常响应。该接口采集的数据一方面参与到闭环调速控制，另一方面用作实时保护（运行报警和自保护停机），并通过RS422串口发送给发动机控制器。

表 7 模拟信号采集测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 270V电源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置270V电源电压值为276V，通过万用表测量270V电源电压模拟量采集值，查看270V电源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量270V电源电压模拟量采集值。 | 1、270V电源电压模拟量采集值：276V±3V | 1、270V电源电压模拟量采集值：273V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 270V电源电流采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置270V电源电流值为1.76A，通过万用表测量270V电源电流模拟量采集值，查看270V电源电流模拟量数据采集值在误差要求范围内且上传至发动机控制器的270V电源电流在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量270V电源电流模拟量采集值。 2.通过串口调试软件查看上传至发动机控制器的270V电源电流值。 | 1、270V电源电流模拟量采集值：0A～+36A（±1A） 2.上传至发动机控制器的270V电源电流值：0A～+36A（±1A） | 1、270V电源电流模拟量采集值：1.76A 2.上传至发动机控制器的270V电源电流值：1.50A | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 控制器温度采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置控制器温度为33.3℃通过红外测温仪测量控制器温度模拟量采集值，查看控制器温度模拟量数据采集值在误差要求范围内且上传至发动机控制器的控制器温度在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过红外测温仪测量控制器温度模拟量采集值； 2.通过串口调试软件查看上传至发动机控制器的控制器温度值。 | 1、控制器温度模拟量采集值：33.3℃（±3℃） 2.上传至发动机控制器的控制器温度值：33.3℃（±3℃） | 1、控制器温度模拟量采集值：35.0℃ 2.上传至发动机控制器的控制器温度值：35.0℃ | 实际测试结果与预期结果一致 |
| +5V电源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置+5V电源电压为5.021V，通过万用表测量+5V电源电压模拟量采集值，查看+5V电源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量+5V电源电压模拟量采集值。 | 1、+5V电源电压模拟量采集值：5.021V（±0.1V） | 1、+5V电源电压模拟量采集值：5.023V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| +12V电源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置+12V电源电压为12.006V，通过万用表测量+12V电源电压模拟量采集值，查看+12V电源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量+12V电源电压模拟量采集值。 | 1、+12V电源电压模拟量采集值：12.006V（±0.1V） | 1、+12V电源电压模拟量采集值：12.000V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| -12V电源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置-12V电源电压为-12.034V，通过万用表测量-12V电源电压模拟量采集值，查看-12V电源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量-12V电源电压模拟量采集值。 | 1、-12V电源电压模拟量采集值：-12.034V（±0.1V） | 1、-12V电源电压模拟量采集值：11.970V（备注：采集值为反向） | 实际测试结果与预期结果一致 |
| +28V电源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置+28V电源电压为28.030V,通过万用表测量+28V电源电压模拟量采集值，查看+28V电源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量+28V电源电压模拟量采集值。 | 1、+28V电源电压模拟量采集值：28.030V（±1V） | 1、+28V电源电压模拟量采集值：28.020V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| DSP3.3V电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置DSP3.3V电压值为3.325V，通过万用表测量DSP3.3V电压模拟量采集值，查看DSP3.3V电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量DSP3.3V电压模拟量采集值。 | 1、DSP3.3V电压模拟量采集值：3.325V（±0.1V） | 1、DSP3.3V电压模拟量采集值：3.304V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| DSP1.8V电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置DSP1.8V电压值为1.803V，通过万用表测量DSP1.8V电压模拟量采集值，查看DSP1.8V电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量DSP1.8V电压模拟量采集值。 | 1、DSP1.8V电压模拟量采集值：1.803V（±0.1V） | 1、DSP1.8V电压模拟量采集值：1.799V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| +1V采样基准源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置+1V采样基准源电压值为1.008V，通过万用表测量+1V采样基准源电压模拟量采集值，查看+1V采样基准源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量+1V采样基准源电压模拟量采集值。 | 1、+1V采样基准源电压模拟量采集值：1.008V（±0.1V） | 1、+1V采样基准源电压模拟量采集值：0.976V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| +2V采样基准源电压采集 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置+2V采样基准源电压值为1.999V，通过万用表测量+2V采样基准源电压模拟量采集值，查看+2V采样基准源电压模拟量数据采集值在误差要求范围内，验证模拟量采集功能的正确性。 | 测试环境正确连接； | 1.通过万用表测量+2V采样基准源电压模拟量采集值。 | 1、+2V采样基准源电压模拟量采集值：1.999V（±0.1V） | 1、+2V采样基准源电压模拟量采集值：1.964V | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 模拟量采集时间性能 | 等价类划分、功能分解 | 1.通过程序插装，设置在模拟量信号采集开始输出脉冲信号，系统正常上电，通过示波器测量脉冲信号的间隔时间，连续测量10次，查看脉冲信号的间隔时间均在100μs±10μs，验证模拟信号采样时间间隔为100μs±10μs性能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插桩，在程序文件App\_Control.c函数Ready\_Data第18~20行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0; DELAY\_05US(2);  第93行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1;  3.重新烧录更新后的代码； 4.示波器正确连接。 | 1.系统正常上电启动； 2.通过示波器测量输出脉冲的间隔时间； 3.重复步骤1~2，连续10次观察脉冲的时间间隔。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间为100μs±10μs； 3.连续10次观察结果均为100μs±10μs。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间为105.800μs； 3.连续10次观察结果分别为99.800μs、101.800μs、99.800μs、102.850μs、99.800μs、101.800μs、99.800μs、102.850μs、97.800μs | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GN\_0005油泵电机闭环调速单元

软件在接收到控制指令后，通过DSP读取AD1210获取电机旋变信号并计算得到电机位置和转速，再通过闭环PI调节，计算得到控制的PWM信号，调节电机的转速。

表 8 闭环调速测试

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 闭环调速-电压值为220V | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，通过测功机施加力矩使电机输出功率不小于1.2kW，通过供电电源设置供电电压值为220V，通过供电电源查看产品额定工作电流是否不大于10A，通过测功机查看转速是否满足精度要求。 | 1.测试环境正确连接； 2.通过测功机施加力矩使电机输出功率为1.3kW，通过供电电源设置供电电压值为220V | 1.通过供电电源查看产品额定工作电流; 2.通过测功机查看转速值; 3.通过示波器查看启动电流值。 | 1.产品额定工作电流不大于10A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min | 1.产品额定工作电流为7.2A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min; | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 闭环调速-电压值为270V | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，通过测功机施加力矩使电机输出功率不小于1.2kW，通过供电电源设置供电电压值为270V，通过供电电源查看产品额定工作电流是否不大于10A，通过测功机查看转速是否满足精度要求。 | 1.测试环境正确连接； 2.通过测功机施加力矩使电机输出功率为1.25kW，通过供电电源设置供电电压值为270V | 1.通过供电电源查看产品额定工作电流; 2.通过测功机查看转速值; 3.通过示波器查看启动电流值。 | 1.产品额定工作电流不大于10A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min | 1.产品额定工作电流为7.2A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min; | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 闭环调速-电压值为290V | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，通过测功机施加力矩使电机输出功率不小于1.2kW，通过供电电源设置供电电压值为270V，通过供电电源查看产品额定工作电流是否不大于10A，通过测功机查看转速是否满足精度要求。 | 1.测试环境正确连接； 2.通过测功机施加力矩使电机输出功率为1.21kW，通过供电电源设置供电电压值为220V | 1.通过供电电源查看产品额定工作电流; 2.通过测功机查看转速值; 3.通过示波器查看启动电流值。 | 1.产品额定工作电流不大于10A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min | 1.产品额定工作电流为7.2A； 2.转速值满足6500r/min±100r/min; | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GN\_0006周期自检单元

软件周期自检功能通过周期性(100us)采样电机运行关键参数，并根据参数的特性设置故障判断的周期和阈值。为降低故障检测的虚警率，对关键参数进行连续多次判断，在连续多次判断的周期内，如果有1次参数恢复正常，则重新开始判断连续故障时间。在未达到连续故障时间前，不置位故障标志。软件在检测到任一故障后，置位相应故障标志，并通过RS422串口将故障位，按通讯协议的上报要求发送到机上发动机控制器。

表 9 周期自检测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 周期自检正常 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统正常上电，通过电机控制器监控软件测试设备查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息均为正常，验证周期自检功能实现的正确性。 | 1.测试环境正确连接； | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息均为正常 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息均为：55 AA 51 00 00 00 00 29 0A 1E 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 F8 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压过压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置270V电源电压大于330V且在置270V电源电压过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障且通过示波器查看连续报故时间为50ms±0.5ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：udc = 335; 函数Run\_Alarm的L152插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第158行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障（第6字节的D0位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：50ms±5ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 3F 00 00 01 00 00 00 29 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 33 2.十次测量连续报故时间：50.200ms、50.200ms、49.800ms、50.800ms、49.800ms、50.200ms、49.800ms、50.800ms、49.800ms、50.200ms | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压欠压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置270V电源电压小于190V且在置270V电源电压欠压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为200ms±20ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：udc = 185; 函数Run\_Alarm的L171插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第177行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障（第6字节的D1位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：200ms±20ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 09 00 00 02 00 00 00 2A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 67 2.十次测量连续报故时间：199.000ms、201.000ms、199.000ms、201.000ms、200.000ms、200.00ms、201.000ms、201.000ms、201.000ms、201.000ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+28V电源电压大于上限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+28V电源电压大于33V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol28 = 3350; 函数Run\_Alarm的L191插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第197行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障（第6字节的D2位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 6A 00 00 04 00 00 00 29 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 05 2.十次测量连续报故时间：100.400ms、96.400ms、100.400ms、100.400ms、102.400ms、100.400ms、101.500ms、99.400ms、102.400ms、100.400ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+12V电源电压大于上限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+12V电源电压大于14V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_12VA = 1450; 函数Run\_Alarm的L191插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第197行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障（第6字节的D2位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA D7 00 00 04 00 00 00 2A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 97 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.000ms、100.300ms、100.500ms、101.200ms、102.000ms、101.600ms、100.400ms、102.100ms、100.400ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检--12V电源电压大于上限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置-12V电源电压大于-10V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_12VAF = 990; 函数Run\_Alarm的L191插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第197行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障（第6字节的D2位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A8 00 00 04 00 00 00 2B 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 C5 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、101.000ms、100.100ms、100.300ms、98.200ms、102.000ms、101.600ms、100.300ms、100.100ms、100.400ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+5V电源电压大于上限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+5V电源电压大于6V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_5V = 6050; 函数Run\_Alarm的L171插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第177行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障（第6字节的D2位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 84 00 00 04 00 00 00 2C 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 E8 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.000ms、101.300ms、101.500ms、100.200ms、100.000ms、101.600ms、98.400ms、101.000ms、100.300ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+28V电源电压小于下限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+28V电源电压小于23V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol28 = 2250; 函数Run\_Alarm的L209插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第215行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障（第6字节的D3位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A1 00 00 08 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 C4 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.000ms、100.100ms、100.300ms、101.200ms、102.000ms、101.400ms、100.700ms、102.000ms、101.900ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+12V电源电压小于下限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+12V电源电压小于10V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_12VA = 990; 函数Run\_Alarm的L209插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第215行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障（第6字节的D3位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 9C 00 00 08 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 C9 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、101.000ms、100.200ms、100.500ms、101.400ms、102.000ms、101.500ms、101.400ms、101.300ms、100.700ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检--12V电源电压小于下限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置-12V电源电压小于-14V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_12VAF = 1450; 函数Run\_Alarm的L209插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第215行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障（第6字节的D3位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 8C 00 00 08 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 D9 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.200ms、100.200ms、100.400ms、101.200ms、102.000ms、101.100ms、100.400ms、101.400ms、100.200ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+5V电源电压小于下限 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+5V电源电压小于4V且在置辅助电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_5V = 3950; 函数Run\_Alarm的L209插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第215行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障（第6字节的D3位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 88 00 00 08 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 DD 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、102.000ms、100.600ms、100.000ms、101.700ms、100.000ms、101.600ms、100.800ms、102.000ms、100.700ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电流故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置270V电源电流大于6A且在置母线过流故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含母线过流故障且通过示波器查看连续报故时间为6ms±0.6ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：idcfilupr = 62; 函数Run\_Alarm的L226插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第232行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含母线过流故障（第6字节的D4位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：6ms±0.6ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 10 00 00 00 2E 35 00 00 00 42 01 14 0A 04 3A 2.十次测量连续报故时间：6.260ms、6.200ms、6.000ms、6.200ms、6.200ms、6.200ms、6.200ms、6.000ms、6.100ms、6.000ms | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源过压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+3.3V电源电压大于3.9V 且在置+3.3V电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_33V = 3950; 函数Run\_Alarm的L247插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第252行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源过压故障（第7字节的D0位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 62 00 00 00 01 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 0A 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.000ms、100.300ms、100.500ms、101.200ms、101.000ms、100.600ms、100.400ms、101.000ms、100.500ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源欠压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+3.3V电源电压大于3.9V 且在置+3.3V电源欠压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_33V = 2650; 函数Run\_Alarm的L264插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第268行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源欠压故障（第7字节的D1位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA B8 00 00 00 02 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 B4 2.十次测量连续报故时间：100.200ms、101.000ms、100.200ms、100.600ms、101.200ms、102.000ms、101.500ms、100.700ms、100.100ms、100.300ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源过压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+1.8V电源电压大于2.1V且在置+1.8V电源过压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源过压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_18V = 2150; 函数Run\_Alarm的L281插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第286行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源过压故障（第7字节的D2位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 91 00 00 00 04 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 D8 2.十次测量连续报故时间：100.000ms、100.000ms、100.300ms、100.500ms、101.200ms、101.000ms、100.500ms、100.400ms、100.000ms、100.800ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源欠压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置+1.8V电源电压大于1.5V 且在置+1.8V电源欠压故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源欠压故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：Vol\_18V = 1450; 函数Run\_Alarm的L298插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第303行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源欠压故障（第7字节的D3位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 4E 00 00 00 08 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 17 2.十次测量连续报故时间：100.200ms、101.000ms、100.200ms、100.600ms、101.200ms、102.000ms、101.500ms、100.700ms、100.100ms、100.300ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-转速异常 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置电机转速大于12500rpm 且在置转速异常故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含转速异常故障且通过示波器查看连续报故时间为100ms±10ms，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：speed\_SCI = 12600; 函数Run\_Alarm的L316插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第322行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含转速异常故障（第7字节的D4位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：100ms±10ms | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 53 00 00 00 10 31 38 16 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 BA 2.十次测量连续报故时间：100.700ms、102.000ms、100.200ms、100.100ms、101.200ms、102.000ms、101.200ms、100.600ms、100.100ms、100.300ms、 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-控制器过温 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装设置控制器温度大于120℃ 且在置控制器过温故障标志位处输出脉冲信号，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含控制器过温故障且通过示波器查看连续报故时间为3s±0.3s，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入：temp\_c = 121; 函数Run\_Alarm的L336插入： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第342行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息； 2.通过示波器查看连续报故时间。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含控制器过温故障（第7字节的D5位为1） 2.十次测量连续报故时间均为：3s±0.3s | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA E8 00 00 00 20 00 00 79 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 1B 2.十次测量连续报故时间：3.000s、3.000s、3.000s、3.060s、3.050s、3.020s、3.000s、3.000s、3.040s、3.000s | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压过压故障不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在270V电源电压过压故障连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含270V电源电压过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 499) { test1++; udc = 335; } else { udc = 270; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D0位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 13 00 00 00 00 00 00 2C 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 5D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压欠压故障不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在270V电源电压欠压故障连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含270V电源电压欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1999) { test1++; udc = 185; } else { udc = 270; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D1位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 12 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 5C | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+28V电源电压过压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+28V电源电压过压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol28 = 3350; } else { Vol28 = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 10 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 5E | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+12V电源电压过压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+12V电源电压过压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_12VA = 1450; } else { Vol\_12VA = 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 22 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 4C | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（-12V电源电压过压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（-12V电源电压过压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_12VAF = 990; } else { Vol\_12VAF= 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA B1 00 00 00 00 00 00 2D 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 BE | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+5V电源电压过压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+5V电源电压过压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_5V = 6050; } else { Vol\_5V = 5000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 72 00 00 00 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 FB | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+28V电源电压欠压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+28V电源电压欠压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol28 = 2250; } else { Vol28 = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0C 00 00 00 00 00 00 2C 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 61 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+12V电源电压欠压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+12V电源电压欠压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_12VA = 990; } else { Vol\_12VA = 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0C 00 00 00 00 00 00 2C 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 61 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（-12V电源电压欠压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（-12V电源电压欠压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_12VAF = 1450; } else { Vol\_12VAF= 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 18 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 56 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+5V电源电压欠压）不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+5V电源电压欠压）连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_5V = 3950; } else { Vol\_5V = 5000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0F 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 5F | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-母线过流故障不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在母线过流故障连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含母线过流故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 59) { test1++; idcfilupr = 62; } else { idcfilupr = 50; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D4位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0F 00 00 00 00 00 00 2F 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 2C | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源过压不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+3.3V电源过压连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+3.3V电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_33V = 3950; } else { Vol\_33V = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D0位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 1F 00 00 00 00 00 00 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 4E | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源欠压不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+3.3V电源欠压连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+3.3V电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_33V = 2650; } else { Vol\_33V = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D1位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 3F 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 2F | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源过压不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+1.8V电源过压连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+1.8V电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_18V = 2150; } else { Vol\_18V = 2000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D2位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 21 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 4D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源欠压不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+1.8V电源欠压连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+1.8V电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; Vol\_18V = 1450; } else { Vol\_18V= 2000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D3位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0B 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 63 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-转速异常故障不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在转速异常故障连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含转速异常故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 999) { test1++; speed\_SCI = 12600; } else { speed\_SCI = 12000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D4位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 19 00 00 00 00 29 04 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 27 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-控制器过温故障不上报障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在控制器过温故障连续故障判断周期内恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含控制器过温故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 29999) { test1++; temp\_c = 122; } else { temp\_c = 90; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D5位为0） | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0D 00 00 00 00 00 00 5A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 35 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压过压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在270V电源电压过压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含270V电源电压过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 501) { test1++; udc = 335; } else { udc = 270; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D0位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D0位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-270V电源电压欠压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在270V电源电压欠压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含270V电源电压欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 2001) { test1++; udc = 185; } else { udc = 270; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D1位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D1位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+28V电源电压过压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+28V电源电压过压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol28 = 3350; } else { Vol28 = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+12V电源电压过压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+12V电源电压过压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_12VA = 1450; } else { Vol\_12VA = 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（-12V电源电压过压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（-12V电源电压过压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_12VAF = 990; } else { Vol\_12VAF= 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源过压（+5V电源电压过压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源过压（+5V电源电压过压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_5V = 6050; } else { Vol\_5V = 5000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D2位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+28V电源电压欠压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+28V电源电压欠压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol28 = 2250; } else { Vol28 = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+12V电源电压欠压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+12V电源电压欠压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_12VA = 990; } else { Vol\_12VA = 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（-12V电源电压欠压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（-12V电源电压欠压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_12VAF = 1450; } else { Vol\_12VAF= 1200; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-辅助电源欠压（+5V电源电压欠压）故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在辅助电源欠压（+5V电源电压欠压）故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含辅助电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含辅助电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_5V = 3950; } else { Vol\_5V = 5000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D3位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-母线过流故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在母线过流故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含母线过流故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含母线过流故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 61) { test1++; idcfilupr = 62; } else { idcfilupr = 50; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D4位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第6字节的D4位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 07 00 00 00 00 00 00 2F 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 34；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 08 00 00 00 00 00 00 2F 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 33。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源过压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+3.3V电源过压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+3.3V电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_33V = 3950; } else { Vol\_33V = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D0位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D0位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+3.3V电源欠压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+3.3V电源欠压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+3.3V电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+3.3V电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_33V = 2650; } else { Vol\_33V = 3000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D1位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D1位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源过压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+1.8V电源过压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源过压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+1.8V电源过压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_18V = 2150; } else { Vol\_18V = 2000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D2位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D2位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-+1.8V电源欠压故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在+1.8V电源欠压故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含+1.8V电源欠压故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含+1.8V电源欠压故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; Vol\_18V = 1450; } else { Vol\_18V= 2000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D3位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D3位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA A4 00 00 00 00 00 00 2E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 CA。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-转速异常故障故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在转速异常故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含转速异常故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含转速异常故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 1001) { test1++; speed\_SCI = 12600; } else { speed\_SCI = 12000; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D4位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D4位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 14 00 00 00 00 29 04 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 2C；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0E 00 00 00 00 29 04 2F 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 32。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-控制器过温故障恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在控制器过温故障报故后故障恢复正常，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含控制器过温故障，故障恢复后查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中不包含控制器过温故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 30001) { test1++; temp\_c = 121; } else { temp\_c = 90; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D5位为1），故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D5位为0） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 12 00 00 00 00 00 00 5A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 30；故障恢复后机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 13 00 00 00 00 00 00 5A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 2F。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-控制器过温故障不恢复 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在控制器过温故障报故后控制器温度不小于100℃，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含控制器过温故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 35001) { test1++; temp\_c = 122; } else { temp\_c = 105; } | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D5位为1）；故障不恢复机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中（第7字节的D5位为1） | 1、故障恢复前机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 08 00 00 00 20 00 00 7A 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 FA；故障不恢复机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0C 00 00 00 20 00 00 69 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 07。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-电源电压均过压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装分别设置270V电源电压大于330V、+28V电源电压大于33V，+12V电源电压大于14V，-12V模拟电源电压大于-10V，+5V电源电压大于6V、+3.3V电源电压大于3.9V、+1.8V电源电压大于2.1V、转速大于12500r/min、270V电源电流大于6A、控制器温度大于120℃，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障、辅助电源过压、母线过流故障、+3.3V电源过压、+1.8V电源过压、转速异常、控制器过温故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~159插入： udc = 335; Vol28 = 3350; Vol\_12VA = 1450; Vol\_12VAF = 990; Vol\_5V = 6050; idcfilupr = 62; Vol\_33V = 3950; Vol\_18V = 2150; speed\_SCI = 12600; temp\_c = 121; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压过压故障、辅助电源过压、母线过流故障、+3.3V电源过压、+1.8V电源过压、转速异常、控制器过温故障。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 1F 00 00 15 35 31 38 79 3E 00 00 00 42 01 14 0A 04 13 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检-电源电压均欠压 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装分别设置270V电源电压小于190V、+28V电源电压小于23V，+12 V电源电压小于10V；-12V电源电压小于-14V，+5V电源电压小于4V、+3.3V电源电压小于2.7V、+1.8V电源电压小于1.5V、转速大于12500r/min、270V电源电流大于6A、控制器温度大于120℃，系统正常上电，通过串口调试器查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障、辅助电源欠压、母线过流故障、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压、转速异常、控制器过温故障，验证周期自检功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~159插入： udc = 185; Vol28 = 2250; Vol\_12VA = 990; Vol\_12VAF = 1450; Vol\_5V = 3950; idcfilupr = 62; Vol\_33V = 2650; Vol\_18V = 1450; speed\_SCI = 12600; temp\_c = 121; | 1.通过串口调试器软件查看机上发动机控制器接收软件上报的故障信息。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息中包含270V电源电压欠压故障、辅助电源欠压、母线过流故障、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压、转速异常、控制器过温故障。 | 1、机上发动机控制器接收软件上报的故障信息为：55 AA 0D 00 00 1A 3A 31 38 79 3E 00 00 00 42 01 14 0A 04 1B | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检正常的自检周期 | 等价类划分、功能分解 | 1. 程序插装，设置在在周期自检开始输出高脉冲信号，系统正常上电，通过示波器测量脉冲的间隔时间满足100μs±10μs，连续测试10次，查看脉冲信号的间隔时间均满足100μs±10μs，验证周期自检正常时检测周期时间性能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插桩，在程序文件App\_MainLoop.c函数MainLoop第71行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第73行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1;  3.重新烧录更新后的代码； 4.示波器正确连接。 | 1.系统正常上电启动； 2.通过示波器测量输出脉冲的间隔时间； 3.重复步骤1~2，连续10次观察脉冲的时间间隔。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间满足100μs±10μs； 3.连续10次观察结果均满足100μs±10μs。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间为100.000μs； 3.连续10次观察结果分别为40.000μs、160.000μs、100.000μs、40.000μs、160.000μs、40.000μs、160.000μs、100.000μs、40.000μs、160.000μs | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 周期自检异常的自检周期 | 等价类划分、功能分解 | 1. 预置周期自检中270V电源电压欠压故障、辅助电源欠压、母线过流故障、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压、转速异常、控制器过温故障，通过程序插装，设置在在周期自检开始输出高脉冲信号，系统正常上电，通过示波器测量脉冲的间隔时间满足100μs±10μs，连续测试10次，查看脉冲信号的间隔时间均满足100μs±10μs，验证周期自检故障时检测周期时间性能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插桩，在程序文件App\_MainLoop.c函数MainLoop第71行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第73行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1;  3.重新烧录更新后的代码； 4.示波器正确连接。 | 1.系统正常上电启动； 2.通过示波器测量输出脉冲的间隔时间； 3.重复步骤1~2，连续10次观察脉冲的时间间隔。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间满足100μs±10μs； 3.连续10次观察结果均满足100μs±10μs。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间为100.000μs； 3.连续10次观察结果分别为40.000μs、160.000μs、100.000μs、40.000μs、160.000μs、40.000μs、160.000μs、100.000μs、40.000μs、160.000μs | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GN\_0007自保护停机单元

软件具备自保护停机功能，软件在周期自检中检测到母线过流故障、270V电源电压过压故障、270V电源电压欠压故障、控制器过温故障、转速异常故障后，电机开始停机，关断PWM信号输出，此时电机处于故障锁定状态，不响应启动指令信号，维持停转状态。若参数恢复正常10S±0.1后，允许电机重新启动。若一直故障，电机一直处于停转状态。

表 10 自保护停机测试

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| 正常工作模式-电机自保护停机成功-母线过流故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置母线过流故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证正常工作模式下软件自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { idcfilupr = 62; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 15 00 00 00 00 29 0B 1B 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 38 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 10 00 00 00 1B 3E 00 00 00 42 01 14 0A 04 19 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 正常工作模式-电机自保护停机成功-270V电源电压过压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压过压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证正常工作模式下软件自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 335; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 15 00 00 00 00 29 0C 1E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 34 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 01 00 00 00 1E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 63 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 正常工作模式-电机自保护停机成功-270V电源电压欠压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压欠压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证正常工作模式下软件自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 185; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 16 00 00 00 00 29 0A 20 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 33 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 02 00 00 00 20 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 60 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 正常工作模式-电机自保护停机成功-控制器过温故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置控制器过温故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证正常工作模式下软件自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { temp\_c = 121; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1B 00 00 00 00 29 08 79 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 D7 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1F 00 00 00 20 00 00 79 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 E4 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 正常工作模式-电机自保护停机成功-转速异常故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置转速异常故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证正常工作模式下软件自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { speed\_SCI = 12600; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 16 00 00 00 00 29 0A 24 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 2F 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1D 00 00 00 10 31 38 24 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 E2 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机成功-母线过流故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置母线过流故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { idcfilupr = 62; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 15 00 00 00 00 29 0B 1B 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 38 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 10 00 00 00 1B 3E 00 00 00 42 01 14 0A 04 19 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机成功-270V电源电压过压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压过压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 335; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 15 00 00 00 00 29 0C 1E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 34 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 01 00 00 00 1E 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 63 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机成  功-270V电源电压欠压故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压欠压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 185; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 16 00 00 00 00 29 0A 20 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 33 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1A 00 00 02 00 00 00 20 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 60 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机成功-控制器过温故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置控制器过温故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { temp\_c = 121; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1B 00 00 00 00 29 08 79 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 D7 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1F 00 00 00 20 00 00 79 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 E4 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机成功-转速异常故障 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置转速异常故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { speed\_SCI = 12600; } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态且查看停机前和停机后上传至发动机控制器的数据。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且停机前和停机后上传至发动机控制器的数据正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功。 停机前上传至发动机控制器的数据为：55 AA 16 00 00 00 00 29 0A 24 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 2F 停机后上传至发动机控制器的数据为：55 AA 1D 00 00 00 10 31 38 24 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 E2 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 母线过流故障自保护停机后不响应启动指令 | 功能分解、等价类划分 | 1.预置在电机正常工作时母线过流故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，停机后通过28电源发送启动指令，查看软件不响应启动指令，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { idcfilupr = 62; } | 1.通过28V电源发送启动指令，查看散热泵泵体电机工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 270V电源电压过压故障自保护停机后不响应启动指令 | 功能分解、等价类划分 | 1.预置在电机正常工作时270V电源电压过压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，停机后通过28电源发送启动指令，查看软件不响应启动指令，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 335; } | 1.通过28V电源发送启动指令，查看散热泵泵体电机工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 270V电源电压欠压故障自保护停机后不响应启动指令 | 功能分解、等价类划分 | 1.预置在电机正常工作时270V电源电压欠压故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，停机后通过28电源发送启动指令，查看软件不响应启动指令，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { udc = 185; } | 1.通过28V电源发送启动指令，查看散热泵泵体电机工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 控制器过温故障自保护停机后不响应启动指令 | 功能分解、等价类划分 | 1.预置在电机正常工作时控制器过温故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，停机后通过28电源发送启动指令，查看软件不响应启动指令，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { temp\_c = 121; } | 1.通过28V电源发送启动指令，查看散热泵泵体电机工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 转速异常故障自保护停机后不响应启动指令 | 功能分解、等价类划分 | 1.预置在电机正常工作时转速异常故障，系统正常上电，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，停机后通过28电源发送启动指令，查看软件不响应启动指令，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++; } else { speed\_SCI = 12600; } | 1.通过28V电源发送启动指令，查看散热泵泵体电机工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功且散热泵泵体电机处于停机状态。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 母线过流故障自保护停机10s后电机重新启动成功 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置母线过流故障且在电机停机过程中故障恢复正常，系统正常上电，通过28V电源发送启动信号，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，且在故障恢复10s后查看电机能够正常启动且启动后转速满足要求，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++； } else {  if(test2 < 61)  {  test2++;  idcfilupr = 62;  } } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态； 2.电机停机10s后查看电机的工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的转速正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的数据为：55 AA 35 00 00 00 00 29 05 2A 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 自保护停机270V电源电压过压故障恢复10s后电机重新启动成功 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压过压故障且在电机停机过程中故障恢复正常，系统正常上电，通过28V电源发送启动信号，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，且在故障恢复10s后查看电机能够正常启动且启动后转速满足要求，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++； } else {  if(test2 < 501)  {  test2++;  udc = 335;  } } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态； 2.电机停机10s后查看电机的工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的转速正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的数据为：55 AA 35 00 00 00 00 29 05 2A 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 自保护停机270V电源电压欠压故障恢复10s后电机重新启动成功 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置270V电源电压欠压故障且在电机停机过程中故障恢复正常，系统正常上电，通过28V电源发送启动信号，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，且在故障恢复10s后查看电机能够正常启动且启动后转速满足要求，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++； } else {  if(test2 < 2001)  {  test2++;  udc = 185;  } } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态； 2.电机停机10s后查看电机的工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的转速正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的数据为：55 AA 35 00 00 00 00 29 05 2A 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 自保护停机控制器过温故障恢复10s后电机重新启动成功 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置控制器过温故障且在电机停机过程中故障恢复正常，系统正常上电，通过28V电源发送启动信号，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，且在故障恢复10s后查看电机能够正常启动且启动后转速满足要求，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++； } else {  if(test2 < 30001)  {  test2++;  temp\_c = 121;  } } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态； 2.电机停机10s后查看电机的工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的转速正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的数据为：55 AA 35 00 00 00 00 29 05 2A 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 自保护停机转速异常故障恢复10s后电机重新启动成功 | 功能分解、等价类划分 | 1.程序插装在电机正常工作时设置转速异常故障且在电机停机过程中故障恢复正常，系统正常上电，通过28V电源发送启动信号，查看散热泵泵体电机在正常运转时能够自保护停机，且在故障恢复10s后查看电机能够正常启动且启动后转速满足要求，验证自保护停机功能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~158插入： if(test1 < 100000) { test1++； } else {  if(test2 < 1001)  {  test2++;  speed\_SCI= 12600;  } } | 1.查看散热泵泵体电机工作状态； 2.电机停机10s后查看电机的工作状态。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的转速正确。 | 1、散热泵泵体电机在正常运转中停机成功； 2、三人泵泵体电机重新启动成功且上传至发动机控制器的数据为：55 AA 35 00 00 00 00 29 05 2A 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D。 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| 电机自保护停机后重新启动时间测试 | 等价类划分、功能分解 | 1.通过程序插装，分别在停机故障标志置故后输出低电平，在电机启动之前输出高电平，系统正常上电，通过示波器测量低电平持续的时间，连续测量10次，查看低电平持续的时间均满足10s±0.1s，验证自保护停机故障恢复后电机重新启动时间性能的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插桩，在程序文件App\_Control.c函数Run\_Alarm第367行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 0;  第373行插入代码： GpioDataRegs.GPFDAT.bit.GPIOF7 = 1;  3.重新烧录更新后的代码； 4.示波器正确连接。 | 1.系统正常上电启动； 2.通过示波器测量低电平持续的时间； 3.重复步骤1~2，连续10次观察低电平持续的时间。 | 2.示波器输出低电平持续的时间满足10s±0.1s； 3.连续10次观察结果均满足10s±0.1s。 | 2.示波器输出脉冲的间隔时间为10.000s； 3.连续10次观察结果分别为 10.001s、10.020s、10.040s、10.000s、10.002s、10.005s、10.001s、10.007s、10.006s、 | 实际测试结果与预期结果一致 |

### DB\_GN\_0008 RS422通讯单元

RS422通讯接口用于软件与机上发动机控制器进行通讯，软件通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数及故障信息等。数据发送以中断的方式进行，通讯和数据传递的格式遵循《21C852-0电机控制器串口通讯协议》的相关规定。

RS422通讯接收接口用于软件接收地面维护设备的数据，并从接收的数据中解析出维护状态的操作指令，包括故障数据读取(0x56)、原位升级（0x5B）。该功能为地面维护功能，软件在接收到操作指令后，根据指令执行相应的操作。

表 11 RS422通讯单元测试

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用例名称 | 设计方法 | 测试说明 | 预置条件 | 输入步骤 | 预期结果 | 实际测试结果 | 通过准则 |
| RS422-包计数正确 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的包计数格式与21C852-0电机控制器串口通讯协议要求一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的包计数。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的包计数（第3字节）累计递增至255后开始重新循环计数。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA FF 00 00 00 00 00 00 2D 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 04 55 AA 00 00 00 00 00 00 00 2D 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 6D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-上电BIT故障信息正确1 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，分别设置上电BIT故障（270V电源过压、辅助电源（+28V、±12V、+5V）过压、存储功能异常、+3.3V电源过压、+1.8V电源过压），通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中上电BIT故障信息正确且帧格式是否与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F1212\_IsrFunction.c函数 Power\_Init的L135插入：udc = 335; Power\_Init的L145插入：Vol28 = 3350; Power\_Init的L145插入：Vol\_12VA = 1450; Power\_Init的L145插入：Vol\_12VAF = 990; Power\_Init的L145插入：Vol\_5V = 6050; Power\_Init的L145插入：Vol\_33V = 3950; Power\_Init的L145插入：Vol\_18V = 2150; Power\_Init的L200插入：Read\_E2PROM\_Data = 0x13; | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的上电BIT故障内容（第4字节的D0、D2、D4、第5字节的D0、D2位均为1）。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 07 15 05 00 00 00 00 33 00 00 00 00 42 01 14 0A 04 48 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-上电BIT故障信息正确2 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，分别设置上电BIT故障（270V电源欠压、辅助电源（+28V、±12V、+5V）欠压、存储功能异常、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压），通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中上电BIT故障信息正确且帧格式是否与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件F1212\_IsrFunction.c函数Power\_Init的L135插入：udc = 188; Power\_Init的L145插入：Vol28 = 2250; Power\_Init的L145插入：Vol\_12VA = 990; Power\_Init的L145插入：Vol\_12VAF = 1450; Power\_Init的L145插入：Vol\_5V = 3950; Power\_Init的L145插入：Vol\_33V = 2650; Power\_Init的L145插入：Vol\_18V = 1450; Power\_Init的L200插入：Read\_E2PROM\_Data = 0x13; | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的上电BIT故障内容（第4字节的D0、D2、D4、第5字节的D0、D2位均为1） | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-周期BIT故障信息正确1 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置270V电源电压过压故障、辅助电源（+28V、±12V、+5V）过压、母线过流故障、+3.3V电源过压、+1.8V电源过压、转速异常、控制器过温故障，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中转速值与设置值一致且帧格式与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~159插入： udc = 335; Vol28 = 3350; Vol\_12VA = 1450; Vol\_12VAF = 990; Vol\_5V = 6050; idcfilupr = 62; Vol\_33V = 3950; Vol\_18V = 2150; speed\_SCI = 12600; temp\_c = 121; | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容（第4字节的D0、D2、D4、第5字节的D0、D2位均为1） | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 1F 00 00 15 35 31 38 79 3E 00 00 00 42 01 14 0A 04 13 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-周期BIT故障信息正确2 | 功能分解、等价类划分 | 1.4. 系统上电，分别设置周期BIT故障（270V电源电压欠压故障、辅助电源（+28V、±12V、+5V）欠压、母线过流故障、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压、转速异常、控制器过温故障），通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中周期BIT故障信息正确且帧格式是否与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：在文件App\_Control.c函数Run\_Alarm的L150~159插入： udc = 185; Vol28 = 2250; Vol\_12VA = 990; Vol\_12VAF = 1450; Vol\_5V = 3950; idcfilupr = 62; Vol\_33V = 2650; Vol\_18V = 1450; speed\_SCI = 12600; temp\_c = 121; | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的周期BIT故障内容（第6、7字节）包含270V电源电压欠压故障、辅助电源欠压、母线过流故障、+3.3V电源欠压、+1.8V电源欠压、转速异常、控制器过温故障。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-转速正确 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置转速值，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中转速值与设置值一致且帧格式与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.设置转速值为1000r/min | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的转速值。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的转速值（第8、9字节）与设置值一致。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 13 00 00 00 00 03 E8 5A 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 12 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-控制器温度正确 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置控制器温度值，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中控制器温度值与设置值一致且帧格式与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.设置控制器温度值为90℃ | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的控制器温度值。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的控制器温度（第10字节）值与设置值一致。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 13 00 00 00 00 03 E8 5A 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 12 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-270V电源电流正确 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置270V电源电流值，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中270V电源电流值与设置值一致且帧格式与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.设置270V电源电流值为5A | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的270V电源电流值。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的270V电源电流值（第11字节）与设置值一致。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 13 00 00 00 00 03 E8 5A 32 00 00 00 42 01 14 0A 04 12 | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-软件版本信息正确 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中软件版本和软件生成日期信息正确且帧格式是否与21C852-0电机控制器串口通讯协议一致，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的软件版本和软件生成日期。 | 1、软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容中的软件版本和软件生成日期（第15~17字节）为42 01 14 0A 04。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-包头错误 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置包头错误，通过串口调试助手查看机上发动机控制器是否无法接收到软件发送的RS422数据内容，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.程序插装：文件F2812\_Sci.c函数Sci\_Txpack的Line28~29：  TX\_BUFFER[0] = 0x00AA;   TX\_BUFFER[1] = 0x0055; | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容。 | 1、机上发动机控制器无法接收到RS422数据。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-波特率错误 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置波特率错误，通过串口调试助手查看机上发动机控制器是否无法接收到软件发送的RS422数据内容，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； 2.设置波特率为51200 | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容。 | 1、机上发动机控制器无法接收到RS422数据。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |
| RS422-校验和错误 | 功能分解、等价类划分 | 1.系统上电，设置校验和错误，通过串口调试助手查看机上发动机控制器是否无法接收到软件发送的RS422数据内容，验证软件对RS422接口输出数据处理的正确性。 | 1.测试环境正确连接； | 1.通过串口调试助手查看软件向机上发动机控制器发送RS422数据内容。 | 1、机上发动机控制器无法接收到RS422数据。 | 1、软件上传至发动机控制器的RS422数据为：55 AA 46 00 00 00 00 29 0B 13 02 00 00 00 42 01 14 0A 04 0D | 实际测试结果与预期结果一致 |

## 接口测试

### DB\_IN\_0001模拟量采集接口

内部模拟信号采集分别为控制器温度、电机温度、270V电源电流、270V电源电压、A相电流、C相电流等。采用定时器中断触发采样，采样周期100us。该接口采集的数据一方面参与到闭环调速控制，另一方面用作实时保护（运行报警和自保护停机），并通过RS422串口发送给发动机控制器。

测试结果: 测试数据满足模拟采集接口传递的数据元素见表12。

表 12 传递的数据元素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入来源 | 名称 | 用途 | 格式 | 数量 | 频率 | 值域 | 单位 | 精度 | 接收方法 |
| 机上或地面电源 | 270V电源电压 | 用于电机转速控制，并进行实时保护，采集值通过RS422串口发送给发动机控制器 | AD | 1路 | 100us | 0～+340 | V | 3 | 通过DSP的AD口采集 |
| 电流  传感器 | 270V电源电流 | 1路 | 100us | 0～+50 | A | 1 |
| 电流  传感器 | A相电流 | 1路 | 100us | -50～50 | A | 1 |
| 电流  传感器 | C相电流 | 1路 | 100us | -50～50 | A | 1 |
| 测温  电阻 | 控制器  温度 | 1路 | 100us | -55～+200 | ℃ | 3 |
| 测温  电阻 | 电机温度 | 1路 | 100us | -55～+200 | ℃ | 3 |

### DB\_IN\_0002 RS422通讯接口1

发送：RS422通讯接口用于软件与发动机控制器进行通讯，软件通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数、BIT故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收地面维护设备的数据，并从接收的数据中解析出维护状态的操作指令。

测试结果: 测试满足设计要求。

### DB\_IN\_0003 RS422通讯接口2

发送：RS422通讯接口用于软件与发动机控制器进行通讯，软件通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数、BIT故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收地面维护设备的数据，并从接收的数据中解析出维护状态的操作指令。

测试结果: 测试满足设计要求。

### DB\_IN\_0003 RS422通讯接口3

发送：RS422通讯接口用于软件与发动机控制器进行通讯，软件通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数、BIT故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收地面维护设备的数据，并从接收的数据中解析出维护状态的操作指令。

测试结果: 测试满足设计要求。

### DB\_OUT\_0001 PWM信号输出接口

软件在接收到控制指令后，采集电机的霍尔位置信号，执行闭环调速后，输出6路PWM信号，输出的PWM信号频率为10K，该信号在经过驱动放大后，驱动电机运行。

测试结果: 测试满足设计要求。使用示波器测试输出PWM，测试结果PWM波形满足要求。

# 软件安全性分析

软件为嵌入式软件，其运行依赖于电机控制器的硬件平台，程序经过反复测试及大量的试验考核，具有较高的稳定性，同时开展对软件的容错测试、寄存器配置以及数据计算是否有溢出的测试，从测试结果看，软件具备一定的容错能力，寄存器的配置和数据计算均没有出现溢出的情况，不会出现程序跑飞的情况。

# 注释

CSCI 计算机软件配置项；

PWM 脉宽调制；

r/min 转/分。