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

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 21C852-0电机 |
|  | 控制器软件单元测试说明 |

|  |  |
| --- | --- |
| 部门 | 控制工程部 |
| 编写 | 李 盛 20230528 |
| 校对 | 唐春茂 20230528 |
| 审核 | 曾庆军 20230528 |
| 会签 |  |
| 标审 |  |
| 批准 | 郑自伟 20230528 |

|  |
| --- |
| 贵州航天林泉电机有限公司 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容摘要：  本说明适用于21C852-0电机控制器软件开发过程中软件实现、软件测试、软件产品评价等，检验对设计说明的符合情况，用于指导该软件项目的测试工作。 | | | | |
| 主题词 | 21C852-0电机控制器，软件测试说明 | | | |
| 更改栏 | 更改单号 | 更改日期 | 更改人 | 更改办法 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目 录

[1 范围 4](#_Toc149596963)

[1.1 标识 4](#_Toc149596964)

[1.2 系统概述 4](#_Toc149596965)

[1.3 文档概述 5](#_Toc149596966)

[2 引用文档 5](#_Toc149596967)

[3 测试准备 6](#_Toc149596968)

[3.1 硬件准备 6](#_Toc149596969)

[3.2 软件准备 6](#_Toc149596970)

[3.3 其他测试前的准备 6](#_Toc149596971)

[3.4 测试计划 6](#_Toc149596972)

[4 测试说明 7](#_Toc149596973)

[4.1 功能单元测试说明 7](#_Toc149596974)

[4.1.1 DM\_IN\_0001上电初始化 7](#_Toc149596975)

[4.1.2 DM\_IN\_0002上电自检 8](#_Toc149596976)

[4.1.3 DM\_IN\_0003模拟量采集 8](#_Toc149596977)

[4.1.4 DM\_IN\_0004旋变信号采集 8](#_Toc149596978)

[4.1.5 DM\_IN\_0005泵电机转速采集 9](#_Toc149596979)

[4.1.6 DM\_IN\_0006蝶阀角度采集 9](#_Toc149596980)

[4.1.7 DM\_IN\_0007周期自检 9](#_Toc149596981)

[4.1.8 DM\_IN\_0008RS422通讯 9](#_Toc149596982)

[4.1.9 DM\_IN\_0009余度切换 9](#_Toc149596983)

[4.2 接口测试 9](#_Toc149596984)

[4.2.1 DM\_Jk\_0001 A/D模拟采样接口 9](#_Toc149596985)

[4.2.2 DM\_Jk\_0002 RS422通讯接口 10](#_Toc149596986)

[4.2.3 DM\_Jk\_0003 PWM信号输出接口 10](#_Toc149596987)

[5 需求的可追踪性 10](#_Toc149596988)

[5.1.1 软件设计说明-软件单元测试说明 11](#_Toc149596989)

[5.1.2 软件单元测试说明-软件设计说明 11](#_Toc149596990)

[6 注释 12](#_Toc149596991)

21C852-0控制器软件单元测试说明

# 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\_DC\_V1.00；
2. 文档标题：21C852-0电机控制器软件单元测试说明；
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

本设计说明依据《软件任务书》、《软件需求规格说明》、《软件设计说明》等文档要求开展软件单元测试设计，其内容格式遵循GJB438B-2009《军用软件开发文档通用要求》。本文档可作为：

a)单元测试代码编写的依据；

b)单元测试的基准。

# 引用文档

引用文档见表 1所示。

表 1 引用文档

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 文档编号、标识 | 文档标题 |
| 1 | QFv.G(33)06 | 项目管理程序 |
| 2 | QFv.G(33)18 | 不符合项、问题和缺陷处理规程 |
| 3 | QFv.G(33)10 | WBS分解指南 |
| 4 | QFv.G(33)08 | 风险管理规程 |
| 5 | 21C852-0\_XQ\_RW\_V1.00 | 软件任务书 |
| 6 | 21C852-0\_XQ\_XQ\_V1.00 | 软件需求规格说明 |
| 7 | 21C852-0\_SJ\_SM\_V1.00 | 软件设计说明 |

# 测试准备

测试准备详见表 2。

表 2 测试准备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 安全及保密提示项 | 注意等级 |
| 1 | 使用电源注意人身安全 | 注意 |
| 2 | 通电时注意正负极接反烧坏产品 | 注意 |
| 3 | 程序录入注意保密安全 | 注意 |

## 硬件准备

CSCI运行的硬件环境：

1. 计算机，Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU [E7500@2.93GHz](mailto:E7500@2.93GHz)CPU；
2. 仿真器：SEED-XDS510PLUS；
3. 21C852-0电机控制器硬件平台。

## 软件准备

CSCI运行的软件环境：

1. MICROSOFT WINDOWS XP PROFESSIONAL EDITION SERVICE PACK 2；
2. Code Composer Studio Versior 3.3 1.00；
3. 上位机通讯软件（以VC++为基础工厂自行开发）；
4. VC++6.0。

## 其他测试前的准备

由于软件测试中涉及相关通电检查，因此需准备270V直流电源（1台），28V直流电源（1台），RS422差分转串口转接头（1个）。

## 测试计划

按照项目计划，源代码完成评审，入受控库之后执行软件测试。软件系统测试完成后，若发现问题，软件负责人应及时与用户代表协调处理问题并达成一致意见。

# 测试说明

由于该软件为嵌入式软件，其功能运行脱离不了电机控制器，并且其合格的判据与硬件参数有关，因此测试中结合硬件功能对软件的测试说明进行阐述。

## 功能单元测试说明

通过对《电机控制器软件任务书》以及对软件性能要求的解析，软件功能主要为：

1. 上电初始化功能(M1)；
2. 上电自检功能(M2)；
3. 模拟量采集功能(M3)；
4. 旋变信号采集功能(M4)；
5. 泵电机转速闭环调节功能(M5)；
6. 蝶阀电机位置闭环调节功能(M6)
7. 周期自检功能(M7)；
8. RS422通讯功能(M8)；
9. 余度切换(M9)。

### DM\_IN\_0001上电初始化

该部分名称：上电初始化，标识：INITIAL。

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状态。

上电初始化功能CSCI标示见表 3。

表 3 上电初始化功能CSCI标示

| 序号 | 模块标识名称 | 标识 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 初始化时钟模块 | InitSysCtrl |  |
| 2 | 初始化中断模块 | InitPieCtrl |  |
| 3 | 初始化I/O口模块 | InitGPIO |  |
| 4 | 初始化SCI模块 | InitSCI |  |
| 5 | 初始化Flash模块 | InitFlash |  |
| 6 | 初始化ADC模块 | InitADC |  |
| 7 | 初始化SPI模块 | InitSPI |  |
| 8 | 初始化中断矢量表模块 | InitPieVectTable |  |
| 9 | 初始化PWM模块 | Initpwm |  |

该功能模块无法设定BIT检测方式，因此需手动方式检测：1）在控制器连接仿真器状态下，读取寄存器的值；2）通过示波器测量输出信号。

测试说明：测试上电初始化后软件的状态是否满足配置要求。

### DM\_IN\_0002上电自检

该部分名称：上电自检，标识：POWER\_UP

控制器上电后，主要执行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电源状态等参数检测，以确定控制器是否具备工作条件。该部分是通过上位机上电自检故障位检测，读取上位机状态按钮，评判其功能的正确性。

测试说明：测试上电自检项目是否满足自检逻辑及故障上报要求。

### DM\_IN\_0003模拟量采集

该部分名称：模拟量采集，标识：ADCCAIY。

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相电流等参数。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（自保护停机），并通过RS422串口发送给发动机控制器。

测试说明：为了验证A/D的正确性，通过定点测试模拟电源电压实际值与软件采集值进行比较，验证采集精度是否满足要求。

表 4 模拟采样参数列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素标识 | 描述 | 数据类型 | 参数范围 |
| ADCRESULT0 | 28V电源电压 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT1 | 28V电源电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT2 | 270V电源电压 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT3 | 270V电源电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT4 | 控制器温度采集 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT5 | U相电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT6 | V相电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT7 | V相电流 | Int16 | -32767～32767 |

### DM\_IN\_0004旋变信号采集

### DM\_IN\_0005泵电机转速采集

该部分名称：闭环调速，标识：SPEED。

闭环调速单元是软件的核心控制单元，该单元需运行在上电自检通过后的待机状态，在该状态下，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，再经过转速闭环计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。

测试说明：测试电机输出的转速、功率、启动时间等是否满足要求。

### DM\_IN\_0006蝶阀角度采集

该部分名称：位置闭环，标识：ANGLE。

位置闭环单元是软件的核心控制单元，该单元需运行在上电自检通过后的待机状态，在该状态下，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，再经过位置闭环计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。

测试说明：测试电机输出的角度、功率、启动时间等是否满足要求。

### DM\_IN\_0007周期自检

该部分名称：周期自检。

软件周期性的对28V电源母线电流、28V电源电压、270V电源母线电流、270V电源电压、控制器温度、转速、角度等参数进行检测，并根据参数的特性设置连续故障判断的周期和阈值，在故障位被置位后，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。

测试说明：需测试参数故障连续判断周期和阈值的准确性。

### DM\_IN\_0008RS422通讯

该部分名称：RS422通讯，标识：RS422。

RS422通讯接口用于软件与机上发动机控制进行通讯，软件一方面接收机上发动机控制下发的控制指令，另一方面以10ms周期上传电机关键参数及故障信息等。数据发送以查询的方式进行，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。

测试说明：需测试串口通讯中的帧头、数据位、校验位等数据。

### DM\_IN\_0009余度切换

## 接口测试

### DM\_Jk\_0001 A/D模拟采样接口

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相电流等参数。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（自保护停机），并通过RS422串口发送给发动机控制。

测试说明:A/D模拟采集接口传递的数据元素见表12。通过使用信号发生器注入表 5信号，然后通过仿真器连接DSP读取模拟信号采集数值量进行验证。

表 5 传递的数据元素

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素标识 | 描述 | 数据类型 | 参数范围 |
| ADCRESULT0 | 28V电源电压 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT1 | 28V电源电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT2 | 270V电源电压 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT3 | 270V电源电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT4 | 控制器温度采集 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT5 | U相电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT6 | V相电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT7 | V相电流 | Int16 | -32767～32767 |

### DM\_Jk\_0002 RS422通讯接口

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、故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收发动机控制器下发的控制指令。软件在接收到操作指令后，根据指令执行相应的操作。

测试说明：通过电脑USB口连接RS422通讯转接器，然后使用上位机读取通讯数据，解析反馈数据对应通讯协议。通过上位机察看电机运行参数。

### DM\_Jk\_0003 PWM信号输出接口

软件在接收到控制指令后，采集电机旋转变压器的信号，执行闭环调速后，输出6路PWM信号，该信号在经过驱动放大后，驱动电机运行。

测试说明:使用示波器测试输出PWM，通过示波器读取PWM周期，计算PWM频率，判断是否满足要求输出PWM。

# 需求的可追踪性

### 软件设计说明-软件单元测试说明

表 6 软件设计说明与软件单元测试说明的追踪

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 软件设计说明 | | 软件单元测试说明 | |
| 章节 | 软件设计 | 章节 | 测试说明 |
| 4.1.1 | SM\_GN\_0001上电初始化 | 4.1.1 | DM\_IN\_0001上电初始化 |
| 4.1.2 | SM\_GN\_0002上电自检 | 4.1.2 | DM\_IN\_0002上电自检 |
| 4.1.3 | SM\_GN\_0003模拟量采集 | 4.1.3 | DM\_IN\_0003模拟量采集 |
| 4.1.4 | SM\_GN\_0004旋变信号采集单元 | 4.1.4 | DM\_IN\_0004旋变信号采集 |
| 4.1.5 | SM\_GN\_0005油泵电机转速闭环单元 | 4.1.5 | DM\_IN\_0005泵电机转速采集 |
| 4.1.6 | SM\_GN\_0006蝶阀电机位置闭环调节单元 | 4.1.6 | DM\_IN\_0006蝶阀角度采集 |
| 4.1.7 | SM\_GN\_0007周期自检 | 4.1.7 | DM\_IN\_0007周期自检 |
| 4.1.8 | SM\_GN\_0008 RS422通讯 | 4.1.8 | DM\_IN\_0008RS422通讯 |
| 4.1.9 | SM\_GN\_0009余度切换 | 4.1.9 | DM\_IN\_0009余度切换 |
| 5.2.2 | SM\_JK\_0001 A/D模拟采样接口 | 4.2.1 | DM\_Jk\_0001 A/D模拟采样接口 |
| 5.2.3 | SM\_JK\_0002 RS422通讯接口 | 4.2.2 | DM\_Jk\_0002 RS422通讯接口 |
| 5.2.4 | SM\_JK\_0005 PWM信号输出接口 | 4.2.3 | DM\_Jk\_0003 PWM信号输出接口 |

### 软件单元测试说明-软件设计说明

表 7 软件单元测试说明与软件设计说明的追踪

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 软件设计说明 | | 软件单元测试说明 | |
| 章节 | 软件设计 | 章节 | 测试说明 |
| 4.1.1 | SM\_GN\_0001上电初始化 | 4.1.1 | DM\_IN\_0001上电初始化 |
| 4.1.2 | SM\_GN\_0002上电自检 | 4.1.2 | DM\_IN\_0002上电自检 |
| 4.1.3 | SM\_GN\_0003模拟量采集 | 4.1.3 | DM\_IN\_0003模拟量采集 |
| 4.1.4 | SM\_GN\_0004旋变信号采集单元 | 4.1.4 | DM\_IN\_0004旋变信号采集 |
| 4.1.5 | SM\_GN\_0005油泵电机转速闭环单元 | 4.1.5 | DM\_IN\_0005泵电机转速采集 |
| 4.1.6 | SM\_GN\_0006蝶阀电机位置闭环调节单元 | 4.1.6 | DM\_IN\_0006蝶阀角度采集 |
| 4.1.7 | SM\_GN\_0007周期自检 | 4.1.7 | DM\_IN\_0007周期自检 |
| 4.1.8 | SM\_GN\_0008 RS422通讯 | 4.1.8 | DM\_IN\_0008RS422通讯 |
| 4.1.9 | SM\_GN\_0009余度切换 | 4.1.9 | DM\_IN\_0009余度切换 |
| 5.2.2 | SM\_JK\_0001 A/D模拟采样接口 | 4.2.1 | DM\_Jk\_0001 A/D模拟采样接口 |
| 5.2.3 | SM\_JK\_0002 RS422通讯接口 | 4.2.2 | DM\_Jk\_0002 RS422通讯接口 |
| 5.2.4 | SM\_JK\_0005 PWM信号输出接口 | 4.2.3 | DM\_Jk\_0003 PWM信号输出接口 |

# 注释

CSCI：计算机软件配置项；

r/min：转/分。