|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 档号 |  |  | 编号 | 21C852-0\_XQ\_XQ\_V1.00 |
| 保管期限 |  |  | 密级 | 非密 |
|  |  |  | 阶段标记 | M |

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 21C852-0电机控制器 |
|  | 软件需求规格说明 |

|  |  |
| --- | --- |
| 部门 | 控制工程部 |
| 编写 | 李 盛 20230924 |
| 校对 | 唐春茂 20230924 |
| 审核 | 曾庆军 20230924 |
| 会签 |  |
| 标审 | 王庆辉 20230924 |
| 批准 | 刘政华 20230924 |

|  |
| --- |
| 贵州航天林泉电机有限公司 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容摘要：  本报告主要是对电机控制器软件的需求进行阐述。软件作为系统的核心控制软件，主要负责采样电机的运行参数，执行电机位置、转速闭环调速，产生电机的驱动信号，驱动电机正常工作，并将电机的工作状态通过RS422串口实时上传。 | | | | |
| 主题词 | 电机控制器软件、需求规格、算法 | | | |
| 更改栏 | 更改单号 | 更改日期 | 更改人 | 更改办法 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目 录

[1 范围 4](#_Toc146565490)

[1.1 标识 4](#_Toc146565491)

[1.2 系统概述 4](#_Toc146565492)

[1.3 文档概述 5](#_Toc146565493)

[2 引用文档 5](#_Toc146565494)

[3 需求 6](#_Toc146565495)

[3.1 CSCI能力需求 6](#_Toc146565496)

[3.1.1 上电初始化（XQ1） 6](#_Toc146565497)

[3.1.2 上电自检单元（XQ2） 9](#_Toc146565498)

[3.1.3 模拟量采集单元（XQ3） 11](#_Toc146565499)

[3.1.4 旋变信号采集单元（XQ4） 15](#_Toc146565500)

[3.1.5 电机转速闭环调节单元（XQ5） 16](#_Toc146565501)

[3.1.6 蝶阀电机位置闭环调节单元（XQ6） 18](#_Toc146565502)

[3.1.7 周期自检单元（XQ7） 19](#_Toc146565503)

[3.1.8 RS422通讯单元（XQ8） 21](#_Toc146565504)

[3.1.9 余度切换单元（XQ9） 23](#_Toc146565505)

[3.2 外部接口需求 24](#_Toc146565506)

[3.2.1 接口标识和接口图 24](#_Toc146565507)

[3.2.2 模拟信号采集接口 26](#_Toc146565508)

[3.2.3 RS422串口1 28](#_Toc146565509)

[3.2.4 RS422串口2 28](#_Toc146565510)

[3.2.5 RS422串口3 28](#_Toc146565511)

[3.2.6 PWM信号输出 28](#_Toc146565512)

[3.3 CSCI的内部接口需求 29](#_Toc146565513)

[3.4 CSCI内部数据需求 29](#_Toc146565514)

[3.5 适应性需求 29](#_Toc146565515)

[3.6 安全性需求 29](#_Toc146565516)

[3.7 保密性需求 30](#_Toc146565517)

[3.8 CSCI环境需求 30](#_Toc146565518)

[3.9 计算机资源需求 30](#_Toc146565519)

[3.9.1 计算机硬件需求 30](#_Toc146565520)

[3.9.2 计算机硬件资源使用需求 30](#_Toc146565521)

[3.9.3 计算机软件需求 30](#_Toc146565522)

[3.9.4 计算机通信需求 31](#_Toc146565523)

[3.10 软件质量因素 31](#_Toc146565524)

[3.11 设计和实现约束 31](#_Toc146565525)

[3.12 人员需求 31](#_Toc146565526)

[3.13 培训需求 31](#_Toc146565527)

[3.14 软件保障需求 31](#_Toc146565528)

[3.15 其他需求 32](#_Toc146565529)

[3.16 验收、交付和包装需求 32](#_Toc146565530)

[3.17 需求的优先顺序和关键程度 32](#_Toc146565531)

[4 合格性规定 32](#_Toc146565532)

[5 需求可追踪性 33](#_Toc146565533)

[6 注释 34](#_Toc146565534)

# 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\_XQ\_XQ\_V1.00；
2. 文档标题：21C852-0电机控制器软件需求规格说明；
3. 软件名称：21C852-0电机控制器软件；

本文档中的术语和缩略语：

1. 软件：电机控制器软件；
2. 电机：高温蝶阀电机、油泵电机；
3. 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

该文档描述了软件的CSCI能力需求、外部接口、内部接口需求、内部接口数据要求、安全性、设计和实现约束、验收、交付和包装等内容。针对软件研制任务书中的任务及接口，详细开展需求分析。该文档用于软件的设计开发、质量管理及验收交付工作。

本文档编写的用途：

1. 作为软件设计开发的依据。
2. 作为软件配置项测试的依据。
3. 作为软件评测的依据。

# 引用文档

引用的标准及法规见表 1。

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 |
| 1 | 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 |
| 2 | GJB 2786A-2009 | 《军用软件开发通用要求》 | 总装备部 | / | 20090525 |
| 3 | GJB 438B-2009 | 《军用软件开发文档通用要求》 | 总装备部 | / | 20090525 |
| 4 | GJB 5000A-2008 | 《军用软件研制能力成熟度模型》 | 总装备部 | / | 20080330 |
| 5 | / | 《21C852-0电机控制器通讯协议》 | 六院XX所 | / | 20230706 |

# 需求

## CSCI能力需求

根据软件任务书功能要求以及电机控制的算法原理分解功能需求，电机控制器软件的能力需求如图 3。



图 3 软件CSCI能力需求图

### 上电初始化（XQ1）

#### 需求描述

系统上电后，程序从FLASH加载到RAM中开始运行，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。上电初始化的进入条件是DSP上电后硬件复位成功。

#### 输入

输入：无。

#### 处理过程

完成DSP运行的各寄存器初始化，将输出引脚配置在正确的工作状态，初始化操作主要是初始化各变量参数、系统的时钟、中断向量表、SPI、SCI、ADC采样等，包含以下内容：1）初始化系统时钟为150MHz；初始化中断控制寄存器；2）初始化中断向量表；3）初始化SPI，SPICCR配置为0x07；4）初始化SCI，SCIHBAUD配置为0x28；5）配置定时器T1中断，以及SCI收发FIFO，CAP中断；6）初始化IO口输出；7）初始化ADC寄存器。



图 4 上电初始化软件流程图

#### 输出

DSP各寄存器初始化值。

#### 性能

无。

#### 设计约束

1. 执行初始化前，应关闭所有中断；
2. 初始化在上电后执行一次;
3. 初始化时间不大于100ms。

#### 容错措施

无。

### 上电自检单元（XQ2）

#### 需求描述

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。上电自检进入的条件是软件初始化完成。

#### 输入

输入的模拟量采集数据滤波处理见3.1.3条，滤波处理后的数据用于自检单元的输入。

#### 处理过程

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 2 自检方法描述

| 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，并上报相电流故障。 |  |
| 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，并上报相电流故障。 |  |
| 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，并上报相电流故障。 |  |
| 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，大于于22V，自检通过 | 若自检不通过，允许电机起动，并上报上电故障。 |  |
| 270V电源电压 | 270V电源电压大于220V，小于300V，自检通过 |  |



图 5 上电自检流程图

#### 输出

软件的上电自检结果。

#### 性能

自检时间不大于1S。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

无。

### 模拟量采集单元（XQ3）

#### 需求描述

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。

#### 输入

软件对模拟量进行采样，原始数据经过处理后，参与控制算法的计算及控制器的判故处理。采样的模拟量：

1. 28V电源电压
2. 28V电源电流
3. 270V电源电压
4. 270V电源电流
5. 控制器温度
6. U相电流
7. V相电流
8. W相电流

#### 处理过程

软件开辟了一个定时器中断Timer1，中断周期100us，进入中断后，先采集各路外部模拟量信号，考虑到电机的闭环调速控制，需采集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。整个外部采样利用的是TMS320F28335芯片A/D采样A、B通道，考虑到不同信号频率响应，在软件中对不同模拟输入信号进行了不同深度的滤波，尽量保证电机强干扰下信号采样的准确性及动态响应。超范围的数据软件不做处理，并通过串口上报按检测数据对应的故障。

表 3 模拟信号采样处理

| 采样参数 | 采样周期 | 采样处理 | 滤波处理 |
| --- | --- | --- | --- |
| 28V电源电压 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 16次均值滤波 |
| 28V电源电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，求32次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| 270V电源电压 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 16次均值滤波 |
| 270V电源电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，求32次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| 控制器温度 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 求256次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| U相电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，再进行一阶平滑滤波 |
| V相电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，再进行一阶平滑滤波 |
| W相电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，再进行一阶平滑滤波 |

注：1）一阶平滑滤波处理方法，Y(n)= Y(n-1) +α\*[Y(n) - Y(n-1)]，式中，Y(n)为当次采样值，Y(n-1)为前一周期采样值，α为权重因子。2）均值滤波方法：连续采集多个数据，取平均值，在未达到求平均值的数据个数之前，维持前一状态的数据。



图 6 模拟量采集流程图

模拟量具体采集过程实现如下：

1. 电源电压采集

28V和270V电源电压采集通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），经过比例还原计算得到采集值的实际电压，比例系数由硬件设计决定，再经过16次均值滤波计算得到电压的采集值。



图 7 电源电压采集过程

1. 电源电流采集

28V和270V电源电流采集通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），经过比例还原计算得到采集值的实际电流值，比例系数由硬件设计决定，再经过32次均值滤波，计算得到电流的实际值。



图 8 电源电流采集过程

1. 控制器温度采集

控制器温度通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），经过比例还原计算得到采集值对应的温度值，比例系数由硬件设计决定，再经过256次均值滤波，计算得到温度的采集值，如果计算的温度是正温度，则直接上传。如果是负温度则温度值加0x8000后上传。



图 9 控制器温度采集过程

1. U相电流采集

U相电流采集通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），先减去电流采集的零点，经过比例还原计算得到采集值对应的电流值，比例系数由硬件设计决定，再经过一阶平滑滤波，计算得到电流的采集值。



图 10 U相电流采集过程

1. V相电流采集

V相电流采集与U相电流采集处理过程完全一致，通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），经过比例还原计算得到采集值对应的温度值，比例系数由硬件设计决定，再经过比例还原计算得到采集值对应的电流值，比例系数由硬件设计决定，再经过一阶平滑滤波，计算得到电流的采集值。



图 11 V相电流采集过程

1. W相电流采集

W相电流采集与U、V相电流采集处理过程完全一致，通过中断触发，以100us的周期进行采集。软件直接读取ADC转换寄存器的值（0-4096），经过比例还原计算得到采集值对应的温度值，比例系数由硬件设计决定，再经过比例还原计算得到采集值对应的电流值，比例系数由硬件设计决定，再经过一阶平滑滤波，计算得到电流的采集值。



图 12 W相电流采集过程

#### 输出

模拟量采集是为了监控产品的工作状态，并实现周期自检、自保护停机功能，其输出作为其他功能单元的数据输入。

1. 采集28V、270V电源电压是为了实现欠压、过压保护功能；
2. 采集28V、270V电源电流是为了实现母线过流保护功能；
3. 采集控制器温度用于对产品的温度进行监控，对出现的过温故障进行保护；
4. 采集U相、V相、W相电流，一方面是为了电流闭环控制，另一方面是为了实现相电流过流保护功能。

模拟量采集的数据通过RS422串口以10ms的周期上传至发动机控制器，上传的数据值为通讯发送时刻的计算值。

#### 性能

模拟信号采样时间间隔为100us±10%；

#### 设计约束

模拟信号采样时间间隔为100us±10%；

#### 容错措施

所有采样通道数据都进行了均值或一阶平滑滤波，单个错误的采样数据不会对采样结果造成影响。

### 旋变信号采集单元（XQ4）

#### 需求描述

软件在接收到发动机控制器下发的控制指令后，采集电机（蝶阀电机、油泵电机）旋变信号，估算电机位置或转速信息。

#### 输入

发动机控制器下发的控制指令。

#### 处理过程

配置SPI接口与电机旋变传感器通信，设置SPI时钟速率、数据位宽、时钟极性和相位等参数；设置当前工作的DSP为主设备，旋变信号对应的解算芯片（AD2S1210BSTZ）为从设备，定义读取位置或速度信息的命令或寄存器地址。

DSP向电机旋变传感器发送相应的SPI命令，以请求数据，电机旋变传感器在收到命令后，将位置或速度信息以SPI协议的形式返回DSP。DSP对接收到的SPI数据需要进行解析和处理，以提取电机的位置或速度信息，包括滤波、去噪和校准，以确保测量的准确性和稳定性。当进行旋变信号解算时，若解算失败则通过RS422向发动机控制器上报旋变解算故障。

#### 输出

1. 油泵电机的转速信息；
2. 蝶阀电机的位置信息。

#### 性能

蝶阀电机旋变采集及解算时间不大于40us，油泵电机旋变采集及解算时间不大于20us。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

旋变信号解算失败或错误时向发动机控制器上传旋变解算故障。

### 电机转速闭环调节单元（XQ5）

#### 需求描述

软件在接收到发动机控制器下发的控制指令后，通过空间矢量计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。该单元进入的条件是上电自检通过且接收到电机起动指令。

#### 输入

1. 给定指令信号：发动机控制器下发的控制指令；
2. 反馈信号：旋变信号；

#### 处理过程

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，通过采集旋转变压器的反馈的旋变信号，获取电机转子位置和转速，再经过转速闭环计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。油泵电机采用转速控制方式，通过上位机或发动机控制器下发的控制指令，从控制中获取电机运行的转速值，并执行电机转速闭环控制，驱动电机运行。具体执行步骤如下：

1. 软件接收发动机控制下发的控制油泵电机启动的控制指令，油泵电机处于待机状态，等待发动机控制器下发的转速控制指令；
2. 从转速控制指令中确定电机运行的目标转速；
3. 响应目标转速，执行闭环转速控制。



图 13 电机转速闭环调节流程图

通过将电机设定的转速与实际转速进行PI计算，输出PWM占空比，驱动电机运行到目标转速。

#### 输出

6路PWM信号。

#### 性能

1. 油泵电机转速精度需满足6500±100r/min的要求。
2. 速度环控制周期1ms；
3. 起动时间≤5S（从电机起动到额定转速90%的时间）。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

无。

### 蝶阀电机位置闭环调节单元（XQ6）

软件在接收到发动机控制器下发的控制指令后，采集蝶阀电机的电机本体和减速器两路旋变信号，获取电机转子和蝶阀位置信息，并通过空间矢量计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。该单元进入的条件是上电自检通过且接收到电机起动指令。

#### 输入

1. 给定指令信号：发动机控制器下发的控制指令；
2. 反馈信号：旋变信号；

#### 处理过程

位置闭环调节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，通过采集旋转变压器的反馈的旋变信号，估算电机转子的位置和转速，再经过位置闭环计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。通过上位机或发动机控制器下发的控制指令，从控制中获取电机运行的目标角度，并执行电机位置闭环控制，驱动电机运行。具体执行步骤如下：

1. 软件接收发动机控制下发的控制蝶阀电机启动的控制指令，蝶阀电机处于待机状态，等待发动机控制器下发的角度控制指令；
2. 从转速控制指令中确定电机运行的目标角度；
3. 响应目标角度，执行闭环位置控制。



图 14 电机位置闭环调节流程图

#### 输出

6路PWM信号。

#### 性能

两路蝶阀电机满足位置精度控制要求。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

无。

### 周期自检单元（XQ7）

#### 需求描述

软件周期性的对28V电源电压、28V电源电流、270V电源电流、270V电源电压、控制器温度、U相电流、V相电流、W相电流、电机转速、蝶阀位置进行检测，并根据参数的特性设置故障判断的周期和阈值，并通过RS422串口将故障位按通讯协议的上报要求发送到发动机控制器。

#### 输入

电机关键运行参数。

#### 处理过程

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发动机控制器。

表 4 周期自检参数列表

| 故障名称 | 检测周期 | 故障模式 | 连续故障时间 | 上传故障码 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 28V电源电压过压故障 | 100us | 电压大于30V | 大于48ms | 遥测响应帧对应故障位 |
| 28V电源电压欠压故障 | 电压小于22V | 大于1ms |
| 270V电源电压过压故障 | 电压大于300V | 大于48ms |
| 270V电源电压欠压故障 | 电压小于220V | 大于1ms |
| 相电流过流故障 | U、V、W相电流绝对值大于10A | 大于200us |
| 28V电源过流 | 电流大于10A | 大于48ms |
| 270V电源过流 | 电流大于10A | 大于48ms |
| 控制器通道1通讯接收故障 | 不能正常接收数据 | 大于2S |
| 控制器通道2通讯接收故障 | 不能正常接收数据 | 大于2S |
| 控制器通道3通讯接收故障 | 不能正常接收数据 | 大于2S |
| 控制器过热故障 | 控制器温度大于120℃ | 大于5S |



图 15 周期自检软件流程图

#### 输出

控制器电机运行参数、故障信息。

#### 性能

检测周期为100us±10us，各参数连续故障时间见表 4。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

对各运行参数连续多次判断，满足连续故障时间，置位相应的周期自检故障位。

### RS422通讯单元（XQ8）

#### 需求描述

RS422通讯发送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周期上传系统关键运行参数及故障信息等。三通道通讯的格式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。

#### 输入

发动机控制器发送的自检指令、控制指令以及遥测指令。

#### 处理过程

采用三路422通讯进行控制，当单个通道连续20个周期内未收到正确指令时，上报该通道通讯故障。三路通讯接收和发送的实现方式完全一致，通讯收发数据和传递的格式遵循《21C852-0电机控制器串口通讯协议》的相关规定。

RS422通讯接收功能主要是软件接收发动机控制器的控制指令，软件在接收到操作指令后，根据指令执行相应的操作。



图 16 RS422串口通讯接收软件流程图

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及故障信息等。数据发送以查询的方式进行。



图 17 RS422串口通讯发送软件流程图

连续20个周期（100ms）未收到正确的指令时，上报该通道通讯故障，通讯故障期间，若收到一包正确的通讯指令，取消通讯故障状态。

#### 输出

1）周期自检上报的故障信息；

2）电机关键运行参数。

#### 性能

发送周期：10ms。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

需校验帧头、帧长度及校验位。

### 余度切换单元（XQ9）

#### 需求描述

#### 输入

硬件故障（母线过流）、电机过流、母线过压、母线欠压、控制器过温、旋变解码故障。

#### 处理过程

双余度永磁电机的双闭环控制系统的控制框图如图 18所示，其逆变器采用两套独立的三相全桥拓扑，可提高系统的可靠性。当系统正常时，电机两套绕组各自对应的余度同时工作，每套绕组各自输出50%的功率。当系统的某一通道电机发生故障时，将诊断出发生故障的余度从系统中切除，将该故障信号传递到正常工作的另一通道电机中，进而改变正常工作通道电机的状态，增加其输出功率，使其输出100%的功率，进而保证系统输出功率不变，实现余度切换控制。

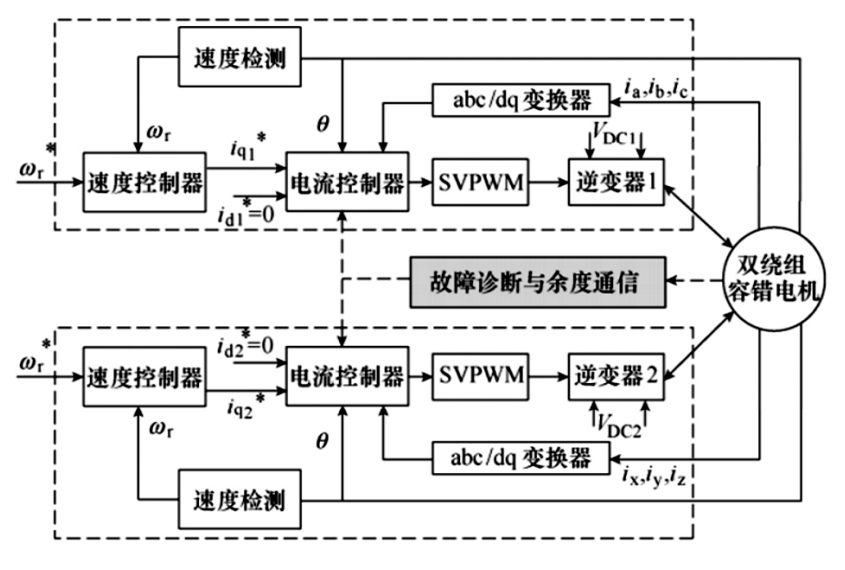


图 18 双余度控制原理框图

#### 输出

控制器驱动主回路处于关闭状态、驱动副回路处于工作状态。

#### 性能

切换过程中泵电机转速不低于5000r/min，时间不大于0.5S，阀电机满足位置精度控制要求。

#### 设计约束

无。

#### 容错措施

无。

## 外部接口需求

### 接口标识和接口图

软件的外部接口包括：模拟量输入接口、RS422串口、硬线起停控制、PWM信号输出接口，整个外部接口如图23。



图 19 外部接口图

表 6 外部接口标识及数据说明

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 接口名称 | 接口标识 | 接口说明 | 接口数据 | | | |
| 数据名称 | 数据标识 | 来源 | 目的地 |
| 模拟量采集接口 | ADC | 模拟量采集 | 模拟量 | ADC \_AD | 外部传感器 | 软件 |
| RS422串口1 | RS422\_1 | 接收发动机控制下发控制指令 | 控制指令 | RS422\_1\_RX | 发动机控制器 | 软件 |
| 向发动机控制器发送电机的运行参数 | 电机运行参数 | RS422\_1\_TX | 软件 | 发动机控制器 |
| RS422串口2 | RS422\_2 | 接收发动机控制下发控制指令 | 控制指令 | RS422\_2\_RX | 发动机控制器 | 软件 |
| 向发动机控制器发送电机的运行参数 | 电机运行参数 | RS422\_2\_TX | 软件 | 发动机控制器 |
| RS422串口2 | RS422\_3 | 接收发动机控制下发控制指令 | 控制指令 | RS422\_2\_RX | 发动机控制器 | 软件 |
| 向发动机控制器发送电机的运行参数 | 电机运行参数 | RS422\_2\_TX | 软件 | 发动机控制器 |
| PWM信号输出接口 | PWM\_Output | 输出PWM信号，驱动电机 | PWM信号 | PWM\_Output | 软件 | 驱动电机 |

### 模拟信号采集接口

需求标识：XQ\_IN\_0001

内部模拟信号采集分别为控制器温度、28V电源电压、28V电源电流、270V电源电流、270V电源电压、U相电流、V相电流、W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，并通过RS422串口发送给发动机控制器。

1. 控制器温度

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：摄氏度(℃)；
* 极限值/值域：-55℃～+125℃；
* 精度：±3℃；

1. 28V电源电流

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：安培 (A)；
* 极限值/值域：0A～+10A；
* 精度：±1A；

1. 28V电源电压

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：伏特(V)；
* 极限值/值域：0V～+30V；
* 精度：±3V；

1. 270V电源电流

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：安培 (A)；
* 极限值/值域：0A～+10A；
* 精度：±1A；

1. 270V电源电压

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：伏特(V)；
* 极限值/值域：0V～+300V；
* 精度：±3V；

1. U相电流

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：安培(A)；
* 极限值/值域：-10A～+10A；
* 精度：±1A。

1. V相电流

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：安培(A)；
* 极限值/值域：-10A～+10A；
* 精度：±1A

1. W相电流

* 标识号：ADC；
* 描述：采集1路模拟量；
* 单位：安培(A)；
* 极限值/值域：-10A～+10A；
* 精度：±1A。

表 7 模拟量输入数据描述

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 28V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～+30 | V | 3 | 通过DSP的AD口采集 |
| 电流  传感器 | 28V电源电流 | 1路 | 100us | 0～+10 | A | 1 |
| 机上或地面电源 | 270V电源电压 | 1路 | 100us | 0～+300 | V | 3 |
| 电流  传感器 | 270V电源电流 | 1路 | 100us | 0～+10 | A | 1 |
| 电流  传感器 | U相电流 | 1路 | 100us | -10～10 | A | 1 |
| 电流  传感器 | V相电流 | 1路 | 100us | -10～10 | A | 1 |
| 电流  传感器 | W相电流 | 1路 | 100us | -10～10 | A | 1 |
| 测温  电阻 | 控制器  温度 | 1路 | 100us | -55～+200 | ℃ | 3 |

### RS422串口1

需求标识：XQ\_JK\_0001

RS422串口1用于软件与发动机控制器进行通讯，软件一方面接收发动机控制器下发的控制指令，另一方面通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数。通讯的格式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串口2

需求标识：XQ\_JK\_0002

RS422串口2用于软件与发动机控制器进行通讯，软件一方面接收发动机控制器下发的控制指令，另一方面通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数。通讯的格式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串口3

需求标识：XQ\_JK\_0003

RS422串口3用于软件与发动机控制器进行通讯，软件一方面接收发动机控制器下发的控制指令，另一方面通过串口以10ms周期上传电机关键运行参数。通讯的格式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。

### PWM信号输出

需求标识：XQ\_OUT\_0001

软件在接收到控制指令后，采集电机的相电流，进行位置估算，在空间矢量计算后，输出6路PWM信号，输出信号的更新频率为10K，该信号在经过驱动放大后，驱动电机运行。

表 8 PWM信号输出接口数据元素表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标识号 | 说明 | 值域 | 数据类型 | 表示方法 |
| 1 | PWM\_Output | 输出占空比 | 0~6000 | 整形 | 十进制 |

## CSCI的内部接口需求

电机控制器软件内部各功能单元之间的接口简述如下图24所示。



图 20 CSCI内部接口设计

## CSCI内部数据需求

CSCI内部数据需求详见软件设计说明。

## 适应性需求

无。

## 安全性需求

工作软件安全性需求如下：

1）所有接收到的控制指令，必须进行正确性检验后，方可执行后续操作。对于错误的指令不执行，仍保持上一次正常工作状态。

2）采集的模拟量需进行滤波处理。

3）故障检测需进行多次判断降低误停机的风险。

4）具备上电自检、周期自检功能。

5）设置软件看门狗，复位时间330ms±10ms（该复位时间为TMS320F28335数字芯片的器件特性决定），喂狗周期277ms±10ms，程序异常导致不能正常喂狗时，软件会进入复位，在复位过程中，硬件设计保证控制器处于安全状态，即功率管处于关断状态、驱动电源处于无供电状态。复位后，电机停转，软件重新初始化运行，并执行上电自检，在自检通过后，电机按当前指令状态运行。

6）电机控制器软件为嵌入式软件，软件的运行基于TMS320F28335硬件平台，软件的失效表现为程序“跑飞”，虽然软件设置了看门狗，但软件仍存在“跑飞”的风险。由于硬件上设计了安全保护机制，软件在“跑飞”状态下，软件失效会导致电机出现不工作的状态，当电机出现不工作时，不会对机上的飞行安全造成影响。

## 保密性需求

无。

## CSCI环境需求

该软件必须运行在电机控制器的硬件平台下，脱离此平台，将不运行或错误执行。软件基于TI公司的Code Composer Studio Version10.0进行开发。

## 计算机资源需求

### 计算机硬件需求

计算机，Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7500@2.93GHzCPU；

仿真器：SEED-XDS510PLUS。

### 计算机硬件资源使用需求

TMS320F28335，TMS320F28335是美国德州仪器（TI）生产SMJ320F2812的一款面向电机控制领域的专用32位定点数字信号处理器（DSP），其系统组成：150MHz、每秒150×106条指令的低电压3.3V CPU，片内存储器，中断管理模块，事件管理模块，片内集成设备等。TMS320F28335采用增强的哈佛结构，芯片内部具有六条32位总线，其程序存储器总线和数据存储器总线相互独立，支持并行的程序和操作数寻址，因此CPU的读/写可在同一周期完成，这中高速运算能力使精确控制、多变量控制、神经网络、遗传算法等复杂的计算变现实。TMS320F28335的特点主要体现：片内存储器丰富，通常不需外部扩展，这简化了电路设计；片内包括两个管理事件模块EVA和EVB，这为开发电机控制提供方便；自带多路A/D转换器，这简化控制设计电路；多个快速中断管理，这为电机实时控制算法的实现提供了便利条件；含有标准异步串行通讯接口和符合CAN 2.0B标准的增强型CAN总线控制器，通过外扩串口驱动器和CAN总线驱动器还可方便地与操控计算机进行通讯；高效代码，TMS320F28335和C/C++编译程序设计在一起，以确保最高的效率，使设计者能够使用高级语言进行开发，此外软件还包括很多设计库，简化了开发程序。

### 计算机软件需求

MICROSOFT WINDOWS XP PROFESSIONAL EDITION SERVICE PACK3；

Code Composer Studio Version 10.0

### 计算机通信需求

支持串口通讯。

## 软件质量因素

该软件为嵌入式软件，在相同硬件平台下可以移值，软件功能、性能、执行方式不会发生变化。软件不存在冗余代码，代码注释率不低于20%。

## 设计和实现约束

1）软件设计约束

① 软件设计需遵循GJB/Z 102A-2012《军用软件安全性设计指南》、GJB 2786A-2009《军用软件开发通用要求》、GJB 438B-2009《军用软件开发文档通用要求》等相关法规文件；

② 软件功能设计应遵循《电机控制器软件研制任务书》的相关功能、接口规定；

③ 软件设计需遵循TMS320F28335芯片相关设计、开发规则；

2）软件的实现约束

① 采用结构化和模块化设计方法；

② 中断不允许嵌套；

③ 实际运行时间在实时周期（100us）中有30％以上的余量；

④ 存储空间留有30％以上的余量。DSP内部flash存储空间256K\*16位，内部RAM空间34K\*16位。

## 人员需求

能力需求：能熟悉使用开发软件Code Composer Studio Version10.0、VC++6.0；能掌握永磁同步电机控制策略的相关理论知识；能熟悉掌握电机控制器硬件平台的相关硬件知识。

人员需求：6人，一、软件需求分析（2人）；二、开发地面维护设备系统软件，以为软件功能测试提供平台，开发底层嵌入式嵌入式软件，以便执行系统的相关功能、性能（2人）；三、对软件进行详细系统测试，以便保证系统软件的可靠性（2人）。

## 培训需求

无。

## 软件保障需求

软件开发方负有保修和检测的责任；产品超过保修期限时，软件开发方承担有偿复测、维修和应用户要求修改的责任。

1）人员保障

为了实现软件的开发，在人力资源上应能提供保障。

2）硬件保障

需提供软件开发的相关硬件资源，以便软件开发。

3）软件质量体系保障

软件开发应遵循相关软件质量体系，以确保软件的质量。

4）软件修改保障

该软件的修改承制方根据相关手续进行修改，修改后的软件需通过验证以及总体单位的认可。

5）软件升级

由于型号要求，对软件进行升级，这需承制方根据软件相关要求开展工作，升级后的软件需通过验证以及总体单位的认可。

## 其他需求

无。

## 验收、交付和包装需求

该软件为嵌入式软件，是TMS320F28335 的开发软件，是以电机及控制器为平台实现控制器的功能，软件在成品交付时已烧写在芯片里。

对于总体有要求时，可将代码刻成光盘交付（光盘上需注明版本号、名称、标识）。

对于软件相关的纸制文档，在一批成品中随成品交付一份。

## 需求的优先顺序和关键程度

无。

# 合格性规定

合格性规定见表 9。

表 9 软件合格性规定

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 章节号 | 能力需求 | 所在章节 | 合格性方法 | 合格性级别 |
| XQ1 | 上电初始化 | 3.1.1 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ2 | 上电自检 | 3.1.2 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ3 | 模拟量采集 | 3.1.3 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ4 | 旋变采集 | 3.1.4 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ5 | 油泵电机转速闭环调节 | 3.1.5 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ6 | 蝶阀电机位置闭环调节 | 3.1.6 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ7 | 周期自检 | 3.1.7 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ8 | RS422通讯 | 3.1.8 | A、Z、D | 1、3 |
| XQ9 | 余度切换 | 3.1.9 | A、Z、D | 1、3 |
| 合格性方法：D-演示或测试，A-分析，Z审查  合格性级别：1-单元级，2-部件级，3-配置项级，4-系统级 | | | | |

# 需求可追踪性

本软件需求规格说明到软件研制任务书的需求追溯表见表表 10，软件研制任务书到需求规格说明的追溯表见表 11。

表 10 需求到任务书追溯表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 需求及标识 | 需求规格说明章节 | 软件研制任务书来源 | 软件研制任务书章节 |
| 1 | 上电初始化XQ1 | 3.1.1 | 上电初始化M1 | 4.1.1 |
| 2 | 上电自检单元XQ2 | 3.1.2 | 上电自检M2 | 4.1.2 |
| 3 | 模拟量采集XQ3 | 3.1.3 | 模拟量采集M3 | 4.1.3 |
| 4 | 旋变采集XQ4 | 3.1.4 | 旋变采集M4 | 4.1.4 |
| 5 | 油泵电机转速闭环调节XQ5 | 3.1.5 | 油泵电机转速闭环调节M5 | 4.1.5 |
| 6 | 蝶阀电机位置闭环调节XQ6 | 3.1.6 | 蝶阀电机位置闭环调节M6 | 4.1.6 |
| 7 | 周期自检XQ7 | 3.1.7 | 周期自检M7 | 4.1.7 |
| 8 | RS422通讯XQ8 | 3.1.8 | RS422通讯M8 | 4.1.8 |
| 9 | 余度切换XQ9 | 3.1.9 | 余度切换M9 | 4.1.9 |

表 11 任务书到需求追溯表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 软件研制任务书来源 | 软件研制任务书章节 | 需求及标识 | 需求规格说明章节 |
| 1 | 上电初始化M1 | 4.1.1 | 上电初始化XQ1 | 3.1.1 |
| 2 | 上电自检M2 | 4.1.2 | 上电自检单元XQ2 | 3.1.2 |
| 3 | 模拟量采集M3 | 4.1.3 | 模拟量采集XQ3 | 3.1.3 |
| 4 | 旋变采集M4 | 4.1.4 | 旋变采集XQ4 | 3.1.4 |
| 5 | 油泵电机转速闭环调节M5 | 4.1.5 | 油泵电机转速闭环调节XQ5 | 3.1.5 |
| 6 | 蝶阀电机位置闭环调节M6 | 4.1.6 | 蝶阀电机位置闭环调节XQ6 | 3.1.6 |
| 7 | 周期自检M7 | 4.1.7 | 周期自检XQ7 | 3.1.7 |
| 8 | RS422通讯M8 | 4.1.8 | RS422通讯XQ8 | 3.1.8 |
| 9 | 余度切换M9 | 4.1.9 | 余度切换XQ9 | 3.1.9 |

# 注释

CSCI：计算机软件配置项。