|  |  |
| --- | --- |
| 标 识： | R1/GSF2-1-SDTD |
| 版本号： | V1.0 |
| 密 级： | 内部 |
| 阶段标记 | M |

**GSF21-1驱动器**

**软件研制任务书**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 编 写： | 卢润田 |  |
|  | 审 核： | 刘润园 |  |
|  | 批 准： | 李金荣 |  |
|  | 编制日期： | 2020年08月08日 |  |
|  | 编制单位： | 研发中心 |  |

**上海润璋智能科技股份有限公司**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 签署页 | | | | | |
| 分发单位 | | | | | |
| 单位 | | 数量 | 单位 | | 数量 |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
|  | |  |  | |  |
| 编 制 |  | | 标准化审签 |  | |
| 工 艺 |  | | 审 核 |  | |
| 质 量 |  | | 批 准 | 2020.08.18 | |
| 顾客代表  （签章） |  | | | | |

**文档修改记录**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 修改内容描述 | 修改人 | 日期 | 备注 |
| V1.0 | 创建 | 卢润田 | 2020-08-19 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**目录**

[1 范围 7](#_Toc53325235)

[1.1 标识 7](#_Toc53325236)

[1.2 系统概述 7](#_Toc53325237)

[1.3 文档概述 7](#_Toc53325238)

[2 引用文档 8](#_Toc53325239)

[3 运行环境要求 8](#_Toc53325240)

[3.1 硬件环境 8](#_Toc53325241)

[3.2 软件环境 9](#_Toc53325242)

[3.2.1 系统组成 9](#_Toc53325243)

[3.2.2 运行环境要求 11](#_Toc53325244)

[3.2.3 开发及测试环境要求 11](#_Toc53325245)

[4 技术要求 13](#_Toc53325246)

[4.1 功能 13](#_Toc53325247)

[4.1.1 直接功能要求 13](#_Toc53325248)

[4.1.2 衍生功能要求 15](#_Toc53325249)

[4.1.3 工作模式定义 18](#_Toc53325250)

[4.1.4 工作状态字定义 18](#_Toc53325251)

[4.1.5 软件状态定义 19](#_Toc53325252)

[4.1.6 软件状态与工作状态字的关系 20](#_Toc53325253)

[4.1.7 工作状态字描述 21](#_Toc53325254)

[4.2 性能 22](#_Toc53325255)

[4.2.1 直接性能要求 22](#_Toc53325256)

[4.2.2 衍生性能要求 22](#_Toc53325257)

[4.2.3 软件内存资源占用 22](#_Toc53325258)

[4.2.4 实时性 22](#_Toc53325259)

[4.3 输入/输出 24](#_Toc53325260)

[4.3.1 输入/输出组成 25](#_Toc53325261)

[4.3.2 输入/输出特性 31](#_Toc53325262)

[4.3.3 中断数量及线程优先级 36](#_Toc53325263)

[4.4 数据处理要求 37](#_Toc53325264)

[4.4.1 状态转换 37](#_Toc53325265)

[4.4.2 数据处理过程 41](#_Toc53325266)

[4.5 接口 51](#_Toc53325267)

[4.6 固件 56](#_Toc53325268)

[4.7 关键性要求 56](#_Toc53325269)

[4.7.1 可靠性 56](#_Toc53325270)

[4.7.2 安全性 57](#_Toc53325271)

[4.7.3 保密性 58](#_Toc53325272)

[5 设计约束 58](#_Toc53325273)

[5.1 软件开发原则 58](#_Toc53325274)

[5.2 编程语言 58](#_Toc53325275)

[5.3 软件开发环境 58](#_Toc53325276)

[5.4 测试环境 58](#_Toc53325277)

[6 质量控制要求 58](#_Toc53325278)

[6.1 软件关键性等级 58](#_Toc53325279)

[6.2 标准 59](#_Toc53325280)

[6.3 文档 59](#_Toc53325281)

[6.4 配置管理 59](#_Toc53325282)

[6.5 测试要求 59](#_Toc53325283)

[6.6 对分承制方的要求 59](#_Toc53325284)

[7 验收和交付 60](#_Toc53325285)

[8 软件保障要求 60](#_Toc53325286)

[9 进度和里程碑 60](#_Toc53325287)

[10 附录 61](#_Toc53325288)

[10.1 需求列表 61](#_Toc53325289)

[10.2 硬件管脚定义 65](#_Toc53325290)

[10.2.1 模拟输入量 65](#_Toc53325291)

[10.2.2 数字输入量 69](#_Toc53325292)

[10.2.3 数字输出量 73](#_Toc53325293)

[注释 78](#_Toc53325294)

[10.3 缩略语 78](#_Toc53325295)

[10.3.1 CSCI 78](#_Toc53325296)

[10.4 名词解释 78](#_Toc53325297)

[10.4.1 回归测试 78](#_Toc53325298)

**GSF21-1驱动器软件研制任务书**

# 范围

## 标识

1. 系统名称：GSF21-1驱动器
2. 系统标识号：GSF21-1
3. 软件名称：GSF21-1驱动器软件
4. 软件标识号：R1/GSF2-1\_CSCI
5. 软件版本号：V1.0 2020年08月19日

## 系统概述

本文档适用于GSF21-1型无刷直流电机驱动器(以下简称驱动器)中运行的嵌入式实时控制软件，可与用户（航天四院401所）研制的J150ZWX01直流无刷电机配套使用，为CB-20-10电机泵提供动力，并实现电机的驱动控制。总体用户规定的软件代码为R1/GSF2-1。以下简称为嵌入式电机控制软件或本软件。

嵌入式电机控制软件适配于GSF21-1型无刷直流电机驱动器所用DSP模块（芯片），本软件通过与上位机通讯实现对配套电机启动、停止、运转的控制。该软件通过DSP外围电路采集电机转子位置传感器输出的转子位置实时信息以及电流、电压、温度信息等，完成电机控制算法，最终输出PWM波实现对电机的控制。

电机驱动器软件主要功能有：初始化设置、电机状态切换、安全保护功能、PID控制算法、PWM波形输出、RS422通讯。

## 文档概述

本文档主要描述了该设备软件的运行环境要求、技术要求、设计约束、质量控制要求、验收和交付、软件保障要求、进度要求等内容。该文档用于指导嵌入式电机控制软件的需求分析、设计开发、测试、质量管理及验收交付工作。

# 引用文档

表 1 引用文档

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **名 称** | **标识号** | **发布单位** | **发布**  **日期** |
| 2 | 军用软件开发文档通用要求 | GJB438B-2009 | 中国人民解放军总装备部 | 200905 |
| 5 | 军用软件开发通用要求 | GJB2786A-2009 | 中国人民解放军总装备部 | 200905 |
| 6 | GSF21-1驱动器技术要求 | 技术协议 | 中国航天科技集团公司第四研究院四○一所 | 20200805 |

# 运行环境要求

## 硬件环境

软件的应用硬件平台为TMS320F28335PTPS，该主控芯片为TI（德州仪器）公司的TMS320C28x™系列DSP或国产兼容芯片，具有高的集成度和可靠性，非常适用于作为电机的控制芯片，具体特性如下：

1. 高性能静态CMOS技术

–150MHz（6.667ns周期时间）

–低功耗（1.9V内核电压，3.3VI/O）设计

1. JTAG 边界扫描支持
2. 高性能能 32 位CPU (TMS320C28x™)

–IEEE-754 单精度浮点单元（FPU）

–16×16和32×32介质访问控制(MAC)运算

–16×16双MAC

–哈佛(Harvard)总线架构

–快速中断响应和和处理

–统一存储器编程模型

–高效代码（使用 C/C++ 和汇编语言）

1. 片载存储器

–256K×16 闪存，34K×16 SARAM

1. 引导ROM(8K×16)

–带有软件引导模式（通过SCI,SPI,CAN,I2C,和并行I/O）

–标准数学表

芯片的其他硬件特性可参见数据手册。

## 软件环境

### 系统组成

本软件系统按一个构建版开发，软件系统由若干部分（子系统）组成，详见表2，此清单列出文件在完成验收后备份储存于受控库。软件存档清单见表2。

表 2 软件存档清单

| **序号** | **名称** | **描述** | **软件开发环境分类** | **版本号** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 宿主机操作系统 | Windows 7 或 Windows 10 | 软件开发环境 |  | 编程开发、上位机模拟软件等用途 |
| Windows XP | 软件开发环境 |  | 测试工具版本限制 |
|  | 开发工具软件 | CCS编译器 | 软件开发 |  |  |
|  | 辅助开发工具软件 | 串口调试助手 | 软件开发工具 |  |  |
| 上位机模拟软件 | 辅助软件，非交付软件 |  |  |
| 上位机烧写升级软件 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
| PDF阅读器、WORD | 软件工程环境 |  |  |
| QT | 软件工程环境 |  |  |
|  |  |  |  |
|  | 版本管控工具 | SVN | 软件工程环境 |  |  |
| GIT | 软件工程环境 |  |  |
|  | 测试工具 | Ldra TestBed | 软件测试工具 | 9.7.2 |  |
| KlocWork | 软件测试工具 | 12.3 |  |
|  | 需求类文档 | 任务书，需求规格说明书等 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 开发类文档 |  | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 测试类文档 |  | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 源代码类文档 | 包含.prj, .cmd, .c , .h 等编译所需的全部源代码 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 库文档 | 包含 .obj, .lib 等连接所需的全部库文档 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 下载代码 | 下载到目标系统的代码 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 说明类文档 | 手册、 | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 计划类文档 |  | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 报告类文档 |  | 软件开发文件 |  | 属于软件配置项 |
|  | 相关CPU手册 | DSP相关手册 | 软件开发资料库 |  |  |
|  | 标准及规范 |  | 软件开发资料库 |  |  |
|  | 软件对应的硬件及资料 |  | 软件开发资料库 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

### 运行环境要求

软件最终在DSP的片内FLASH里面离线运行，为确保DSP控制的实时性，节省存储器，软件的运行环境为DSP芯片的专用裸机型号，没有操作系统，数据输入输出若是直接来自IO管脚，则在专用裸机中对应的特定管脚，可以使用带优先级的中断方式确保紧急事件得到及时响应。

### 开发及测试环境要求

开发及测试环境要求见表3

表 3 开发及测试环境

| **序号** | **名称** | **描述** | **软件开发环境分类** | **版本号** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 开发环境操作系统 | Windows 7 或  Windows 10 | 操作系统 |  |  |
| Windows XP | 操作系统 |  |  |
|  | 开发工具软件 | CCS编译器 | 软件开发 |  |  |
|  | 辅助开发工具软件 | 串口调试助手 | 软件开发工具 |  |  |
| 上位机模拟软件 | 辅助软件，非交付软件 |  |  |
| 上位机烧写升级软件 | 软件开发文件 |  | 软件配置项 |
| PDF阅读器、WORD | 软件工程环境 |  |  |
| QT | 软件工程环境 |  |  |
|  |  |  |  |
|  | 版本管控工具 | SVN | 软件工程环境 |  |  |
| GIT | 软件工程环境 |  |  |
|  | 测试工具 | Ldra TestBed | 软件测试工具 | 9.7.2 |  |
| KlocWork | 软件测试工具 | 12.3 |  |
|  | 相关CPU手册 | DSP相关手册 | 软件开发资料库 |  |  |
|  | 标准及规范 |  | 软件开发资料库 |  |  |
|  | 软件对应的硬件及资料 |  | 软件开发资料库 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

# 技术要求

## 功能

### 直接功能要求

根据对GSF21-1驱动器技术协议理解，直接获得的功能要求如表4所示。

表 4 功能要求表A

| **序号** | **标识** | **功能要求** | **指标** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KVFS | 控制器电压范围 | 18~36VDC。 |  |
|  |  | 控制电流 | DC28V时≯2A | 测试参考 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KNFS | 电机转速控制范围 | 500~5000r/min |  |
|  |  | 转速控制精度 | 1000r/min~5000r/min范围内的稳态精度±100r/min； | 系统要求，测试参考 |
|  |  | 转速响应时间 | 电机从1000r/min（对应负载1Nm）加速4000r/min（对应负载9.5Nm）时间不大于500ms，其中负载随着转速的上升而线性升高。 | 系统要求，测试参考 |
|  |  | 连续工作时间 | 电机在额定电压、常温环境下，单次连续工作时间不小于10min，其中空载状态下分别以1000r/min和4000r/min转速运行4min，额定负载下以4000r/min转速运行2min，状态转化时不停机。  工作寿命：240次连续工作 | 测试参考 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KMOD1 | 控制方式1 | 采用RS422通讯，双向全双工异步串行口，接受控制器指令 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KMOD2 | 控制方式2 | 采用RS422通讯，双向全双工异步串行口，反馈电机转速、母线电压、母线电流、温度、输出扭矩（计算值）等。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB1 | 初始化及自检1 | 驱动器控制电先上电，进行驱动器自检。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB2 | 初始化及自检2 | 自检正常后，反馈驱动器自检正常，同时等待电机动力电上电（动力电上电与控制电上电根据不同流程，间隔3s～10min）。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB3 | 初始化及自检3 | 若控制电上电3s后，仍未完成自检，则判定控制电自检异常； |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB4 | 初始化及自检4 | 若动力电供电3s后，仍未完成自检则判定动力电自检异常。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSPZ1 | 参数配置1 | 当初始化及自检正常后，上位机根据情况，向驱动器发送参数配置指令，驱动器接收到配置报文后，上位机从驱动器的周期性报文中获取配置后的数据信息。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSPZ2 | 参数配置2 | 在参数连续配置过程中，上位机发送的配置参数发生变化时，电机参数配置指令发送的同时指令帧计数需要加1. |  |
|  |  | 参数配置3 | 上位机100ms未收到参数配置结果，重复发送，最多重复发送三次，三次均未受到判定异常。 | 测试参考 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJKZ1 | 电机控制1 | 在参数配置正常后，上位机向驱动器发送控制指令，伺服驱动器接收到指令，控制电机执行运行、停止动作。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJKZ2 | 电机控制2 | 控制电机运行、停止的同时，将控制状态反馈给收放控制器。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.GZMS | 工作模式 | 平时模式：驱动器保护开启；  战时模式：驱动器仅报警不保护 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.JMS | 停机模式 | 驱动器中的泄放电阻保留，电机停止策略优先选择缓慢停机。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDY | 动力电源电压 | 额定电压：DC270V；  工作电压：DC220V～320V； |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDL | 动力电源电流 | 稳定电流：≯25A；  最大稳定电流：≯35A |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.RJGCH | 软件工程化要求1 | 具备不对设备拆装条件下进行软件升级的能力。 |  |
|  |  | 软件工程化要求2 | 驱动器软件的研制满足GJB2786相关规定执行，软件应按照相应的关键等级（A级）进行评测并提供评测报告。 | 参考 |

### 衍生功能要求

根据GSF21-1驱动器技术协议展开的GSF21-1驱动器系统设计和功能分解，获得的功能要求如表5所示。

表 5 功能要求表B

| **序号** | **标识** | **功能要求** | **指标** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSMOD | 测速方式 | 使用电机转子位置信号为输入，测量电机转速，使用测周法 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSFW | 测速范围 | 测速范围：200rpm至10000rpm  电机为4对极。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CFJFM | 除法前检查分母 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.BHKZCL | 转速闭环控制策略计算 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMZQ | PWM斩波周期 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMJX | PWM极性 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMZLXF | 输出PWM增量限幅 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSBH | 超速保护 | 电机反馈转速大于9000rpm |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDLYCFW | 动力电电流检测范围 | 0～70A |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.SSSXZDL | 升速时限制电流 | 最大稳定电流：≯35A |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.WSSXZDL | 稳态时限制电流 | 稳定电流：≯25A； |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDYJCFW | 动力电电压检测范围 | 范围大于DC200V～330V； |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLQYYJBH | 母线电压欠压预警及保护 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLGYYJBH | 母线电压过压预警及泻放保护 | 母线电压大于330V，初步计算AD码值=3180，启动软件泻放；预警。  若工作模式为平时模式，则保护，转入对应的“异常”状态  母线电压小于325V，初步计算AD码值=3131，停止软件泻放；解除预警，退出异常状态  325V至330V为判断滞环 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJWDJCFW | 电机温度检测范围 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJWDYJBH | 电机温度过高预警及保护 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.QDQWDYJBH | 驱动器温度过高预警及保护 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_WSDJHXKZ | 无刷电机换相控制 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_RS422RXMOD | RS422接收上位机数据包方式 | 非周期 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_PUBIT | 上电自检 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_ZQBIT | 周期自检 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_WDI | 监视定时器清零 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_FSMGK | 状态机管理 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HSDKZ | 母线缓上电控制 |  |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_YJGYJC | 硬件故障过压检测 | 当供电电源异常升高或者电机发电，会发生硬件过压保护，硬件自动接通泻放电阻，同时截止关断母线开关，从管脚GPIO31输入的数字信号为低电平时，必须将系统状态转入“电机运行异常”。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_YJGLJC | 硬件过流检测 | 当电机运转异常时，可能出现负载机械卡死，会发生硬件过流保护，已自动停止驱动电机，截止关断母线开关和三相桥臂开关，接通泻放电阻。从管脚GPIO17/TZ6输入的数字信号为低电平时，必须将系统状态转入“电机运行异常”。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_MNSRLB | 模拟输入信号滤波 | 模拟输入信号应当采用窗口滤波，建议使用环形缓冲区存储最近得到的6次读值，去掉1个最大值，去掉1个最小值，剩余4个算术平均作为滤波输出。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_IABCZJC | 三相桥臂电流信号零位检查 | 在功率逆变桥开关全部关闭条件下，AD转换的读值为零位值，桥臂电流IA、IB、IC的零位值必须在区间（1948,2148）中，否则报警。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_SUMIABC | 三相桥臂电流反馈和值检查 | 自检成功后，同一时刻，三相桥臂电流信号读值（有符号）减去各自的零位值，为三相桥臂电流反馈IA,IB,IC；其可能的范围是【-2148,2148】，SUM=IA+IB+IC;SUM的合法范围是（-700,700），若SUM超出合法范围报警 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_DIXHXD | 数字输入信号消抖 | 数字输入信号必须连续读取3次以上，使用结果重复次数大的读值。 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HEFFZHJC | 霍尔信号非法组合检查 | 电机转子位置信号的按照GPIO24、GPIO25、GPIO26分别放置于bit2、bit1、bit0；bit7至bit3置零，得到3bit合成数据HALL，合成数据HALL若为0或者为7均为非法。1至6为合法数据 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HEFFZHBH | 霍尔信号组合非法保护 | HALL若为0或者为7，则当前三相桥臂功率开关截止关断，报警不锁定 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HESXFFBH | 霍尔信号时序非法保护 | 霍尔信号时序非法时，当前三相桥臂功率开关截止关断，报警不锁定 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_RS422RXHFJC | 输入数据包合法性检查 | 接收到上位机数据包，通过CRC校验后，若一个包内出现下列任一情况：  数据长度≠17   1. 指令字≠0x0C01或0x0C02或0x0C03 2. 工作模式≠平时模式 或 战时模式 3. 转速指令超出500~5000rpm范围   则此数据包非法，无视此包 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_XCDL | 线程独立 | 不同线程不得共用子函数 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_DLYXBXZ | 周期线程独立运行比限制 | 小于70% |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_XCXTJS | 线程之间心跳监视 | 主循环及周期中断之间相互累加心跳信号，相互检查报警，清零 |  |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_QJBLXCZXZ | 全局变量写操作限制 | 除全局变量初始化外，任一全局变量只允许一个线程做写操作 |  |

### 工作模式定义

要求实现两种工作模式，工作模式定义见表6。

表 6 工作模式定义

| **序号** | **工作模式** | **标识** | **描述** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 战时模式 | FT\_R1/GSF2-1\_MOD.ZS | 尽最大可能性服从指令，故障尽量恢复运行，有警告发出警告信息但不予保护停机。 |
|  | 平时模式 | FT\_R1/GSF2-1\_MOD.PS | 故障可报警、可停机。 |
| 注意：上电默认工作模式：战时模式，上位机可以发出参数配置数据包来修改工作模式。 | | | |

### 工作状态字定义

本CSCI通过RS422上传的电机驱动系统工作状态由4个bit（共占16bit）描述，

【标识】为：FT\_R1/GSF2-1\_STU.ZTZ，上传工作状态字定义见表7。

表 7上传工作状态字定义

| **标识** | **FT\_R1/GSF2-1\_STU.ZTZ** | | |
| --- | --- | --- | --- |
| **位序号** | **数值** | **定义** | **说明** |
| Bit 0 | 1 | 上电自检正常完成 | 共16位 |
| 0 | 上电自检未完成 |
| Bit 1 | 1 | 功率电上电正常完成 |
| 0 | 功率电上电未完成 |
| Bit 2 | 1 | 有故障（总的故障状态字） |
| 0 | 无故障 |
| Bit 3 | 1 | 电机运行 |
| 0 | 电机停止 |

### 软件状态定义

电机驱动系统CSCI定义了4种状态：初始化、故障保护、停止状态、运行状态；软件状态标识见表8。

表 8 软件状态标识

| **序号** | **软件状态** | **标识** | **描述** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 初始化 | FT\_R1/GSF2-1\_STUINI | 软硬件初始化，不得直接转入运行状态，设置工作模式为战时模式。 |
|  | 故障保护 | FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT | 平时模式，发现异常均可进入故障保护状态，战时模式尽量不进入故障保护状态。功率开关全部截止关断，允许软件清除故障标识、尝试恢复正常，恢复正常应当进入停止状态，不得直接转入运行状态。故障保护状态下，电机由于机械惯性可能处于自然减速中，不一定转速为零。 |
|  | 停止状态 | FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP | 功率开关全部截止关断，可以根据上位机指令转入运行模式。停止状态下，电机由于机械惯性可能处于自然减速中，不一定转速为零。 |
|  | 运行状态 | FT\_R1/GSF2-1\_STURUN | 逆变桥功率开关根据无刷电机状态换相及斩波，母线功率开关饱和导通闭合，泻放功率开关根据母线电压是否超限由软件决定截止关断还是饱和导通。运行状态下，电机刚开始起动时转速可能是零。 |

### 软件状态与工作状态字的关系

各种软件状态下，上报的工作状态字见表9所示。

表 9 工作状态字定义

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **软件**  **状态** | **工作模式** | **工作**  **状态字** | **描述** | **备注** | **下一状态** | **状态变化条件** |
| **1** | **初始化** | **战时模式** | **B0000** | **上电自动进入此状态** |  | **初始化** | **初始化尚未完成，不考虑功率上电情况** |
| **停止状态** | **不考虑功率上电情况，未发现需要保护的故障，初始化流程完成。** |
| **故障保护** | **不考核功率上电情况，有必须保护的故障，初始化流程完成。** |
| **2** | **故障保护** | **战时或者 平时模式** | **B0101** | **功率未上电，存在必须保护的故障** | **上位机可以配置工作模式、指令字、速度指令** | **故障保护** | **软件尝试清除硬件故障，但必须保护的故障并未消失** |
| **B0111** | **功率电电压大于220V，存在必须保护的故障** | **停止状态** | **软件尝试清除硬件故障，必须保护的故障已消失（如过温），转换前将上位机指令强制设置为停机** |
| **3** | **停止状态** | **战时或者 平时模式** | **B0001** | **功率电仍然小于220V，其他正常** | **上位机可以配置工作模式、指令字、速度指令** | **停止状态** | **等待上位机指令** |
| **B0011** | **功率电大于220V，一切正常** | **故障保护** | **发现必须保护的故障** |
| **B0111** | **战时模式下，有警告，功率电大于220V，** | **运行状态** | **接到上位机运行指令，平时模式下且功率电大于220V，战时模式考虑可能电压检测故障，所以强行进入运行** |
| **B0101** | **战时模式下，有警告，功率电小于220V** |
| **4** | **运行状态** | **战时或者 平时模式** | **B1001** | **战时模式下，功率电电压低或功率电电压检测电路异常** | **上位机可以配置工作模式、指令字、速度指令** | **运行状态** | **执行上位机的运行速度指令，一切正常** |
| **B1011** | **功率电大于220V，一切正常** | **停止状态** | **接到上位机停机指令** |
| **故障保护** | **发现必须保护的故障** |
| **B1111** | **战时模式存在** |
| **B1101** |

### 工作状态字描述

初始化耗时约为XX ms,可能的工作状态字描述见表10。

表 10 工作状态字描述

| **序号** | **工作状态字** | **描述** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | B’0000’ | 上电自检未完成，功率电上电未完成，  无故障，电机停止 |  |
|  | B’0001’ | 上电自检正常完成，功率电上电未完成，  无故障，电机停止。 |  |
|  | B’0010’ | 上电自检未完成，功率电上电正常完成，  无故障，电机停止。 | 战时模式会出现 |
|  | B’0011’ | 上电自检正常完成，功率电上电正常完成，  无故障，电机停止。 |  |
|  | B’0100’ | 上电自检未完成，功率电上电未完成，  有故障，电机停止。 | 不应出现，已保护 |
|  | B’0101’ | 上电自检正常完成，功率电上电未完成，  有故障，电机停止。 | 已保护，  欠压 |
|  | B’0110’ | 上电自检未完成，功率电上电正常完成，  有故障，电机停止。 | 不应出现 |
|  | B’0111’ | 上电自检正常完成，功率电上电正常完成，  有故障，电机停止。 | 已保护  战时模式可能会工作 |
|  | B’1000’ | 上电自检未完成，功率电上电未完成，  无故障，电机运行。 |  |
|  | B’1001’ | 上电自检正常完成，功率电上电未完成，  无故障，电机运行。 | 欠压，空载 |
|  | B’1010’ | 上电自检未完成，功率电上电正常完成，  无故障，电机运行。 | 战时模式  会出现 |
|  | B’1011’ | 上电自检正常完成，功率电上电正常完成，  无故障，电机运行。 |  |
|  | B’1100’ | 上电自检未完成，功率电上电未完成，  有故障，电机运行。 | 战时模式  会出现，欠压空载 |
|  | B’1101’ | 上电自检正常完成，功率电上电未完成，  有故障，电机运行。 | 战时模式  会出现，欠压空载 |
|  | B’1110’ | 上电自检未完成，功率电上电正常完成，  有故障，电机运行。 | 战时模式  会出现 |
|  | B’1111’ | 上电自检正常完成，功率电上电正常完成，  有故障，电机运行。 | 战时模式  会出现 |

## 性能

### 直接性能要求

根据对GSF21-1驱动器技术协议理解，直接获得的性能要求如表11所示。

表 11 性能要求表A

| **序号** | **标识** | **任务功能/性能** | **指标** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_RS422TSPT | RS422发送上位机数据包周期 | 20ms |  |
|  |  |  |  |  |

### 衍生性能要求

根据GSF21-1驱动器技术协议展开的GSF21-1驱动器系统设计和功能分解，获得的性能要求如表12所示。

表 12 性能要求表B

| **序号** | **标识** | **分配功能/性能** | **指标** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_KZZQ | 转速闭环控制周期 | 5ms |  |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_KZSDZJHS | 控制电自检正常所需时间 | 小于2.8s |  |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_DLSDZJHS | 动力电自检正常所需时间 | 小于2.5s |  |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_FSRAMZYL | 存储器最大使用率 | 70%（包括FLASH和SRAM） |  |

### 软件内存资源占用

软件最终在DSP的片内FLASH里面离线运行，目标计算机具有256K×16闪存，用于存放代码和常量，要求占用量不超过70%；目标计算机具有34K×16的SARAM供堆栈和变量（也可部分供代码运行）使用。

### 实时性

为确保DSP控制的实时性，软件运行于裸机状态，没有操作系统，根据技术协议要求，每20ms（误差）必须向上位机发送一个数据包反馈状态，自检时间限定为最大3秒，500ms，此实时性应得到保证。使用带优先级的中断线程确保紧急事件得到及时响应。具体的实时性指标要求因时间不同而要求不同。

#### RS422发送数据包的实时性

根据功能要求，RS422应以20ms为周期发送1个数据包给上位机，无具体的时间准确性要求，因此可以采用较低级别的定时中断来实现，在此中断中进行发送。

#### RS422接收数据包的实时性

根据功能要求，上位机通过RS422下发的数据包在时间上是非周期的，考虑到硬件的接收缓冲区资源有限，为保证指令接收及执行的实时性，应当设计SCI接收中断处理程序，中断优先级可以高于RS422的发送。

#### 霍尔信号测速的实时性

根据系统设计，电机的转速信号通过DSP对电机转子霍尔信号的捕获，采用测周法，可以获得最佳的测速实时性，因此应当设计霍尔信号输入捕获中断处理程序，考虑到霍尔信号的上升、下降沿的捕获频率最高可能会达到30kHz，因此捕获中断非常频繁，为确保实时性，霍尔信号输入捕获中断的优先级应当高于SCI接收中断。

#### PWM占空比刷新的实时性

根据转速指令、转速反馈计算控制策略后得到控制输出的占空比，但此占空比是一个理论通用占空比，还要根据当前转子位置信息，将占空比分配到对应的逆变桥开关控制输出，实现换相等功能，为确保PWM占空比在更改后有最好的实时性刷新，应当设计PWM定时器周期中断处理程序。

#### 控制的实时性

根据转速指令、转子位置捕获等信息，周期性计算反馈转速、控制策略，调整控制输出，应当设计控制周期定时中断，初步考虑控制周期为5ms。

#### 低实时要求的功能

周期BIT、通讯数据解包，看门狗喂狗等处理，属于实时性要求较低的功能。

## 输入/输出

配置项输入/输出汇总见表13，表13给出了属于各类的输入输出标识。表13、14、15中标识相同则为同一个输入输出单元。

表 13 配置项输入/输出汇总

| **序号** | **分类名称** | **源** | **目的** | **格式** | **数量** | **读写**  **频率** | **值域** | **精度** | **标识** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | AD转换器 | DSP寄存器 | 软件 | 低12位二进制自然码 | 16通道 | 50kHz | 0~4095 | 12bit | IF\_R1/GSF2-1\_ADIABC |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADDLVBUS |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADTEMP |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADJS |
|  | PWM输出 | 软件 | DSP寄存器 | 最高16位自然码 | 6路 | 50kHz | 0~65535 | 16bit | IF\_R1/GSF2-1\_PWM |
|  | RS422接口 | DSP专用FIFO  双向 | | 16位自然码 | 1收1发 |  | 0~65535 | 16bit | IF\_R1/GSF2-1\_RS422 |
|  | ECAP捕获输入 | DSP寄存器 | 软件 | 16位自然码 | 3通道 | 30kHz | 0~65535 | 16bit | IF\_R1/GSF2-1\_ECAP |
|  | 数字量输出 | 软件 | DSP寄存器 | Bit型 | 26路 | 50kHz | 0~1 | 1bit | IF\_R1/GSF2-1\_MXRJKZ |
| IF\_R1/GSF2-1\_XFRJKZ |
| IF\_R1/GSF2-1\_ENKZ |
| IF\_R1/GSF2-1\_ERRCLR |
| IF\_R1/GSF2-1\_WDI |
| IF\_R1/GSF2-1\_ZDGCSC |
|  | 数字量输入 | DSP寄存器 | 软件 | Bit型 | 48路 | 50kHz | 0~1 | 1bit | IF\_R1/GSF2-1\_RDBIT |
| IF\_R1/GSF2-1\_ERRFLAG |
| IF\_R1/GSF2-1\_CONIN |

### 输入/输出组成

根据目的功能将软件的输入输出数据组组描述且进行标识如表14所示。表13、14、15中标识相同则为同一个输入输出单元。

表 14 数据分组描述

| **序号** | **分组名称**  **及标识** | **硬件说明** | | **功能描述** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硬件网络名称 | DSP端口 |
|  | 模拟量\_逆变桥臂电流 | **IB\_AD** | **ADCINA0** | 类型 | AD转换器 | | | | | | | | | | | |
| **IA\_AD** | **ADCINA1** | 标识 | IF\_R1/GSF2-1\_ADIABC | | | | | | | | | | | |
| **IC\_AD** | **ADCINB0** | 获取三相桥臂电流信息后，用于检查三相和值范围，计算母线电流，实施软件过流检查、过流保护、实施软件近限降输出。在战时模式，检查结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检查结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 模拟量\_动力电源电压 | **VBUS\_AD** | **ADCINA3** | 类型 | | AD转换器 | | | | | | | | | | |
| 标识 | | IF\_R1/GSF2-1\_ADDLVBUS | | | | | | | | | | |
| 属于表13中AD转换器类型  针对技术要求表8中“母线电压欠压保护”、“母线电压欠压预警”的要求，在获取动力电源电压信息后，实施软件过压泻放、软件过、欠压保护，过欠压保护恢复。  在战时模式，检查结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检查结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 模拟量\_温度 | **TEMP\_Q\_AD** | **ADCINA2** | 类型 | | | | AD转换器 | | | | | | | | |
| 标识 | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ADTEMP | | | | | | | | |
| **M\_TEMP\_K** | **ADCINA7** | 针对技术要求表8中 “电机温度过高保护”、“驱动器温度过高保护”，“电机温度过高预警”，“驱动器温度过高预警”的要求，在获取驱动器、电机温度信息后，实施过温检查，过温保护，过温保护恢复。  在战时模式，检查结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检查结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 模拟量\_监视 | **AGND** | **ADCINA4** | 类型 | | | AD转换器 | | | | | | | | | |
| 标识 | | | IF\_R1/GSF2-1\_ADJS | | | | | | | | | |
| **U\_28V\_K** | **ADCINA5** | 获取28V控制电源的电压、电流、硬件过流下限、1.5V参考源、功率板5V 电源电压、硬件过流上限、2.5V参考源、外围5V电源电压、内核5V电源电压、标准地电位信息，除了28V控制电源电压外，其他模拟量在正常情况下是在一个较小范围内波动（考虑），工作过程中基本不变化。  对28V电源电压实施监视，进行控制电的软件过压、欠压检查；  对28V电源电流实施监视，进行过流、欠流检查。  对其他基本不变的物理量实施上电BIT进行零位越限检查，周期BIT进行波动越限检查。  在战时模式，检查结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检查结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
| **I\_28V\_K** | **ADCINA6** |
| **I\_MIN\_AD** | **ADCINB1** |
| **REF1V5\_AD** | **ADCINB2** |
| **Q5V\_SEN\_AD** | **ADCINB3** |
| **IMAX\_SEN\_AD** | **ADCINB4** |
| **REF2V5\_AD** | **ADCINB5** |
| **SEN\_AVDD5V** | **ADCINB6** |
| **SEN\_VCC5V** | **ADCINB7** |
|  | PWM输出 | **PWMAH** | **EPWM1A** | 类型 | | | | | | | | | PWM输出 | | | |
| **PWMAL** | **EPWM1B** | 标识 | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_PWM | | | |
| **PWMBH** | **EPWM2A** | 逆变桥功率开关PWM控制信号输出，这是电机调速的控制端。输出高电平则对应的功率开关饱和导通，输出低电平则对应的功率开关截止关断。 | | | | | | | | | | | | |
| **PWMBL** | **EPWM2B** |
| **PWMCH** | **EPWM3A** |
| **PWMCL** | **EPWM3B** |
|  | RS\_422通讯 | **RS422\_RX** | **SCIRXDB** | 类型 | | | | | | RS422接口 | | | | | | |
| **RS422\_TX** | **SCITXDB** | 标识 | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_RS422 | | | | | | |
| **RS422\_DE** | **GPIO77** | 构成RS422通讯口，实现与上位机的RS422通讯，衍生数据包解析、指令刷新等。  接收数据包中的指令转速是控制策略计算的主要主要输入。 | | | | | | | | | | | | |
| **RS422\_RE** | **GPIO78** |
|  | 霍尔信号输入 | **ECAP1** | **ECAP1** | 类型 | | | | | | | | | | | ECAP捕获 | |
| **ECAP2** | **ECAP2** | 标识 | | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ECAP | |
| **ECAP3** | **ECAP3** | ECAP4备用（未用）。  电机转子位置传感器信号输入，捕获其变化沿可以使用测周法进行电机转速测量，实现本系统的反馈，是控制策略计算的主要输入。  在获得电机转速反馈后，可响应技术要求表8中“电机超速保护”、“电机超速预警”的需求  可以进行变化时序检查、非法组合检查  无论在战时模式还是平时模式，检测结果立即影响当前控制输出，故障上报，但不影响下一次的控制输出。 | | | | | | | | | | | | |
| **ECAP4** | **ECAP4** |
|  | 母线控制输出 | **MX\_RJ\_KZ** | **GPIO7** | 类型 | | | | | 数字量输出 | | | | | | | |
| 标识 | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_MXRJKZ | | | | | | | |
| 控制270V动力电源开关截止关断还是饱和导通，注意由于有缓上电电路的存在，开关截止关断后仍然可以有一定的电流流过。输出高电平则对应的母线功率开关饱和导通，输出低电平则对应的母线功率开关截止关断。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 泻放控制输出 | **BREAK\_RJ\_KZ** | **GPIO9** | 类型 | | | | | | | | | 数字量输出 | | | |
| 标识 | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_XFRJKZ | | | |
| 控制270V母线上泻放电阻是导通泻放，还是关断不泻放，输出高电平则导通泻放，输出低电平则对关断不泻放。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 使能控制输出 | **ENABLE\_3V3\_N** | **GPIO15** | 类型 | | | | | | | | | | | 数字量输出 | |
| 标识 | | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ENKZ | |
| **ENABLE\_3V3\_P** | **GPIO16** | 控制使能控制输出的6路PWM、母线控制、泻放控制信号，差分逻辑控制，负逻辑输出0，同时正逻辑输出1则使得上述控制输出有效， 否则上述控制输出信号被强行设置为使所有功率开关处于截止关断状态（安全态）。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 硬件故障清除输出 | **ERR\_CLR** | **GPIO12** | 类型 | | | | | | | | | | 数字量输出 | | |
| 标识 | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ERRCLR | | |
| 当发生硬件过流故障，系统进入“自检执行异常”状态，通过此信号输出上升沿可以尝试清除硬件故障的锁定，进而恢复工作。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 看门狗喂狗输出 | **DSP\_WDI** | **GPIO51** | 类型 | | | | | | | 数字量输出 | | | | | |
| 标识 | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_WDI | | | | | |
| 外部看门芯片为TPS3813K33，可根据其数据手册及硬件设计确定看门狗的喂狗周期。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 调试协助输出 | **ZDGC\_OUT1** | **GPIO49** | 类型 | | | | | | | | 数字量输出 | | | | |
| **ZDGC\_OUT2** | **GPIO50** | 标识 | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ZDGCSC | | | | |
| **ZDGC\_OUT3** | **GPIO59** | 。  多线程观测器及状态观测输出，进入中断时输出低电平，中断返回前输出高电平，主循环观测在时间相邻的两次主循环过程中，一次输出低电平，另一次输出高电平，循环往复。 | | | | | | | | | | | | |
| **ZDGC\_OUT4** | **GPIO60** |
| **ZDGC\_OUT5** | **GPIO64** |
| **ZDGC\_OUT6** | **GPIO65** |
| **ZDGC\_OUT7** | **GPIO67** |
| **ZDGC\_OUT8** | **GPIO68** |
|  | BIT回绕输入 | **DISABLE\_BIT** | **GPIO29** | 类型 | | | | | | | | | | | | 数字量输入 |
| 标识 | | | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_RDBIT |
| 使能控制输出的组合产生DISABLE信号放大后送至功率板，同相回绕供周期BIT检测。  在战时模式，检测结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检测结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
|  | 硬件故障标识输入 | **CV\_ERR\_3V3** | **GPIO13/TZ2** | 类型 | | | | | | | | | | | | 数字量输入 |
| 标识 | | | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_ERRFLAG |
| **OC\_FG\_3V3** | **GPIO17/TZ6** | 获得270V动力母线硬件过压或者桥臂过流、三相桥臂过流锁定、内核5V电源电压正常、内核3.3V电源电压正常、外围5V电源电压正常，1.9V电源电压正常、270V动力母线硬件过压信息，用于周期BIT。  在战时模式，检测结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检测结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
| **VCC5V\_PG** | **GPIO42** |
| **VCC3V3\_PG** | **GPIO43** |
| **VDD5V\_PG** | **GPIO44** |
| **VCC1V9\_PG** | **GPIO45** |
| **OV\_FG\_3V3** | **GPIO31** |
|  | 固定输入 | **GND** | **GPIO30** | 类型 | | | | | | | | | | | | 数字量输入 |
| 标识 | | | | | | | | | | | | IF\_R1/GSF2-1\_CONIN |
| **GND** | **GPIO6** | 所有固定的数字输入管脚，初始化为GPIO输入管脚,上电初始化时，此时系统状态为“自检正在执行”，可以检测其是否为预定信号，记录检测结果，不作为进入“自检执行异常”的判据。  待输入了“战时模式”或“平时模式”后，  在战时模式，检查结果只是通过串口报警，不进行保护。  在平时模式，检查结果既通过串口报警，也进行保护。 | | | | | | | | | | | | |
| **GND** | **GPIO8** |
| **GND** | **GPIO10** |
| **GND** | **GPIO11** |
| **GND** | **GPIO14** |
| **GND** | **GPIO52** |
| **GND** | **GPIO53** |
| **GND** | **GPIO58** |
| **GND** | **GPIO61** |
| **GND** | **GPIO66** |
| **GND** | **GPIO69** |
| **GND** | **GPIO70** |
| **GND** | **GPIO71** |
| **GND** | **GPIO72** |
| **GND** | **GPIO73** |
| **GND** | **GPIO74** |
| **GND** | **GPIO75** |
| **GND** | **GPIO76** |
| **GND** | **GPIO79** |
| **GND** | **GPIO38** |
| **GND** | **GPIO34** |
| **GND** | **GPIO36** |
| **GND** | **GPIO46** |
| **GND** | **GPIO47** |
| **GND** | **GPIO80** |
| **GND** | **GPIO81** |
| **GND** | **GPIO82** |
| **GND** | **GPIO83** |
| **GND** | **GPIO39** |
| **未定义，上拉** | **GPIO84** |
| **未定义，上拉** | **GPIO85** |
| **未定义，上拉** | **GPIO86** |
| **未定义，上拉** | **GPIO87** |

### 输入/输出特性

所有输入数据来源均为DSP硬件特定寄存器，所有输出数据均输出至DSP硬件特定寄存器。输入/输出数据的特性如表15所示，表13、14、15中标识相同则为同一个输入输出单元。

表 15 输入/输出数据的特性

| **序号** | **接口分组**  **标识** | **硬件网络** | **DSP端口** | **来源** | **目的地** | **值域** | **读写频度** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ADIABC** | **IB\_AD** | **ADCINA0** |  | 软件 | 0~4095 | 50kHz |  |
| **IA\_AD** | **ADCINA1** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **IC\_AD** | **ADCINB0** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ADDLVBUS** | **VBUS\_AD** | **ADCINA3** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ADTEMP** | **TEMP\_Q\_AD** | **ADCINA2** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **M\_TEMP\_K** | **ADCINA7** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ADJS** | **AGND** | **ADCINA4** |  | 软件 | 0~4095 | 50kHz |  |
| **U\_28V\_K** | **ADCINA5** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **I\_28V\_K** | **ADCINA6** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **I\_MIN\_AD** | **ADCINB1** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **REF1V5\_AD** | **ADCINB2** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **Q5V\_SEN\_AD** | **ADCINB3** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **IMAX\_SEN\_AD** | **ADCINB4** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **REF2V5\_AD** | **ADCINB5** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **SEN\_AVDD5V** | **ADCINB6** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
| **SEN\_VCC5V** | **ADCINB7** |  | 0~4095 | 50kHz |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_RS422** | **RS422\_RX** | **SCIRXDB** | 双向 | |  |  |  |
| **RS422\_TX** | **SCITXDB** |  |  |  |
| **RS422\_DE** | **GPIO77** |  |  |  |
| **RS422\_RE** | **GPIO78** |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_PWM** | **PWMAH** | **EPWM1A** | 软件 |  |  |  |  |
| **PWMAL** | **EPWM1B** |  |  |  |  |
| **PWMBH** | **EPWM2A** |  |  |  |  |
| **PWMBL** | **EPWM2B** |  |  |  |  |
| **PWMCH** | **EPWM3A** |  |  |  |  |
| **PWMCL** | **EPWM3B** |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ECAP** | **ECAP1** | **ECAP1** |  | 软件 |  | 50kHz |  |
| **ECAP2** | **ECAP2** |  |  | 50kHz |  |
| **ECAP3** | **ECAP3** |  |  | 50kHz |  |
| **ECAP4** | **ECAP4** |  |  | 50kHz |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_MXRJKZ** | **MX\_RJ\_KZ** | **GPIO7** | 软件 |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_XFRJKZ** | **BREAK\_RJ\_KZ** | **GPIO9** | 软件 |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ENKZ** | **ENABLE\_3V3\_N** | **GPIO15** | 软件 |  |  |  |  |
| **ENABLE\_3V3\_P** | **GPIO16** | 软件 |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ERRCLR** | **ERR\_CLR** | **GPIO12** | 软件 |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_WDI** | **DSP\_WDI** | **GPIO51** | 软件 |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ZDGCSC** | **ZDGC\_OUT1** | **GPIO49** | 软件 |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT2** | **GPIO50** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT3** | **GPIO59** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT4** | **GPIO60** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT5** | **GPIO64** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT6** | **GPIO65** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT7** | **GPIO67** |  |  |  |  |
| **ZDGC\_OUT8** | **GPIO68** |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_RDBIT** | **DISABLE\_BIT** | **GPIO29** |  | 软件 |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_ERRFLAG** | **CV\_ERR\_3V3** | **GPIO13/TZ2** |  | 软件 |  |  |  |
| **OC\_FG\_3V3** | **GPIO17/TZ6** |  |  |  |  |
| **VCC5V\_PG** | **GPIO42** |  |  |  |  |
| **VCC3V3\_PG** | **GPIO43** |  |  |  |  |
| **VDD5V\_PG** | **GPIO44** |  |  |  |  |
| **VCC1V9\_PG** | **GPIO45** |  |  |  |  |
| **OV\_FG\_3V3** | **GPIO31** |  |  |  |  |
|  | **IF\_R1/GSF2-1\_CONIN** | **GND** | **GPIO30** |  | 软件 |  |  |  |
| **GND** | **GPIO6** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO8** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO10** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO11** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO14** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO52** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO53** |  | 软件 |  |  |  |
| **GND** | **GPIO58** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO61** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO66** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO69** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO70** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO71** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO72** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO73** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO74** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO75** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO76** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO79** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO38** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO34** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO36** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO46** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO47** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO80** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO81** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO82** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO83** |  |  |  |  |
| **GND** | **GPIO39** |  |  |  |  |
| **固定上拉** | **GPIO84** |  |  |  |  |
| **固定上拉** | **GPIO85** |  |  |  |  |
| **固定上拉** | **GPIO86** |  |  |  |  |
| **固定上拉** | **GPIO87** |  |  |  |  |  |
|  | **未用** | **SDA\_A** | **SDAA** |  |  |  |  |  |
| **SCL\_A** | **SCLA** |  |  |  |  |  |
| **CANRXA** | **GPIO18** |  |  |  |  |  |
| **CANRXB** | **GPIO21** |  |  |  |  |  |
| **SPISOMIA** | **SPISOMIA** |  |  |  |  |  |
| **SCIRXDA** | **GPIO28** |  |  |  |  |  |
| **CANTXA** | **CANTXA** |  |  |  |  |  |
| **CANTXB** | **CANTXB** |  |  |  |  |  |
| **SPISIMOA** | **SPISIMOA** |  |  |  |  |  |
| **SPICLKA** | **SPICLKA** |  |  |  |  |  |
| **SPISTEA** | **SPISTEA** |  |  |  |  |  |
| **SCITXDC** | **SCITXDC** |  |  |  |  |  |
| **SCITXDA** | **SCITXDA** |  |  |  |  |  |
| **ERR\_T1** | **GPIO37** |  |  |  |  |  |
| **ERR\_T3** | **GPIO40** |  |  |  |  |  |
| **ERR\_T4** | **GPIO41** |  |  |  |  |  |

### 中断数量及线程优先级

为提高实时性，确保紧急事件得到及时响应，建议中断优先级如表16所示。线程是从调用关系的角度考量配置项，各线程之间互不调用，也不得在不同的线程调用同一个函数（可以给需要的线程准备功能相同，但代码段、静态变量均不同的函数），不论直接还是间接调用均不允许。由于不同的线程之间只能使用全局变量交换信息，因此除了变量初始化外，每个全局变量只能被唯一的线程写操作，而可以被多个线程读操作。

表 16 中断（线程）优先级表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **优先级** | **中断（线程）名称** | **线程标识** |
|  | 最高 | TZ故障 | SX\_R1/GSF2-1\_TZ01 |
|  | 第2 | ECAP捕获 | SX\_R1/GSF2-1\_ECAP02 |
|  | 第3 | PWM周期 | SX\_R1/GSF2-1\_PWMTF03 |
|  | 第4 | 5ms控制周期 | SX\_R1/GSF2-1\_5MSCOT04 |
|  | 第5 | SCI接收缓冲区半满 | SX\_R1/GSF2-1\_RXMFULL05 |
|  | 第6 | 20ms周期RS422发送 | SX\_R1/GSF2-1\_20MSTX06 |
|  | 第7 | SCI发送缓冲区空 | SX\_R1/GSF2-1\_SCITXNUL07 |
|  | 最低 | 主函数（非中断） | SX\_R1/GSF2-1\_MAIN08 |

## 数据处理要求

此软件为实时控制类型，电机驱动系统可以处于多种状态下，在各种状态下，输入数据均会实时变化，要求输出数据能够快速跟随输入信息，并对输出数据的时序有相应的要求，切换软件系统状态，再根据当前状态、输入信息及其输入信息的时序、前次输出信息等计算本步输出信息。

### 状态转换

电机驱动系统软件主要状态转换如图1所示。



图 1 状态转换图

为仔细明确表达状态转换关系，状态转移如表17所示，状态转入如表18所示，状态转移矩阵如表19所示。

表 17 状态转移表

| **序号** | **当前状态名称** | **转移条件** | **转移状态名称** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 初始化  标识：FT\_R1/GSF2-1\_STUINI | 初始化流程完成，未发现战时模式下的故障。 | **停止状态** | 不判断功率电是否正常 |
| 初始化流程完成，已发现战时模式下的故障。 | **故障保护** |
|  | 故障保护  标识：FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT | 故障消除（如过温、过压、过流、超速） | **停止状态** | 清除故障标识，上位机可能通过将工作模式由平时改为战时而强迫故障消失 |
| 故障无法消除。 | **故障保护** |
|  | 停止状态  标识：FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP | 周期BIT发现故障。（战时模式与平时模式的故障标准不同） | **故障保护** |  |
| 根据上位机指令要求。 | **运行状态** |
| BIT未发现故障，且上位机无变化状态指令。 | **停止状态** |
|  | 运行状态  标识：FT\_R1/GSF2-1\_STURUN | 周期BIT发现故障。（战时模式与平时模式的故障标准不同） | **故障保护** |  |
| 根据上位机指令要求 | **停止状态** |  |
| BIT未发现故障，且上位机无变化状态指令，可以变化指令转速。 | **运行状态** |  |

为检查状态转换关系，状态转入如表17所示，状态转入如表18所示，状态转移矩阵如表19所示。

表 18 状态转入表

| **序号** | **前一状态名称** | **转入条件** | **进入状态名称** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 无 | 上电复位后 | 初始化  FT\_R1/GSF2-1\_STUINI |  |
|  | 初始化 | 上电自检发现故障，初始化过程结束 | 故障保护  FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT | 上电、周期BIT均不检查功率电是否欠压 |
| 故障保护 | 故障无法清除 |
| 停止状态 | 周期BIT发现故障 |
| 运行状态 | 周期BIT发现故障 |
|  | 初始化 | 初始化完成且无故障 | 停止状态  FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP |  |
| 故障保护 | 故障消失 |
| 停止状态 | 没有收到上位机进入运行状态的指令 |
| 运行状态 | 收到上位机进入停止状态的指令 |
|  | 停止状态 | 收到上位机进入运行状态的指令，无故障 | 运行状态  FT\_R1/GSF2-1\_STURUN |  |
| 运行状态 | 没有收到上位机进入停止状态的指令，无故障 |

表 19 状态转移矩阵表

|  | **后状态** | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **前状态** | **初始化**  **FT\_R1/GSF2-1\_STUINI** | **故障保护**  **FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT** | **停止状态**  **FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP** | **运行状态**  **FT\_R1/GSF2-1\_STURUN** |
| 初始化  **FT\_R1/GSF2-1\_STUINI** |  | **√** | **√** |  |
| 故障保护  **FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT** |  | **√** | **√** |  |
| 停止状态  **FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP** |  | **√** | **√** | **√** |
| 运行状态  **FT\_R1/GSF2-1\_STURUN** |  | **√** | **√** | **√** |

注：**√**表示可以从前状态转入后状态，若前状态与后状态同名，而且使用√标识，则表明此状态可以自保持，若没有标识，则表明此状态无法自保持，经过一定时间一定会转入其他状态。

### 数据处理过程

根据4.4.3节统计共有19组数据，其中第17、18和第19组（E2ROM、备用输入、备用输出）暂时未用，其余16组数据作为本软件的输入、输出，协同控制系统状态，调节系统输出，最终实现根据在上位机的指令，控制电机状态，闭环电机转速的总目标。数据处理过程由以下软件部件协同工作，实现总体目标。

数据处理过程主要由13个部件构成，但部件是从功能角度划分的，这13个部件无法实现完全独立，一些部件需要分解为零件（独立函数或者一段非独立代码），分散组合于多个线程中。部件定义及标识见表20

表 20 部件定义并标识

| **序号** | **部件名称** | **部件标识** | **分布的线程** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 初始化 | SF\_R1/GSF2-1\_INIT | 主函数 |  |
|  | 上电自检 | SF\_R1/GSF2-1\_PUBIT | 主函数 |  |
|  | 周期自检 | SF\_R1/GSF2-1\_PTBIT | PWM周期 |  |
| 主函数 |  |
|  | 控制策略 | SF\_R1/GSF2-1\_KZSF | 5ms控制周期 |  |
|  | 换相控制 | SF\_R1/GSF2-1\_HXKZ | PWM周期 |  |
|  | 转速测量 | SF\_R1/GSF2-1\_ZSCL | ECAP捕获 |  |
| 5ms控制周期 |  |
|  | 串口通讯接收 | SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_RX | SCI接收缓冲区半满 |  |
| 主函数 |  |
|  | 串口通讯发送 | SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_TX | 20ms周期RS422发送 |  |
| SCI发送缓冲区空 |  |
|  | 状态机管理 | SF\_R1/GSF2-1\_STUGL | 5ms控制周期 |  |
| PWM周期 |  |
| TZ故障 |  |
|  | 线程相互监视 | SF\_R1/GSF2-1\_XCJD | PWM周期 |  |
| 5ms控制周期 |  |
| 20ms周期RS422发送 |  |
| 主函数 |  |
|  | 软件升级 | SF\_R1/GSF2-1\_RJSJ | 主函数 |  |
| 20ms周期RS422发送 |  |
|  | 主循环 | SF\_R1/GSF2-1\_WHILE | 主函数 |  |

#### 初始化部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_INIT

完成对PWM事件管理器、AD转换器、输入捕获事件管理器、定时器、SCI通讯控制器、中断控制器、数字输入输出方向、片内看门狗等硬件初始化。

完成全局变量初始化、中断使能等功能。

初始化过程中保持对片外看门狗的喂狗动作持续正常。

#### 上电自检部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_PUBIT

为缩短上电自检的时间，上电自检过程可混合在初始化过程中。完成以下功能：

1. 对有固定电平预置（外部电阻强制上、下拉设计）的输出口（在分组名称为“RS\_422通讯”中部分、“PWM输出”、“母线控制输出”、“母线控制输出”、“泻放控制输出”、“使能控制输出”、“硬件故障清除输出”，“看门狗喂狗输出”中），在复位后默认为输入口状态，可以在设置为输出之前，作为输入口读取其电平，并与硬件预置电平比较，将比较结果记录留存，待RS422通讯口联通后，检查留存记录是否异常进行报警处理，根据检查结果和工作模式决定是否保护。
2. 对有固定电平（外部电阻强制上拉、接地拉设计）的输入口（组名称为“固定输入”，“E2ROM”），读取其电平，并与硬件预置电平比较，将比较结果记录留存，待RS422通讯口联通后，检查留存记录是否异常进行报警处理，根据检查结果和工作模式决定是否保护。
3. 完成AD有零位通道的零位读取，多次读值平均后留存，待RS422通讯口联通后，检查留存记录是否异常进行报警处理，根据检查结果和工作模式决定是否保护。

#### 周期自检部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_PTBIT

根据输入量变化速率的不同，周期自检分为两部分，高速变化的在PWM周期中断线程中，低速变化的在主循环线程中。由PWM定时器周期触发AD转换，自动扫描16个AD通道，在PWM线程中周期自检高速信号部分，低速信号的AD转换结果发送至全局变量缓冲区中，由主循环中调用低速周期自检进行检查。

##### 高速周期自检

数据分组中的“模拟量\_逆变桥臂电流”、“模拟量\_动力电源电压”，“BIT回绕输入”，“硬件故障标识输入”进行高速周期自检。虽然是高速自检，但越界报警信号需进行消抖处理。

##### 低速周期自检

数据分组中的“模拟量\_温度”、“模拟量\_监视”，“固定输入”进行低速周期自检。低速量的越界报警信号可进行较强的消抖处理。

#### 控制策略部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_KZSF

控制策略由5ms定时中断线程负责周期执行。

##### 电机运行模式的控制策略

当RS422接收到的数据包，将工作模式由其它模式变为“电机运行”的控制周期中，将参数配置的转速指令赋值给目标转速指令，而将当前速度反馈（可稍微增加一定的增量）赋值给当前转速指令，在随后的控制周期中，通过累加固定增量的方法使得当前转速指令逼近并最终等于目标转速指令。

在工作模式等于“电机运行”的控制周期中，以当前转速指令与当前转速反馈进行增量式闭环、前馈计算，计算结果进行限幅处理后，叠加上一控制周期的输出，再次限幅处理后，作为当前的控制输出（控制占空比）。对应的状态有“电机正在运行”，“电机运行正常”，不包含“电机运行异常”。

【注意1】闭环计算的积分环节注意防止积分溢出，强烈建议采用积分抗饱和方法。

【注意2】强烈建议在当前转速指令不等于目标转速指令之前，不使用积分环节，并且将积分累加和清零。

##### 电机停止模式的控制策略

当RS422接收到的数据包，将工作模式由其它模式变为“电机停止”的控制周期中，将控制占空比设为0，对积分累加和清零，检查还有哪些全局变量需要清零。对于工作状态为“电机正在停止”，“电机停止正常”，“电机停止异常”，还包含“电机运行异常”，均关闭所有功率开关。

##### 电机参数配置模式的控制策略

当RS422接收到的数据包，将工作状态由“自检执行正常模式” 变为“参数配置过程中”的控制周期中，将控制占空比设为0，对积分累加和清零，检查还有哪些全局变量需要清零。对于工作状态为“参数配置过程中”，“参数配置正常”，“参数配置异常”，均关闭所有功率开关。

#### 换相控制部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_HXKZ

在PWM周期定时中断中：

1. 读取三相桥臂电流、母线电压等全部AD转换通道；
2. 将其中属于数据分组中的“模拟量\_温度”、“模拟量\_监视”，“固定输入”的低速变化模拟量的转换值送至全局缓冲区。
3. 判断三相电流和值是否连续多次（建议10次）越界
4. 判断三相电流值是否连续多次（建议3次）越界
5. 若当前状态为 “电机正在运行”或“电机运行正常”则执行以下功能：
6. 根据三相电流值计算母线电流，判断母线电流是否超出预定义的临近边界（根据技术要求初定25A，调试过程可适当放大，最大35A），超出则将4.4.4.4.1 节描述的电机运行模式的控制策略计算的控制占空比减小20%。
7. 消抖3次读取电机转子位置信号，若3次各不相同，则本次没有合法位置信息，当ECAP发生过捕获时，应与ECAP捕获的转子位置信号对比，判断是否相等，不相等则本次PWM周期定时中断将没有合法信息。
8. 对合法的转子位置信息进行时序检测，继续判断转子位置信息的合法性。
9. 若转子位置信息不合法，建立报警标识，本次PWM输出全部截止关断。
10. 若转子位置信息合法，根据电机驱动逻辑表，将需要处于关闭状态的功率开关给出关闭控制信号，直流母线开关控制其饱和导通；将控制占空比分别相应的上管和下关进行偏置赋值。

#### 转速测量部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_ZSCL

需要对3路转子位置信号分别捕获上升沿和下降沿，共分6组测速捕获，每组只捕获1路信号的一种变化沿。测速时注意捕获用时基定时器的溢出回绕。当转速反馈低于200rpm时可以直接认为转速反馈为0；在ECAP捕获中断中只保存捕获时间计数、如果记录时基定时器的溢出计数需要增加捕获时基定时器中断。转速的计算不要放在捕获中断中。转速的计算最好放置在5ms控制周期定时器中断中。电机为4对极。

#### 串口通讯接收部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_RX

RS422数据接收功能由两部分实现，一部分为接收中断，另一部分为数据解包。根据技术要求规定数据帧长度不超过256字节，但同时上位机发来的相关指令及参数是非周期的，因此可能会出现紧密相连的若干个数据包，建议建立大于256（尽可能大）的环形缓冲队列。

应当在硬件接收缓冲区半满时触发接收中断，接收中断中负责将硬件缓冲区中的数据搬至环形缓冲队列，直至将硬件缓冲区掏空才能结束中断。

数据解包由主循环调用，在数据解包开始时可以再次将硬件接收缓冲区的剩余数据掏空，然后开始解包。解包不得一发现数据等于包头就认为是真的包头，可能是数据包中的内容。发现等于包头只能先立标志，待CRC检验通过才可确认其是真包头。如果CRC检验未通过，则应从发现等于包头的位置继续寻找，不要遗漏。

#### 串口通讯发送部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_TX

RS422数据发送功能有2个中断完成。建立大于256（尽可能大）的环形缓冲队列。先由20ms定时中断进行数据打包，打包结果放入环形缓冲队列；然后用环形缓冲队列中的数据将硬件发送缓冲区填充满，启动发送，同时使能发送缓冲区空中断（发送中断）。在每次发送中断中不断将环形缓冲队列中的剩余数据搬至硬件发送缓冲区。注意比较环形缓冲区的两个指针，不要发生越界，同时注意回绕。

#### 状态机管理部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_STUGL

状态机管理在5ms控制周期中断中实施，根据4.4.2状态转换的规定进行，格外注意：default或者else条件所包含的状态走向。在状态管理计算完成后，再执行控制策略。

#### 线程相互监视功能

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_XCJD

线程相互监视可能不是独立的几个函数，而只是在若干函数中包含一些语句，进行变量累加、比较、清零等操作。其工作机理是在已知的CPU工作速度和负荷下，各定时中断之间或与主循环的运行比。一般通过定义全局无符号整形变量来进行信息交互。

表 21 线程相互监视描述

| **序号** | **监视目标** | **工作用全局变量（艺名）** | **使用方法** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 【RS422发送周期20ms中断】与【主循环】相互监视 | count\_main\_tx20;  （常量） | 【RS422发送周期20ms中断】时检查【主循环】的预定频数（即几次RS422发送中断检查一次主循环累加计数值） |
| cp\_A\_main\_tx20; | 在主循环中cp\_A\_main\_tx20累加;并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在RS422发送周期20ms中断次数达到预定频数时检查此变量cp\_A\_main\_tx20是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |
| cp\_B\_tx20\_main; | 在RS422发送周期20ms中断时cp\_B\_tx20\_main累加,并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在主循环中检查此变量cp\_B\_tx20\_main是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |
|  | 【RS422发送周期20ms中断】与控【制周期5ms中断】相互监视 | count\_tx20\_kz5;  （常量） | 【控制周期5ms中断】时检查【RS422发送周期20ms中断】的预定频数（即几次控制周期中断检查一次RS422发送周期累加计数值，应当是5次） |
| cp\_A\_tx20\_kz5; | 在RS422发送周期中断中cp\_A\_tx20\_kz5累加;并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在控制周期5ms中断次数达到预定频数时检查此变量cp\_A\_tx20\_kz5是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |
| cp\_B\_kz5\_tx20 | 在控制周期5ms中断时cp\_B\_kz5\_tx20累加,并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在RS422发送周期20ms中检查此变量cp\_B\_kz5\_tx20是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |
|  | 【控制5ms周期中断】与【PWM周期中断】相互监视 | count\_kz5\_pwm;  （常量） | 【PWM周期中断】时检查【控制5ms周期中断】的预定频数（即几次PWM周期中断检查一次控制5ms周期中断累加计数值） |
| cp\_A\_kz5\_pwm; | 在控制5ms周期中断中cp\_A\_kz5\_pwm累加;并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在PWM周期中断次数达到预定频数时检查此变量cp\_A\_kz5\_pwm是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |
| cp\_B\_pwm\_kz5 | 在PWM周期中断时cp\_B\_pwm\_kz5累加,并检查其是否大于上限，大于上限则报警，在控制5ms周期中断中检查此变量cp\_B\_pwm\_kz5是否小于下限并清零，若小于下限则报警。（注意上限、下限要留有余量，当上位机密集发送数据包时可能出现报警） |

#### 软件升级部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_RJSJ

根据技术协议要求，本软件必须“具备不对设备拆装条件下进行软件升级的能力”，因此，根据系统硬件条件，将使用系统接口已有的RS422通讯口进行软件升级，这将对现有串口协议进行增添，但原则是不得破坏技术协议已规定的通讯协议。一旦开始软件升级，首先必须截止关闭除泻放以外的所有功率开关，控制泻放功率开关处于饱和导通状态。同时在软件升级烧写过程中保留一个定时中断用于DSP片外看门狗的喂狗动作，关闭（禁止）其他所有中断。烧写之后必须进行读出验证。软件升级烧写将DSP的FLASH分为BOOT引导区、最新版地址区和A,B两个大小相同的程序烧写区间。为安全考虑，设计两个软件升级的窗口，1个在硬件复位基本初始化（SCI口初始化等）后等待50ms时间判断上位机是否需要烧写，另一个在运行期间，由RS422通讯协议的数据包启动烧写工作。软件正常工作过程是在硬件复位后首先运行BOOT引导区的软件，读取最新版地址区的信息，根据信息将软件转移至A区或者B区运行。一旦接到上位机要升级烧写的命令，先读取最新版地址区的信息，此为当前版本软件的运行区间，将烧写地址指向另一个区间。设计烧写的通讯总协议，应当在烧写前通知DSP数据包的总包数，建议在原协议数据包的尾部增加包尾标志，16bit 的CRC校验和，以确保烧写数据的传输安全。在所有数据包全部传输完毕、烧写、读出校验均正常的条件下，最后更改最新版地址区的信息。

只允许用更高版本来进行升级，不得用低版本降级。

另外，软件升级单元还包含对应的上位机升级软件。

需要准备若干个内容相同但版本号不同的下载版本供培训用户进行下载操作。

#### 主循环部件

【标识】SF\_R1/GSF2-1\_WHILE

主循环部件是无限循环，调用以下部件：

1. 周期BIT
2. 数据解包
3. 喂片外看门狗

#### 上位机模拟部件

此部件不属于本CSCI，不予标识。用PC机模拟真实的上位机，实现将人机界面的指令下达至伺服驱动器（本软件），同时接收本软件上传的数据包存储为磁盘文件供检查。其接口协议（物理层、数据链路层、应用层）均与本本软件技术协议一致无二。仅是物理实现使用运行于WINDOWS的软件通过USB转RS422口进行仿真通讯。此单元为非交付单元。

#### 上位机升级支持部件

此部件不属于本CSCI，不予标识。用PC机作为上位机，将升级的版本的本软件CSCI通过USB转RS422口发送至老版本的CSCI，协助完成软件升级。此单元为交付单元。

## 接口



图 2 CSCI外部接口图

CSCI与外部接口之间的接口如图2所示，本软件在DSP芯片上直接运行，不被其他软件调用，接口均来自硬件部件，与上位机的接口通过RS422实现实现，属于复杂接口，其他属于简单接口。由于CSCI没有文件、数据库和人机接口，所以接口与CSCI的输入输出组成具有对应关系，使用输入输出的标识同时作为接口标识。接口清单如表22所示

表 22 接口列表

| **序号** | **接口类型** | **接口方式** | **数量** | **值域** | **接口（输入输出）标识** | **描述** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 输入 | 低12位二进制自然码 | 16通道 | 0~4095 | IF\_R1/GSF2-1\_ADIABC | 三相桥臂电流 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADDLVBUS | 功率电母线电压 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADTEMP | 电机、驱动器温度 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ADJS | 监视量 |
|  | 16位自然码捕获定时器值 | 3通道 | 0~65535 | IF\_R1/GSF2-1\_ECAP | 电机转子位置霍尔信号 |
|  | Bit型 | 48路 | 0~1 | IF\_R1/GSF2-1\_RDBIT | BIT回绕 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ERRFLAG | 硬件故障标志 |
| IF\_R1/GSF2-1\_CONIN | 固定电平输入 |
|  | 输出 | 最高16位自然码 | 6路 | 0~65535 | IF\_R1/GSF2-1\_PWM | 6路PWM输出 |
|  | Bit型 | 26路 | 0~1 | IF\_R1/GSF2-1\_MXRJKZ | 母线开关控制 |
| IF\_R1/GSF2-1\_XFRJKZ | 泻放开关控制 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ENKZ | 使能控制 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ERRCLR | 硬件故障清除 |
| IF\_R1/GSF2-1\_WDI | 喂狗 |
| IF\_R1/GSF2-1\_ZDGCSC | 辅助调试输出 |
|  | 双向 | 16位自然码 | 1收1发 | 0~65535 | IF\_R1/GSF2-1\_RS422 | 全双工，智能接口，协议后附 |

#### RS422接口协议

根据对GSF21-1驱动器技术协议理解，接口要求（RS422通讯协议）如表23所示。

表 23 RS422接口性能要求表

| **序号** | **标识** | **任务功能/性能** | **指标** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_WLTXXY1 | 物理层通讯协议1 | 双向全双工异步串行口，波特率为115200bps， |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_WLTXXY2 | 物理层通讯协议2 | 双向全双工异步串行口，数据格式为1位起始位，8位数据位，1位停止位，无奇偶校验位。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_SJLLTXXY1 | 数据链路层协议1 | 上位机与驱动器之间的通讯都需遵守以下格式。16位整型数先传低8位，后传高8位。32为整型数或浮点数从低8位到高8位先后依次发送。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_SJLLTXXY2 | 数据链路层协议2 | 数据链路层用来保证节点间无差错的数据传输，采用帧头判读、校验和判断的方式保证通讯的正确性，数据帧长度不超过256字节缓冲区长度。  表 23.1 数据帧格式   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **字节序号** | **名称** | **内容** | | **1** | **帧头** | **55H** | | **2** | **帧头** | **AAH** | | **3** | **数据长度** | **N-4** | | **4** | **数据1** |  | | **5** | **数据2** |  | | **…** | **…** |  | | **N-1** | **数据（N-4）** |  | | **N** | **数据和** |  |   数据和（CheckSum）是数据长度与数据包所有字节（3～N-1）累加结果的低8位。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY1 | 应用层协议1 | 驱动器上电自动进行初始化及自检， |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY2 | 应用层协议2 | 根据上位机指令，转入电机参数配置、电机的启动和停止控制。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY3 | 应用层协议3 | 上位机向驱动器发送相关指令及参数（非周期）； |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY4 | 应用层协议4 | 驱动器每20ms向上位机发送当前电机转速、电压及电流等状态。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY5 | 应用层协议5 | 电机启动时按电机已配置参数运行，默认工作模式= “战时模式” |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY6 | 应用层协议6 | 若要改变参数时，需要先发送配置指令进行参数配置。 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422RXGS | 上位机发送至驱动器数据包格式 | 数据格式见表24 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422RXZLDY | 上位机发送至驱动器数据包中指令字定义 | 数据格式见表25 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXGS | 驱动器发往上位机数据包格式 | 数据格式见表26 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXWKZTDY | 驱动器发往上位机数据包中工作状态字定义 | 定义见表27 |  |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXERRZTDY | 驱动器发往上位机数据包中电机故障及警告信息定义 | 定义见表28 |  |

表 24 上位机发送至驱动器数据包

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **名称** | **信号范围** | **当量/比例尺** | **类型** | **备注** |
| **1** | **帧头** | **55H** | **1** | **8位无符号整型** |  |
| **2** | **帧头** | **AAH** | **1** | **8位无符号整型** |  |
| **3** | **数据长度** | **17** | **1** | **8位无符号整型** | **+8** |
| **4** | **指令字** | **定义见25** | **1** | **16位无符号整型** |  |
| **5** | **工作模式** | **--** | **1** | **8位无符号整型** | **1：平时模式2：战时模式** |
| **6** | **转速** | **500～5000（RPM）** | **1** | **16位无符号整型** |  |
| **7** | **预留字** |  |  | **32位无符号整型** |  |
| **8** | **预留字** |  |  | **32位无符号整型** |  |
| **9** | **校验和** | **CheckSum** | **1** | **8位无符号整型** |  |

表 25 指令字定义

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **位序号** | **名称** | **定义** | **备注** |
| **1** | **电机参数配置** | **0x0C01** |  |
| **2** | **电机运行** | **0x0C02** |  |
| **3** | **电机停止** | **0x0C03** |  |

表 26 驱动器发往上位机数据包格式

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **名称** | **信号范围** | **当量** | **类型** | **备注** |
| **1** | **帧头** | **55H** | **--** | **8位无符号整型** |  |
| **2** | **帧头** | **AAH** | **--** | **8位无符号整型** |  |
| **3** | **数据长度** | **27H** | **--** | **8位无符号整型** | **29个字节** |
| **4** | **工作状态字** | **定义见表27** |  | **16位无符号整型** | **4BIT** |
| **5** | **系统状态字1** |  |  | **16位无符号整型** | **备用** |
| **6** | **系统状态字2** |  |  | **16位无符号整型** | **备用** |
| **7** | **故障状态字** | **定义见表28** |  | **32位无符号整型** |  |
| **8** | **帧计数** | **[0,FFFFFFFFH]** |  | **32位无符号整型** | **从1开始，每周期20ms加1，可以作为“心跳信号”** |
| **9** | **电机给定转速** | **500～5000（RPM）** | **1** | **16位无符号整型** |  |
| **10** | **电机实际转速** | **0～6000（RPM）** | **1** | **16位无符号整型** |  |
| **11** | **母线电压** | **0～500（V）** | **1** | **16位无符号整型** |  |
| **12** | **母线电流** | **-100～100（A）** | **0.1** | **16位无符号整型（范围：32767±1000）** |  |
| **13** | **伺服驱动器温度** | **-40～210（℃）** | **1** | **8位无符号整型（偏置40）** |  |
| **14** | **电机温度** | **-40～210（℃）** | **1** | **8位无符号整型（偏置40）** |  |
| **15** | **软件版本号** | **0～9999** | **1** | **16位无符号整型** | **如软件版本号为1.02，表示为0102H** |
| **16** | **工作模式** | **--** | **1** | **8位无符号整型** | **1：平时模式2：战时模式** |
| **17** | **预留位** |  |  | **16位无符号整型** |  |
| **18** | **校验和** | **CheckSum** | **1** | **8位无符号整型** |  |

表 27 上报工作状态字定义

| **位序号** | **数值** | **定义** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| Bit 0 | 1 | 上电自检正常完成 | 共16位 |
| 0 | 上电自检未完成 |
| Bit 1 | 1 | 功率电上电正常完成 |
| 0 | 功率电上电未完成 |
| Bit 2 | 1 | 有故障（总的故障状态字） |
| 0 | 无故障 |
| Bit 3 | 1 | 电机运行 |
| 0 | 电机停止 |

表 28 电机故障及警告信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **数值** | **错误名称** | **说明** |
| **1** | **00000000H** | **电机运行正常** | **共32位，b0～b31每位“1”表示发生保护/预警，“0”表示无保护/预警。**  **若同时发生多个保护或预警时，各保护/预警为“或”的关系** |
| **2** | **00000001H** | **电机温度过高保护** |
| **3** | **00000002H** | **驱动器温度过高保护** |
| **4** | **00000004H** | **母线电压欠压保护** |
| **5** | **00000008H** | **电机超速保护** |
| **6** | **00010000H** | **电机温度过高预警** |
| **7** | **00020000H** | **驱动器温度过高预警** |
| **8** | **00040000H** | **母线电压欠压预警** |
| **9** | **00080000H** | **电机超速预警** |  |
|  |  | **电机硬件过流保护** |  |
|  |  | **电机硬件过压保护** |  |

## 固件

固件型号为TMS320F28335，最终版本的程序直接烧写进DSP（TMS320F28335）的片内FLASH中。

代码或变量等的存放地址由CMD文件分配。注意在软件的烧写过程中DSP供电电源、烧写电脑等设备不能断电，否则会将DSP锁住，导致其无法正常工作。

根据技术协议要求，软件要具备不对设备拆装条件下进行软件升级的能力，而外部接口也由用户严格定义，因此只能利用用户定义的RS422实现固件烧写。

## 关键性要求

### 可靠性

在硬件各个部分正常工作时，软件的可靠性指标及可靠性要求如下：

1. 除主循环外，不允许再出现可能的直接或间接死循环。
2. 运算部分需要设计检查，防止诸如：分母为零。负数开方等非法运算。

软件的健壮性要求：

1. 非法输入检查。
2. 输入数据消抖或滤波。
3. 若系统瞬时掉电，引起DSP复位，再次上电时DSP正常工作；
4. 电机霍尔位置信号的组合及时序进行判断，防止误开通功率开关。
5. 准确检测各种信号，包括模拟量和数字量，提供各种保护（过流，过压，欠压，过温，硬件故障），使用消抖、滞环、滤波等方法。

### 安全性

1. 为确保软件正常运行，在运行过程中不出现跑飞的情况，在主循环和重要中断线程中配合控制器硬件进行“喂狗”。
2. 主循环线程中“喂狗”要求：高电平56ms，低电平58ms，周期为114ms的方波信号。
3. PWM中断线程中“喂狗”要求：高电平50ms，低电平50ms，周期为100ms的方波信号。
4. 在不同的（中断）线程中，不要调用同一函数，避免引起冲突。
5. 未使用的中断进行屏蔽。
6. 通过RS422串口接收上位机指令，按技术要求进行包头、包长、CRC校验的检验，同时还要对已通过CRC校验的数据包内容进行检查，当发现包内有任何一个数据超出技术协议约定的范围，则判定为非法数据，此数据包抛弃。
7. 若出现硬件过流、过压故障，软件立即上报。若处于“平时模式”，则立即停机以处于安全状态；若处于“战时模式”，根据技术协议要求，则尝试自动恢复。
8. 内存资源占用量不超过70%。
9. 缩短中断处理过程占用的时间，防止主循环无法执行。（周期性中断，独立运行30%）

### 保密性

本节暂无内容。

# 设计约束

本软件在研发的阶段，采用C语言和汇编语言编程，其中C语言的编程规则参照《嵌入式C语言编码风格指南V1.0-上海润璋》。

软件开发工具使用TI公司提供的CCS6.0.1，在win7 ,64位操作系统上运行。

本软件的研发针对特定的控制器，不要求具有重用性和可移植性。

按指定流程、部件开展设计。

## 软件开发原则

应坚持软件/硬件同步开发的原则。

## 编程语言

1. 编程语言为C语言。
2. 代码注释率不小于20%。

## 软件开发环境

软件开发环境为CCS集成开发环境。

## 测试环境

应具有可模拟全部外部接口输入输出的测试环境。

# 质量控制要求

## 软件关键性等级

驱动器软件的关键性等级为A级

驱动器软件的研制应当满足GJB2786相关规定，软件应按照相应的关键等级（A级）进行第三方评测，提供评测报告。

## 标准

1. GJB438B-2009 军用软件开发文档通用要求
2. GJB2786A-2009 军用软件开发通用要求

## 文档

该软件应形成的文档：接口需求规格说明、软件需求规格说明、软件设计说明、软件测试计划、软件测试说明、软件测试报告。

## 配置管理

软件开发过程中依据规定进行开发库、受控库、产品库的建立和维护，接受质量师系统的监督，按照要求进行配置项更改控制。

配置管理员建立并更新和维护配置管理状态记录，确保相关人员能够了解基线及配置项的状态和版本等相关信息。

在软件进行评审时，可对软件配置管理工作进行审核。软件验收前，进行软件配置项的配置审核，生成配置审核记录。

## 测试要求

在各个阶段中，要认真完成软件测试工作。根据软件需求规格说明中定义的全部功能和性能要求，与包含被开发软件的上一级系统一起进行系统联试，以验证该软件是否符合所属系统的要求。

系统测试、配置项测试、组件测试、单元测试。

根据技术协议的规定，驱动器软件应按照相应的关键等级（A级）进行第三方评测并提供评测报告。

## 对分承制方的要求

本节无内容。

# 验收和交付

随驱动器系统验收、交付。

# 软件保障要求

软件承制方负责对软件进行维护。

# 进度和里程碑

表 30 进度和里程碑

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **研制阶段** | **时间节点** | **是否里程碑** | **评审要求** |
| 需求分析 | 2020.09 | 否 | 内部评审 |
| 软件设计 | 2020.09 | 否 | 内部评审 |
| 内部测试 | 2020.10 | 否 | 内部评审 |
| 交付验收 | 2020.11 | 是 | 内部评审 |
|  |  |  |  |

# 附录

## 需求列表

| **序号** | **需求标识** |  | **对应章节** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KVFS | 控制器电压范围 | [4.1.1 直接功能要求](#_直接功能要求) |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KNFS | 电机转速控制范围 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KMOD1 | 控制方式1 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KMOD2 | 控制方式2 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB1 | 初始化及自检1 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB2 | 初始化及自检2 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB3 | 初始化及自检3 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.KIPUB4 | 初始化及自检4 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSPZ1 | 参数配置1 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSPZ2 | 参数配置2 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJKZ1 | 电机控制1 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJKZ2 | 电机控制2 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.GZMS | 工作模式 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.JMS | 停机模式 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDY | 动力电源电压 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDL | 动力电源电流 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.RJGCH | 软件工程化要求1 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSMOD | 测速方式 | [4.1.2 衍生功能要求](#_衍生功能要求) |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSFW | 测速范围 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CFJFM | 除法前检查分母 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.BHKZCL | 转速闭环控制策略计算 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMZQ | PWM斩波周期 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMJX | PWM极性 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.PWMZLXF | 输出PWM增量限幅 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.CSBH | 超速保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDLYCFW | 动力电电流检测范围 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.SSSXZDL | 升速时限制电流 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.WSSXZDL | 稳态时限制电流 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLDYJCFW | 动力电电压检测范围 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLQYYJBH | 母线电压欠压预警及保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DLGYYJBH | 母线电压过压预警及泻放保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJWDJCFW | 电机温度检测范围 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.DJWDYJBH | 电机温度过高预警及保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_CSCI.QDQWDYJBH | 驱动器温度过高预警及保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_WSDJHXKZ | 无刷电机换相控制 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_RS422RXMOD | RS422接收上位机数据包方式 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_PUBIT | 上电自检 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_ZQBIT | 周期自检 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_WDI | 监视定时器清零 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_FSMGK | 状态机管理 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HSDKZ | 母线缓上电控制 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_YJGYJC | 硬件故障过压检测 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_YJGLJC | 硬件过流检测 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_MNSRLB | 模拟输入信号滤波 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_IABCZJC | 三相桥臂电流信号零位检查 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_SUMIABC | 三相桥臂电流反馈和值检查 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_DIXHXD | 数字输入信号消抖 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HEFFZHJC | 霍尔信号非法组合检查 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HEFFZHBH | 霍尔信号组合非法保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_HESXFFBH | 霍尔信号时序非法保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_RS422RXHFJC | 输入数据包合法性检查 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_XCDL | 线程独立 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_DLYXBXZ | 周期线程独立运行比限制 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_XCXTJS | 线程之间心跳监视 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_QJBLXCZXZ | 全局变量写操作限制 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_MOD.ZS | 战时模式 | [4.1.3 工作模式定义](#_工作模式定义) |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_MOD.PS | 平时模式 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_STU.ZTZ | 工作状态字定义 | [4.1.4 工作状态字定义](#_工作状态字定义) |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_STUINI | 初始化 | [4.1.5 软件状态定义](#_软件状态定义)  [4.4.1 状态转换](#_状态转换) |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_STUFAULT | 故障保护 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_STUSTOP | 停止状态 |
|  | FT\_R1/GSF2-1\_STURUN | 运行状态 |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_RS422TSPT | RS422发送上位机数据包周期 | [4.2.1 直接性能要求](#_直接性能要求) |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_KZZQ | 转速闭环控制周期 | [4.2.2 衍生性能要求](#_衍生性能要求) |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_KZSDZJHS | 控制电自检正常所需时间 |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_DLSDZJHS | 动力电自检正常所需时间 |
|  | PM\_R1/GSF2-1\_FSRAMZYL | 存储器最大使用率 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ADIABC | AD转换器 | [4.3 输入/输出](#_输入/输出)  [4.3.1 输入/输出组成](#_输入/输出组成)  [4.3.2 输入/输出特性](#_输入/输出特性)  [4.5 接口](#_接口) |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ADDLVBUS |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ADTEMP |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ADJS |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_PWM | PWM输出 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422 | RS422接口 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ECAP | ECAP捕获输入 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_MXRJKZ | 数字量输出 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_XFRJKZ |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ENKZ |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ERRCLR |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_WDI |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ZDGCSC |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RDBIT | 数字量输 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_ERRFLAG |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_CONIN |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_TZ01 | TZ故障 | [4.3.3 中断数量及线程优先级](#_中断数量及线程优先级) |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_ECAP02 | ECAP捕获 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_PWMTF03 | PWM周期 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_5MSCOT04 | 5ms控制周期 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_RXMFULL05 | SCI接收缓冲区半满 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_20MSTX06 | 20ms周期RS422发送 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_SCITXNUL07 | SCI发送缓冲区空 |
|  | SX\_R1/GSF2-1\_MAIN08 | 主函数（非中断） |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_INIT | 初始化 | [4.4.2 数据处理过程](#_数据处理过程) |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_PUBIT | 上电自检 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_PTBIT | 周期自检 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_KZSF | 控制策略 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_HXKZ | 换相控制 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_ZSCL | 转速测量 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_RX | 串口通讯接收 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_SCI\_TX | 串口通讯发送 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_STUGL | 状态机管理 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_XCJD | 线程相互监视 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_RJSJ | 软件升级 |
|  | SF\_R1/GSF2-1\_WHILE | 主循环 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_WLTXXY1 | 物理层通讯协议1 | [4.5.1.1 RS422接口协议](#_RS422接口协议) |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_WLTXXY2 | 物理层通讯协议2 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_SJLLTXXY1 | 数据链路层协议1 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_SJLLTXXY2 | 数据链路层协议2 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY1 | 应用层协议1 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY2 | 应用层协议2 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY3 | 应用层协议3 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY4 | 应用层协议4 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY5 | 应用层协议5 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_YYCXY6 | 应用层协议6 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422RXGS | 上位机发送至驱动器数据包格式 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422RXZLDY | 上位机发送至驱动器数据包中指令字定义 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXGS | 驱动器发往上位机数据包格式 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXWKZTDY | 驱动器发往上位机数据包中工作状态字定义 |
|  | IF\_R1/GSF2-1\_RS422TXERRZTDY | 驱动器发往上位机数据包中电机故障及警告信息定义 |

## 硬件管脚定义

### 模拟输入量

模拟量通过AD转换器采样，AD转换器分辨率为12bit，转换值范围0~4095，16个输入通道，分为A,B两组，每组有一个采样保持器，可以实现2组的指定通道同时采样，以实现有同时相位要求的多对信号采样要求。模拟输入如表9所示，上电后初始化前，在功率逆变桥开关全部关闭条件下，AD转换的值为零位值。目前希望IB\_AD(ADCIN0) 与 IC\_AD(ADCINB0)同时采样，而IA\_AD (ADCINA1) 与 IB\_AD(ADCIN0) 的采样时间间隔越小越好。

注意：

1. 模拟输入量在输入端口模拟电压保持不变时，仍然会有最大±10个左右的跳码。
2. 为避免软件的工作负载过大，已将需要采集的各模拟量进行硬件低通滤波处理，所有信号送至AD转换器时，其截止频率均低于10kHz，所以16通道循环采样转换的总速率大于20kHz即可满足香农采样定律。

表 31 软件模拟输入量

| **序号** | **硬件网络名称** | **DSP端口** | **DSP管脚** | **零位值** | **值域** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IB\_AD | ADCINA0 | 42 | 1.5V | 0-3V | B相桥臂负端电流采样放大并低通滤波后的值，线性，滤波截止频率约6.5kHz  稳态桥臂电流±50A时，IB\_AD= 1.5+0.776V或1.5-0.776V |
|  | IA\_AD | ADCINA1 | 41 | 1.5V | 0-3V | A相桥臂负端电流采样放大并低通滤波后的值，线性，滤波截止频率约6.5kHz  稳态桥臂电流±50A时，IA\_AD= 1.5+0.776V或1.5-0.776V |
|  | TEMP\_Q\_AD | ADCINA2 | 40 | 无确定值 | 0-3V | 功率板温度检测信息，非线性  功率板上热敏电阻RT1为25℃时，值为为0.421V  功率板上热敏电阻RT1为100℃时，值为为2.593V |
|  | VBUS\_AD | ADCINA3 | 39 | 无确定值 | 0-3V | 270V电源母线电压检测，线性  母线电压为270V时，值为1.91V  母线电压为400V时，值为2.8235V |
|  | AGND | ADCINA4 | 38 | 恒值 | 0V | 恒值值0V，可用于校准AD |
|  | U\_28V\_K | ADCINA5 | 37 | 无确定值 | 0-3V | 28V电源供电电压检测，线性  28V电源电压为36V时，U\_28V\_K=1.554V  28V电源电压为72V时，U\_28V\_K=3.11V  28V电源电压为16V时，U\_28V\_K=0.69V |
|  | I\_28V\_K | ADCINA6 | 36 | 无确定值 | 0-3V | 28V电源供电电流检测，线性  28V电源在输出4A时，I\_28V\_K=2.668284V  28V电源在输出0A时，I\_28V\_K=0V |
|  | M\_TEMP\_K | ADCINA7 | 35 | 无确定值 | 0-3V | 电机温度PT1000检测，线性  当被测温度为150℃时，M\_TEMP\_K=2.833V  当被测温度≤0℃时，M\_TEMP\_K=0V，即：温度小于0℃时饱和为0V。 |
|  | IC\_AD | ADCINB0 | 46 | 1.5V | 0-3V | C相桥臂负端电流采样放大并低通滤波后的值，线性，滤波截止频率约6.5kHz  稳态桥臂电流±50A时，IB\_AD= 1.5+0.776V或1.5-0.776V |
|  | I\_MIN\_AD | ADCINB1 | 47 | 恒值 | 0.947V | 为硬件过流保护限I\_MIN的1:1采样值  恒值值0.947V ，可用于校准AD |
|  | REF1V5\_AD | ADCINB2 | 48 | 恒值 | 1.5V | 为硬件基准电压REF\_1V5的1:1采样值  恒值值1.5V ，可用于校准AD |
|  | Q5V\_SEN\_AD | ADCINB3 | 49 | 恒值 | 1.667V | 为功率板5V电源电压通过Q\_AVCC\_5V\_SEN采样  恒值值1.667V ，可用于校准AD |
|  | IMAX\_SEN\_AD | ADCINB4 | 50 | 恒值 | 2.02V | 为硬件过流保护限I\_MAX的2:1采样值  恒值值2.02V ，可用于校准AD |
|  | REF2V5\_AD | ADCINB5 | 51 | 恒值 | 2.5V | 为硬件基准电压REF\_2.5V的1:1采样值  恒值值2.5V ，可用于校准AD |
|  | SEN\_AVDD5V | ADCINB6 | 52 | 恒值 | 2.5V | 为硬件电源AVDD\_5V电压的2:1采样值  恒值值2.5V ，可用于校准AD |
|  | SEN\_VCC5V | ADCINB7 | 53 | 恒值 | 2.5V | 为硬件电源VCC\_5V电压的2:1采样值  恒值值2.5V ，可用于校准AD |

### 数字输入量

数字输入量全部为正逻辑，即高电平将读到数字1，低电平将读到数字0。上电后初始化前功率逆变桥开关全部关闭时的读值为零位值，数字输入量如表10所示

表 32 软件数字输入量

| **序号** | **硬件网络名称** | **DSP端口** | **DSP管脚** | **零位值** | **值域** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | GND | GPIO30 | 1 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | DISABLE\_BIT | GPIO29 | 2 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 输出至功率板的DISABLE信号同相回读，  当DSP输出的ENABLE\_3V3\_P为高电平，同时输出的ENABLE\_3V3\_N为低电平时，控制板输出的DISABLE信号为低电平，使能功率板，回读为低电平（功率板使能），其余均为高电平（功率板禁止） |
|  | GND | GPIO6 | 13 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO8 | 17 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO10 | 19 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO11 | 20 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | CV\_ERR\_3V3 | GPIO13/TZ2 | 24 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 硬件过流或过压标识  低电平表示当前正在硬件过压或者发生过（被锁定）硬件过流  高电平表示硬件无过流过压。 |
|  | GND | GPIO14 | 25 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | OC\_FG\_3V3 | GPIO17/TZ6 | 28 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 硬件过流标识  低电平表示当前发生过（被锁定）硬件过流  高电平表示硬件无过流。 |
|  | CANRXA | GPIO18/  CANRXA | 62 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输入信号，输入端CANRXA\_P未强制电平，建议不使用时CANRXA\_P接地 |
|  | CANRXB | GPIO21/  CANRXA | 65 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输入信号，输入端CANRXB\_P未强制电平，建议不使用时CANRXB\_P接地 |
|  | RS422\_RX | SCIRXDB  (GPIO23) | 67 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | RS422通讯接口，信息输入通道 |
|  | ECAP1 | ECAP1  （GPIO24） | 68 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 电机转子位置信号HALL\_HD 同相 |
|  | ECAP2 | ECAP2  （GPIO25） | 69 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 电机转子位置信号HALL\_HC 同相 |
|  | ECAP3 | ECAP3  （GPIO26） | 72 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 电机转子位置信号HALL\_HB 同相 |
|  | ECAP4 | ECAP4  （GPIO27） | 73 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 备用，未用时为H\_3.3V  （电机转子位置信号HALL\_HA 同相） |
|  | SDA\_A | SDAA  （GPIO32） | 74 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | E2ROM用I2C总线用，上拉至3V3 |
|  | SCL\_A | SCLA  （GPIO33） | 75 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | E2ROM用I2C总线用，上拉至3V3 |
|  | GND | GPIO52 | 94 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO53 | 95 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | SPISOMIA | SPISOMIA  （GPIO55） | 97 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输入信号，输入端SPI\_MI\_P未强制电平，建议不使用时SPI\_MI\_P接地 |
|  | GND | GPIO58 | 100 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO61 | 112 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO66 | 119 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO69 | 124 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO70 | 127 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO71 | 128 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO72 | 129 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO73 | 130 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO74 | 131 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO75 | 132 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO76 | 133 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO79 | 136 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO38 | 137 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | SCIRXDA | GPIO28  （SCIRXDA） | 141 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输入信号，输入端SCI\_RXA\_P未强制电平，建议不使用时SCI\_RXA\_P接地 |
|  | GND | GPIO34 | 142 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO36 | 145 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | VCC5V\_PG | GPIO42 | 153 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | VCC\_5V电源（DSP用）状态信息  高电平则表示VCC\_5V电源正常 |
|  | VCC3V3\_PG | GPIO43 | 156 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | VCC\_3V3电源（DSP用）状态信息  高电平则表示VCC\_3V3电源正常 |
|  | VDD5V\_PG | GPIO44 | 157 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | VDD\_5V电源（外围用）状态信息  高电平则表示VDD\_5V电源正常 |
|  | VCC1V9\_PG | GPIO45 | 158 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | VCC\_1V9电源（DSP用）状态信息  高电平则表示VCC\_1V9电源正常 |
|  | GND | GPIO46 | 161 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO47 | 162 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO80 | 163 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO81 | 164 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO82 | 165 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | GND | GPIO83 | 168 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  |  | GPIO84 | 169 | H\_3.3V | H\_3.3V | 恒值3.3V，固定上拉，确定BOOT |
|  |  | GPIO85 | 172 | H\_3.3V | H\_3.3V | 恒值3.3V，固定上拉，确定BOOT |
|  |  | GPIO86 | 173 | H\_3.3V | H\_3.3V | 恒值3.3V，固定上拉，确定BOOT |
|  |  | GPIO87 | 174 | H\_3.3V | H\_3.3V | 恒值3.3V，固定上拉，确定BOOT |
|  | GND | GPIO39 | 175 | L\_0V | L\_0V | 恒值0V，固定接地。 |
|  | OV\_FG\_3V3 | GPIO31 | 176 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 270V电源母线硬件过压标识  低电平表示当前正在硬件过压  高电平表示硬件无过压。 |

【硬件设计备注】：

1. 当CV\_ERR\_3V3为低电平报警时，OV\_FG\_3V3和OC\_FG\_3V3至少有一个为低电平，若 OV\_FG\_3V3和OC\_FG\_3V3若均为高电平则表示硬件电路异常。
2. 所有硬件数字量输入根据情况设计了不同截止频率的低通滤波、钳位、隔离措施，但由于控制器硬件工作于强电磁干扰环境，因此建议软件在可行时，应当进行输入量的数字滤波。

### 数字输出量

数字输出量全部为正逻辑，即数字1将输出高电平，数字0将输出低电平。数字输出量在上电后初始化前管脚为输入状态，可以读取有确定电平的值进行零位值检查。数字输出量如表10所示

| **序号** | **硬件网络名称** | **DSP端口** | **DSP管脚** | **零位值** | **值域** | **备注** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | PWMAH | EPWM1A  （GPIO0） | 5 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥A臂上管，  输出高电平时上管导通  输出低电平时上管管断。 |
|  | PWMAL | EPWM1B  （GPIO1） | 6 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥A臂下管，  输出高电平时下管导通  输出低电平时下管管断。 |
|  | PWMBH | EPWM2A  （GPIO2） | 7 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥B臂上管，  输出高电平时上管导通  输出低电平时上管管断。 |
|  | PWMBL | EPWM2B  （GPIO3） | 10 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥B臂下管，  输出高电平时下管导通  输出低电平时下管管断。 |
|  | PWMCH | EPWM3A  （GPIO4） | 11 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥C臂上管，  输出高电平时上管导通  输出低电平时上管管断。 |
|  | PWMCL | EPWM3B  （GPIO5） | 12 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | PWM输出，下拉，驱动逆变桥C臂下管，  输出高电平时下管导通  输出低电平时下管管断。 |
|  | MX\_RJ\_KZ | GPIO7 | 16 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 270V母线开关软件控制信号, 下拉，与硬件过压、过流信号“逻辑与”之后为 驱动母线开关PWM\_MX。  输出高电平时母线开关导通  输出低电平时母线开关管断。 |
|  | BREAK\_RJ\_KZ | GPIO9 | 18 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 泻放开关软件控制，下拉，与硬件过压信号“逻辑或”之后为 驱动泻放开关PWM\_BREAK。  输出高电平时泻放开关导通  输出低电平时泻放开关管断。 |
|  | ERR\_CLR | GPIO12 | 21 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 过流故障清除信号，上拉  上升沿清除过流故障 |
|  | ENABLE\_3V3\_N | GPIO15 | 26 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 功率板使能负信号,上拉  低电平使能功率板 |
|  | ENABLE\_3V3\_P | GPIO16 | 27 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 功率板使能正信号,下拉  高电平使能功率板 |
|  | CANTXA | CANTXA  （GPIO19） | 63 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出信号 |
|  | CANTXB | CANTXB  （GPIO20） | 64 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出信号 |
|  | RS422\_TX | SCITXDB  （GPIO22） | 66 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | RS422通讯接口，信息输出通道，上拉 |
|  | ZDGC\_OUT1 | GPIO49 | 89 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT1，输出至接口ZDGC-PIN8  建议用于PWM中断观测，进入PWM中断时输出低电平，中断返回时输出高电平 |
|  | ZDGC\_OUT2 | GPIO50 | 90 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT2，输出至接口ZDGC-PIN7  建议用于RS422接收中断观测，进入中断时输出低电平，中断返回时输出高电平 |
|  | DSP\_WDI | GPIO51 | 91 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 看门狗喂狗输出，上拉 |
|  | SPISIMOA | SPISIMOA  （GPIO54） | 96 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为SPI\_MO\_P |
|  | SPICLKA | SPICLKA  （GPIO56） | 98 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为SPI\_CLK\_P |
|  | SPISTEA | SPISTEA  （GPIO57） | 99 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为SPI\_STE\_P |
|  | ZDGC\_OUT3 | GPIO59 | 110 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT3，输出至接口ZDGC-PIN6  建议用于20ms 的RS422发送中断观测，进入中断时输出低电平，中断返回时输出高电平 |
|  | ZDGC\_OUT4 | GPIO60 | 111 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT4，输出至接口ZDGC-PIN5  建议用于控制策略周期中断观测，进入中断时输出低电平，中断返回时输出高电平 |
|  | SCITXDC | SCITXDC  （GPIO63） | 114 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为SCI\_TXC\_P |
|  | ZDGC\_OUT5 | GPIO64 | 115 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT5，输出至接口ZDGC-PIN4  建议用于主循环观测，在时间相邻的两次主循环过程中，一次输出低电平，另一次输出高电平，循环往复。 |
|  | ZDGC\_OUT6 | GPIO65 | 116 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT6，输出至接口ZDGC-PIN3 |
|  | ZDGC\_OUT7 | GPIO67 | 122 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT7，输出至接口ZDGC-PIN2 |
|  | ZDGC\_OUT8 | GPIO68 | 123 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为ZDGC\_P\_OUT8，输出至接口ZDGC-PIN1  建议ZDGC\_OUT6、ZDGC\_OUT7、ZDGC\_OUT8，编码输出当前状态 |
|  | RS422\_DE | GPIO77 | 134 | H\_3.3V | H\_3.3V，L\_0V | 用于RS422通讯接口，信息输出使能，上拉 |
|  | RS422\_RE | GPIO78 | 135 | L\_0V | H\_3.3V，L\_0V | 用于RS422通讯接口，信息输入接收使能，下拉 |
|  | SCITXDA | SCITXDA  （GPIO35） | 148 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 备用输出，经同相缓冲为SCI\_TXA\_P |
|  | ERR\_T2 | XRD | 149 |  |  | 硬件设计错误，无法使用 |
|  | ERR\_T1 | GPIO37 | 150 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 同相隔离驱动OC门输出ERR\_OC2（需要外部上拉）  建议输出故障编码 |
|  | ERR\_T3 | GPIO40 | 151 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 同相隔离驱动OC门输出ERR\_OC3（需要外部上拉）  建议输出故障编码 |
|  | ERR\_T4 | GPIO41 | 152 | 不确定 | H\_3.3V，L\_0V | 同相隔离驱动OC门输出ERR\_OC4（需要外部上拉）  建议输出故障编码 |

# 注释

## 缩略语

### CSCI

计算机软件配置项。软件配置是指一个软件产品在软件生存周期各个阶段所产生的各种形式（机器可读或人工可读）和各种版本的文档、程序及其数据的集合。该集合中的每一个元素称为该软件产品软件配置中的一个配置项(configuration item)。

## 名词解释

### 回归测试

回归测试是指修改了旧代码后，重新进行测试以确认修改没有引入新的错误或导致其他代码产生错误。自动回归测试将大幅降低系统测试、维护升级等阶段的成本。

回归测试作为软件生命周期的一个组成部分，在整个软件测试过程中占有很大的工作量比重，软件开发的各个阶段都会进行多次回归测试。在渐进和快速迭代开发中，新版本的连续发布使回归测试进行的更加频繁，而在极端编程方法中，更是要求每天都进行若干次回归测试。因此，通过选择正确的回归测试策略来改进回归测试的效率和有效性是很有意义的。