

【引用格式】邓涛, 沈谊伟. 某型扫雷具分系统码头环境下调试措施的研究[J]. 数字海洋与水下攻防, 2022, 5(3): 230-238.

某型扫雷具分系统码头环境下调试措施的研究

邓 涛, 沈谊伟

(中国人民解放军第四八零一工厂黄埔军械修理厂, 广东 广州 510715)

摘 要 结合实际维修保障需要, 分析某型舰三电极扫雷具控制分系统控制原理, 提出一种基于码头环境条件对三电极扫雷具控制分系统在自动方式下实施有效调试的措施, 搭建调试控制系统, 并结合装备维修保障, 充分检验控制分系统的励磁输出受控性, 提高控制分系统在码头环境下的维护效率, 确保设备的完好性。

关键词 调试; 三电极扫雷具; 控制分系统; 受控性

中图分类号 TP302.7 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2022)03-0230-09

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2022.03.007

Research on Debugging Methods of a Minesweeping Gear Subsystem in Wharf Environment

DEND Tao, SHEN Yiwei

(No.4801 Huangpu Armament Repair Factory, PLA, Guangzhou 510715, China)

Abstract Combined with the actual maintenance support needs, the control principle of the control subsystem for three-electrode minesweeping gear of a certain type of ship is analyzed in this paper. An effective debugging method for the control subsystem in automatic mode in wharf environment is put forward. The debugging control system is built. Combined with equipment maintenance support, the controllability of the excitation output of the control subsystem has been fully tested. The maintenance efficiency of the control subsystem in wharf environment is improved, thereby the integrity of the equipment is ensured.

Key words debugging; three-electrode minesweeping gear; control subsystem; controllability

0 引言

某型舰三电极扫雷具控制分系统^[1]由最初的手动调节方式发展到后来的半自动控制方式, 再到目前单片机系统自动控制方式, 控制分系统的逐步优化, 一定程度上降低操作难度, 提高作战性能, 但同时也增加了维护保障难度。

该型扫雷具现阶段的主要保障难点是: 三电极扫雷具控制分系统各组部件的功能及性能在码头环境下无法充分、有效地得到验证, 一般是结合扫雷具布放拖曳训练时进行验证。一旦在海上拖曳时

发现控制分系统存在问题, 正常的训练科目就无法开展。另外, 因海上维修环境复杂、维修难度大, 难以及时排除故障, 待舰船停靠码头实施检修后, 又需要出海拖曳验证, 这种反反复复的维修、验证方式, 拖长装备维修周期, 不利于形成战斗力, 也浪费较多资源。

目前, 最直观反映三电极扫雷具控制分系统内各组部件功能及系统性能的是三电极控制柜主回路、补偿回路励磁信号输出是否受控。本文结合维修保障经历, 通过分析控制原理及硬件电路结构, 构建调试控制系统, 能够在码头环境下, 将控制分

系统在自动方式下按照实际扫雷作业参数设置并启动工作, 有效检测励磁信号的受控性, 充分验证控制分系统在出海前的性能。

1 控制原理分析

三电极扫雷具的控制分系统核心控制部分为三电极控制柜, 其内部分为主回路、补偿回路 2 大控制回路, 主要为发电机组提供励磁信号。主回路、补偿回路工作原理及硬件结构相同, 其区别在于输出电流值不同。

三电极扫雷具正常作业方式是自动方式, 该方式下, 三电极控制柜接收来自上位机的波形、极性信号, 经过调节、监控处理后, 控制发电机组输出满足设定要求的电流; 同时监测发电机组输出量, 用于系统功能保护, 并实现闭环控制。工作原理框图如图 1。

图 1 中, 上位机输出的波形信号参数值与发电机组输出采集量之间存在一定的比例关系。下文中以三电极控制柜某一回路为例, 阐述相应的控制原理, 并验证该比例关系。

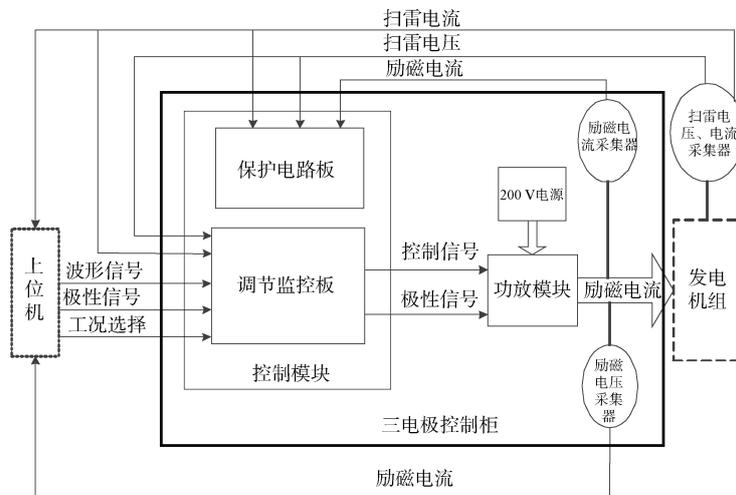


图 1 控制原理框图

Fig. 1 Control principle block diagram

上位机送出的波形信号量, 通过 200 Ω 电阻转换为电压, 用于控制功放模块输出。发电机组输出采集量通过相应的传感器件^[2-3]进行采集。部分传感器件性能如表 1 所示。

表 1 传感器件性能参数表

Table 1 Performance parameters of sensors

序号	代号	主要性能参数
1	机组输出采集器	转换输出比例为 1/5 000
2	机组输入采集器	转换输出比例为 1/1 000

系统设计中, 通过安装在保护电路板中的 10 Ω 无感精密电阻将扫雷电流采集器采集的电流量转换成电压量, 通过 200 Ω 无感精密电阻将励磁电流采集器采集的电流量转换成电压量。

为便于控制原理描述, 设定在理想情况下, 上位机主回路参数设置为 1 000, 且发电机组输出也

为 1 000。结合上述各传感器参数, 相关计算如下。

上位机设定值为 1 000 时, 通过 200 Ω 电阻转换为电压量, 即实际上位机控制波形信号电压为

$$\frac{20 \text{ mA}}{2000} \times 1000 \times 200 \Omega = 2 \text{ V} \quad (1)$$

设发电机组输出也为 1 000, 其采集反馈量通过 10 Ω 无感精密电阻转换电压量, 即机组输出采集量电压为

$$1000 \text{ A} \times \frac{1}{5000} \times 10 \Omega = 2 \text{ V} \quad (2)$$

结论: 上述式 (1) - (2) 结果一致, 也就是上位机控制波形信号电压与机组输出采集反馈量电压完全一样, 即发电机组输出可完全按照上位机设定值而变化, 根据作业计划, 通过改变上位机参数设定值, 即可得到需要的控制波形。此即为三电极扫雷具系统工作的控制原理。

2 硬件电路原理分析

2.1 控制模块原理

控制模块内部包括1块调节监控板(或 CPU 插板)和 1 块保护电路板。调节监控板主要负责识别工况选择方式,接收上位机送来的波形和极性信号,同时接收传感器的采集信号,进行比较判断,输出功放模块的控制信号及极性信号。保护电路板主要接收传感器采集信号,进行过流、过压保护。

2.1.1 调节监控板原理

调节监控板以 STM32 系列单片机^[4-5]为控制核心,结合外围运放、模拟开关及隔离电路等,实现对信号的采集、判断及隔离输出。大致可分为电

源转换电路、波形信号处理电路^[6]、波形极性处理电路、采集量处理电路、AD/DA 转换电路、功放控制信号输出电路、功放极性信号输出电路 7 个功能部分。

电源转换电路以 DC-DC 转换模块为主,将 $\pm 15\text{ VDC}$ 转换为 $\pm 12\text{ VDC}$ 、 $+5\text{ VDC}$ 及 $+3.3\text{ VDC}$,对电路板中单片机、功放等器件供电。

波形信号处理电路如图 2,电流信号 AI-0 经转换电阻 R 转换为电压量,经运放 OP4177 及多路复用器后输出 VIN1,送给 AD 转换器采集。采集量处理电路原理与波形信号处理电路相同,输出量也送给 AD 转换器。

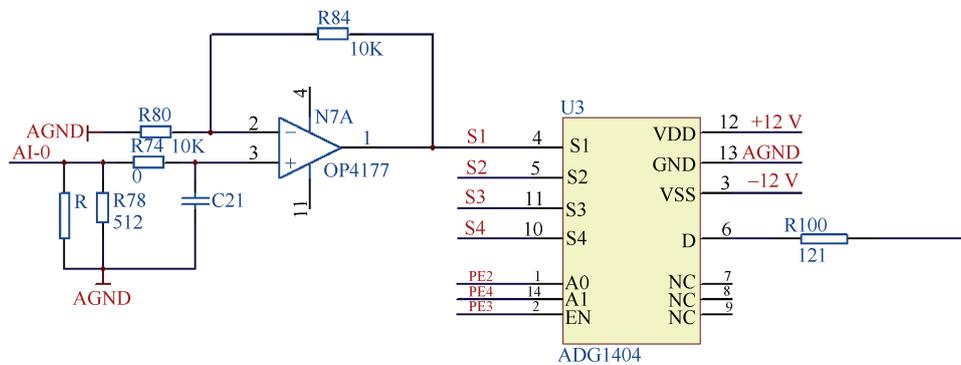


图 2 波形信号处理电路

Fig.2 Waveform signal processing circuit

AD/DA 转换电路如图 3,图中 D1 为 4 通道、12 位带符号位的逐次逼近型 AD 转换器;D5 为高

精度、12 位乘法型 DA 转换器。AD/DA 转换器均采用串行接口器件。

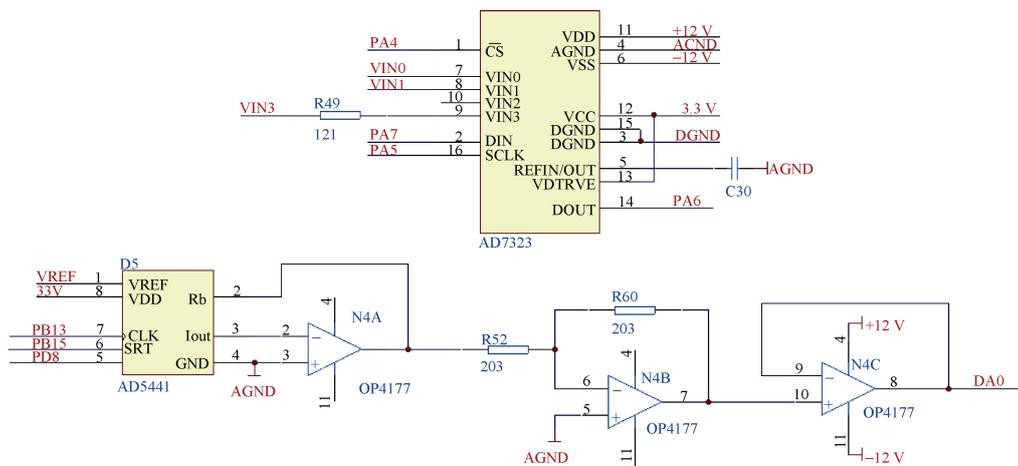


图 3 AD/DA 转换电路图

Fig.3 AD/DA conversion circuit diagram

功放控制信号输出电路如图 4, DA 转换器的输出经过电压跟随器^[6]后分两路输出, 其中一路的输出

信号是另一路输出信号的一半。在线路连接中, 主回路连接到最大输出量, 补偿回路连接最小输出量。

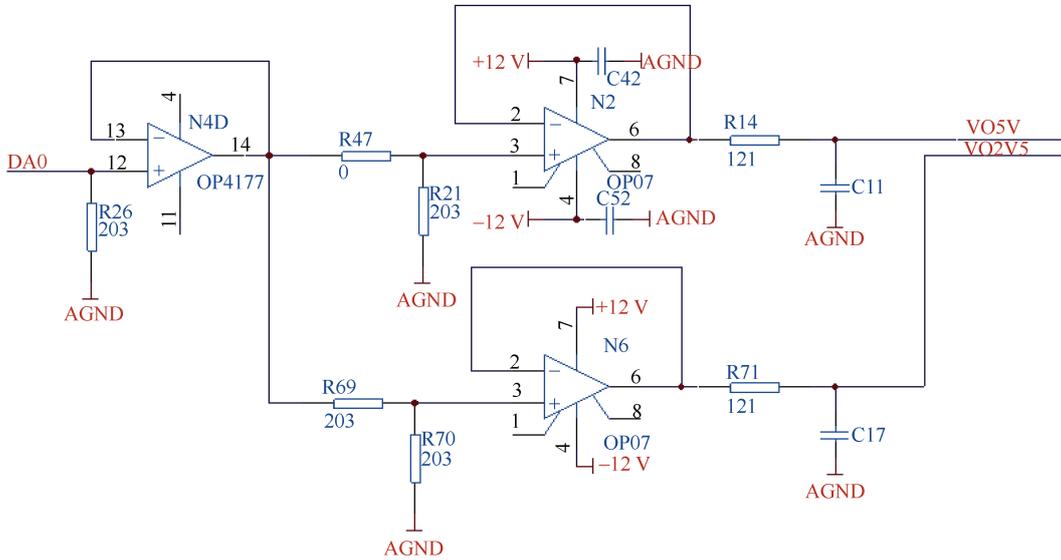


图 4 功放控制信号电路
Fig.4 Power amplifier control signal circuit

功放极性信号输出电路采用光电耦合隔离器实现, 减少电路中干扰。

保护。

2.1.2 保护电路板原理

保护电路原理如图 5, 主要对发电机组的输入励磁电流以及输出的电流、电压进行监测、

信号输入量与比较量经过运算放大器后, 控制三极管的导通或截止, 实现系统线路保护。根据电路中电流信号特性, 比较量的取值范围如表 2, 可通过板上调节电位器修正。

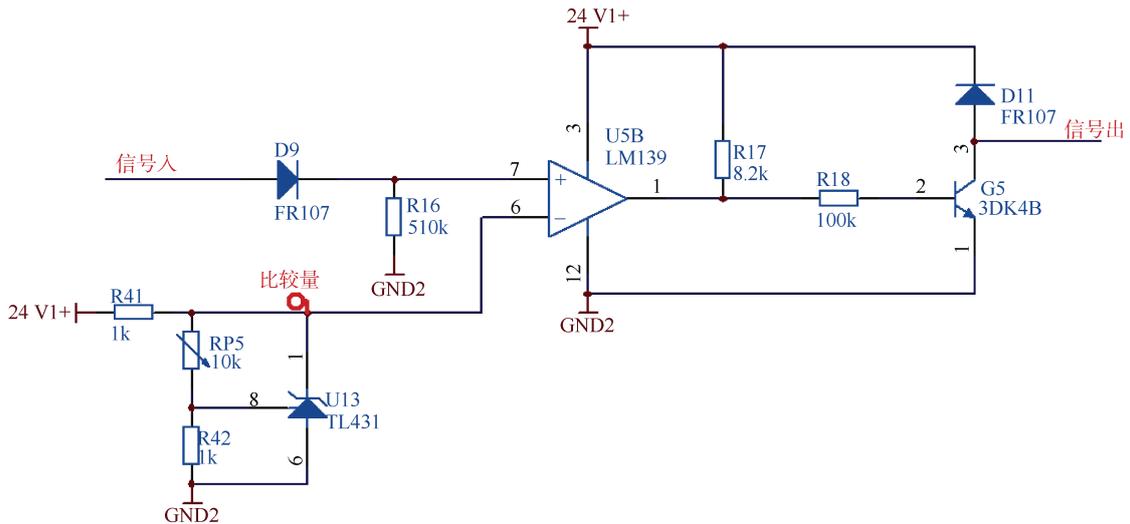


图 5 保护电路图
Fig.5 Signal protection circuit

表 2 保护参数理论值
Table 2 Theoretical value of protection parameters

信号名称	保护参数 (理论值) /V
机组输入采集量	± (2.8~3.0)
机组输出采集量	± (3.8~4.0)

2.2 功率模块原理

功率模块基于 UCC2895 的移相全桥电源系统^[7],

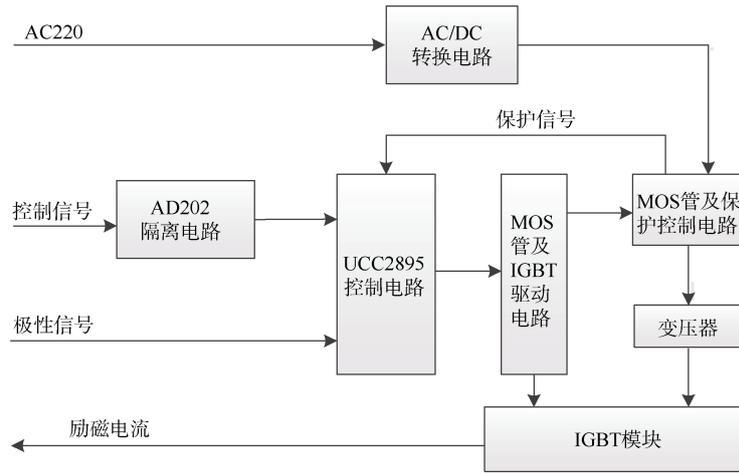


图 6 功率控制模块原理框图

Fig.6 Functional block diagram of power control module

图 6 中, UCC2895 的四路输出均为方波, 其中 13、14 与 17、18 互为反相, 13、17 同相, 14、18 同相, 但有一定的偏移量。其时序图及内部结构图如图 7-8, 功能引脚定义如表 3。

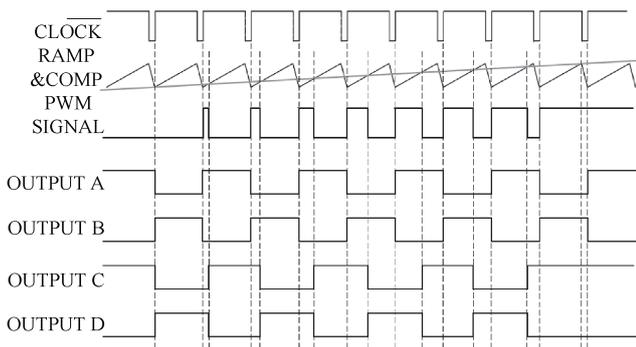


图 7 UCC2895 时序图 (无输出延迟显示)

Fig.7 Timing diagram of UCC2895 (No output delay shown)

控制电路的输出为脉冲波, 脉宽随控制电流信号大小而改变, 脉冲波控制 MOS 管及 IGBT 驱动

主要将控制模块送来的控制信号进行功率放大, 作为发电机组的励磁信号。其控制原理框图如下图 6。

控制信号经过变压器型隔离放大器 AD202 后, 送移相全桥控制器 UCC2895, 经 PWM 调制后, 四路输出, 协同极性信号一起分别控制 MOS 管及 IGBT 模块的驱动电路^[8]动作。极性信号伴随控制信号一同有无。

电路动作, 从而控制 IGBT 输出励磁电流。系统中励磁电源来源于外部 AC220 电源, 经 AC/DC 变换电路整流为 300 VDC, 再经过 MOS 管及保护控制电路控制输出到变压器, 变压器隔离输出, 作为 IGBT 的驱动功率电源。系统保护电路将驱动功率电源的采集量送 UCC2895 控制电路, 进行过载、欠压等保护。

3 调试措施

三电极扫雷具控制分系统在码头开展维修检测时, 由于无法获得实际的扫雷电流、扫雷电压(见图 1), 系统不能形成有效的闭环控制。在没有检测到扫雷电流、扫雷电压的情况下, 扫雷控制软件在自动模式下也不能启动工作。

通过上文中对三电极扫雷具控制分系统的控制原理及硬件电路分析, 解决目前保障难点的 2 个关键要素: 一是需要模拟出扫雷电流、扫雷电压, 引入到系统中进行闭环控制, 以确保扫雷控制软件

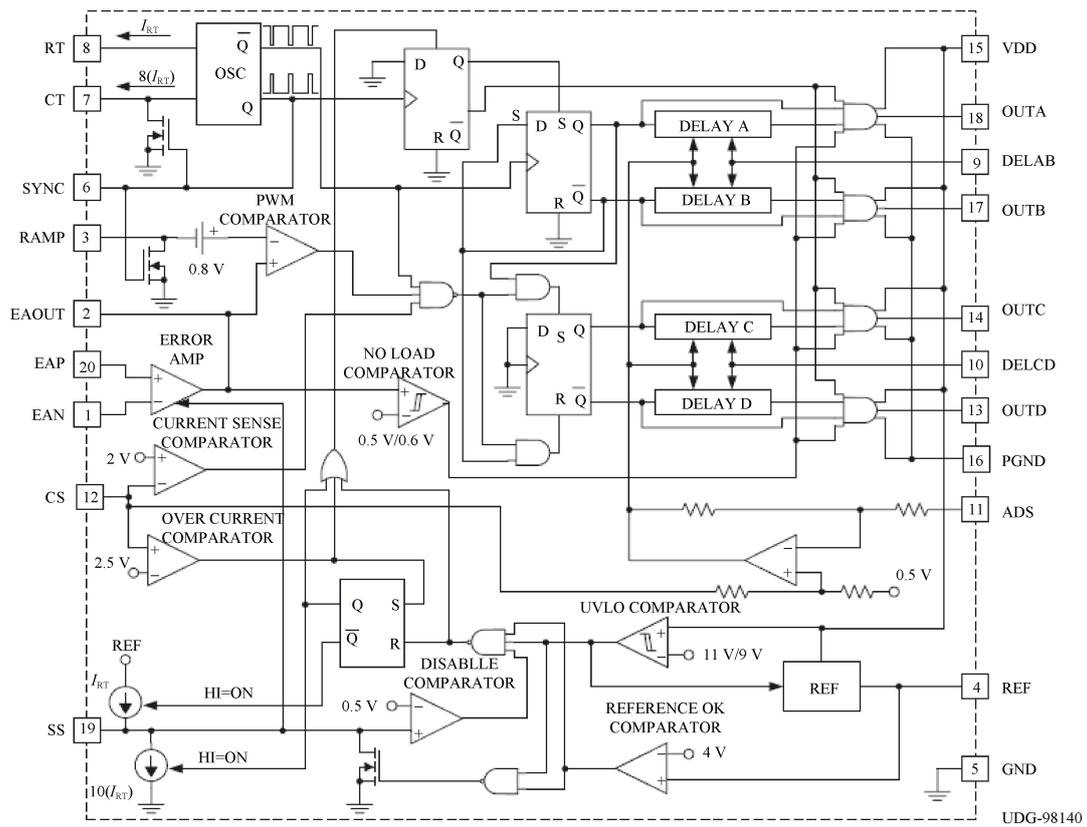


图8 UCC2895 内部结构图
Fig.8 Internal structure diagram of UCC2895

表3 UCC2895 功能引脚及定义

Table 3 Functional terminals of UCC2895 and their definitions

引脚	名称	定义
1	EAN	误差放大器反相输入端, 管脚电压 ≤ 3.6 V
2	EAO	误差放大器输出端。在芯片内部, 该脚分别与 PWM 比较器和空载比较器的非反相输入端相连, 并位于软启动电压。若该管脚电压小于 0.5 V 时, 控制器的输出级将被空载比较器关断; 若该管脚电压大于 0.6 V, 则输出级重新开通
3	RAMP	PWM 比较器反相输入端。在使用平均电流模式或电压模式控制时, 该端口接 CT 脚 (7 脚) 上的锯齿波信号; 而在峰值电流模式下, 该端接电流信号; 在芯片内部, RAMP 通过 0.8 V 的直流偏置送入 PWM 比较器的反向端
4	REF	5 V (± 1.2%) 基准电压源输出端。该基准电源一方面为芯片内部供电, 一方面为外部提供 5 mA 的带载能力, 使用时一般在该管脚上接 100 nF 的低 ESR 和低 ESL 的旁路电路。当芯片出现欠压保护时, 该基准源关断
5	GND	芯片内的地 (除输出驱动级外)
6	SYNC	振荡器的同步端。该端口是双向控制端。当作为输出端口时, SYNC 将芯片内部时钟引出; 当作为输入时, SYNC 端的信号将作为芯片的时钟信号。这种设计可以用于多台电源同步工作。同步信号也能使接在 CT 和 RAMP 端口上的电容放电。作为输入时, SYNC 端判定输入小于 1.9 V 即为低电平, 高于 2.1 V 即为高电平。为了减小同步信号的脉冲宽度, 在 SYNC 和 GND 之间应该接一 3.9 kΩ 的电阻
7	CT	振荡器的定时电容接入端。内部电流源对 CT 端电容进行充放电, 形成峰值为 2.35 V 的锯齿波。外接电容容值范围在 100~880 pF
8	RT	振荡器定时电阻接入端。RT 端接的电阻大小决定 CT 端电容的充电电流大小。RT 外接电阻的大小在 40~120 kΩ 之间。软启动电容的充放电电流也是由该电阻决定

续表

引脚	名称	定义
9 10	DELAB, DELCD	输出端 A-D 延迟信号输入端。延迟时间应在同一桥臂中一只开关管关断之后, 另一只开关管开通之前加入, 为谐振创造条件。DELAB 端控制 OUTA 和 OUTB 输出信号的死区时间, DELCD 控制 OUTC 和 OUTD 输出信号的死区时间。这 2 个端口最大可以提供 1 mA 的电流。这 2 个管脚的杂散电容应该小于 10 pF
11	ADS	延时时间设定端。当 ADS 端和 CS 端相连时, 延时死区时间为 0。当 ADS 端接地时, 输出延时时间最大。当 CS 电压为 2 V 时, 延时时间是 CS 为 OV 时的 4 倍。ADS 端的电压必须限制在 0~2.5 V 以内且不能超过 CS 端电压, 另外输出端 A-D 延迟控制信号输入端上的电压的最小值应箝位于 0.5 V, 公式为 $V_{DEL} = 0.75 \times (V_{CS} - V_{ADS}) + 0.5 V$
12	CS	电流采样端。该端口为电流采样比较器的反向输入端, 也是过流保护比较器和 ADS 放大器的同相输入端。比较采用峰值电流控制模式, 电流信号峰值逐周波限流控制, 当 CS 端大于 2.5 V 则进行过流保护, 输出信号全部关断, 并重新开始新的周期
13 14 17 18	OUTD、 OUTC、OUTB OUTA	驱动输出端。这 4 路输出端由互补的 MOS 驱动电路构成。每个端口最大带载能力是 100 mA, 可以驱动 FET 驱动电路。输出 OUTA 和 OUTB 端信号互补, 工作占空比为 50%; 输出 OUTC 和 OUTD 端信号互补, 工作占空比为 50%; 其中 OUTA 和 OUTC 端输出信号有一定的相移, OUTB 和 OUTD 端输出信号也有一定的相移
15	VDD	芯片的供电端, VDD 端和 GND 之间必须加 1 μ F 以上的旁路电容。VDD 端和 PGND 端也要加 10 μ F 的旁路电容
16	PGND	输出级的地。为了将输出级的开关噪声和模拟电路分开, 芯片将输出级的地分离出来, 即 16 脚。该脚电流较大, 在 PCB 板上设计时应注意提供低阻抗的电流回路。PGND 和 GND 在电气上必须相连
19	SS/DISB	软启动/关断端, 通过该端可以实现软启动和控制器快速禁止 2 项独立的功能。当出现下面 4 种情况之一时, 控制器将被快速关断: 1) SS/DISB 端电压低于 0.5 V; 2) REF 端电压被拉低至 4 V 以下; 3) VDD 欠压时; 4) 发生过零故障。当 REF 端电压低于 4 V 或 VDD 欠压的情况下, SS/DISB 将通过内部的开关直接接地。当检测到过流时, 软关断将被启动, SS/DISB 端的电容将以恒定电流被放电 ($10 \cdot I_{RT}$), 直到该电容电压降至 0.5 V。一旦检测到以上的任何故障, 输出信号都会被关断。当以上故障全部消除, SS/DISB 端电压、REF 端电压和 VDD 电压都恢复正常, 则芯片再次软启动。软启动的时间常数由 SS/DISB 端外接电阻/电容决定。注意: 无论是在软启动、软关断, 还是在禁止状态下, 该端上的电压都将被有源箝位, 其大小与 EAOUT 上引脚上电压相等
20	EAP	误差放大器的正相输入端, 管脚电压 $\leq 3.6 V$

能够启动工作; 二是提供一定的负载, 构建功率模块的输出回路。措施及要求如下:

1) 图 4 中, 两路输出信号中一路作为功率模块控制信号输出, 另一路备用; 拟通过一定的措施将备用信号作为扫雷电流信号引入到系统中, 可实现扫雷电流的闭环控制;

2) 系统中对扫雷电压的要求仅限于保护电路及闭环控制需求, 拟新引入一个常量作为扫雷电压, 以满足扫雷电压的闭环回路控制, 经过实践, 该常量值不大于 5 VDC;

3) 经测试, 主回路发电机组绕组线圈的直流电阻约 5 Ω , 补偿回路发电机组绕组线圈的直流电阻约 22.5 Ω ; 通过实践, 功率模块输出端外接大功率直流电阻, 可以满足系统励磁电流检测需

要。为便于计算, 大功率直流电阻阻值选为 10 Ω , 参考器件为陶瓷珐琅电阻 RXG20-1000W-10 Ω ;

4) 系统控制参数及工作方式均采用扫雷作业工作制 (自动方式), 符合实际扫雷作业要求;

5) 扫雷电流、扫雷电压均为模拟产生, 均为小信号, 用以满足控制回路闭环工作的需要, 无须引入到保护电路中监测; 保护电路板中只引入励磁电流进行监测, 确保系统工作安全。

搭建调试控制系统, 其原理如图 9。

该系统中, 人机交互界面采用一体式加固机实现, 兼顾图 1 中上位机功能, 主要加载调试控制软件, 通过将设置参数下载到 CPU 板中进行二次控制; CPU 板及 DAC 板采用实装功能插板, 可降低开发成本及开发周期; 信号调理电路集合了

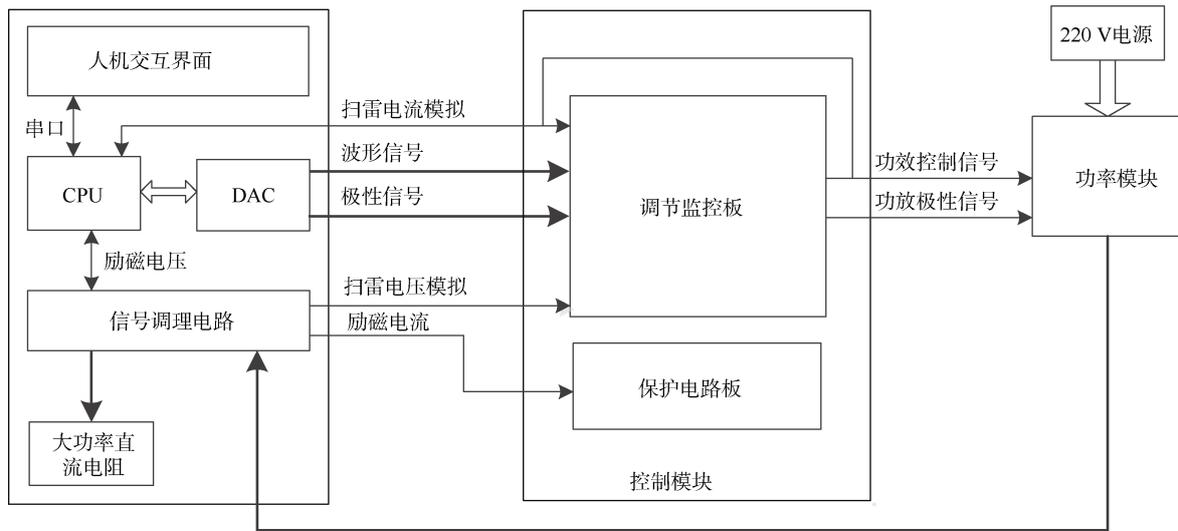


图 9 调试控制系统原理图
Fig.9 Schematic diagram of debugging control system

图 1 中的采集器功能, 主要包括电流传感器、电压传感器、分压电阻、电压及电流表头等, 采集的励磁电压、励磁电流分别送 CPU 板及保护电路板, 模拟的扫雷电压量送调节监控板。主要器件性能参数如下。

直流电压传感器 WBV153S01-I-0.5:
输入: DC±300 V;
输出: DC12 mA±8 mA;

供电: DC12 V、DC24 V 可选。
电压/电流表头:
电压表型号: F96-DC±300 V;
电流表型号: F96-DC±1500 A/±15 A, F96-DC±3000 A/±15 A;
分流器型号: 75 mV 15 A。
调试控制软件界面如图 10, 其参数设置及工作制均与扫雷作业工作制一致。

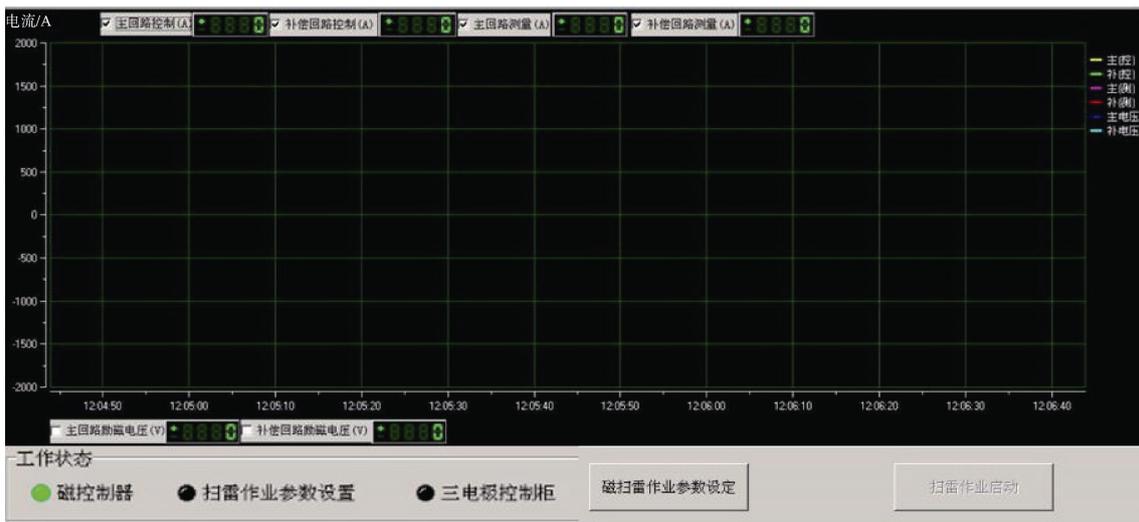


图 10 控制系统软件图
Fig.10 Control system software diagram

结合某舰等级修理工程,在码头对三电极扫雷具控制分系统的主回路、补偿回路开展调试,并监测其电流输出跟随控制信号输入特性变化情况,如图 11-12,该特性曲线基本成线性变化,表明输出电流受控于输入信号。

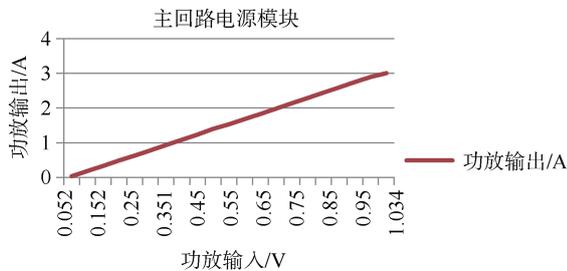


图 11 主回路励磁输出受控特性图

Fig.11 Controlled characteristic diagram of excitation output of main circuit

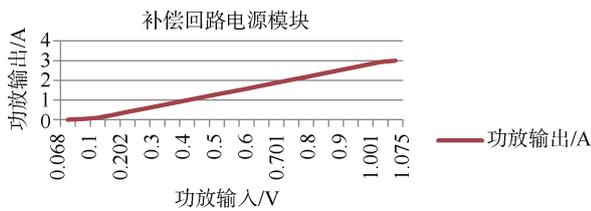


图 12 补偿回路励磁输出受控特性图

Fig.12 Controlled characteristic diagram of excitation output of compensation circuit

4 结束语

本文通过对三电极扫雷具控制分系统控制原理及硬件电路的分析,明确了上位机输出信号参数值与发电机组输出采集量之间存在的比例关系,并进行了验证。给出了在码头环境下,对三电极扫雷具控

制分系统自动方式下的维修调试措施,建立了调试控制系统,并结合维修实际,对调试控制系统功能进行了验证,能够有效检测三电极扫雷具控制分系统电流的受控性,解决了在码头无法对该分系统自动方式下进行检测调试的难题,达到了研究的目的。

在码头及修理场所的内部,该系统均可用于对三电极扫雷具控制分系统的检测维护,可有效保证三电极扫雷具控制分系统各组部件功能正常、性能完好。在进行维修检测中,三电极扫雷具控制分系统的保护参数可参考表 2 进行调整,实际扫雷作业时可进行微调。

参考文献

- [1] 刘忠乐. 某型扫雷舰扫雷武器装备构造原理[M]. 武汉: 海军工程大学, 2008.
- [2] 李道华, 李玲. 传感器电路分析与设计[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000.
- [3] 杨欣, 莱·诺克斯, 王玉凤, 等. 电子设计从零开始[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [4] 刘军, 张洋, 严汉宇. 例说 STM32[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.
- [5] 邵兴, 詹金晶. 基于 STM32 控制器的检测系统设计[J]. 水雷战与舰船防护, 2018, 26 (1): 18-22.
- [6] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 刘鑫. 5kW 移相全桥 ZVSDC_DC 变换器的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [8] PRESSMAN A I, BILLINGS K, MOREY T. 开关电源设计[M]. 3 版. 王志强, 肖文勋, 虞龙, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2010.

(责任编辑: 肖楚楚)