等离子电源高速稳流控制系统的设计

徐　勇

（新疆天业集团化工研究院，　新疆石河子　832000）

摘要：介绍了一种大功率等离子电源控制系统的工作原理、硬件构成及软件流程。该电源控制系统以美国TI公司生产的TMS320F2812芯片为控制核心，以数据采集系统和上位机为辅助，满足了等离子电源控制精度和速度的要求，是一种稳定可靠，实时性和精确性都非常高的电源控制系统。

关键词：TMS320F2812；晶闸管；整流电源；现场控制单元；等离子体

中图分类号：TP273　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1009-9492 (2010) 03-0021-03

1 引言

大功率等离子体的应用近年来得到了广泛的应用，高温等离子切割技术、电子垃圾焚烧技术以及大功率等离子航空航天设备、军工设备等的风洞模拟实验等等，都需要高压大电流的等离子发生器，而该类等离子炬的电源控制技术更是等离子发生环节中非常重要的一环，并成为该行业的一个技术难点。

大功率等离子炬为了获得较高的温度、延长等离子炬阴阳极寿命而长期稳定运行，往往采用的方法是提高电压并提供较为稳定的电流，电流稳定范围不超过设定值的±2%，而等离子体运行期间负载瞬间会剧烈变化，因此电流控制变得非常困难，要求电源控制系统反应必须非常灵敏，在数字化控制系统中需要在纳秒级完成采集并计算同时改变整流器触发角而控制电流输出，而大功率高温氢等离子炬的电压一般都在几千伏至几十万伏，在这样的条件下对等离子体电源数字化提出了相当难度的要求，本文正是为解决这一技术难点而介绍了一种基于DSP（TMS320F2812）为主控芯片的5MW（及以上）等离子体电源的控制系统。

2 系统组成

系统总体电路结构由整流主回路、控制电路、采样电路、反馈电路和各类保护电路等部分组成。

主回路由三大部分组成：整流变压器、三相全桥整流电路和滤波电路。系统总共2台整流机组，每台整流机组由一台整流变压器供电，整流变压器原边接35kV三相电源，联结形式为Y/△，原边移相（+15°、-15°各1台）两台串连构成12相整流电路，以减少高次谐波[1]。单台整流机组直流输出空载电压4000V，额定负载800A，串联输出稳定功率5MW。整流电路将三相交流电变成直流电，经过滤波电路后得到稳定的直流电流输出，主回路如图1所示。

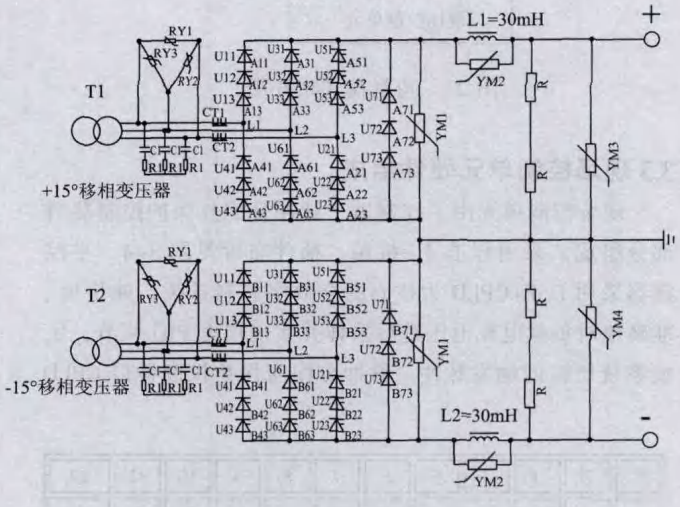


图1　主回路原理图

3 控制系统

3.1 控制要求

负载为具有非线性的负阻特性的电弧，且电弧受诸多因素影响，不易稳定，这就要求控制系统能快速跟随负载变化，以达到控制负载电流稳定输出的目的。

收稿日期：2009-11-15

本电源控制精度要求高，在起弧阶段电流要能快速上升，恒流阶段可以变参数运行。电流稳定精度≤±2%，响应时间小于10ms，电流控制超调量小于20%。

电源可靠性要求高，各部件都须精心设计确保质量，系统要求有完善的检测保护措施，以免在故障时损坏负载，引发不安全因素。

电源为恒流电源，静态时，10ms内的电流平均值相对变化值要求不大于2%。

电源动态特性要求当负载阻抗阶跃式变化50%时，电流变化相对值不超过20%，并在50ms内电流值回复到原设定值。

3.2 控制模式

系统控制模式采用MCGS上位机系统、LabVIEW数据采集系统加现场控制单元组合模式。上位机系统完成电源参数的设置、控制指令发出和机组状态信息显示，数据采集系统完成负载电压电流信号的实时采集与保存，现场控制单元根据上位机设定的电流-时间曲线，进行移相量的计算，根据上位机指令和同步信号生成12路整流触发脉冲，并完成整流器的保护。控制模式拓扑图如图2所示。

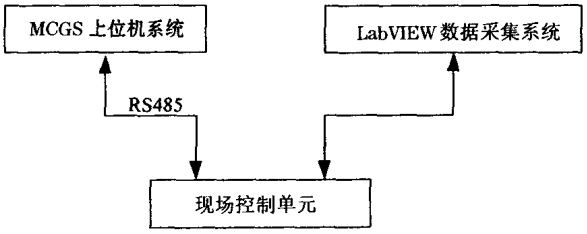


图2　控制模式拓扑图

3.3 现场控制单元硬件组成

现场控制单元由主控制器、脉冲分配与保护控制器两部分组成。采用标准3U机箱，插件布置见图3~4。主控制器采用DSP+CPLD为核心的全数字控制系统，能快速、准确地对负载电流电压进行采样并实现快速PID调节，生成系统所需的触发脉冲。脉冲分配与保护控制器以CPLD

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
电源滤波器板	电源板1	电源板2	数字量入出板	数字量入出板	脉冲光纤发送板	脉冲光纤发送板	CPU板	模拟信号输入板	模拟信号输入板	电流信号输入板	电压信号输入板

图3　主控制器

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
电源滤波器板	电源板1	脉冲光纤分配板	脉冲光纤分配板	脉冲光纤分配板	脉冲光纤分配板	脉冲光纤分配板	脉冲光纤分配板	保护控制板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板	光纤接收板

图4　脉冲分配与保护控制器

为核心，对主控制器发出的12路触发脉冲进行1→N多路转换，同时对主柜晶闸管元件进行实时监测保护并将保护信号传给主控制器。主控制器与脉冲分配与保护控制器之间，脉冲分配与保护控制器与整流主柜之间的连接全部采用光纤连接，其联络图如图5所示。

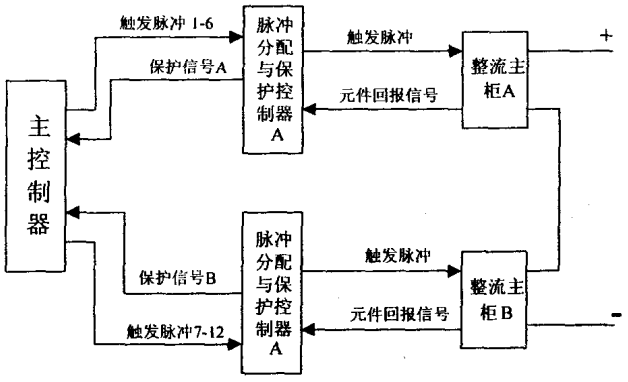


图5　控制联络图

现场控制单元主要硬件由CPU插件、电源插件、数字量输入输出插件、脉冲光纤发送板、脉冲光纤分配板和保护控制板插件等部分组成。

CPU板插件使用TI公司32位DSP（数字信号处理器）(TMS320F2812）作为主CPU [2-3]，CPLD（EPM1270T144）作为辅助控制芯片，实现系统调节、移相触发脉冲的生成、地址译码、脉冲调制、信号采集及处理、锁相环、保护接口、信号远传和系统保护等功能。

电源插件提供CPU所需要的5V、±15V电源、数字量输入所需要的+24V电源和脉冲功率放大插件所需的±24V电源。

数字量输入输出插件接收系统数字状态信号，并转换成标准TTL数字信号，送入CPU插件，同时，它把CPU插件发出的标准TTL数字信号转换成交流继电器输出的结点信号，实现故障报警和跳闸等功能。

脉冲光纤发送板插件对CPU插件送来的脉冲信号进行光电转换，生成6路移相触发脉冲光信号。

脉冲光纤分配板对接收主控机箱发送的12路触发脉

冲每路进行 1~N 分配，发送到主柜触发板。

保护控制板接收主柜晶闸管的状态回报信号，检测晶闸管状态信号，进行故障保护。

3.4 控制原理

电源通过改变晶闸管的导通角度，调节整流器输出电压，从而达到调节输出直流电流的目的。控制系统的调节过程主要为：检测输出的直流电流，与给定指令电流进行比较，通过 PI 调节器调节晶闸管的开通角，使输出电流达到指令要求的值。

控制回路主要由电源模块、三相同步信号处理模块、模拟量输入处理模块、脉冲形成输出电路、开关量输入输出模块、数字 PI 调节模块、通讯接口电路、人机接口模块等部分组成，其任务是向晶闸管提供符合要求的触发脉冲，同时提供必要的保护措施，保证电路可靠地工作。控制回路逻辑框图如图 6 所示。

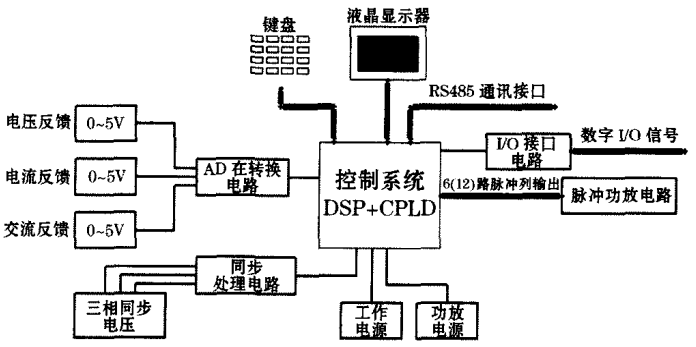
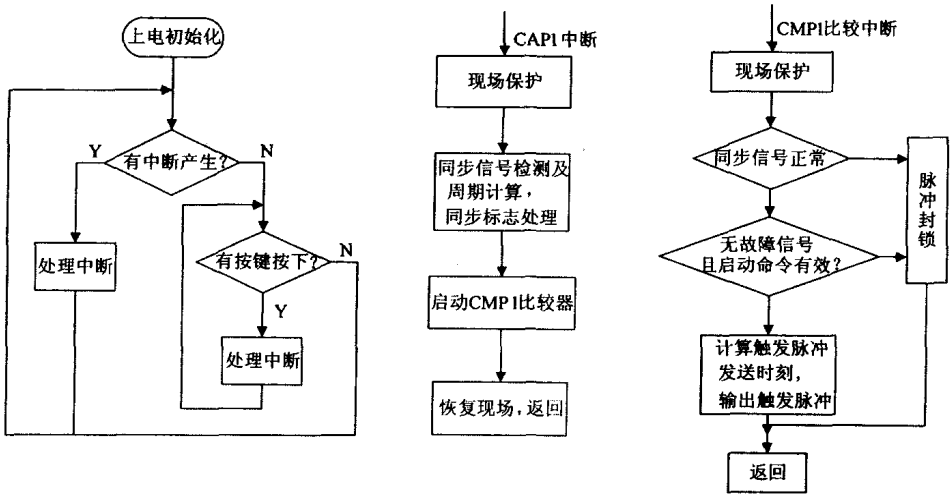


图 6　控制回路逻辑框图

3.5 控制软件

控制系统软件任务主要由一片 DSP 和一片 CPLD 完成。DSP 负责 AD 采样、同步锁相环处理、数字 PI 调节、控制逻辑处理、保护输入监测与逻辑保护输出、中央通讯等。CPLD 负责地址编码与触发脉冲调制工作。DSP 控制软件采用 C 语言编写，具有很好的移植性。为提高软件的实时性，DSP 软件主要任务都基于中断处理方式。

2 套整流机组由一个现场控制单元控制，主控制器根据同步信号、来自上位机的电流-时间曲线产生对应各个桥臂的移相触发脉冲，实现 12 相整流每相均能移相调节的要求。TMS320F2812 的捕获中断 1 用于检测同步信号和计算同步信号周期，并启动 CMP1 比较器。CMP1 比较器周期为 1.66ms，每产生 CMP1 中断整流机组换相一次，在 CMP1 中断处理中决定要触发的桥臂。触发脉冲采用双脉冲触发方式，在产生本次换相桥臂元件触发脉冲的同时，给上一次换相的桥臂元件补发脉冲。主程序完成上电自检、变量初始化和按键处理；CAP1 中断子程序完成同步信号的锁相；CMP1 中断子程序完成触发脉冲的生成。控制流程图如图 7 所示。



(a) 主程序　(b) CAP1 中断子程序　(c) CMP1 中断子程序

图 7　控制流程图

3.6 人机交互接口和通信

控制系统具有便于操作的人机接口，输入采用 12 个面膜按键，其中 6 个为主键、6 个为从键，当主键中的按键有损坏时，能够通过调节设置，使用 6 个从键完成全部功能。输出使用 240×128 点阵的绿色液晶屏，能够显示输出电压、电流以及上位设置波形等数据。系统发生故障时，液晶屏能够清楚指示故障原因及故障点。

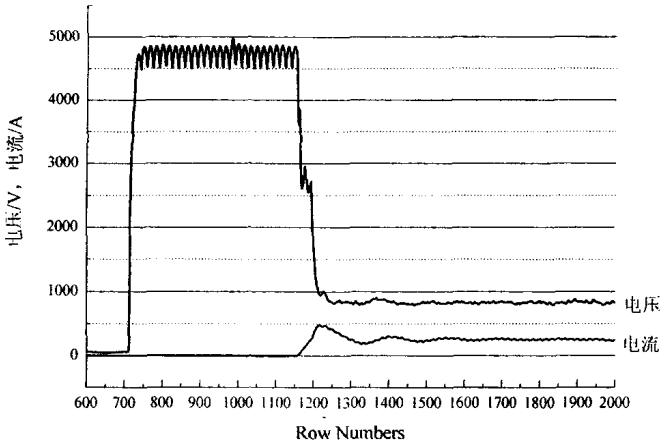


图 8　现场试验波形

（下转第 71 页）

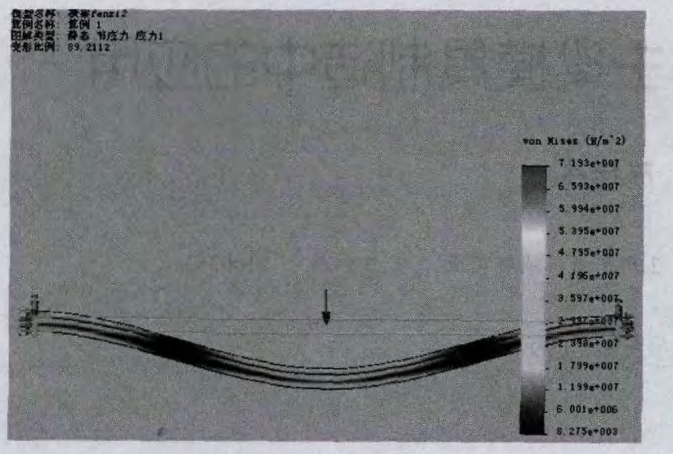


图7 应力云图

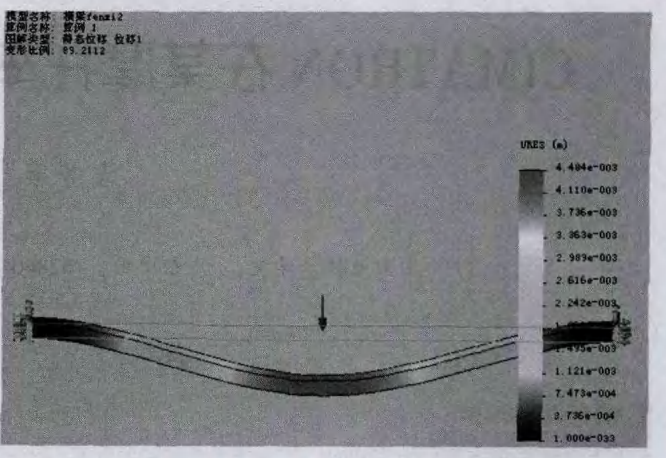


图8 变形位移云图

计的准确性和可靠性，达到优化设计的目的。根据COSMOSWorks计算分析结果，为优化设计作业架，提出作业架横梁采用材质为Q235-A的10号工字钢，即100mm×68mm×4.5mm（GB706-88），高度h=100mm，腿宽度b=68mm，腰厚度d=4.5mm。按照上述有限元分析过程方法，用SolidWorks/COSMOSWorks对改进后的横梁建模和有限元分析，计算出最大应力为144.5MPa，小于许用应力，横梁的最大变形量为13mm，小于横梁最大允许变形量，中间薄弱区的最小安全系数为1.63，也满足使用要求。改进后的横梁重量减轻了51.80kg（横梁原重111.72kg），减少了原重量的46.4%，节约了材料，降低了成本。同时重量减轻后移动方便，横梁上下移动动力能耗减小，间接效益将更为可观。

参考文献：

[1] 刘国良，刘洛麒. SolidWorks2006完全学习手册——图解COSMOSWorks [M]. 北京：电子工业出版社，2006.

[2] 张卫东，陈科. 基于cosmos/works的压力机机架设计分析 [J]. 机械设计与制造，2005 (1)：53-54.

[3] 谢黎明，李大明，沈浩，等. 基于CosmosWorks的现场铣床横梁结构优化 [J]. 中国制造业信息化，2008 (8)：46-48.

[4] 刘鸿文. 材料力学 [M]. 北京：高等教育出版社，1991.

[5] 江洪，陈燎，王智，等. SolidWords有限元分析实例解析 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.

第一作者简介：马世榜，男，1978年生，河南南阳人，硕士，讲师。研究领域：机械设计。已发表论文8篇。

(编辑：向 飞)

(上接第23页)

现场控制单元与上位控制系统间采用RS485通信。所有现场信息可在上位机上实时显示，并完成历史曲线、报表生成和储、打印等功能。

4 试验结果与结语

通过对该系统进行了全面试验,对电源输出数据采集系统的检测和分析显示：通过上位机系统和现场控制单元的协调控制，输出电压电流满足了系统稳定性和实时性的要求，成功点燃等离子炬，提供了稳定可靠的高温氢等离子体热源。根据上位机的指令，输出负载所需电压、电流现场试验波形如图8所示。

本方案中使用的主电路及控制系统，还可以适合在类似要求的直流供电用途中，例如：等离子体加热电源，垃圾处理用弧流电源，航天设备等离子环境的风洞实验等。它们的共同特征是负载特性变化快，对于控制响应的实时性要求非常高，电源输出电压等级较高，需要良好的主电路和控制电路隔离，本系统中采用的光纤隔离方案能很好的满足系统要求。

参考文献：

[1] 王兆安，黄俊. 电力电子技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2000.

[2] 孙丽明. TMS320F2812原理及其C语言程序开发 [M]. 北京：清华大学出版社，2008.

[3] 张卫宁. TMS320C28x系列DSP的CPU与外设（上，下）[M]. 北京：清华大学出版社，2004.

作者简介：徐 勇，男，1974年生，山东青岛人，大学本科。研究领域：DSP嵌入式系统、等离子体电源工业化、高温等离子体在化工行业的应用。已发表论文5篇。

(编辑：吴智恒)