

动车试验线牵引供电 TSC+TSR 型三相平衡补偿装置控制系统研制

陈志博, 蒋家久, 胡晓东, 沈 辉

(南车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 动车试验线采用三相电源给单相负载供电, 出现的不平衡状况可由平衡补偿装置进行补偿。针对动车试验线 TSC+TSR 型平衡补偿装置, 设计了一套完整的控制系统。运用结果表明, 该系统有着良好的调控补偿性能。

关键词: 无功补偿; 晶闸管投切电容器; 晶闸管投切电抗器; 不平衡控制系统

中图分类号: TM714.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2010)06-0046-05

Development of Control System for TSC+TSR-based 3-phase Balance-compensation Device in Traction Power Supply for EMU Test Line

CHEN Zhi-bo, JIANG Jia-jiu, HU Xiao-dong, SHEN Hui

(CSR Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: 3-phase power supply is used by EMU test line for single-phase load and its unbalanced state can be compensated by a balance compensation device. A complete control system was designed for TSC+TSR-based compensation device of the EMU test line. The running results show that the system has good compensation performances.

Key words: reactive power compensation; TSC(thyristor switched capacitor); TSR(thyristor switched reactor); unbalanced control system

0 引言

目前, 常见的无功补偿装置有TCR(晶闸管控制电抗器)型SVC(静止无功补偿装置)、TSC(晶闸管投切电容器)型SVC和SVG(静止无功发生器)等^[1]。南车株洲电力机车研究所有限公司设计了一种用于提升单相牵引供电能力、改善三相负荷平衡的TSC+TSR型三相动态平衡补偿装置。该装置用于某公司新厂区所建的一座用以承担厂房7条静调线、1 200 m户外试验线和工程实验室滚动试验台以及环线动调试验供电需求的交流牵引

变电所。牵引变电所在10 kV电源的AB相通过10 kV/25 kV单相变压器升压至25 kV, 供动车试验之用。由于10 kV电源还提供厂用其他负荷, 当动车试验负荷较大时, 110 kV主变压器容易过载跳闸。该装置的主要设计目的是使得10 kV侧三相电流基本达到平衡, 并防止其上级变压器过载跳闸。本文针对该平衡补偿装置设计了一套完整的控制系统。

1 牵引供电平衡补偿系统构成^[2-3]

牵引供电平衡补偿系统主电路如图1所示。TSC+TSR型动态补偿装置由容性补偿装置和感性补偿装置构成, 容性补偿装置接于10 kV系统的BC相, 感性补偿装置接于CA相, 单相牵引变压器挂接于AB相。TSC支

收稿日期: 2010-09-30

作者简介: 陈志博(1982-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电能质量及变流器的控制。

路产生的容性电流 I_{BC} 超前于电压 U_{BC} 90° , TSR 支路产生的感性电流 I_{CA} 滞后于电压 U_{CA} 90° 。在不同牵引负荷电流下, 调节 TSC 和 TSR 的电流, 可使 10 kV 三相电流 I_A 、

I_B 、 I_C 达到平衡对称。全补偿容量分 28 级投切, 容量级差 $\Delta Q = 206.2 \text{ kvar}$, 电流级差 $\Delta I = 20.6 \text{ A}$, 相应牵引负荷级差为 357 kW。

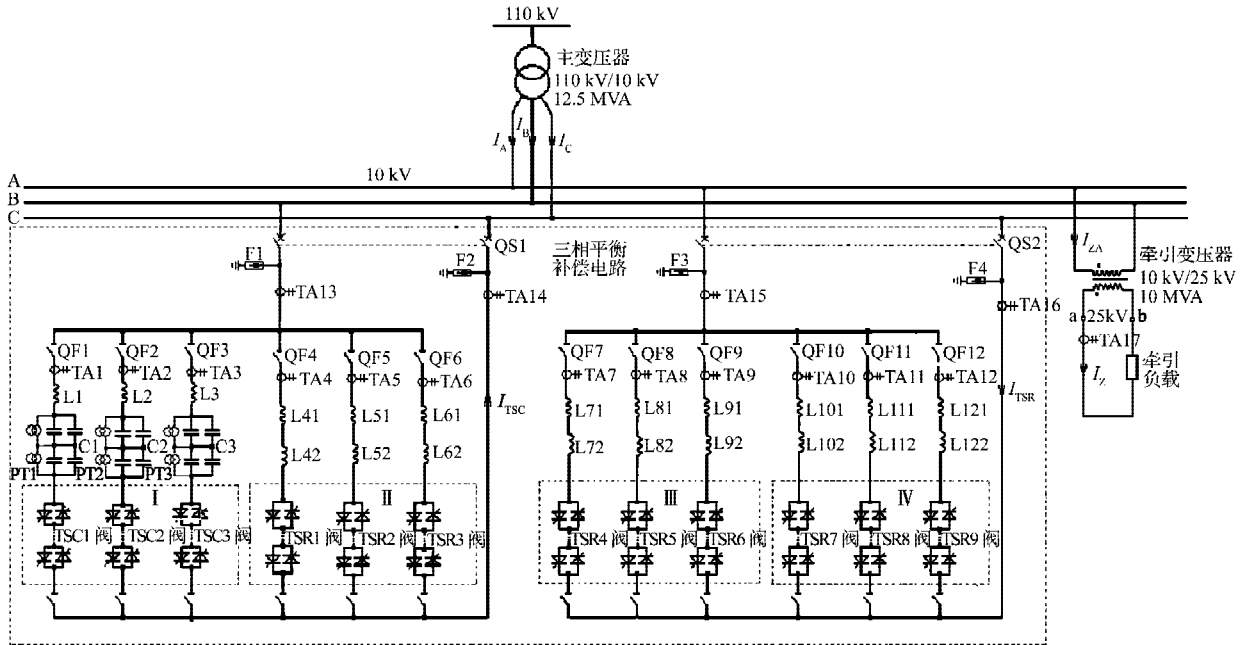


图 1 牵引供电平衡补偿系统主电路

Fig. 1 Main circuit of balance-compensation system for traction power supply

TSR 补偿装置由 6 组 TSR 支路构成, 每支路 TSR 由串联晶闸管阀和并联电抗器组成, 通过晶闸管阀进行投切。6 组 TSR 支路容量按 1:2:4:7:7:7 划分, 投入不同支路的组合, 便可得到 28 级感性补偿电流。

TSC 补偿装置由“3 组 TSC + 3 组 TSR”支路构成, 每支路 TSC 由晶闸管阀、电容器组和串联电抗器组成。TSC 支路容量按 8:10:10 划分, TSR 支路容量按 1:2:4 划分, 通过投入不同容量的 TSC 和 TSR 支路组合, 同样可得到 28 级容性补偿电流。

晶闸管阀安装于绝缘水平为 10 kV 的阀柜内, 共 4 个阀柜(图 1)。每个阀柜内装设 3 个支路的晶闸管阀, 并设置触发控制箱以接收来自中央控制柜的投切信号, 通过光纤对柜内各支路的晶闸管进行触发导通。

2 控制系统设计

控制系统需要采集试验用牵引变压器一次侧电流 I_{ZA} 作为主要的控制参量, 同时采集 10 kV 网侧电压及电流, 通过计算求得系统有功功率 P 、无功功率 Q 及功率因数 $\cos\varphi$ 作为控制用辅助参量。综合 I_{ZA} 、 P 、 Q 及 $\cos\varphi$ 这几个参量进行计算及判定, 得到合理的投切算法, 从而控制分别挂接在 10 kV 系统 AB 相及 BC 相上的 12 条补偿支路的投入与切除, 在不同的负载时投入相应级数的无功功率。

通过补偿支路的投入与切除, 使得 10 kV 侧三相电流远小于 I_{ZA} 。一般情况下, $I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_{ZA} / \sqrt{3}$, 从而避免了上级变压器的过载跳闸。

2.1 控制系统的整体构成

控制系统(图 2)硬件采用 DSP + CPLD 结构。DSP 负责模拟量的采集、数字量的输入及输出、算法等; CPLD 负责逻辑及时序。控制柜及各底层阀柜均有电压、电流的采集装置。

中央控制柜与各底层阀柜间的联系方式有 2 种: 一种是, 控制柜通过 I/O 电路对底层阀柜下达投切指令, 底层阀柜通过 I/O 电路对控制柜进行故障反馈; 另一种是, 底层阀柜通过 RS485 通信将各阀柜的参数信息上传到总控触摸屏, 并接受总控触摸屏的操作指令。阀柜控制箱采用光电触发的方式触发晶闸管阀组。

中央控制柜通过 A/D 转换器采集电压及电流信号并进行计算, 需要一个周波(20 ms); 而下达投切指令非常迅速, 其响应速度小于 10 ms, 并在几个周波内即可进入稳态运行; 当出现过流或者差压故障时, 可在数个周波内检测出并立即跳闸。

2.2 控制系统硬件

该系统主控芯片采用 TI 公司 TMS320F2812 型 32 位定点 DSP^[4]。中央控制柜及阀柜控制箱的硬件结构基本相同, 只是功能及所集成的模块有所差异。

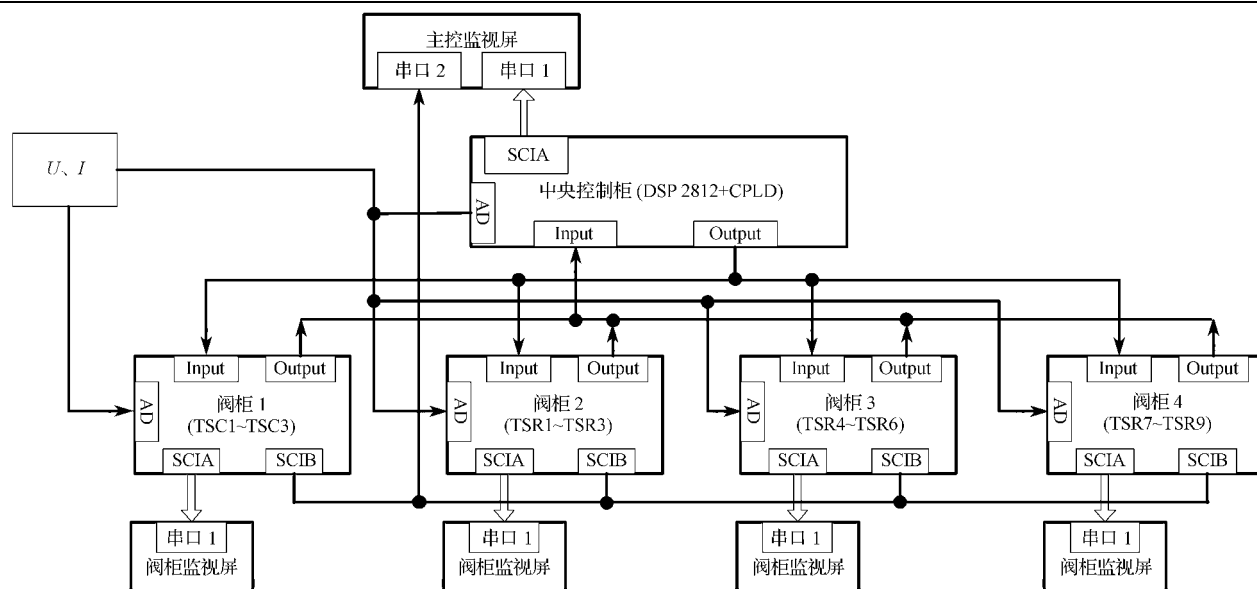


图2 控制系统整体架构

Fig. 2 Overall architecture of control system

中央控制柜及阀柜控制箱主要由电源模块、模拟量采集模块、数字量输入输出模块、信号处理及逻辑控制模块及通信模块等组成，阀柜控制箱还包括了晶闸管的触发模块。

电压和电流的模拟信号经互感器、前置放大电路、低通滤波器和信号处理电路进行电量变换、电气隔离和滤波，最后调整为符合TMS320F2812要求的0~3 V电压信号。

信号处理控制部分是整个控制系统的硬件核心，主要对采集信号进行加工处理、逻辑综合、分析并发出相应的控制信号。

晶闸管触发模块主要完成触发脉冲信号的形成、驱动放大、隔离，得到晶闸管所需触发脉冲信号。

2.3 控制系统软件

该补偿装置的软件包括控制柜DSP程序及阀柜DSP程序。控制柜DSP程序可看成是控制系统的上层，其功能是采集10 kV电网的电流及电压参数，分析系统的不平衡状态，经运算后给出适宜的投切策略。阀柜DSP程序相当于控制系统的执行机构，其功能是执行上层指令，选择合适的时刻触发晶闸管阀组，并将补偿支路的状态及晶闸管元件的状态反馈给上层。

2.3.1 中央控制柜的控制流程

DSP软件程序用C语言编写，其设计流程如图3所示。控制系统上电后首先自检并初始化，然后等待接收控制操作命令。当DSP接收到启动命令进入运行状态后，系统同时进行以下工作，其中同步信号的采集、模拟量的采集、数字信号的输入输出由中断及时响应，计

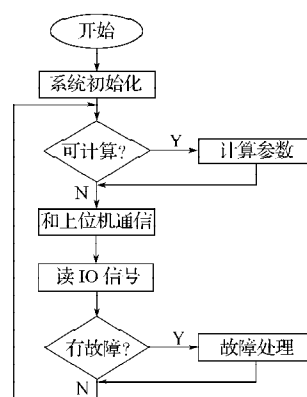


图3 中央控制柜DSP程序控制流程图

Fig. 3 DSP program control flow chart of the central control cabinet

算、故障检测及保护在主程序中进行：

- (1)实时跟随电网电压的基波频率，即同步信号；
- (2)数字量的输入输出及模拟量的采集，包括I/O信号和A/D信号；
- (3)无功功率、有功功率、功率因数等参数的计算；
- (4)故障检测与保护。系统不断查询故障信息，一旦检测到故障信息，立即进入故障处理，同时报警甚至跳闸。

中央控制柜系统初始化后，电流、电压信号经模拟量采集模块至数字信号处理模块进行数据计算，得到整个系统参数及控制策略。通过通信接口将系统参数送至主控触摸屏显示，并通过数字量输出下达具体补偿支路的投切指令，通过数字量输入获取底层阀柜的状态信息以判断支路是否能正常使用。

2.3.2 阀柜控制流程

阀柜控制流程如图4所示，系统初始化后，电流、电

压信号经模拟量采集模块处理后至数字信号处理模块进行数据计算,得到该阀柜的参数。通过通信接口将系统参数送至阀柜触摸屏及主控触摸屏显示,并通过数字量输入接受中央控制柜下达的投切指令,选择合适的时刻投切补偿支路,通过数字量输出将该阀柜的状态信息反馈到中央控制柜。

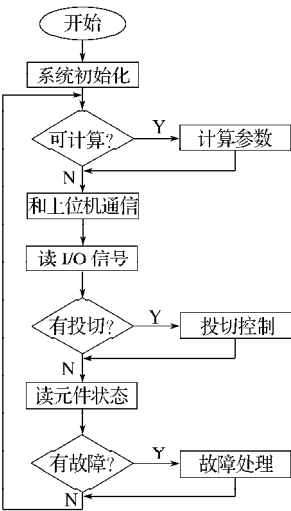


图 4 阀柜 DSP 程序控制流程图

Fig. 4 DSP program control flow chart of the valve cabinet

2.4 监控系统

平衡补偿装置采用多种监控方式。中央控制柜触摸屏有两种通信方式,一种是采用主从查询方式,主控触摸屏与中央控制柜的下位机进行一对一通信,另一种是采用轮番查询方式,主控触摸屏与4个阀柜的下位机进行一对多通信;阀柜触摸屏采用主从查询方式,其与阀柜的下位机进行一对一通信。

2.4.1 主控触摸屏

主控触摸屏(图5)主要功能包括监视并设置系统参数(包括系统电流、电压、功率因数、有功功率、无功功率等),监视阀柜参数及状态,手动下达各类指令以

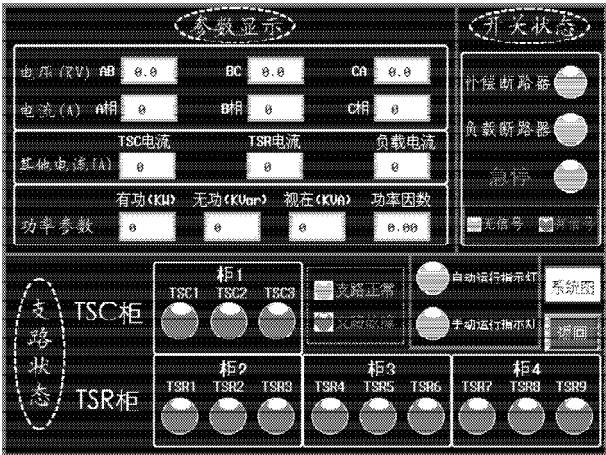


图 5 主控触摸屏主要参数监控界面

Fig. 5 Main-parameter interface of main control touch screen

实现对整套系统的人为操控。

2.4.2 阀柜触摸屏

阀柜触摸屏主要用于监视该阀柜的电流、电压参数及系统是否投入(图6和图7),并进行保护参数的设置。阀柜触摸屏不能对阀柜本身进行操控,只能监控本阀柜的各类状态信息及晶闸管元件的故障信息。

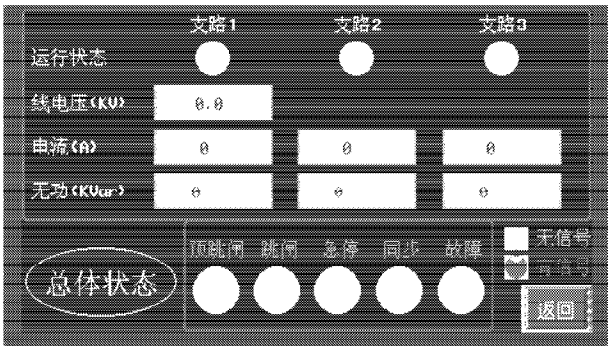


图 6 阀柜触摸屏总体状态监控

Fig. 6 General state control monitor of touch screen for valve cabinet

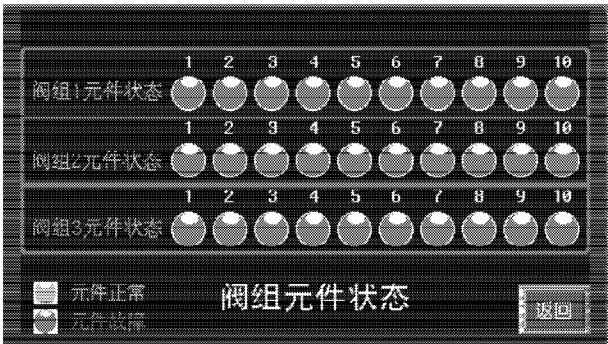


图 7 阀柜晶闸管阀状态监控

Fig. 7 Valve state control monitor of touch screen for valve cabinet

3 试验及运行

图8和图9分别示出TSC及TSR阀组电压波形,可以看出,TSC阀组过零触发后,电流经几个周波的振荡便进入正常运行状态;而TSR阀组在电压过零后90°触发,电流便立即进入稳态运行状态。

实际测量得知,几个周波过后,投入的TSC支路及TSR支路很快进入稳态运行。图10和图11分别示出TSC阀组及TSR阀组稳态运行波形。正常运行时,TSC支路电流超前电压90°,TSR支路电流滞后电压90°,投入系统相应的容性及感性无功功率。

该平衡补偿装置的控制系統已经通过了试验室模拟调试及10 kV高压试验,对设备的控制功能、补偿性能、通信功能、保护性能及耐压性能进行了详细的考核,并在现场已成功投运。实际运行结果显示,此套装置响应速度较快,且能将10 kV网侧三相电流的不平衡

度控制在合理的范围内,改善效果非常明显。

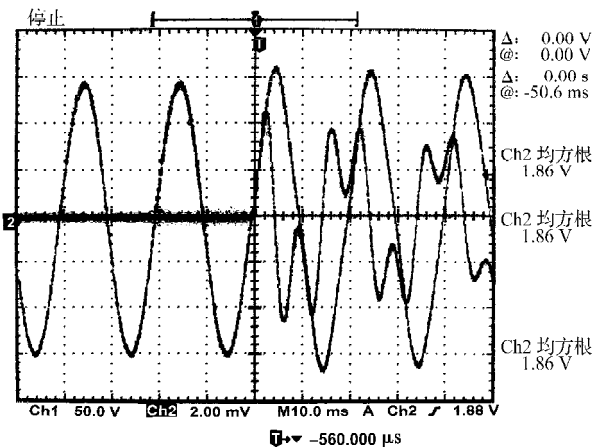


图 8 TSC 阀组过零触发波形

Fig. 8 Waveforms of TSC valve as triggering at zero phase

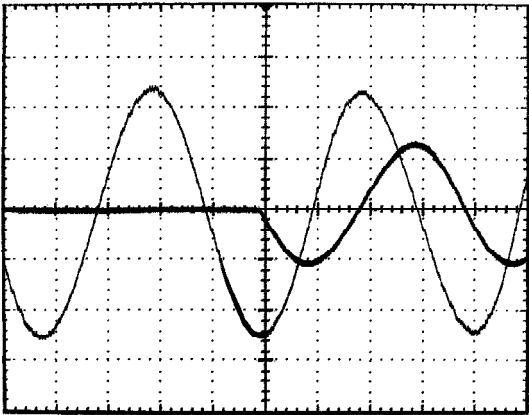


图 9 TSR 阀组 90° 触发波形

Fig. 9 Waveforms of TSR valve as triggering at 90° phase

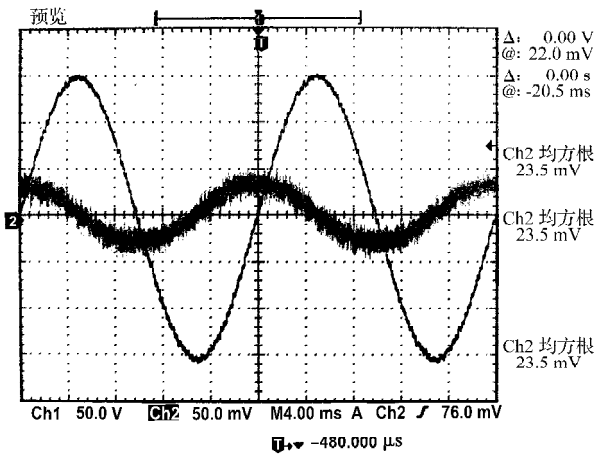


图 10 TSC 阀组稳态运行波形

Fig. 10 Steady-state operation waveforms of TSC valve

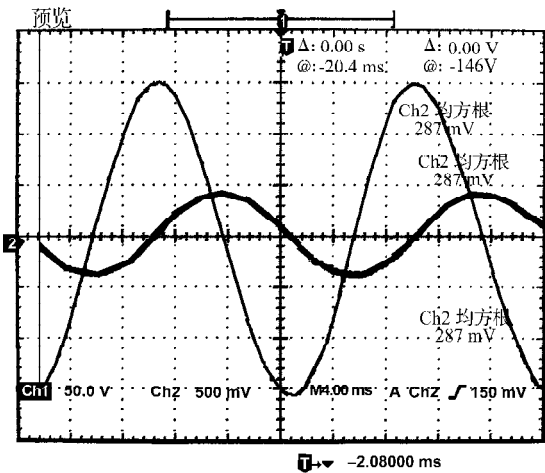


图 11 TSR 阀组稳态运行波形

Fig. 11 Steady-state operation waveforms of TSR valve

4 结语

该TSC+TSR型动态平衡补偿系统投切级数可达28级,基本上能达到无级调节的效果;其结构简单,响应速度快,无谐波,且投入涌流及关断过电压都较小。实际运行结果表明,该系统有着良好的响应速度及补偿性能。

参考文献:

[1] 陈志博. 几种常见无功补偿装置的基本原理及其仿真[J]. 大功率变流技术, 2009(3): 50-56.
[2] 蒋家久, 陈志博, 沈辉, 等. 动车试验线牵引供电三相平衡补偿装置的系统设计[J]. 大功率变流技术, 2010(5): 38-44.
[3] 王兆安, 杨君, 刘进军, 等. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
[4] 江思敏. TMS320C2000系列DSP开发应用技巧[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

(上接第7页)

[2] 林小娥, 吴兆麟. 固态高频感应加热装置移相调功方法[J]. 电工技术杂志, 2006(6): 7-9.
[3] 袁俊国, 于非, 吴兆麟. 移相式高频感应加热装置的研究[J]. 电力电子技术, 1999(6): 13-15.
[4] 黄瑾瑜. 基于移相控制的感应加热电源的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
[5] 时鑫. 移相调功式IGBT超音频感应加热电源的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2004.
[6] 韩晓敏, 尹海, 张光先. 一种新型感应加热电源调功方式的研究与计算机仿真[J]. 现代电子技术, 2007(11): 106-108.
[7] 李贺, 彭咏龙, 李亚斌. 分时控制MOSFET高频感应加热电源[J]. 通信电源技术, 2008, 25(5): 7-9.