

Test and Analysis of Program Controlled Power Supply for Urban Rail

Wenyue Zhang¹, Xiaochun Li¹, Lijun Rong², Wen Ji², Chen Chen^{2*}

¹CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou Hunan

²Research Center of Maglev Traffic Engineering Technology, Tongji University, Shanghai
Email: zhang-wen-yue@126.com, ¹b_tough@163.com

Received: Nov. 30th, 2018; accepted: Dec. 19th, 2018; published: Dec. 26th, 2018

Abstract

After a period of operation, the vehicle control unit must be overhauled. At present, the maintenance equipment has long service life. The technology level is outdated, with high failure rate and high maintenance cost. Therefore, the range, accuracy and stability of the programmable power supply can be analyzed and make some innovations through designing the programmable power supply technology scheme and analyzing the test results under different working conditions. In addition, the program control power test technology for the special test table of the city rail train controller can be used to verify the performance of the urban rail control unit and the correctness of the logic action. It can also be used to test and analyze the experimental conditions of the special test platform of the original urban rail train controller, and to test the output voltage and current of the power supply under every working condition. Therefore, it has great practical significance for the test of controller.

Keywords

Urban Rail Train, Program-Controlled Power Supply, Controller, Test Technology

城轨列车控制器程控电源测试分析

张文跃¹, 李晓春¹, 荣立军², 吉文², 陈琛^{2*}

¹中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲

²同济大学磁浮交通工程技术研究中心, 上海

Email: zhang-wen-yue@126.com, ¹b_tough@163.com

收稿日期: 2018年11月30日; 录用日期: 2018年12月19日; 发布日期: 2018年12月26日

摘要

城轨列车在一段时间的运行之后, 车上控制单元必须进行检修。而目前检修设备使用年限长, 技术水平
*通讯作者。

比较陈旧,故障率高,维护成本高。因此通过设计程控电源技术方案、在不同工况下分析测试结果分析程控电源可调范围、精度以及稳定性并进行创新。此外,研究城轨列车控制器专用测试台程控电源测试技术可以用来验证城轨控制单元的各种性能及逻辑动作是否正确,测试分析原城轨列车控制器专用测试台的实验工况以及在每种工况下测试电源输出电压、电流情况。因此,对于控制器的测试具有非常重大的现实意义。

关键词

城轨列车,程控电源,控制器,测试技术

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术日益发展,地面交通工具的运行速度越来越多地成为人们讨论及研究的热点问题。在这种情况下,城轨列车以其无与伦比的速度前景逐步走向历史舞台。而城轨列车控制器的工作状况对于列车能否稳定运行十分关键。影响控制器工作状态的因素由很多,而程控电源作为控制器的供电设备则更为关键[1][2][3]。

对国内外文献资料进行分析可以看出,目前,而对于我国而言,新型电气设备程控电源测试技术仍依赖发达国家的技术进口,这不利于实现我国大型设备的快速发展。因此,为着力发展我国城轨交通事业,程控电源测试技术的创新发展,是我国城轨系统控制研究工作的重中之重[4]。在这里针对不改变现有试验台的情况下,通过针对测试技术的改良与创新[5],为我国城轨控制技术以及程控电源测试技术的发展提供参考。

2. 城轨程控电源指标分析

程控电源主回路如图 1 所示。通过设定该电源可以工作在恒压、恒流两种状态[6]。

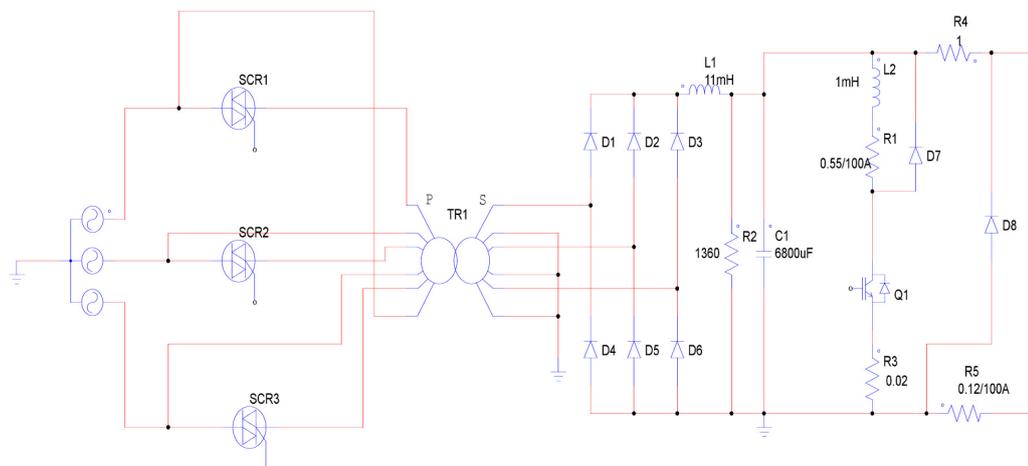


Figure 1. Main circuit of programmable power supply
图 1. 程控电源主电路

电源由两部分构成：第一部分，晶闸管(SCR1~SCR3)、变压器(TR1)、整流二极管(D1~D6)以及电感(L1)、电容(C1)组成的稳压电路；第二部分，电感(L2)、IGBT (Q1)、电阻(R1, R3, R4, R5)、二极管(D7, D8)组成的稳流电路。

稳压电路：当程控电源控制板接受到上级指令时，调节晶闸管的导通角，改变输入到变压器原边电压有效值，经过变压器隔离变换后，变压器次边电压经过二极管整流，变成脉动直流，再经 LC 滤波变为平直的直流电，该输出直流电反馈回控制板，当输入电压升高时，增大晶闸管的导通角，减小变压器输入电压，保持输出电压稳定，反之亦然。

稳流电路：当稳压电路输出一定电压后，检测流过电阻 R5 上电压，调节 IGBT 的开通宽度(即占空比)，稳定流过 R5 的电流。实际上可以将由 L2、R1、Q1、R3 组成的这条之路当成一个可变电阻，改变 Q1 的导通占空比时，就改变了这条之路的电阻。负载与该之路并联，通过检测流过 R5 电流，调节与之并联电阻，稳定输出电流。

通过运行城轨列车控制器专用测试台测试系统，观察程控电源在整个过程中输出电压、电流情况。整个测试过程共有 67 个步骤，完全由微机控制。观察程控电源输出电压电流表，在全部 67 个步骤中，除在第 60 步时，输出电流较大外，其它步骤程控电源输出电流均为 0，如图 2，图 3 所示[7] [8]。



Figure 2. Output voltage and current of programmable power supply in normally testing steps
图 2. 通常测试步骤程控电源输出电压电流



Figure 3. At step 60, the output voltage and current of the programmable power supply
图 3. 第 60 步时程控电源输出电压电流

从上图观察到, 系统在第 60 步骤时, 输出电压 DC 440 V, 输出电流 19 A, 为电源最大输出功率时刻。

同时, 整个测试过程只用到电源恒电压模式, 未使用恒电流模式。

通过以上测试, 可以确定在实际的控制器测试过程中, 程控电源输出电压 440 V, 最大输出电流 19 A。

根据程控电源其它应用需求, 确定本次设计程控电源参数如下:

◆ 输入电压: $3 \times 380\text{VAC}$, 50 HZ;

◆ 输出电压可调: 0~650 VDC;

◆ 输出电流: 持续工作电流: 100 A;

瞬时最大工作电流可达 200 A;

◆ 具有数字接口和模拟接口远程控制功能;

◆ 可带感性、容性和电阻负载;

◆ 输出短路保护;

◆ 内部和外部联锁功能;

◆ 电压源到电流源自动切换;

◆ 控制模式通过 LED 显示;

◆ 电压电流量等数字显示;

◆ 能够对锂离子电池组(锂离子电池组的最大容量为 50 Ah, 最大充电截止电压 550 V)进行充电和监测;

◆ 对锂离子电池组充电时, 其充电曲线(包括充电电压-时间曲线、充电电流-时间曲线)可通过软件在人机界面上设定;

◆ 最大尺寸: 2150 mm \times 600 mm \times 800 mm;

环境温度: 0 $^{\circ}\text{C}$ ~40 $^{\circ}\text{C}$;

3. 城轨程控电源技术方案

系统结构及方案如图 4、5 所示。系统由控制系统、主电路和电源组成。控制系统由控制和 LCD 显示器(10 寸)构成。LCD 显示器带触摸屏, 可设定电源和电池充电器的运行参数、充电器的运行状态及电池有 BMS 传来的状态。LCD 与控制器采用 RS485 连接, LCD 显示器与电池 BMS 通过 RS485 或 CAN 相连(实际取决于电池的 BMS 接口), 主电路图如图 6 所示。

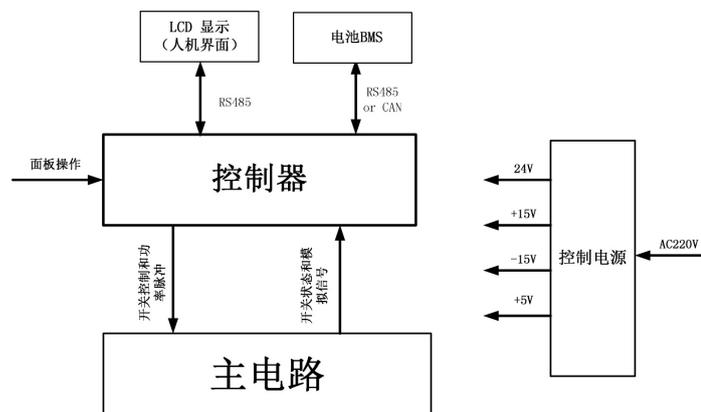


Figure 4. Structure of system
图 4. 系统结构

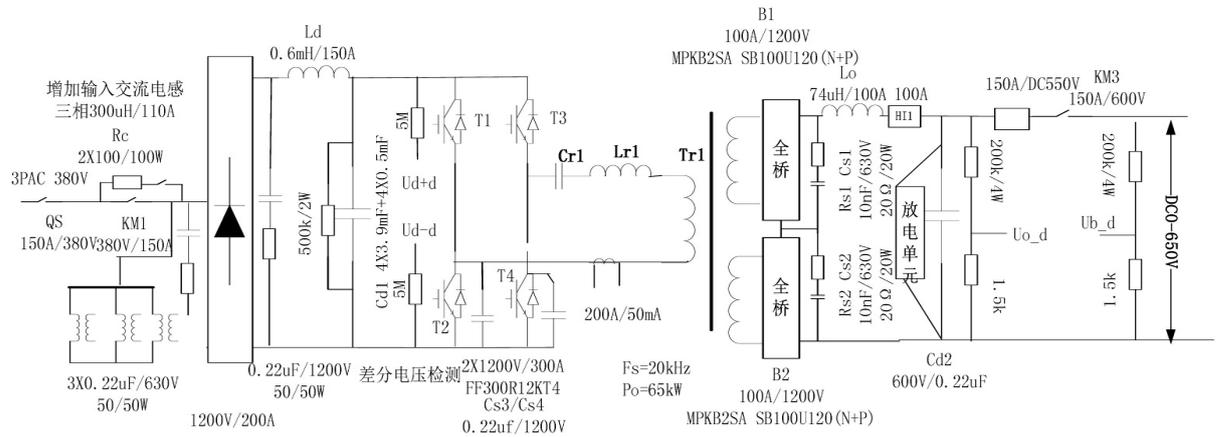


Figure 5. Main circuit diagram
图 5. 主电路图

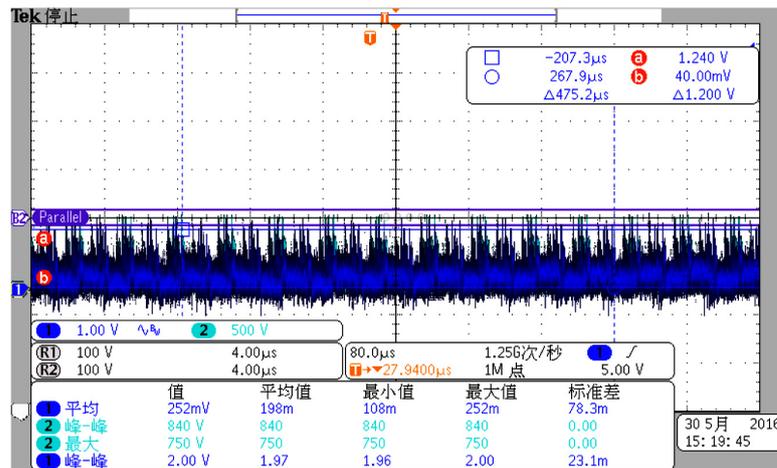


Figure 6. Output voltage ripple and voltage stress waveform of secondary rectifier diode of transformer
图 6. 输出电压纹波及变压器副边整流二极管电压应力波形

控制器接受面板的操作指令和 LCD 显示器的运行参数，对主电路进行控制。控制电源将 AC220V 电压转换为控制系统要的 24 V、+15 V、-15 V 及 5 V 控制电源。

控制系统分为两个层：上位机和下位机。上位机是带触摸 LCD 的平板电脑；下位机为 DSP 为核心的控制器。二者之间通过 RS485 通讯。上位机实现系统开关机控制，系统参数设置、系统状态显示和数据贮存功能；下位机根据上位机指令对充电机充电和放电控制和系统保护功能。

4. 测试结果及分析

考虑重载情况可以实现满功率运行，输出电压最大 650 V，最大电流 100 A，负载电阻应选取 6.5Ω。由于实验室条件限制，实际调试过程中，选取 7.3Ω 负载电阻。

实验过程中，主要测试波形包括：超前桥臂与滞后桥臂软开关的实现波形，输出电压纹波波形，高频变压器原边电流波形，以及副边整流二极管的电压应力波形。

1) 输出电压设定值为 150 V 时，波形如图 6 所示为输出电压纹波，以及高频变压器副边整流二极管的电压应力波形。

如图 6 所示，通道 1 为输出电压纹波，通道 2 为副边整流二极管电压应力(本文后面该示波器通道对

应关系与以上相同,不再说明)当输出电压设定值为 150 V 时,输出电压纹波峰峰值为 2 V。高频变压器副边整流二极管两端电压峰峰值为 840 V,二极管选型额定工作电压为 1200 V,设计选型正确。

2) 输出电压设定值为 300 V 时,波形输出电压纹波,以及高频变压器副边整流二极管的电压应力波形。

由图 7 可知,此时,输出电压纹波峰峰值为 1.96 V。高频变压器副边整流二极管两端电压峰峰值为 860 V。

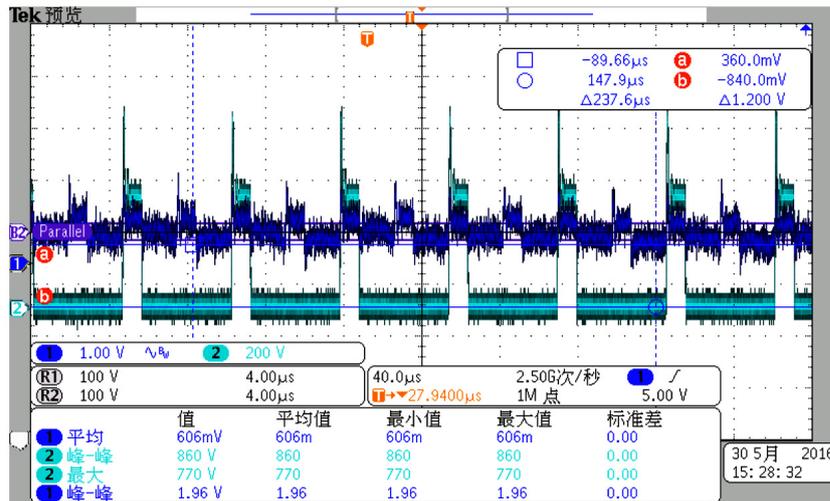


Figure 7. Output voltage ripple and voltage stress waveform of secondary rectifier diode of transformer
图 7. 输出电压纹波及变压器副边整流二极管电压应力波形

3) 输出电压设定值为 350 V 时,高频变压器原边电流波形如图 8 所示:

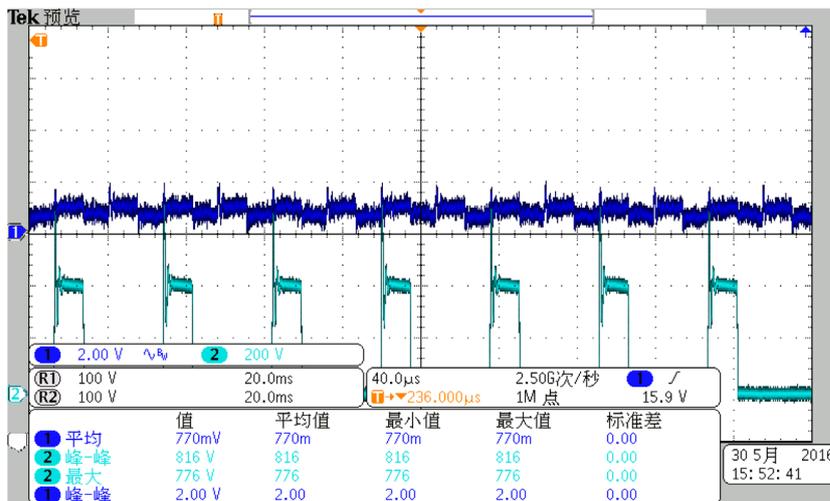


Figure 8. Output voltage ripple and voltage stress waveform of secondary rectifier diode of transformer
图 8. 输出电压纹波及变压器副边整流二极管电压应力波形

4) 输出电压设定值为 450 V 时,高频变压器原边电流波形如图 9 所示:

由图 9 可知,此时输出电压纹波峰峰值为 2 V。高频变压器副边整流二极管两端电压峰峰值为 816 V。

5) 输出电压设定值为 650 V 时:

输出电压纹波峰峰值为 1.84 V。高频变压器副边整流二极管两端电压峰峰值为 744 V。

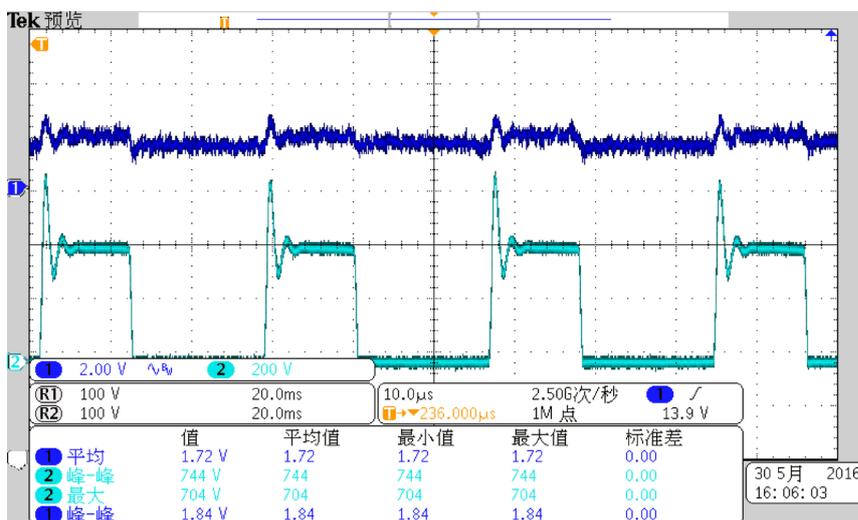


Figure 9. Output voltage ripple and voltage stress waveform of secondary rectifier diode of transformer
图 9. 输出电压纹波及变压器副边整流二极管电压应力波形

输出电流为 100 A 时，输出电压软启动和软关断变化波形如下：

图 10 所示为输出电流限制从 30 A 改变为 100 A 时，输出电压的变化波形，此时负载电阻大概为 6Ω。由图可知输出电压此时峰峰值为 424 V，与理论相符。

通过测量实际输出电压与给定值之间的误差，可以得到程控电源重载情况下的输出电压精度，如表 1 所示。

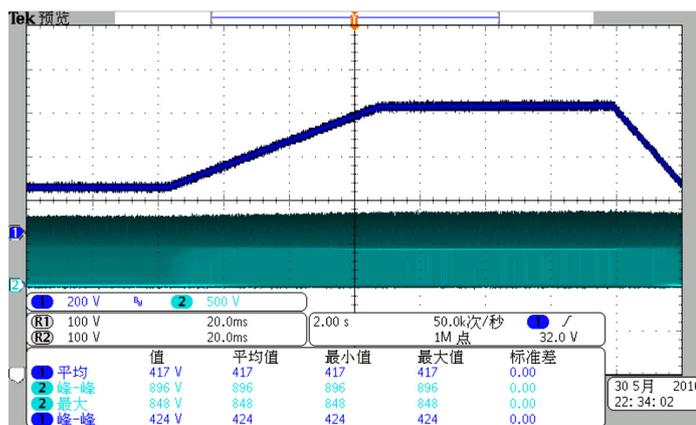


Figure 10. Output voltage change waveform in current limiting mode
图 10. 限流模式下输出电压变化波形

Table 1. Output voltage accuracy of programmable power supply under heavy load
表 1. 程控电源重载时输出电压精度

输出电压给定值	输出电压测量值	误差	精度%
150	145.4	4.6	3.067
300	298.3	1.7	0.57
350	350.2	0.2	0.306
450	454	4	0.89
650	649	1	0.15

由表 1 可知, 程控电源精度均在 2% 以内, 由于输出电压较低时, 电源工作于硬开关, 所以对于该部分不进行测试。另外, 输出电压为万用表的测量值, 实验中发现, 万用表有一定误差。实际输出电压与设定值之间的误差更小。当输出电压在 400 V 时, 输出电压精度在 1% 内。

5. 结论

通过调试结果以及分析, 可以得出以下结论: 根据以上原理设计的程控电源输出电压和电流调范围较宽, 精度较高, 稳定性较好, 满足城轨列车控制器测试系统要求。

基金项目

“十三五”国家重点研发计划先进轨道交通重点专项“中速磁浮交通系统关键技术研究”(2016YFB1200601)。

参考文献

- [1] 黄华高. 共模扼流圈饱和效应分析及动态电感计算[J]. 电力电子技术, 2010, 44(8): 102-104.
- [2] 林风, 陆治国. 开关电源中平面变压器技术[J]. 电气应用, 2005, 24(8): 1-8.
- [3] 路秋生. 开关电源技术与典型应用[M]. 北京: 北京电子工业出版社, 2009.
- [4] Miki, C., Homma, K. and Tominaga, T. (2002) High Strength and High Performance Steels and Their Use in Bridge Structure. *Journal of Constructional Steel Research*, **58**, 3-20. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00028-1)
- [5] Abraham, J., Brazier, P., Chebotko, A., et al. (2010) Distributed Storage and Querying Techniques for a Semantic Web of Scientific Workflow Provenance. *IEEE International Conference on Services Computing*, IEEE.
- [6] Keithley Instruments, Inc. GPIB-488 Software and Product Information. Keithley Instruments, Inc., USA, 2009.
- [7] Pokorni, S. (2004) Error Analysis of Surface Temperature Measurement by Infrared Sensor. *Inter National Journal of Infrared and Millimeter Waves*, **25**, 1523-1533. <https://doi.org/10.1023/B:IJIM.0000047444.90429.06>
- [8] 应朝龙, 王诚成, 周亮, 等. 分布式程控电源控制器设计[J]. 电子测量技术, 2010(9): 77-80.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org