

文章编号:1005-0523(2004)05-0001-04

110 V 大功率高频开关电源的研制

高海生¹, 张前彬², 黄健¹

(1. 华东交通大学, 江西 南昌, 330013; 2. 解放军 93897 部队装备处, 陕西 西安, 710077)

摘要:介绍了新型电力机车 110V/80A 大功率高频开关电源的设计方案、核心器件及其应用,给出了电源的实验和仿真结果。

关 键 词:开关电源;电力机车;IPM;SG1525

中图分类号:TM910.2

文献标识码:A

0 引言

我们知道,从SS1131到SS8准高速列车一直使用的是110 V晶闸管相控式直流稳压电源.这种电源大致有这么几点缺陷:1)用作396 V和110 V电气隔离的工频变压器,以及平波电抗器的体积很大(占据了电源低柜几乎全部空间),重量也大得惊人(不低于400公斤);2)由于平波电抗器的容量有限,经过L-C滤波后的输出电压仍有较大纹波;3)这种开关电源在响应速度、转换效率和稳压精度等方面也很低.理论分析和实践经验表明,电器产品的体积、重量随供电频率的平方根成反比的减小,所

以当把频率从 50 Hz 提高到 20 kHz, 提高 400 倍, 用电设备的体积、重量大体上降至工频设计的 5%~10%。这正是开关电源得以实现功率变换而带来明显效益的根本原因^[1]。可见, 研制开发新一代的电力机车大功率高频开关电源是非常有实用价值的。

1 设计方案

1.1 主回路的设计

主回路的设计采用 AC-DC-AC-DC 结构,其设计方案如图 1 所示.按照标准 TB/T 1395-XXXX (代替 TB/T 1395-1981),电源的主回路设计参数见表 1.

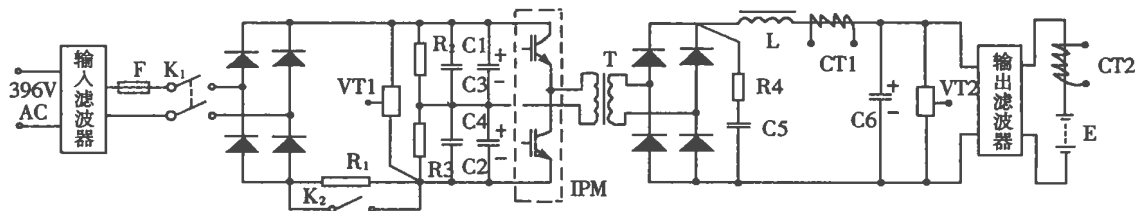


图 1 主回路原理图

收稿日期:2004—06—10

作者简介:高海生(1960—),男,浙江平阳人,华东交通大学教授。

表 1 电源设计参数一览表

编号	项目	技术参数	编号	项目	技术参数
1	输入电压	$0.7U_n\sim1.25U_n$	6	稳压调整率	$\pm1.0\%$
2	工作频率	20kHz	7	限流精度	$\leq1.0\%$
3	转换效率	额定 $\geq90\%$	8	纹波系数	1.0%
4	输出电压	$110V\pm1.0\%$	9	重 量	45Kg
5	输出功率	8.8kW	10	尺 寸	450 * 350 * 450 (mm)

注: U_n 为标准输入电压 396V1

图 1 中, 逆变器的设计采用的是半控桥式结构, 这既能缩减电源的体积和重量, 又能降低成本. 主回路设计的一个重要内容, 就是高频开关器件的选择. 本设计优先考虑的是近年来广泛使用的混合集成功率器件 IPM (智能功率模块). IPM 这种开关器件, 是由高速、低耗的 IGBT 模块和优化了的门极驱动和保护电路构成, 采用了能连续监测功率器件电流的 IGBT 芯片, 具有很好的电流和短路保护能力. IPM 模块内部集成有驱动电源欠压、短路、过流、过

热等多种保护功能, 这些保护的動作信号集中汇集成一个所谓的“错误信号 FO”, 送到模块外面供系统监控使用. 它的这个特点, 使得系统的监控非常方便和有效. 关于 IPM 的内部结构和原理, 本文不作详细介绍, 请参阅文献^[2].

1.2 控制回路的设计

电源的控制采用的是硬件控制方式, 这是基于机车运行环境的特殊性决定的. 控制回路的设计如图 2 所示. 它采用 PWM 闭环控制模式, 其核心器件为 PWM 集成控制器 SG1525, 该芯片不仅输出两列 PWM 脉冲, 而且还为控制电路提供一个精度为 $\pm 1\%$ 的 +5 V 基准电压 U_{ref} . 电气结构相互并联的输出电压、输出电流和充电电流三部分调节器均采用 PI 调节方式, 这样既提高了调节的速度又保证了调节的稳定精度. 为了保证蓄电池在亏空的情况下, 以一有限电流向其充电, 避免损坏蓄电池, 对充电电流的调节是不可缺少的.

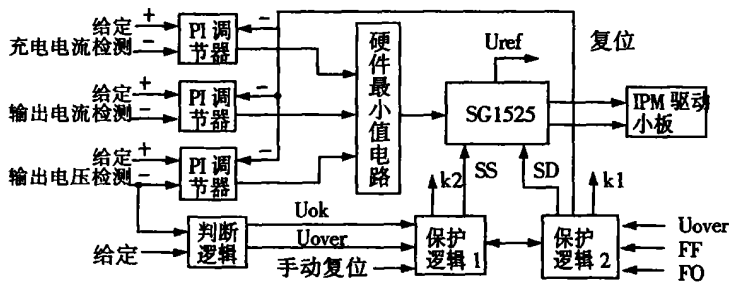


图 2 控制回路原理方框图

电源的保护逻辑主要包括: 电源输入过压 (U_{over}) 与欠压、IPM 错误信号 FO 和风扇故障 (FF) 等. 电源工作初始, 首先接通限流电阻 (图 1 中 R_1) 对电容器充电, 直到检测到输入电压正常 (U_{ok}) 时, 由保护逻辑电路 1 产生一个软启动信号 SS 启动 SG1525, 进而驱动 IPM 工作; 同时还产生信号 K2 使主回路接触器 K2 闭合, 限流电阻被切断, 电源进入正常工作. 如果系统出现 U_{over} 、FO 或 FF 信号, 保护逻辑电路 2 将输出开关信号 K1、关断信号 SD 和复位信号, 它们分别用来关断开关 K1、封锁 SG1525 和三路调节器, 这时开关电源工作停止. 等到这些保护信号全部消失后, 借手动复位才可实现设备的重启. 如果系统出现欠压信号, 信号 K2 和 SS 则发生电平翻转, 开关 K2 断开, 限流电阻接入, 开关电源处于待机等候状态. 由于 IPM 自身错误信号 FO 已经包括了过流、过热和短路等信号, 所以这里没有必要再考虑这些保护措施. 此外, 考虑到排风扇

在电源散热中的重要作用, 这里还增加了排风扇故障保护逻辑, 以避免风扇自身故障导致散热不良而引发的设备故障或损坏.

控制电路的工作电源选用的是 LAMBDA 公司生产的 110 V/15 V 集成功率模块, 外加 LM7805, 便可以得到所需的 ± 15 V 和 +5 V 电压, 这样就省掉了额外的工作电源, 从而缩减了空间和重量. 此外, 在主控回路的电气隔离设计上, 也充分利用了检测传感器自身的隔离作用.

1.3 单片机系统的设计

单片机系统的设计如图 3 所示, 其核心器件为 AT89C51, 配以其它外围器件, 便构成了一个集检测、显示、报警、存储和通信等多种功能的单片机系统. 由于机车用 110 V 电源为一用一备, 而两台电源是装在一台设备柜里的, 所以一台设备只设计了一套单片机系统, 两台电源共用.

该系统要对五个量进行检测, 它们是输出电

压、输出电流、充电电流、环境温度和电源内部温度。前三个量为模拟量传感器检测,经过信号放大器 AD620 送入 A/D 转换器 TLC2543 中,TLC2543 是一个多通道输入、单通道输出的 12 位模数转换器件,转换精度较高,与单片机的接口也很简单;温度检测采用单总线数字温度传感器 DS18B20。

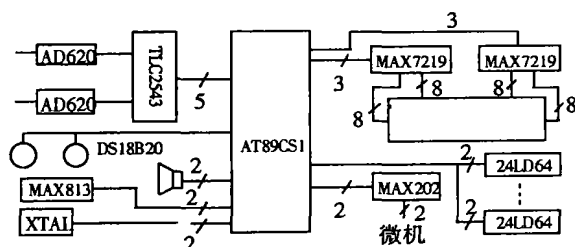


图3 单片机系统控制系统逻辑方框图

被检测量采用数显方式,总共 18 块 7 段数码管中的 16 块用来组合五种显示,显示精确到小数点后一位,剩下的两块倒接用来显示单位“ $^{\circ}\text{C}$ ”。两片 MAX7219 刚好用来驱动 16 片数码管。被检测量中除了环境温度,其它四个量都设计了报警功能,报警的形式为声光报警。输出电压、输出电流和充电电流本来已经具有自动调节的能力,这里加上报警功能可以再增加一道保护措施,从而提高其安全性,同时也能让设备的控制更加形象直观。按要求,分别为系统设定了输出电压报警上、下限和输出电流、充电电流报警上限。电源内部温度报警也是有必要的,排风扇故障、风口堵塞或其他原因导致电源内部温度升高对设备都是非常有害的,因此根据实际情况设定了一个报警上限(45°C)。

为了记录下电源工作的历史信息,还特地设计了一个简单的运行状况监控器。它利用 24LC64 作存储介质,24LC64 是双总线 CMOS 系列 EEPROM,具有 8 K 字节的存储容量,能连续擦写 1,000,000 次以上。设计每秒记录 1 个数据,用四片 24LC64 作存储,因此能记录下近 10 小时的状况信息。设计这个功能是很有用的,它是帮助我们充分掌握设备工作性能的重要途径,也是查找故障、分析原因的有力依据。单片机和微机之间的通信,选用了基于 RS232 通信协议的 MAX202 收发器作为通信接口。

2 电源的稳定性与电磁兼容问题

稳定性和电磁兼容性一直是评价高频开关电源性能优劣的重要技术指标,因此在电源的设计中我们做了重点考虑。为解决好这些问题,我们主要

采取了如下措施:

2.1 输出纹波的抑制

直流开关电源的纹波频段分布很广,小到几十 Hz 而大到几十上百 MHz。对 100 Hz~几百 kHz 频段的纹波,利用输出回路的 L-C 滤波电路便可有效进行抑制。为了提高抑制效果,这里的 LC 参数必须选得足够大;但是,LC 参数太大又极易引起几十 Hz 的低频振荡,所以 LC 参数又不能太大。笔者和同事正是通过反复多次的实验,才最终确定了一个合适的 LC 参数。100 Hz 以下的纹波,指的正是这种振荡。要消除它,除了 LC 参数要选得合适外,我们还将反馈信号从输出端移到了输出滤波器前级,以避免 LC 参数增大所带来相移的增加。针对那些超高频段的纹波(尖峰电压),则在开关器件的集-射集间加电容,在变压器原边和整流桥后面加无感 RC 吸收回路进行抑制。

2.2 高频干扰的抑制

在这个电源电路中,引起高频干扰的来源主要是开关管、高频变压器和高频整流二极管。从消除噪声源的角度出发,我们合理设计了开关管的 RCD 吸收网络,选用了新型高频变压器和快速恢复二极管。这种高频变压器采用了镀膜合金磁性材料,并具有独特的罐型磁芯结构,它把所有的线圈绕组都用磁芯封在了里面,因此它的漏磁小、屏蔽效果佳。实验证明,即使没有辅助散热,长时期工作它几乎也不发热。图 4 和图 5 分别是普通高频变压器和这种新型高频变压器在电源应用中的输出波形对比。

从消除噪声传递途径考虑,主要措施是在输入和输出端安装新一代的 EMI 滤波器,这是抑制传导干扰的最有效方法。新一代的 EMI 滤波器不同于传统滤波器,它由差、共模扼流圈和若干小容量电容构成,能有效消除差、共模干扰。另外,在开关管散热器、快恢复二极管与安装板之间还加了一定厚度的绝缘隔磁材料,减小了这些部位的分布电容,从而也有效抑制了噪声的传递。

其它措施,诸如把高频干扰源集中到一层,进行合理的屏蔽、隔离,控制线用屏蔽电缆,合理的接地等等,都通过实验验证了其有效作用。

3 仿真与实验

为了看到设计的效果,本文以电路实际参数,做了输入电压为 380 V 满负荷运行(输出 80 A)时的系统瞬态分析的 Pspice 仿真,结果如图 6 所示。同

时,文中还给出了电源在相同工作条件下的实验波形,如图 7 所示.

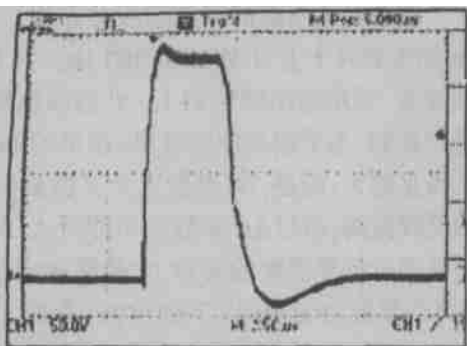


图 4 普通高频变压器副边波形

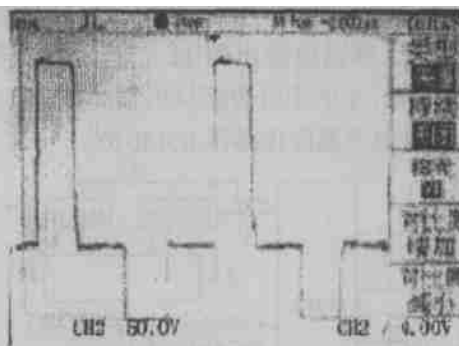


图 5 镀膜合金罐型高频变压器副边波形



图 6 电源系统瞬态分析的 Pspice 仿真结果

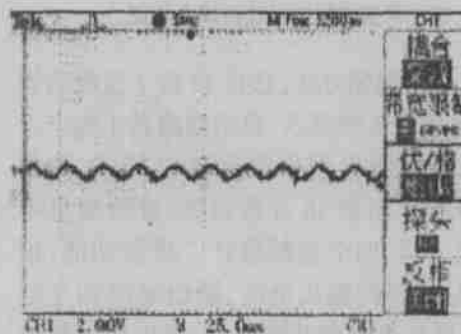


图 7 电源的输出电压实验波形交流分量

4 结 论

该电源结构设计合理,控制逻辑严谨可靠,有效克服了老式电源的各种不足,实验证明,它的输出稳定、精度高、纹波小、动态响应速度快,电磁兼容问题也得到了有效解决,各项技术指标均符合要求.该电源主要是为电力机车设计的,当装于机车时,采用双电源主从冷备冗余工作方式,A、B 两台电源完全相同,并各自具有一套独立的控制系统.

这样一来,设备工作的可靠性就大大提高了.当然,该电源在其它领域也有好的推广前景.

参考文献:

- [1]陈鉴富,等.浅论开关电源的新技术与发展趋势[J].常州技术师范学院学报,2000,(12).
- [2]深圳同牧机电有限公司网站资料.WWW.IGBT.COM.CN
- [3]李健鸣,贺文.110V IPM 高频开关电源的研制[J].机车电传动,1999,(11).
- [4]TB/T 1395—XXXX(代替 TB/T 1395—1981)《直流 110V 机车控制电源柜技术条件》,2002.

Development of 110 V High-power-and-high-frequency Switching Power Supply

GAO Hai-sheng¹, ZHANG Qian-bin², HUANG Jian¹

(1. East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013; 2. Equipment Department, 93897 Army, Xian Shanxi 710077, China)

Abstract: The dissertation states the design project, the main components and their application of a new 110V/80A High-power-and-high-frequency Switching Power Supply for electric locomotive, and presents the results of the experiment and the emulation.

Key words: switching power supply; electric locomotive; IPM; SG1525