

广州换流站直流电源系统的改造设计与实施

刘森^{1,2}, 张海凤^{1,2}, 李书勇¹

(1. 中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510641)

摘要: 广州换流站原来以相控整流装置为核心的直流电源系统存在设备陈旧, 难以提供合格、可靠的直流电源, 且不能对蓄电池进行自动监视、维护, 不能实现数字化的集中监视和控制等问题。文章分析、比较了直流电源系统中应用的相控整流装置和高频开关装置的优缺点; 结合高频开关电源装置应用, 设计了能实现集中监控的换流站直流电源系统并予实施。实践证明, 该系统各项运行指标优越, 维护工作量少, 实现了直流电源系统的数字化监视、控制。

关键词: 相控整流; 高频开关; 直流电源; 集中监控; 换流站

Reconstruction design and realization of DC auxiliary power supply system of Guangzhou converter station

LIU Sen^{1,2}, ZHANG Hai-feng^{1,2}, LI Shu-yong¹

(1. Guangzhou Branch, EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China;

2. School of Electric Power, SCUT, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The former DC power supply system with phase control converters is too old to supply regular and reliable DC power for the equipments, and also can not realize auto monitoring and maintenance functions of batteries, furthermore no digital centralized monitoring and control functions are furnished. The paper analyses relatively advantages and disadvantages of phase control converter and high frequency switch used in DC power supply systems, and accomplishes the design of converter station DC power supply system with centralized monitoring function. The finished system has excellent operating indexes and fewer maintenance work. The digital centralized monitoring and control functions are realized.

Key words: phase control converter; high frequency switch; DC power supply; centralized monitoring; converter station

中图分类号: TM72 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)09-0049-04

0 引言

随着电力系统自动化水平的提高和计算机、通信网络技术的发展, 运用于大型发电厂、变电站(换流站)的直流电源系统向着免维护、全自动、高可靠性和高精度的方向发展^[1]。而一些投运较早的直流电源系统主要存在以下一些问题: 采用晶闸管整流器的直流电源装置, 其功耗大、效率低, 温升高, 可靠性差; 陈旧的直流电源装置自动化程度低, 难以实现直流电源系统的数字化监视、控制, 不能满足遥测、遥信功能。广州换流站就存在这种情况, 而且正常运行时, 直流母线电压普遍超过额定值的10%; 2006年大修还发现, 在充电机带负荷均衡充电时, 出现直流母线电压严重偏高的情况。

为提供可靠、合格的直流电源, 2007年广州换流站淘汰了旧直流电源系统的相控整流充电装置, 引入某公司最新的高频开关模块型充电装置和直流

电源集中监控器, 依据安全可靠、技术先进、经济合理、力求简单并便于安装、维护等要求, 设计并实施了新的直流电源系统方案。

1 直流充电装置类型及比较

1.1 相控整流充电装置

我国电网中直流充电装置在1960年以前主要有交直流发电机组、硒整流充电装置和磁放大充电装置, 目前这些装置几乎都已经淘汰。1960年后我国大量采用相控整流充电装置, 它是采用晶闸管作为整流器件的电源系统, 其工作原理是交流输入电压经工频变压器降压, 然后采用晶闸管进行移相控制整流。为了保持输出电压的稳定, 需要一套比较复杂的晶闸管触发电路。其原理结构如图1, 它主要包括四个主要部分: 主整流电路、移相触发电路、自动调整电路和保护电路^[2]。

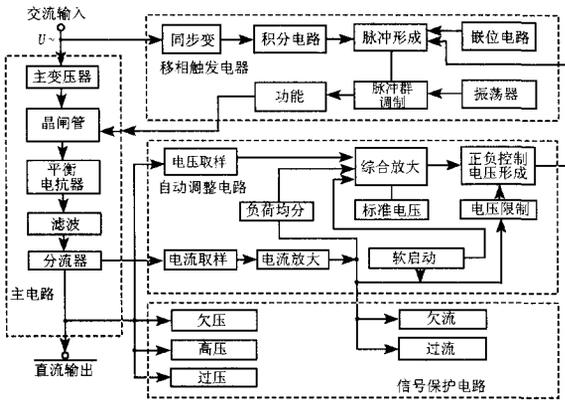


图 1 相控整流充电装置原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of charging device of phase control converter

主电路中主变压器将输入的三相380 V交流电压降至整流器所需的交流电压值，再由带平衡电抗器的可控整流电路将交流变成脉动直流，滤波后将平滑的直流供给负载。移相触发电路中，首先由同步变压器取得正弦同步电压，通过积分电路获得余弦波，它与自动调整电路送来的控制电压比较而形成脉冲，再经过脉冲调制和功率放大电路，输出脉冲群去触发主电路的晶闸管。自动调整电路就是取样整流器输出端的电压和电流，与标准电压比较后产生脉冲去控制移相触发电路，从而改变晶闸管的导通角，达到稳定输出的目的。保护电路就是在欠流、欠压、高压时发出相应告警信号，在过流、过流、熔断熔断时自动停机并告警。

相控整流充电装置是依靠改变晶闸管的导通角来实现调压、稳压的目的，因此在其交流侧一般会产生较多的谐波电流，导致交流电源侧电流畸变，同时由于导通角的影响，导致相控整流电路的交流侧功率因数减小。此外，相控整流充电装置包含有工频变压器、电抗器等，所以其体积、质量大，功耗大，温升高，噪声较大，可靠性较低；而由于受工频条件下的晶闸管及其辅助电路的限制，相控整流充电装置的电气特性如稳压精度、稳流精度、纹波系数等技术参数受到制约而不能有大幅度的提高。另外，由于多用模拟电路构成，且不具备大面积的多点、多变量的综合计算和监控条件，因此难以与计算机接口，其智能化程度较低。

1.2 高频开关充电装置

高频开关充电装置的工作原理是：首先交流输入经滤波和整流成直流，然后由功率开关器件(功率晶体管、MOS管、IGBT等)构成的逆变电路将直流

(单相整流约300 V，三相整流约540 V)变换为高频方波(30 kHz以上)，高频方波经过高频变压器降压后再整流成直流，直流滤波后稳定输出。它主要包括主电路、控制电路、监控电流和辅助电源等部分；而主电路由交流滤波整流、直流/直流变换和滤波输出等电路单元组成，其基本构成如图 2。

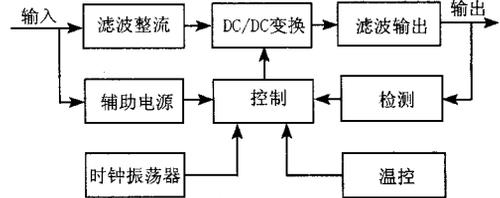


图 2 高频开关充电装置的原理示意图

Fig.2 Schematic diagram of charging device of high frequency switch

广州换流站使用的充电模块工作原理如图3所示，三相交流电源经过电磁干扰 EMI (Electromagnetic Interference) 电源滤波电路，滤除了高频分量，吸收瞬态冲击，消除电网和电源模块之间的相互干扰；软启动部分消除了开机时的浪涌电流。三相交流在EMI净化后经三相工频整流，输出100 HZ的脉动直流；脉动直流经无功功率因素校正电路变成比较平缓的直流电源；直流通全桥变换后成为高频交流，交流经主变压器隔离、全桥整流和滤波后转换成稳定的直流输出^[3]。一次侧检测控制电路用于监视交流输入的电压，实现输入过压、欠压、缺相保护功能及软启动控制；信号调节、PWM控制电路实现输出电压、电流的控制和调节，确保输出电源的稳定及可调整性；输出测量、故障保护及微机管理部分负责监测输出电压、电流及系统的工作状况，实现故障判断及保护，协调管理模块的各项操作。并将相关信息送到面板显示，与系统通信，实现充电模块的智能化处理。辅助电源为整个模块的控制电路、监测电路提供工作电源。

此型高频开关充电装置的可靠性及技术指标的优越性体现在以下几个方面：(1)采用零电压、零电流等软开关技术，使效率提高，降低电压和电流浪涌，工作更稳定；(2)采用功率因数校正(PFC)控制技术，使功率因数提高到 0.9~0.95，输出电压更加接近理想正弦，波纹系数降低；(3)采用脉冲宽度调制电路控制大功率开关器件的导通和截止时间，故可得到很高的稳压和稳流精度及很短的动态响应时间^[4]。此外，它还有体积小，重量轻，低噪声、低污染，采用微机控制，便于集中监控和智能化管理。

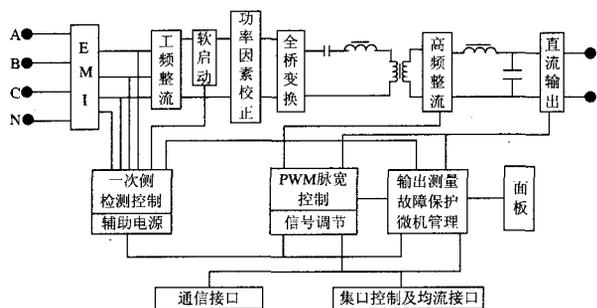


图3 充电模块的工作原理示意图

Fig.3 Schematic diagram of charging module

2 直流电源系统的改造设计

运用高频开关充电装置设计广州换流站新的直流电源系统, 其原理结构如图4。

该系统主要由交流配电单元、充电模块(高频开关充电装置)、集中监控单元、绝缘监测单元、降压单元、直流馈电单元和蓄电池组等部分组成, 其中的实线是指电流经过的回路, 其箭头指向就是电流的方向, 虚线表示信息流回路。两路交流输入经交流配电单元选择其中的一路交流输入提供给充电模块, 充电模块输出稳定的直流, 一方面对蓄电池组充电和提供合闸输出, 另外通过降压单元提供控制输出, 为负载提供正常的工作电流; 绝缘监测单元可在线监测直流母线和各支路的对地绝缘状况; 集中监控单元可实现对交流配电单元、充电模块、直流馈电单元、绝缘监测单元、直流母线和蓄电池组等运行参数的采集, 以及对各单元的控制和管理, 并可通过远程接口接受后台操作员的监控。

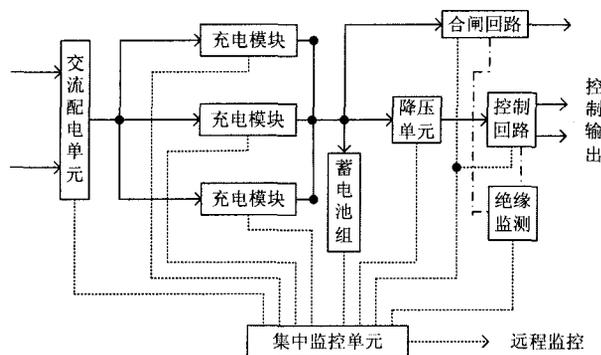


图4 直流电源系统原理结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of DC power supply system

2.1 充电模块

整个充电模块(高频开关充电装置)在微机系统的监控下工作, 包括模块的保护、电压调整等, 同时

微机实现将充电模块的运行数据发送至监控模块, 并接受监控模块的控制命令。充电模块采用 $(N+1)$ 冗余方式供电, 即用 N 个模块满足电池组的充电电流加上经常性负荷电流的基础上, 增加1个备用模块。备用模块采用热备份的方式, 直接参与正常工作。这里的充电模块的输出电压范围为 $90\sim 160\text{ V}$, 输出稳压精度 $\leq \pm 0.5\%$, 输出稳流精度 $\leq \pm 0.5\%$, 输出纹波系数 $\leq \pm 0.1\%$, 功率因数 ≥ 0.95 , 综合效率 $\geq 92\%$, 可靠性指标平均无故障工作时间 $MTBF \geq 100\ 000\text{ h}$ 。

2.2 降压装置

系统正常工作时, 充电机对蓄电池的均/浮充电电压通常会高于控制母线允许的波动电压范围, 采用多级硅调压装置串接在充电机输出(或蓄电池)与控制母线之间, 使调压装置的输出电压满足控制母线的要求。

2.3 集中监控单元

集中监控单元对交流配电单元、充电模块、馈电柜、电池监测仪、绝缘监测仪等下级智能设备实施数据信息的采集、显示、管理; 根据内部的各种设置参数进行报警处理和历史数据的存储; 在控制面板可以根据不同的情况修改相关参数, 实现交流配电监测、直流配电监测、电池管理、绝缘监测、充电模块监控等功能; 此外可通过RTU接口与换流站局域网连接, 在主控室的运行工作站实现直流系统的遥测、遥信、遥调和遥控功能。

2.3.1 交流配电监测

当交流输入出现交流失电、缺相故障时, 交流配电单元将告警信号送至集中监控器, 集中监控器发出交流电源故障告警信号; 同时, 智能的交流电压表、电流表通过串口总线将测量的数据送至集中监控器, 集中监控器显示、判断交流输入是否过压、欠压、失压、缺相或者三相不平衡, 故障时发出具体的电源告警信号^[5]。

2.3.2 直流配电监测

集中监控器通过串口总线接收来自直流母线电压、电流表以及蓄电池电压、电流表的数据, 显示并判断母线或蓄电池是否过电压、欠压, 故障时发出相应告警信号; 蓄电池、充电机的熔断器故障时, 集中监控器接收来之熔断器附件送来的信号, 发出熔断器故障告警信号。

2.3.3 绝缘监测

在直流电压过、欠电压或直流系统绝缘强度降低等异常情况下发出声光告警, 绝缘监测单元将对应告警信息发至集中监控器, 集中监控器作出判断后告警。

2.3.4 充电模块监测

集中监控单元通过串行总线接收充电模块送来的工作状态和工作数据并向充电模块发送控制指令。其监控功能有：遥控充电模块的开/关机及均充/浮充；遥测充电模块的输出电压和电流；遥信充电模块的运行状态；遥调充电模块的输出电压。

2.3.5 电池管理

集中监控单元的电池管理功能主要有：显示蓄电池电压和充放电电流，当出现过、欠压时进行告警；通过串行总线接收来自温度变送器测量的蓄电池环境温度，当温度偏离 25℃ 时，发出调压命令到充电模块，调节充电模块的输出电压，实现浮充电压的温度补偿；在集中监控单元的面板上，可以预设置均充电压、均充时间，然后手动定时均充；当系统连续浮充运行超过设定时间（90 天）或者交流电源故障引起蓄电池放电超过 10 min 时，集中监控单元自动启动均充。自动均充程序：以整定的充电电流进行稳流充电，当电压逐渐上升到均充的电压整定值时，自动转为稳压充电，当充电电流小于 0.01 C₁₀ 后延时 1 h 转为浮充，其中 C₁₀ 为蓄电池额定容量。充电曲线如图 5。

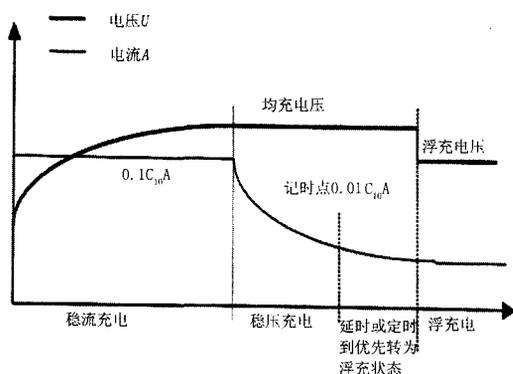


图5 自动均衡充电曲线

Fig.5 Automatic equalizing charge

3 直流电源系统设计方案的实施

3.1 方案介绍

广州换流站 110 V 直流改造安装的新的充电设备分别装在三个直流充电机屏柜内，其中 #1、#2 充电机屏柜互为热备用，分别配有高频开关充电模块 5 只，集中监控器一台，以及若干直流电流表、直流电压表、电流变送器、电压变送器等，#3 充电机屏柜为备用充电机屏柜，仅有高频开关充电模块 5 只和若干其他设备，而没有集中监控器，其高频开关充电模块由 #1 充电机屏柜的集中监控器管理。集中监控器有一个 16 路开关量输入接口、一个 16 路的开关量输出接口，一个上位机接口，4 个下位机接口和一个调试接口。另外，#1、#2 充电机屏柜分

别对应的两个直流负荷分屏没有在改造之列，此两直流负荷分屏内的直流母线可以相互联络，正常情况下分裂运行。

3.2 方案实施中遇到的问题

在实施过程中发现，集中监控器的开发人员针对使用的蓄电池额定容量 C₁₀ 为 800A·h，因而设置每组充电机（同一屏柜内 5 个并联的充电模块）输出的最大直流为 80 A（0.1 C₁₀）。虽然 80 A 已经大于正常时使用的直流电流（约 43 A），正常运行时，即一组充电机浮充一组蓄电池并对一条直流母线送电，充电模块不会受到负荷过重的影响；但是在以下两种情况下，这种设置存在很大的隐患。一种是一组充电机浮充一组蓄电池并同时两条直流母线送电时，此时所需的直流负荷电流为 86 A，而充电机只能提供 80 A 电流，因此蓄电池需要提供 6 A 的电流，如果这种运行方式超过一定的时间，势必引起供电不足和蓄电池寿命的降低。另一种是当一组充电机均充一组蓄电池，同时带负荷运行时，明显一开始的稳流充电不可能达到 0.1 C₁₀（80 A）的自动均衡充电要求。发现问题后，联系相关开发人员讨论，并依据相关运行维护规程决定将每组充电机输出的最大直流设为 150 A，有效避免了上述隐患。

此外，在调试过程中，发现一组充电机在对蓄电池自动均衡充电时，稳流充电阶段的电流为 160 A（0.2 C₁₀），而此时发现较多单体蓄电池不断冒气泡，后联系开发人员对相应集中监控器内部参数重新设置后，稳流充电电流恢复为 80 A（0.1 C₁₀）。

4 总结

广州换流站直流电源系统的改造方案主要用高频开关整流充电装置替换了原有的相控整流装置，同时结合集中监控器的应用，实现了换流站直流电源系统各单元的数字化监视、控制和智能管理。实践证明，该方案实施后直流电源系统维护工作量大大减少；直流电源的可靠性和电能质量有了较大的提高。今后拟可以通过集中监控器通信接口与换流站的局域网系统连接，为实现换流站无人值守打下技术基础。

参考文献

- [1] 徐以荣, 冷增祥. 电力电子技术基础[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- XU Yi-rong, LENG Zeng-xiang. Basic Fundamentals of Power Electronics[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1999.

(下转第 56 页 continued on page 56)

从上面的比较可以看出, OCL 技术具有很快的数据读取和写入速度。当向 Oracle 数据库中频繁存储大批量数据时, OCL 比 ADO 方法快 700 多倍, 速度优势明显。OCL 技术相比于 ODBC、PRO *C/C++ 等数据库开发技术亦具有明显的速度优势, 数据不再罗列。

4 结论

本文提出了基于 OCL 技术开发电力系统仿真计算软件中 Oracle 数据库的方法, 较好地解决了数据库读写速度的瓶颈问题。OCL 技术具有以下优点: (1)编程简便灵活, 功能强大。使用该方法访问数据库, 缩短了软件的开发周期, 提高了效率。(2)访问数据库速度快。该方法相比传统方法在读写速度上提高了两个数量级, 较好地满足了电力系统仿真计算对实时性的要求。此外, 该方法还可以用在其他对实时性要求较高的 Oracle 数据库系统中。

参考文献

[1] 谷毅, 赵玉柱, 张国威. 我国 DTS 技术及其应用[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(13): 60-62, 65.
GU Yi, ZHAO Yu-zhu, ZHANG Guo-wei. A Survey of the Dispatcher Training Simulator and Its Application in China [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(13):60-62, 65.

[2] 董朝霞, 杨峰, 高建军. 电网 DTS 数据库的设计和实现[J]. 湖北电力, 2003, 27(3): 6-9.
DONG Zhao-xia, YANG Feng, GAO Jian-jun. Design and Implementation of the Database in Network DTS[J]. Hubei Electric Power, 2003, 27(3): 6-9.

[3] 刘永宁. Oracle 8i OCI 中的直接路径加载[J]. 计算机应用 2002, 22(4): 88-89.
LIU Yong-ning. Direct Path Load of OCL in Oracle 8i[J]. Computer Technology, 2002, 22(4): 88-89.

[4] 谭海龙, 常鲜戎. 主动型内存数据库在 DTS 中的应用研究[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(2): 71-74.
TAN Hai-long, CHANG Xian-rong. Study on Active Memory Database in DTS[J]. Journal of North China Electric Power University, 2005, 32(2): 71-74.

[5] 聂红梅, 赵建民. Oracle 数据库中 Clob 大字段的查询优化技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(8): 97-102.
NIE Hong-mei, ZHAO Jian-min. Research of Optimum Query Technology on Clob Big Segment in Oracle Database[J]. Computer Technology and Development, 2006, 16(8): 97-102.

[6] Core Lab. Oracle Class Library for C++ 3.00.0.1[DB/OL]. <http://crlab.com/ocl/2005>.

[7] Oracle 8. Oracle Call Interface Programmer's Guide Release2(9.2)[DB/OL]. <http://www.xpbook.com/soft/3253.htm>, 2007.

收稿日期: 2008-06-20; 修回日期: 2008-08-08

作者简介:

王军庄 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析运行与控制; E-mail: wjz19830222@163.com
常鲜戎 (1956-), 男, 教授, 博士, 研究方向为电力系统分析运行与控制、电机故障监测与控制等;
顾卫国 (1955-), 男, 工程师, 研究方向为电力系统动态过程仿真及物理模拟。

(上接第 52 页 continued from page 52)

[2] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
WANG Zhao-an, HUANG Jun. Technology of Power Electronics[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.

[3] 白忠敏, 於崇干, 刘百震. 现代电力工程直流系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
BAI Zhong-min, YU Chong-gan, LIU Bai-zhen. DC Auxiliary Power Supply System of Modern Electric Power Project[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.

[4] 董明, 魏秉政. 变电站直流系统运行现状及存在问题分析[J]. 继电器, 2006, 34(3).
DONG Ming, WEI Bing-zheng. Analysis of Actuality and Problems of Substation DC Auxiliary Power Supply System[J]. Relay, 2006, 34(3).

[5] 郑中胜. 智能型高频开关直流操作电源系统[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2004.
ZHENG Zhong-sheng. High Frequency Switching DC Power Supply System[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2004.

收稿日期: 2008-06-02; 修回日期: 2009-03-16

作者简介:

刘森 (1977-) 男, 工程师, 从事高压直流输电运行管理工作; E-mail: bugsbunnys@126.com
张海凤 (1977-) 男, 工程师, 从事高压直流输电运行管理工作;
李书勇 (1979-) 男, 硕士, 从事高压直流输电运行工作。