

基于 TMS320F2812 直流操作电源系统的设计与开发

熊军华¹, 王亭岭¹, 徐 荣²

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 2. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007)

摘要: 针对目前中小型变电站所使用的直流电源系统存在的一些问题, 提出了相关的解决方案, 设计了一套新型直流操作电源管理系统。系统以微控制器为核心, 采用高精度的 TMS320F2812 定点 32 位 DSP 芯片对直流系统的各种功能统一管理, 并通过 DSP 的串行通信接口 SCI 实现与上位机的通信。上位机的监控程序利用可视化程序设计语言 Visual Basic 6.0 设计开发, 实现了对各种信息的实时显示与报警。

关键词: 直流操作电源; TMS320F2812; Visual Basic 6.0; DC/DC 变换器

Design and development of direct current power supply systems based on TMS320F2812

XIONG Jun-hua¹, WANG Ting-ling¹, XU Xing²

(1. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China;

2. Henan Electric Power Exploration Design Institute, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Considering the problems of the direct current (DC) power supply systems of small and medium substations, a relevant plan is put forward and a new DC power supply system is designed. This system uses micro-controller as its key part and adopts TMS320F2812 DSP with high precision to unitedly administer all functions of DC system. The communication between DSP and upper computer is completed by serial communication interface (SCI) of DSP. The supervision program of upper computer is developed by Visual Basic 6.0. The real-time display and alarm of various information are also realized.

Key words: direct current operation power supply; TMS320F2812; Visual Basic 6.0; DC/DC converter

中图分类号: TP273 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)20-0113-04

0 引言

变电站用电设备中, 部分重要设备需要配备稳定可靠的后备电源。变电站的后备电源分为直流后备电源和交流后备电源, 直流后备电源习惯上称为直流操作电源, 交流后备电源一般采用不间断电源(UPS)。目前, 我国电力系统所使用的直流操作电源大部分采用相控整流电源, 但相控整流电源在纹波、效率、体积等方面不尽如人意, 并会引起功率因数降低、电网波形畸变等电力公害。变电站配备的 UPS 一般容量较小, 后备时间也很短, 仅能用于交流掉电时保存数据。同时, 由于充电设备与蓄电池并联运行, 当纹波系数较大、浮充电压波动或偏低时, 会出现蓄电池脉冲充电放电, 对电池不利。

当前针对上述传统的电站后备电源系统——“直流操作电源+电力专用 UPS”存在的问题, 出

现了多种解决方案, 其中“直流操作电源+逆变电源”解决方案是研究的热点。其核心是将直流后备电源的蓄电池组作为变电站公共蓄电池组, 将直流操作电源和交流后备电源整合, 成为一种交直流一体化电源, 从而达到降低运行成本、提高可靠性的目的。

基于这一思想, 本文设计了一套新型直流操作电源管理系统, 该系统采用高性能的 DSP 芯片 TMS320F2812 作为控制核心, 在直流操作电源系统中加入逆变模块, 取代了传统的 UPS 系统。并将蓄电池的科学充放电管理作为一个重点攻关方向, 力图提高蓄电池的使用寿命, 节约运营成本, 减少浪费, 保护资源和环境。

1 应用方案设计

本直流操作电源系统将多种功能集成为一体, 由主控制器加以管理, 主要的变流模块实现 N+1 备份。平时由站内变压器提供交流电, 经整流(AC/DC)后向控制母线、合闸母线以及通信设备提供不同电压等级的直流电, 同时向蓄电池组提供

基金项目: 华北水利水电学院青年科研基金资助 (HSQJ2009021)

浮充电源；当交流断电时，由蓄电池组提供操作电源，经 DC/DC 变换后向上述设备供电，并需逆变模块 (DC/AC)，向后台机等交流用电设备提供交流电源。系统内含有 48 V 直流通信用电源输出，可以取代传统的通信电源系统及其相应的蓄电池组。就是将直流屏系统所用的蓄电池组与通信电源蓄电池组合二为一，不仅节约投资和维护的成本，还增加了系统运行的稳定性，具有很高的性价比和市场竞争力。系统结构如图 1 所示。

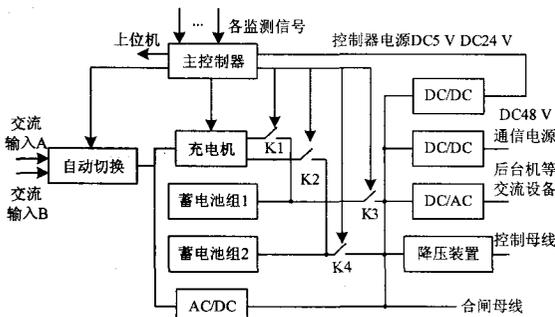


图 1 直流操作电源系统结构图

Fig.1 Structure of direct current operation power supply system

主控制器的作用包括：通过外围传感器，检测系统各个参数和状态，对相关参数分析处理后，上传给上位机监控界面显示；监测充电电流，构成电流闭环，控制充电机的输出电压；控制切换开关 K1、K2、K3、K4。

一般的直流屏系统的设计，都是将图 1 中的充电机和 AC/DC 合为一个模块，蓄电池组直接挂在合闸母线上，其缺点是未充分考虑蓄电池的充电过程。蓄电池的充电过程应该是恒流定时充电，充电时间与电流的积分等于放电 Ah 数，这样才能保证充满并延长蓄电池的使用寿命。在充电过程中，充电电压应随着蓄电池端电压的升高而逐渐升高，从而保证恒流充电。这就要求充电机的输出电压可自动调整，本方案将充电机与高频整流模块分开，并增添了相应的切换开关。

在任意时刻，系统都要保证两组蓄电池中的一组处于浮充状态，其输出两端与合闸母线直接相连，保证提供足够大的合闸电流；另一组则挂在充电机上，在主控制器的严格控制下充电，直至充满并继续挂在充电机上进入浮充状态，以维持应有的容量。当交流停电并恢复后，主控制器自动切换 K1、K2、K3、K4，确保总有一组满容量蓄电池组挂接在母线上，而另一组则经由充电机进行合理科学的充电，

从而保证蓄电池的使用寿命，减小运营成本。

蓄电池组在浮充状态下与合闸母线直接相连，当交流电源停电后自动向合闸母线和控制母线提供电力，此时的放电量 (Ah 数) 将自动在主控制器中进行累积并保存。停电过程结束后，主控制器将以此 Ah 数为依据，以固定电流和需要的时间向蓄电池组充电，保证蓄电池组容量得到完全恢复。

AC/DC 模块将交流电转换为直流，输出电压等级可依据实际系统来定，例如 DC110 V 或 DC220 V 等。其输出电压同时也向蓄电池组提供浮充电压。两个 DC/DC 模块，一个输出 DC48 V，向站内通信设备供电，另一个是主控制器的电源模块，根据需要可输出 DC5 V、DC24 V 等。DC/AC 逆变模块主要是向上位机等后台设备提供交流用电电源。如果站内直流系统为双母线配置，则需要降压装置，合闸母线经降压后输出至控制母线。

2 系统硬件设计

系统以 DSP 芯片为控制核心，通过采集现场各种数字量和模拟量实现计量显示、报警等功能。此外，微控制器通过采集蓄电池充电电流和电压，调整 PWM 控制器的输出占空比，达到调节充电机输出电压的目的，在均充过程中实现恒流充电，在浮充过程中恒压维持。系统硬件框图如图 2 所示。

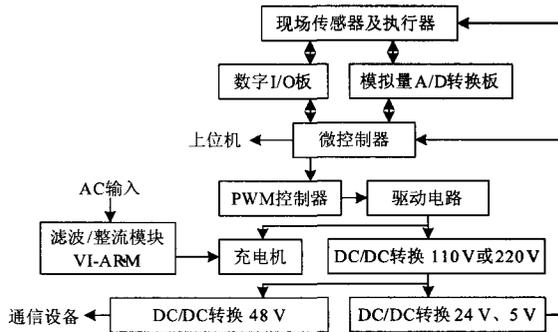


图 2 直流操作电源硬件框图

Fig.2 Hardware scheme of direct current operation power supply system

为了满足电压稳定精度和实时在线显示与报警等要求，微控制器采用 TI 公司最新推出的 TMS320F2812 定点 32 位 DSP 芯片。TMS320F2812 可实现高性能数字信号处理器 (DSP) 与闪存的完美结合。新型混合信号 32 位定点 DSP 可提供每秒 1.5 亿次指令 (150 MIPS)，单周期 32×32 位 MAC 功能及 0.25 MB 的片上闪存。片上外设还包括：JTAG 边界扫描接口、外部扩展接口、时钟和系统控制电

路、外围中断扩展模块、3 个 32 位 CPU 定时器、两个事件管理器、两个异步通信接口 SCI、串行外设接口 SPI、增强型 CAN 总线、SPI 模式的多通道缓冲串口 McBSP、12 位 16 通道 A/D 转换器、56 个独立可编程的多路通用输入/输出 (GPIO) 引脚等。

交流输入端采用美国 VICOR 公司的滤波/整流 VI-ARM 模块, 具有 EMI 滤波、自动调整输入电压范围的整流、瞬变保护和浪涌电流限制等功能, 输出功率可达到 3 kW。

DC48 V、24 V、5 V 分别向通信设备、主控制器、外围执行机构、传感器等设备供电, 均采用 VICOR 公司配置式电源 MegaPAC 系列, 在一个固定机架上可提供多路输出, 通过选用不同的 DC/DC 模块, 可在最小体积和空间内实现全部所需的电压等级输出, 并可实现程控的开/关机, 方便实现 N+1 备份, 总功率最高可达 4 kW, 完全满足使用需要。

由于合闸母线最大电压在 DC200 V 以上, 并要求较大的功率, 因此采用大功率开关器件 MOSFET 组成, 基本原理采用 DC/DC 降压斩波电路。通过控制 PWM 占空比, 可实现充电机输出电压的连续调节。在均充阶段为电流闭环, 浮充阶段为电压闭环, 有输出滤波环节。

向合闸母线及正常工作蓄电池组供电的“DC/DC 110 V 或 220 V”模块, 其基本组成结构与充电机相同, 区别在于不需要调压, 为了保证电压稳定度, 仍然采用电压闭环结构。

3 系统软件设计

系统软件包括初始化主程序、定时中断采样服务程序、蓄电池管理子程序、PWM 控制子程序及 DSP 与上位机通信子程序等。

TMS320F2812 片上外设含有 12 位 16 通道 A/D 转换器, 外部的模拟量信号可以方便地接入。系统对模拟量 A/D 转换的控制采用定时中断采样的方式, 在每次中断处理过程中, 对所有模拟量循环采样一次, 并保存在特定物理内存中。主程序将所有的数字量、模拟量处理完毕后, 将实时显示的信息通过 DSP 的串行通信接口 (SCI) 发送给 PC 机, 实现状态监测。

蓄电池管理子程序能够依据充电过程, 给出初步的判断并显示报警信息, 提示维护人员及时检查蓄电池组以排除隐患。由于蓄电池电化学反应的随机性, 以及蓄电池组中各个电池参数的不均衡性, 故而该报警信息只是一个参考, 其意义在于给出某组蓄电池中出现故障的概率和可能性, 及时提醒维护人员, 防患于未然。

利用 DSP TMS320F2812 的 EV(事件管理)模块中的全比较单元, 可以方便地产生 6 路带有可编程死区和输出极性的 PWM 波。载波的频率 (开关频率) 由定时器的定时周期和计数模式决定。设置定时器 T1 工作方式连续增减计数模式, 在这种计数模式下, 定时器计数周期是载波周期的二分之一, 在 T1 不断计数的同时, 全比较单元也随时将比较寄存器 CMPRx (x=1, 2, 3) 的值与计数器的值进行比较, 当数值匹配的时候, 引脚 PWMx 信号产生翻转, 在 T1 向上和向下计数的时候, 数值匹配分别发生一次, 即在一个周期内翻转两次, 产生对称的 PWM 信号。只要在每个脉冲周期根据在线计算改写比较寄存器的值, 就可实时改变脉冲占空比。

TMS320F2812 具有两个异步通信接口 (SCI) SCI-A 和 SCI-B, 即通常所说的 UART 口。SCI 模块采用标准非归 0 (NRZ) 数据格式, 可以与 CPU 或其他通信数据格式兼容的异步外设进行数字通信。SCI 接收器和发送器采用双级缓冲传送数据, SCI 接收器和发送器有自己的独立使能和中断位, 可以独立地操作, 在全双工模式下也可以同时操作。SCI 模块对接收到的数据进行间断、极性、超限和帧错误检测。通过对 16 位的波特率控制寄存器进行编程, 配置不同的 SCI 通信速率。本管理系统采用 SCI-A 模块, 通过设计电路板中的一片 RS-232 接口芯片 MAX3243 实现与上位机的通信。SCI-A 初始化程序如下:

```
void InitSci(void)           //初始化SCI-A
{
    EALLOW;
    GpioMuxRegs.GPFMUX.all = 0x0030; //设置相应的
    //引脚为SCI引脚
    EDIS;
    SciaRegs.SCICCR.all = 0x07; //一个停止位, 禁止字
    //测试模式, 无校验, 8位字符
    //异步模式, 采用空闲
    //线协议
    SciaRegs.SCICTL1.all = 0x03; //使能TX、RX引脚和
    //SCICLK, 禁止RX ERR、SLEEP
    SciaRegs.SCICTL2.all = 0x03; //使能发送/接收中断
    SciaRegs.SCIHBAUD = 0x00;
    SciaRegs.SCILBAUD = 0xF3; //波特率为19200,
    //LSPCLK时钟频率为37.5MHz
    SciaRegs.SCICTL1.all = 0x23; //使SCI退出复位状态
    PieCtrl.PIEIER9.bit.INTx1 = 1; //使能SCIRXINTA
    PieCtrl.PIEIER9.bit.INTx2 = 1; //使能SCITXINTA
}
```

4 监控界面设计

监控界面使用VB6.0可视化程序设计语言开发。利用VB6.0提供的MSComm串行通信控件，可以方便地实现计算机与DSP之间的串行通信。监控中心与DSP设定的通信协议为：波特率为57 600 bps，1位起始位，8位数据位，1位停止位，无奇偶校验位。

为了使用MSComm控件，需要在“部件”对话框的“控件”选项卡中选中“Microsoft Comm Control 6.0”选项，单击“确定”按钮后控件将被添加到Visual Basic的工具箱中。

Visual Basic6.0是面向对象的可视化程序设计语言，采用事件驱动的编程机制，对各个对象需要响应的事件分别编写程序代码，对每个事件过程的程序代码来说，一般比较短小简单，调试维护也比较容易。本控制系统上位机监控程序需要响应的事件有：退出监控界面事件、控制设定事件、装载事件（初始化通信口）、定时器事件、信息接收事件等。利用VB6.0设计的监控界面如图3所示。

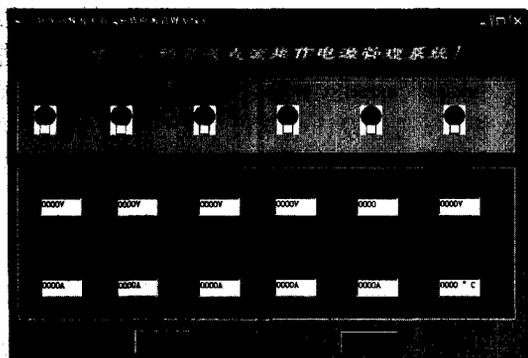


图3 直流操作电源管理系统监控界面

Fig.3 Supervision interface of direct current operation power supply system

5 性能测试与分析

高性能的充电器是对蓄电池科学有效管理的保证。以DSP芯片为控制核心，采用高频开关DC/DC技术所设计的充电器可以做到电压调整精度 $\leq \pm 0.2\%$ ，电压稳定度 $\leq 1\%$ ，电流稳定度 $\leq \pm 0.5\%$ ，纹波系数 $VP-P \leq 1\%$ 。

在蓄电池组充放电管理技术方面，当前国内普遍的做法是，依据蓄电池组两端电压来判断充电是否完成。当蓄电池端电压达到一定数值以后即转入浮充控制阶段。实际上，由于母线工作电压即为充电/浮充电压，不可能过多地照顾到蓄电池的特殊要求，因此也谈不上对蓄电池组的科学有效管理。

本电源系统蓄电池管理软件以放电容量作为充电过程的控制依据，通过反复的实验测试，充电容量计算公式应为：

$$\text{充电容量} = 1.1 \sim 1.2 * \text{放电容量} \quad (1)$$

蓄电池组的浮充电压只是为了补充电池的自放电容量损失，因此浮充电压偏高必然导致过充现象，不利于蓄电池的正常使用。在长期的铅酸蓄电池检修、维护中发现，单节铅酸蓄电池的浮充电压理想值在2.25 V左右。实验测得蓄电池充电过程的特性曲线如图4所示。

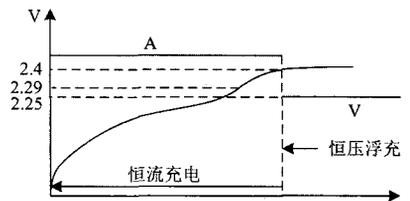


图4 蓄电池充电过程特性曲线

Fig.4 Charge characteristic curve of storage battery

由于目前普遍采用的充电方法没有容量指标依据，当电池组中存在落后（结构容量下降）单节蓄电池时，系统会提前结束均充。这是因为结构容量落后的蓄电池，其端电压的上升速度大于正常蓄电池，从而导致整个蓄电池组（串联）端电压上升加快。

本电源系统所采用的容量控制充电法在均充阶段采用恒流控制，通过电流反馈，容易实现容量累积；在浮充阶段为恒压控制，可以避免浮充电压过高。若电池组所有成员均正常，容量控制充电法则能保证容量充满后进入浮充，从而保证直流母线输出足够的电压和电流。否则，由于充电过程未达到预期而端电压上升到极限，系统可及时报警，提醒维护人员进行检修。蓄电池管理软件中增加了对结构容量落后蓄电池的预判功能。落后蓄电池端电压上升速度加快，时间缩短，可以作为对蓄电池检修、维护、保养的参考判据。与相控整流电源系统的性能指标比较见表1。

6 结论

本文设计的直流操作电源管理系统，以高性能的DSP芯片为控制核心，重点解决对蓄电池组科学有效的管理。本系统由DSP主控制器单元、独立充电器回路、DC/DC与DC/AC转换电路、蓄电池充放电管理软件等部分组成，可监视及控制电源系统的各种技术参数，能够实现蓄电池充放电过程的科学管理。

（下转第 122 页 continued on page 122）

接地,重新测试的试验值如表3所示,完全符合《规程》要求。

表3 102 CT 测试数据比较

Tab.3 On site test data of 102 CT

试验位置	试验方法	$\tan \delta$ / (%)	C_x 试验值/PF	C_x 出厂值/PF	ΔC / (%)
A相	10 kV 正接线	0.25	423.6	426.6	-0.70
B相	10 kV 正接线	0.28	428.7	431.3	-0.60
C相	10 kV 正接线	0.23	425.9	429.8	-0.91

3 结论

通过以上分析可知,对电容型电流互感器进行电容量及介损系数测试时,应对测试结果根据现场实际情况进行分析校正,才能反映电容型电流互感器绝缘老化的真实情况。现场试验表明,所采用方法可消除现场干扰,所得数据完全满足试验要求。

参考文献

[1] DL/T 596-1996. 电力设备预防性试验规程[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
 [2] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北

京:中国科学技术出版社,2001.

CHEN Hua-gang. The Preventive Test Technology of Apparatus[M]. Beijing: The Scientific Technology Press of China, 2001.

[3] 林则忠. 9 台电容式电流互感器验收试验结果的分析[J]. 高电压技术, 2007, (4):82-83.
 LIN Ze-zhong. Analysis of the Acceptance Test Results of 9 Capacitive CT's[J]. High Voltage Engineering, 2007,(4):82-83.
 [4] 张仁豫,陈昌渔,王昌长. 高电压试验技术[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
 ZHANG Ren-yu, CHEN Chang-yu, WANG Chang-chang. The High-voltage Test Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

收稿日期: 2008-11-02; 修回日期: 2009-06-22

作者简介:

李涛(1977-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统高压技术监督与设备维护; E-mail: litao4541@126.com
 杜晓平(1978-), 女, 硕士, 研究方向为电力系统调度自动化;
 陈瑞林(1975-), 男, 工程师, 研究方向为电力系统技术管理与设备维护。

(上接第 116 页, continued from page 116)

表1 与相控整流电源系统的性能指标比较

Tab.1 Performance indexes comparing with phase-controlled power system

比较项目	直流操作电源管理系统	相控整流电源系统
效率/体积	效率高(92%以上)、相同容量情况下体积小、重量轻	效率低(低于80%), 由于存在变压器或者电抗器, 体积大, 笨重
电池管理	计算机智能管理	人工管理或者计算机管理
操作界面	数字化的可视人机交互操作界面	一般采用模拟操作, 传统的模拟表头界面
维护特性	可更换的模块化结构, 方便维护	不可整体结构设计, 维护困难
输出控制	采用直流空气断路器, 操作简单, 控制方便	一般采用熔断器结构, 保护后需要更换, 操作比较困难
可靠性	N+1 充电模块备份结构, 提高可靠性	为了达到高可靠性, 必须设计为双充电机结构
通信接口	RS232 / 485接口	一般无通信接口

系统引入的容量控制充电法可以延长蓄电池的使用寿命, 交直流一体化及通信电源的整合, 可以降低运行成本, 具有很高的性价比和市场竞争能力。直流操作电源中的逆变模块作为系统的经常性负荷, 所产生的噪声有可能串入直流部分, 影响到直流电压输出的精度, 以后还需要不断改进。直流操作电源长期运行的可靠性也是今后关注的重点。

参考文献

[1] 万山明. TMS320F281xDSP 原理及应用实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007. 131-137.
 [2] 刘志刚. 电力电子学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 159-162.

[3] 求是科技. Visual Basic6.0 程序设计与开发技术大全[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.

收稿日期: 2008-11-06; 修回日期: 2008-12-02

作者简介:

熊军华(1973-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事电力系统自动化、电力电子及嵌入式系统教学与研究; E-mail: xiongjh@ncwu.edu.cn
 王亭岭(1975-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事自动化及嵌入式系统教学与研究;
 徐荣(1975-), 男, 高工, 学士, 主要从事电力系统设计与研究。