

一种大容量智能型能馈式蓄电池放电装置

米高祥, 陈世锋, 张建兴, 陈天锦, 陈漫青

(许继电源公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 设计了一种大容量智能型能馈式蓄电池放电装置。该装置以 IGBT 为主要功率器件, 采用数字控制方式, 可满足 2500~3000 Ah 大容量蓄电池组放电需要。详细介绍了该装置的电路结构、参数设计及控制方法。引入分段式数字 PID 控制思想, 解决了大电流放电时逆变器容易震荡失稳的问题。现场运行结果表明, 该装置放电纹波小, 工作稳定可靠, 自动化程度高, 监控便捷直观, 具有良好的工程应用推广价值。

关键词: 蓄电池放电; 逆变器; 锁相环; PID; IGBT

Research on an intelligent energy-feedback discharge device for large-capacity storage battery

MI Gao-xiang, CHEN Shi-feng, ZHANG Jian-xing, CHEN Tian-jin, CHEN Man-qing

(Xuji Power Co.Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: A new intelligent battery discharging device with feedback energy is designed. IGBT and digital control methods are applied in the device. This unit can satisfy the discharging requirement of high-capacity storage battery between 2500 Ah and 3000 Ah. This paper introduces detailedly the circuit structure, parameters design and control strategy. Inverters usually become concussive and lose their stability when work with high current discharging. To solve this problem, this paper introduces staged PID idea. The experimental results have proved that the device has small discharge ripples, good stability and reliability, convenient and visual monitoring, and a good engineering application value.

Key words: storage battery discharge; inverter; PLL; PID; IGBT

中图分类号: TM91 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)09-0088-04

0 引言

在工业领域中, 蓄电池作为备用电源一直起着重要的作用。蓄电池在日常使用和维护中, 为了检测电池容量状态以及活化电池, 必须定期进行放电试验。随着国家“节能减排”政策的深入人心, 能馈式蓄电池放电装置成为近年来的研究热点。

1 现状分析

蓄电池放电通常采用 10~12 h 恒流放电方式^[1], 通过监测蓄电池组电压来检测蓄电池的容量和状态。目前国内外蓄电池放电装置主要有以下几种:

1) 电阻放电装置。电阻放电装置由电阻器组组成, 通过开关调节放电电流大小。为防止蓄电池过放电, 必须定时人工检测蓄电池电压。电阻放电装置技术简单, 工作可靠, 作为传统的蓄电池放电装置得到广泛应用。其缺点是无法实现恒流放电, 体积庞大, 并造成能源浪费。

2) 能馈式单相全桥有源逆变放电装置。单相全桥逆变器直流侧与蓄电池组相连, 逆变器将蓄电池直流电流逆变为与电网同频同相的交流并入电网, 实现蓄电池能量反馈回电网。缺点主要为放电电流纹波大, 对三相电网谐波污染较大, 因容量限制无法满足大容量蓄电池组放电需求。

3) 模拟控制的能馈式三相逆变放电装置^[2]。三相并网逆变器直流侧与蓄电池组相连, 逆变器通过模拟控制完成逆变、锁相并网等功能, 将蓄电池放电能量反馈回电网。其主要缺点为装置设计与调试复杂, 智能化程度低, 放电过程仍需人工记录蓄电池组电压参数等。

随着电力、金融、通信、交通及新能源等行业的发展, 大容量蓄电池组应用越来越广。针对这种情况, 本文设计了一种数字控制的大容量智能型能馈式蓄电池放电装置。通过合理配置功率回路参数, 采用合适的控制策略, 进行人性化的人机接口设计, 实现了放电装置可靠稳定的高精度恒流放

电运行, 蓄电池电压及容量方便直观的在线监测。

2 系统结构

图 1 所示为本蓄电池放电装置的系统结构。蓄电池放电的直流电流经过三相逆变桥转换为三相交流电流回送入电网。以 TI 公司的 DSP2812 为核心的控制环节完成采样数据计算、PWM 信号产生、锁相以及同网接口的数据交换等工作。只要在人机接口输入放电电流值、放电时间和放电截止电压与蓄电池低压保护电压值等参数, 蓄电池放电过程即可自动控制, 放电过程中系统三相电压、逆变器三相电流、蓄电池电压、蓄电池放电电流、放电时间和放电容量安时数等数据可自动记录并通过 LCD 液晶实时显示。蓄电池电压数据每 5 min 自动记录一次, 放电结束后可通过 RS232 数据接口与 PC 连接, 以报表和曲线的形式显示, 方便直观, 实现放电过程无人值守。

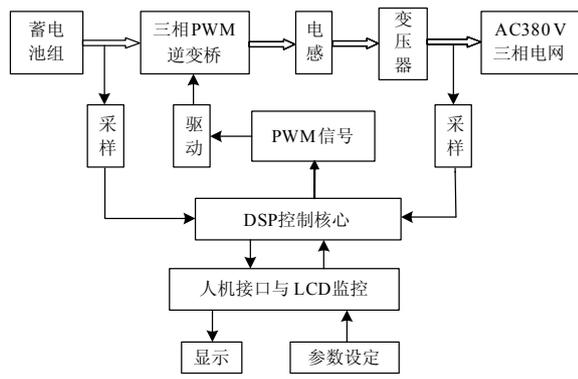


图 1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

2.1 主功率回路

本装置主电路如图 2 所示。主电路以三相逆变桥为主干, 逆变桥输出经滤波电感后接三相升压变压器并入电网。蓄电池放电电流为 250 A, 升压变压器变比为 1:4, 若蓄电池组电压为 230 V, 三相电网线电压为 380 V, 则逆变桥每相输出电流峰值为

$$I = \sqrt{2} \times 4 \times 230 \times 250 / (\sqrt{3} \times 380) = 494.3 \text{ A} \quad (1)$$

选择 IGBT 器件以及三相滤波电感时兼顾经济考虑与散热及结构设计方便, 主功率回路采用 EUPEC 的 FF400R06KE3 IGBT 模块搭建并联的双三相逆变桥, 散热采用强制风冷方式。两个三相逆变桥直流侧共用, 输出各接一个三相滤波电感后并联经变压器并入电网, 构成主功率回路。

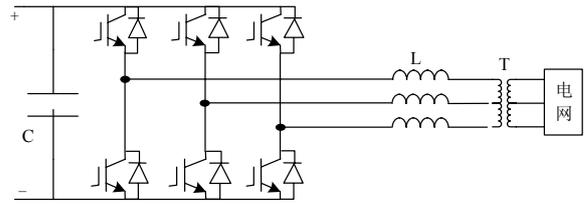


图 2 主电路

Fig.2 Main circuit

2.2 主电路参数设计

主电路参数设计主要包括直流侧电容参数设计和交流滤波电感参数设计。

直流侧电容参数设计可根据经验公式(2)求得。

$$C_{dc} \geq \frac{\bar{p}}{2\omega \cdot U_{dc} \cdot V_{ripp}} = \frac{60000}{2 \times 314 \times 220 \times 10} = 43428 \mu\text{F} \quad (2)$$

其中: \bar{p} 为装置功率, 允许的最大电压纹波 V_{ripp} 为 10 V, 直流电压为 220 V。

在经过仿真以及反复试验后, 实际设计选取 10 只 450 V/4700 μF 电解电容并联。

交流滤波电感参数设计可根据经验公式(3)求得。

$$L \geq \frac{U_{dc}}{8f_c \cdot \Delta I_{max}} \quad (3)$$

直流侧电压 $U_{dc} = 220 \text{ V}$, 载波频率 $f_c = 9.6 \text{ kHz}$, 纹波电流 $\Delta I_{max} = 10 \text{ A}$, 代入式(3)得 $L \geq 0.29 \text{ mH}$ 。

经过仿真与实验验证, 实际设计选取交流三相滤波电感为 0.4 mH。

3 控制技术

图 3 为放电装置系统控制框图。系统控制主要分为两个部分: 数字锁相环(PLL)和放电电流控制。

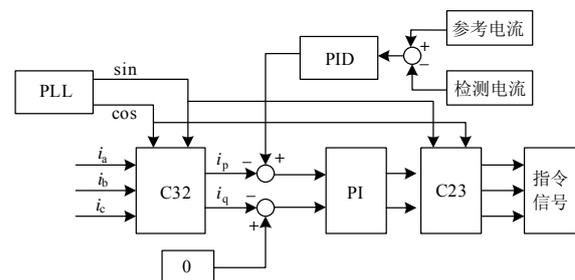


图 3 系统控制框图

Fig.3 System control diagram

3.1 锁相控制^[3]

能量回馈式放电装置需要报能量回送给电网, 因而必须使装置输出的电流与电网保持同频同相,

本装置采用的数字锁相技术基于瞬时无功理论和系统正序电压跟踪技术，其控制框图如图 4 所示。

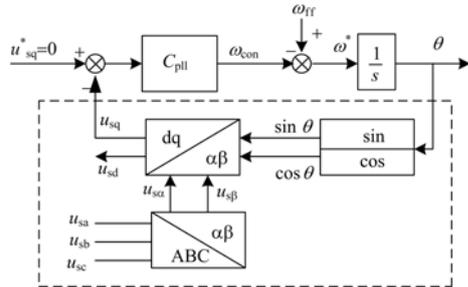


图4 锁相控制框图

Fig.4 PLL diagram

当电网电压幅值，即电压合成矢量 \vec{u}_s 的幅值不变时， \vec{u}_s 的其 q 轴分量 u_{sq} 反映了 d 轴与电网电压 \vec{u}_s 的相位关系。如需将电网电压合成矢量 \vec{u}_s 的方向定在 dq 坐标系的 d 轴上，则当 $u_{sq} > 0$ ，d 轴滞后 \vec{u}_s 时，应增大同步信号频率；当 $u_{sq} < 0$ ，d 轴超前 \vec{u}_s 时，应减小同步信号频率；当 $u_{sq} = 0$ 时，d 轴与 \vec{u}_s 同相。因此，可通过控制 u_{sq} ，使 $u_{sq} = 0$ 来实现两者之间的同相。

3.2 放电电流控制^[4]

装置调试过程中，放电电流较大（大于 200 A）时，由于采样量相对低电流时偏移较大以及电磁干扰等原因，逆变器容易震荡失稳，这种情况下传统固定参数的 PID 控制已经无法满足系统要求，经过反复探索与尝试，我们引入了分段式 PID 思想，保证了放电装置大电流放电时的稳定性。

分段式 PID 控制的思想如下：以 200 A 为放电电流门限值，当放电电流低于门限值时，仍保留原来的 PID 参数；当放电电流高于门限值时，减小比例环节参数，取消微分控制环节，削弱大电流下比例环节的不利影响，消除微分环节对噪声的放大作用，提高系统稳态性能^[5]。

对大容量放电装置而言，为避免启动瞬时 di/dt 值过大的隐患，软启动环节必不可少，本装置通过软件算法实现软启动：系统开始放电时，给定参考电流一个较小的初值（比如 5 A），然后设定参考电流给定值每秒递增 1 A，逐步增加至设定放电电流值后，再进入放电电流 PID 控制环节，实现软启动启动过程放电电流平稳上升至额定值。

4 实验结果

大容量智能型能量回馈式蓄电池放电装置已在数个大型电厂投入使用。以某电厂投运现场为例，

现场为一组 2 500 Ah 蓄电池组放电，蓄电池组电压为 232 V，现场三相电网线电压为 405 V，采用 10 h 恒流放电方式，放电电流为 250 A。现场运行情况如图 5、图 6 所示。软启动过程约 4 min，每秒电流增加 1 A，启动过程平稳无超调，稳态放电时放电电流纹波小于 $\pm 3\%$ ，效果令人满意。

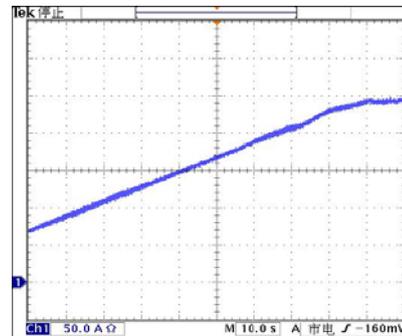


图 5 放电软启动波形

Fig.5 Soft-start waveform of the discharge

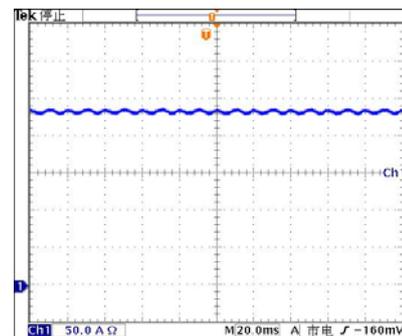


图 6 稳态放电波形

Fig.6 Steady-state discharge waveform

有源放电装置ZYNB13放电数据报表												
1	操作人 李九州											
2	操作日期 2008-08-13											
3	累计放电时间 1702											
4	放电安时数 28.3											
5	放电电流 60											
6	蓄电池当前电压 235											
7	放电中止电压 100											
8	放电保护电压 177											
9	以下数据为蓄电池每5分钟采样电压											
10	00分钟	5分钟	10分钟	15分钟	20分钟	25分钟	30分钟	35分钟	40分钟	45分钟	50分钟	55分钟
11	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	40分钟	45分钟	50分钟	55分钟	60分钟	65分钟	70分钟	75分钟	80分钟	85分钟	90分钟	95分钟
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	100分钟	105分钟	110分钟	115分钟	120分钟	125分钟	130分钟	135分钟	140分钟	145分钟	150分钟	155分钟
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	120分钟	125分钟	130分钟	135分钟	140分钟	145分钟	150分钟	155分钟	160分钟	165分钟	170分钟	175分钟
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	160分钟	165分钟	170分钟	175分钟	180分钟	185分钟	190分钟	195分钟	200分钟	205分钟	210分钟	215分钟
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	200分钟	205分钟	210分钟	215分钟	220分钟	225分钟	230分钟	235分钟	240分钟	245分钟	250分钟	255分钟
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	240分钟	245分钟	250分钟	255分钟	260分钟	265分钟	270分钟	275分钟	280分钟	285分钟	290分钟	295分钟
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	300分钟	305分钟	310分钟	315分钟	320分钟	325分钟	330分钟	335分钟	340分钟	345分钟	350分钟	355分钟

图 7 蓄电池放电数据记录

Fig.7 Data diagram recorded for battery's discharge

放电过程中本装置每 5 min 自动记录一次蓄电池组电压数据，以实现放电过程中蓄电池组电压变化的监控。放电装置通过 RS232 与 PC 机完成串口数据通信。如图 7 所示，PC 端放电监控软件可方便显示“操作日期”、“累积放电时间”、“放电电流”、

“放电安时数”等数据,并以报表形式显示放电过程中记录的蓄电池组电压数据。通过每 5 min 记录的蓄电池组电压数据,PC 端软件可直观地以曲线形式反映出蓄电池电压的变化过程,如图 8 所示,便于操作人员的监控与分析工作。



图 8 放电过程蓄电池组电压曲线

Fig.8 The volt waveform of the battery's discharge

5 总结

蓄电池放电装置是蓄电池应用中不可缺少的一种设备。鉴于节能减排概念的深入人心和大容量蓄电池组的广泛应用,研制出了一种大容量智能型能馈式蓄电池放电装置。该放电装置放电过程自动控制,并自动记录相关放电数据,实现了无人值守,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李立伟, 邹积岩. 蓄电池放电能量并网装置[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (6): 81-83.
LI Li-wei, ZOU Ji-yan. An Instrument for Connecting the

Discharge Energy of Battery to Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (6): 81-83.

- [2] 姚为正, 潘三博, 李正力, 等. 正弦波逆变蓄电池回馈放电装置的设计[J]. 电力电子技术, 2002, 36 (2): 10-12.
YAO Wei-zheng, PAN San-bo, LI Zheng-li, et al. Design of Battery Discharge Device Feeding Energy Back with Sine Wave Inverter[J]. Power Electronics, 2002, 36 (2): 10-12.
- [3] 林征宇, 吴建德, 何湘宁. 基于DSP带同步锁相的逆变器控制[J]. 电力电子技术, 2001 (2): 24-25.
LIN Zheng-yu, WU Jian-de, HE Xiang-ning. DSP-Based Control Strategy for Single-phase Inverters with Synchronous Phase Locked Loop[J]. Power Electronics, 2001 (2): 24-25.
- [4] Liu Hyo L, Choi Nam S, Cho Gyu H. DSP Based Space Vector PWM for Three-level Inverter with DC-link Voltage Balancing[A]. in: IEEE-IECON[C]. 1991.
- [5] Astrom K J, Hagglund, et al. PID Controllers, Theory, Design, and Tuning Instrument[J]. Society of America, 1995.

收稿日期: 2009-06-20; 修回日期: 2009-08-07

作者简介:

米高祥 (1981-), 男, 硕士, 研究方向为电力电子与电力传动; E-mail: migaoxiang@xjgc.com

陈世锋 (1982-), 男, 硕士, 研究方向为电力电子与电力传动;

张建兴 (1976-), 男, 工程师, 研究方向为电力电子与电力传动。

(上接第 74 页 continued from page 74)

参考文献

- [1] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems[S]. IEEE Std. 929-2000.
- [2] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems[S]. IEEE Std. 1547-2003.
- [3] Senroy N, Heydt G T. A Conceptual Frame-Work for the Controlled Islanding of Interconnected Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2006, 21(2): 1005-1006.
- [4] LI Yun-wei, Vilathgamuwa D M, Chiang Loh Poh. Microgrid Power Quality Enhancement Using a Three Phase Four-wire Grid Interfacing Compensator[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 2005, 41(6): 1707-1719.
- [5] Jeraputra C, Enjeti P. Development of a Robust Anti-Islanding Algorithm for Utility Interconnection of Distributed Fuel Cell Powered Generation[J]. IEEE Trans

on Power Electronics, 2004, 19 (5): 1163-1170.

- [6] Ye Z H, Kolwalkar A, Zhang Y, et al. Evaluation of Anti-islanding Schemes Based on Non Detection Zone Concept[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19(5): 1171-1176.
- [7] Ropp M, Begovic M, Rohatgi A, et al. Determining the Relative Effectiveness of Islanding Detection Methods Using Phase Criteria and Non Detection Zones[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2000, 15 (3): 290-296.
- [8] Lopes J A P, Moreira C L, Madureira A G. Defining Control Strategies for Microgrids Islanded Operation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 916-924.

收稿日期: 2009-03-03; 修回日期: 2009-05-21

作者简介:

曹海燕 (1973-), 女, 副教授, 研究方向为电力电子技术应用、测试计量技术等。E-mail: beastles@126.com