

基于 DSP 的蓄电池充放电装置研究

周永鹏, 韦 萌

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要:介绍了以 DSP 为核心的基于 SPWM 双向逆变技术的蓄电池充放电控制系统设计方案;给出了 3 种可行的控制方法及其结果。实验结果证明了该系统精确、稳定并具有节能效果。

关键词:整流装置; 逆变器; 功率因数; 控制

中图分类号: TM912

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2007)02-0038-03

Research on Battery Charging and Discharging Device based on DSP

ZHOU Yong-peng, WEI Meng

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract:This paper presents a scheme for storage battery's recharge and discharge control system based on SP-WM bi-directional inverter technique and DSP.Three control methods and results which showed that the performance of this system is precision and stabilization are presented.The system also can save energy obviously.

Keywords:rectifying equipment; inverter; power factor; control

1 引言

在蓄电池生产过程中,为了保证产品质量,常需对成品蓄电池进行几次充放电处理。传统充放电设备通常采用晶闸管作为整流逆变功率器件,装置比较复杂,交流输入、输出的功率因数较低,对电网的谐波污染也比较大。为此,设计了一种三相 SPWM 整流逆变蓄电池充放电装置。它采用 IGBT 作为功率变换器件,交流侧以精密锁相的正弦波电流实现电能变换,可获接近于 1 的功率因数,实现对蓄电池的充放电处理,显著降低了对电网的谐波污染,满足了绿色环保和节能的设计要求。

2 系统结构及工作原理

图 1 示出设计的蓄电池生产用充放电控制系统结构^[1]。该系统从原理上可划分为 SPWM 双向逆变和 DC/DC 变换充放电两个子系统。前者,在蓄电池充电时,通过三相 PFC 升压控制实现 AC/DC 变换,将交流电网电压转换成蓄电池充电所需的直流电压;在蓄电池放电时,通过三相 PFC 恒压逆变控制实现 DC/AC 变换,将蓄电池释放的能量回馈电网。后者,完成逆变直流电能与蓄电池电能的转换,以保证蓄电池充放电过程中所要求的电流、电压和时间的控制。各子系统采用单独的 DSP 管理,DSP 部分以模板化直插结构直接插入工控机的主板,工控机承担整个系统的监控管理。系统由 1 个逆变子系统和 n 个(实验样机设计为 15 个)充放电电子系统组成。

定稿日期:2006-06-23

作者简介:周永鹏(1952-),男,广西桂林人,硕士,教授。

研究方向为电力电子及运动控制。

系统工作时,可通过工控机编组,使 k 路蓄电池工作于充电状态; $n-k$ 路工作于放电状态,这样蓄电池能量就可直接在系统内部进行交换,从而显著提高了节能效果。图 2 示出三相 SPWM 双向逆变电路采用的典型电压型结构主电路^[2]。

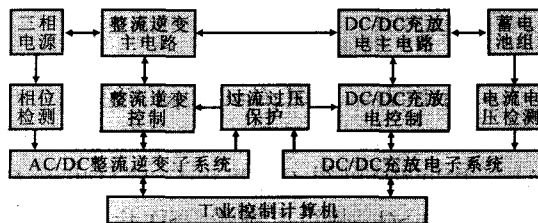


图 1 设计的蓄电池生产用充放电控制系统结构

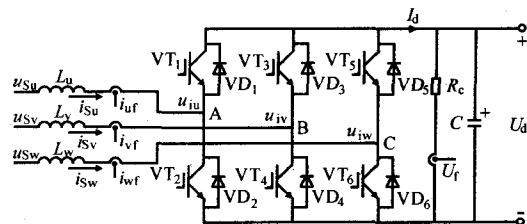


图 2 三相 SPWM 双向逆变电路中典型电压型结构主电路

三相反馈电流 i_{uf} , i_{vf} , i_{wf} 用于跟踪由 DSP 产生的电流给定信号,从而控制直流端电压 U_d 的稳定; U_d 的反馈电压 U_f 的值经 DSP 采样后通过电压调节得到作用于电流内环的电流给定值。

图 3 示出单相 PWM 整流电路的相量图^[2]。虽然该系统采用的是三相 PWM 整流电路,但其工作原理与单相电路相似,只是从单相扩展到三相。对电路进行 SPWM 控制,在桥的交流输入端 A, B, C 可得到三相桥臂的 SPWM 电压 u_{iu} , u_{iv} , u_{iw} 。对其各相按图 3 的相量图进行控制,就可使各相电流 i_u , i_v , i_w 为正

弦波,且与电压同相位,功率因数近似为 1。

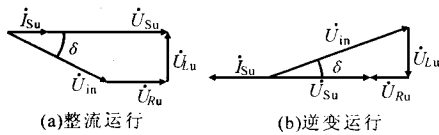


图 3 单相 PWM 整流电路相量图

图中 \dot{U}_{su} ——u 相交流电源电压相量
 \dot{U}_{in} ——变换器桥臂交流输入端电压相量
 \dot{U}_{Lu} ——电感电压相量 \dot{U}_{Ru} ——电阻电压相量
 \dot{I}_{su} ——交流电流相量 δ —— \dot{U}_i 滞后 \dot{U}_s 的相角

由图可得:

$$\begin{cases} u_{Lu} = u_{in} \sin \delta \\ u_{Ru} = u_{su} - u_{in} \cos \delta & \text{(整流)} \\ u_{Ru} = u_{in} \cos \delta - u_{su} & \text{(逆变)} \end{cases} \quad (1)$$

设 $X = \omega L$ 为相电感 L 的电抗, i_d 与 i_q 分别为逆变器的有功电流与无功电流, ϕ 为电流 i_{su} 滞后电源相电压的功率因数角, P 为系统有功功率。

则 $i_{su} = i_d + j i_q \quad (2)$

又 $j X i_{su} = u_{Ru} + j u_{Lu}, \quad X i_d = u_{Lu}, \quad i_d = \frac{u_{Lu} \sin \delta}{X} \quad (3)$

$P = 3 u_{su} i_{su} \cos \phi = 3 u_{su} i_d = 3 \frac{u_{su} u_{Lu} \sin \delta}{X} \quad (4)$

由此可知,控制 u_{in} 的大小和相位 δ 即可控制电流的大小和流向,从而控制功率的大小和方向。通过对 U_d 的恒压控制,实现逆变器的功率流向,从而实现能量的自动双向流动。

3 电压控制器的设计

图 4 示出 AD/DC 逆变控制框图。该系统采用电压、电流双闭环控制结构,其电压控制对象为直流量;电流控制对象为交流量。电压外环采用数字算法予以实现;电流内环采用模拟电路予以实现,以确保快速进行电流控制,提高系统工作的可靠性。同时,为了使误差电流与给定相位保持一致,电流调节器采用比例控制。

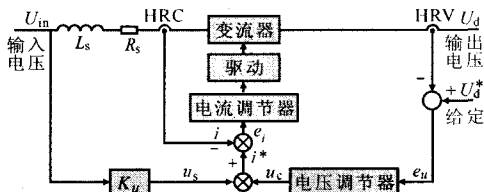


图 4 AD/DC 逆变控制框图

蓄电池充电时,输出电压 U_d 低于给定值 U_d^* ,则电压调节器输出正的 u_c ,输入电压 U_{in} 经过一个比例因子 K_u 后得到一个与 U_{in} 同相的单位正弦 u_s , u_c 与 u_s 的乘积作为给定电流 i^* ,与 U_{in} 同相,控制 i 跟随 i^* ,则能量就以单位功率因数从电网流向蓄电池。此

时,变流器工作在整流状态。蓄电池放电时, U_d 高于 U_d^* ,则 u_c 为负值, u_c 与 u_s 相乘得到与 U_{in} 反向的给定电流 i^* ,控制 i 跟随 i^* ,能量就能以单位功率因数从蓄电池流向电网。此时,变流器工作在逆变状态。电压外环产生输入给定电流 i^* ,其幅值表明了功率的大小;符号决定了功率的流向;相位决定了能量传递的功率因数。电流内环使输入电流跟踪给定,从而实现可逆的单位功率因数变换。

系统采用 TMS320LF2407A DSP 作为主处理器,因其有丰富的外设和较高的运算速度,由此可实现较复杂的控制及高精度的数据处理。在此,通过对 PI 控制、IP 控制和变速积分 PI 控制三种电压调节器算法的实验得出其优劣,从而选择最适合该系统的控制算法进行电压调节。

(1) PI 控制算法和 IP 控制算法

图 5a 示出 PI 调节器结构图。由图可得其传递函数为:

$$\frac{U_d(s)}{U_i(s)} = \frac{K_i G(s) + s K_p G(s)}{K_i G(s) + s[1 + K_p G(s)]} \quad (5)$$

图 5b 示出 IP 调节器的结构图^[3]。由图可得传递函数为:

$$\frac{U_d(s)}{U_i(s)} = \frac{K_i G(s)}{K_i G(s) + s[1 + K_p G(s)]} \quad (6)$$

IP 算法的算式为: $U(k) = K_i \sum_{j=0}^{k-1} E(j) - K_p U_d \quad (7)$

比较式(5)和式(6)可见,两种系统的传递函数分母相同,故 IP 调节器可持有与 PI 相同的无静差调节和稳定特性,同时因它在传递函数上比 PI 少一个零点,因此具有比 PI 更好的高频衰减特性,容易满足较长采样周期数字调节的稳定性要求,能有效抑制混迭现象。系统实验证明,采用 IP 调节,调节器参数很容易整定,可使系统达到稳定、无静差和很小的超调,不过在快速性方面将有损失。

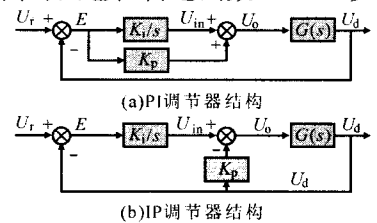


图 5 PI 和 IP 两种调节器结构图

(2) 变速积分 PI 控制算法^[3]

在传统的 PI 算法中,因积分增益 K_i 为常数,在整个调节过程中,其值不变。但系统对积分的要求是偏差大时,积分作用减弱,否则会产生超调,甚至出现积分饱和;反之则加强,否则不能满足准确性的要求。引进变速积分 PI 控制算法能使控制性能得以满足。其基本思路是偏差大时,积分累积速度慢,积分作用弱;偏差小时,积分累积速度快,积分作用强。为此,设置系数 $f[E(k)]$,它是偏差 $E(k)$ 的函数,

当 $E(k)$ 增大时, $f[E(k)]$ 减小; 反之则增大。每次采样后, 用 $f[E(k)]$ 乘 $E(k)$, 再进行累加。 $f[E(k)]$ 与 $E(k)$ 的关系可表示为:

$$f[E(k)] = \begin{cases} 1 & E(k) \leq B \\ \frac{A+B-|E(k)|}{A} & B < E(k) \leq A+B \\ 0 & E(k) > A+B \end{cases} \quad (8)$$

由此可得变速积分 PI 算法的算式为:

$$U(k) = K_p E(k) + K_i \sum_{j=0}^{k-1} E(j) f[E(k)] \quad (9)$$

在该系统中, 采用简单的变速积分 PI 控制, 取 $A=32, B=8$ 。当误差大于 40 时, 系统相当于采用纯比例调节, 因此响应速度加快; 当误差小于 40 并减小到 8 的过程中, 积分作用开始并逐渐增强, 响应过程快速平滑; 当误差小于 8 时, 完全引入积分作用, 能快速有效地消除静差。该方法可有效抑制系统的超调, 同时也可兼顾系统的响应速度。

4 实验结果

利用 PI, IP 和变速积分 PI 数字电压调节器的逆变器系统对该设计方案进行了大量实验。结果可见, 采用变速积分 PI 数字电压调节器的综合性能优于前两种算法。图 6 示出采用 PI 调节, IP 调节, 以及变速积分 PI 调节时用 100M-Tektronix TDS220 存储示波器获取的一组直流母线电压 U_d 的实验对比波形。逆变器起动时 U_d 由 150V 升至 200V。由图 6 可见, 3 种调节器在无静差调节方面的性能相同, 而 IP 的上升时间明显大于另外两种算法; 在抑制超调及高频噪声诱发振荡方面, 变速积分 PI 法有着明显的优势, PI 系统的起动超调超过 20V, IP 系统的超调不到 10V, 而变速积分 PI 系统则无超调, 无振荡, 能很快进入稳定状态; 在抗干扰性能方面, 变速积分

PI 系统也具有同样的特点。

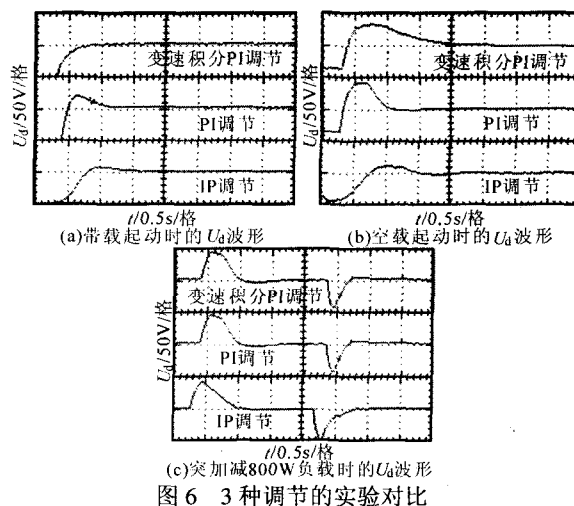


图 6 3 种调节的实验对比

5 结论

介绍的逆变器采用了直流母线电压的恒压数字调节, 可方便地实现电网能量和蓄电池能量的双向流动, 精密锁相的 SPWM 控制可获得接近于 1 的功率因数, 理论分析和系统实验表明, 在 DSP 控制采样周期等于交流电源周期的交流控制系统中, 采用变速积分 PI 调节更易获得小超调、无振荡、无静差的控制性能指标。该设计系统可携带 15 路 3A 蓄电池组 (每组 12V 蓄电池 15 节串联) 进行充放电电子系统工作, 每路工作由工控机编程独立控制, 通过对充电组和放电组的合理配置, 可获得显著的节能效果。

参考文献

- [1] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 黄一夫. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [3] 周永鹏, 罗冷. 三相 SPWM 双向逆变器电压控制的数字化设计[J]. 电力电子技术, 2004, 38(1): 42-44

关于召开六届五次理事扩大会议的通知

中国电工技术学会电力电子学会定于今年十月中、下旬在广西桂林召开学会第六届理事会第五次会议。会议主要内容:

- (1) 电力电子最新技术发展报告(综述、信息内容为主)。
- (2) 讨论酝酿电力电子学会理事会换届事宜(根据学会章程规定的换届原则、方法, 讨论、酝酿并提出新一届理事会组成人员的候选人名单)。
- (3) 听取企业家的产品、技术发展报告。

请各位理事, 根据上述内容, 积极撰写最新电力电子技术发展的论文, 在会上报告交流, 同时, 酝酿推荐新一届理事候选人。大会欢迎业界的企业家、专家等各位朋友到会报告交流。

中国电工技术学会电力电子学会

2007 年 2 月 2 日