

基于 PWM 整流器的电动汽车充电机研制

罗云飞

(南车电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001)

摘 要：设计了一种采用三相电压型 PWM 整流器主电路拓扑的电动汽车蓄电池充放电装置，主要对装置的系统构成及 PWM 整流器的控制策略进行分析研究。实验结果表明，该充电机静态性能良好、网侧电流波形正弦化、功率因数高，可实现能量双向流动。

关键词：PWM 整流器；电动汽车；充电机；蓄电池

中图分类号：TM461；TM910.6 **文献标识码：**A **文章编号：**2095-3631(2012)02-0039-03

Research on Electric Vehicle's Charger Based on PWM Rectifier

LUOYun-fei

(CSR Research of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: A charging-discharging device of electric vehicle's battery is designed based on main circuit topology of three-phase voltage source PWM rectifier. The system structure of the device and control strategy of PWM rectifier are mainly analyzed and researched. The experiment results indicate that the charger has some advantages such as better dynamic and static performance, sinusoidal grid-current waveform, high input power factor, and bidirectional transformation of energy.

Key words: PWM rectifier; electric vehicle; charger; battery

0 引言

随着国家新能源政策的逐步实施，以及我国电动汽车的快速发展，许多城市都在繁华地带开通了电动汽车公交线路，并建立电动汽车充电站。因此，对电动汽车充电电源控制技术进行研究，研制大功率高性能的充电机对于构建电动公交车公共充电站具有重要意义。

三相电压型 PWM 整流器具备功率因数高、网侧电流正弦化、能量双向流动等优点，应用在电动汽车充电机中，可解决电网污染、节能等问题。

1 充电机总体结构

充电机的总体结构如图 1 所示。三相电压型 PWM 整流器主电路由 IGBT 模块构成，输入端有降压变压器和电

抗器，输出端有电容滤波。控制系统采用双 DSP 结构，DSP 之间通过双口 RAM 进行数据交换，其中以 TI 公司高性能浮点 DSP TMS320C31 为核心，负责完成模拟信号采样，控制算法的计算以及 PWM 生成；另外一片 DSP TMS320F240 完成同步信号锁相、变流器开关量信号控制、各种保护与故障信号检测以及与上位机通信等功能。

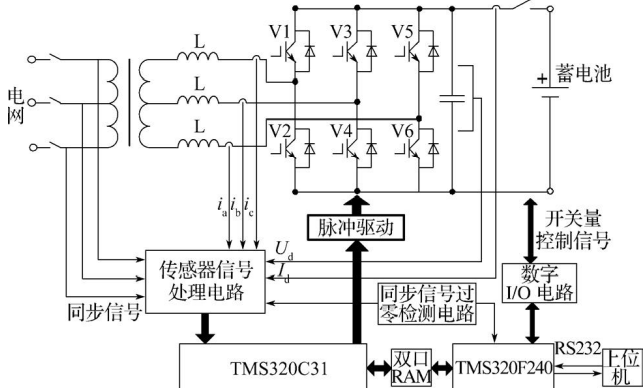


图 1 充电机系统结构框图
Fig.1 System structure of charger

收稿日期：2012-02-09
作者简介：罗云飞（1978-），男，硕士研究生，工程师，主要从事工业变频器控制技术的研究。

2 充电机控制原理

充电机采用三相电压型PWM整流器拓扑结构(图1)。假设三相电源(E_a, E_b, E_c)平衡,网侧电感 L 是线性的,可得充电机的状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{bmatrix} = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} E_a - Ri_a - V_a \\ E_b - Ri_b - V_b \\ E_c - Ri_c - V_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: E_a, E_b, E_c ——变压器二次侧三相输出电压; V_a, V_b, V_c ——电感后端整流器三相输入电压; R ——线路与开关管的等效电阻; i_a, i_b, i_c ——三相输入电流。

将式(1)变换到 dq 坐标系下为:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} E_d - Ri_d - V_d - \omega Li_q \\ E_q - Ri_q - V_q - \omega Li_d \end{bmatrix} \quad (2)$$

从式(2)可以看出, d, q 轴变量互相耦合,给控制系统设计带来一定困难,因此采用前馈解耦控制策略^[1-3],电流调节器采用PI调节器。由式(2)构造的电流调节器方程为:

$$\begin{bmatrix} V_d^* \\ V_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(K_{dp} + K_{di}/s) \times (i_d^* - i_d) + E_d - \omega Li_q \\ -(K_{qp} + K_{qi}/s) \times (i_q^* - i_q) + E_q + \omega Li_d \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: V_d^*, V_q^* —— d, q 轴的电压给定; i_d^*, i_q^* —— d, q 轴的电流给定; K_{dp}, K_{di} —— d 轴PI调节器比例和积分系数; K_{qp} 和 K_{qi} —— q 轴PI调节器比例和积分系数。

蓄电池充电模式有恒压充电和恒流充电等,需要控制充电机的输出电压和输出电流,因此设计了电压闭环PI调节器和电流闭环PI调节器,调节器方程如式(4)、式(5)。

$$i_d^* = \frac{V_{dc} \times I_{dc}}{3 \times \frac{1}{2} U_m} + K_p \times (V_{dc}^* - V_{dc}) + K_i \times \int (V_{dc}^* - V_{dc}) dt \quad (4)$$

$$i_d^* = \frac{V_{dc} \times I_{dc}}{3 \times \frac{1}{2} U_m} + K_{pi} \times (I_{dc}^* - I_{dc}) + K_{ii} \times \int (I_{dc}^* - I_{dc}) dt \quad (5)$$

式中: K_p, K_i, K_{pi}, K_{ii} ——PI调节器比例和积分系数。

式(5)第一项是由根据功率平衡计算出的电流给定值,共同构成 V_d^* ,以减轻PI调节器的负担。

利用式(3)、(4)和(5)可以构建充电机的控制算法。控制框图如图2所示^[2-3]。

控制思想是从变压器二次侧A/D采样得到电压(U_a ,

U_b, U_c)和电流(i_a, i_b, i_c),然后经过三相静止坐标系(a, b, c)向旋转坐标系(d, q)变换,得到 $d-q$ 轴分量 E_d, E_q, i_d 和 i_q ;直流电压(恒压模式)或电流(恒流模式)给定值和反馈值的差值通过调节器的作用产生电流有功分量给定值 i_d^*, i_q^* 设定为0,实现PWM整流器单位功率因数运行;通过电流调节器前馈解耦环节,输出电压控制指令 V_d^* 和 V_q^* ;然后将控制指令从旋转坐标系(d, q)转换到两相静止坐标系(α, β),得到两个分量 U_{ra}^*, U_{rb}^* ;最后通过SVPWM调制算法^[4]生成相应6路脉冲信号,控制三相整流桥开关器件的通断。整个控制系统由1个电压/电流外环和2个交流电流内环构成。

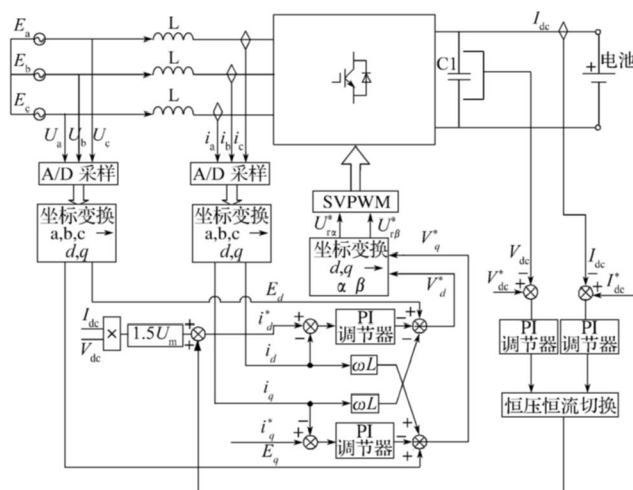


图2 充电机控制框图

Fig.2 Schematic diagram of charger control system

3 试验结果

根据以上分析,研制了一台基于三相PWM整流器的蓄电池充电机,参数如下:充电机容量100 kVA,三相交流输入线电压380 V,经变压器后输出三相交流200V(频率50 Hz),交流侧电感为0.9 mH,中间电容为3.2 mF,电动汽车蓄电池放完电后电压为420 V,充满时电压为510 V。

试验中,充电机先空载启动,建立与电池电压(420 V)相等的中间电压,然后投入电池负载,以60 A电流恒流充电,电池电压升至510 V时转入恒压充电直至充电电流降至5 A,充电结束;放电时,充电机先启动,建立与电池电压相等的中间电压,然后投入电池,以40 A电流恒流放电,电池电压降至420 V时转入恒压放电直至放电电流降至5 A,放电结束。

(1) 空载启动过程

充电机空载启动直流电压建立过程波形如图3所示,从波形中可以看到,空载启动过程较平稳。

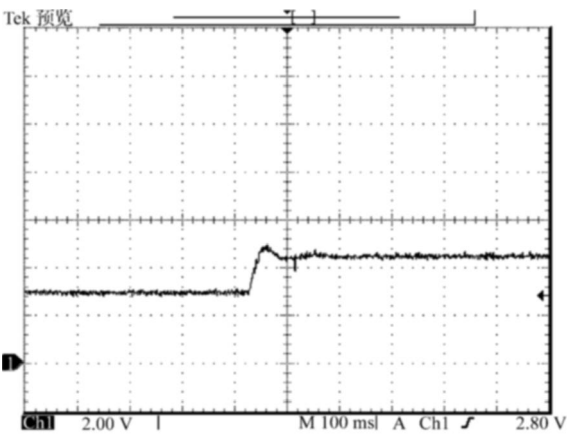
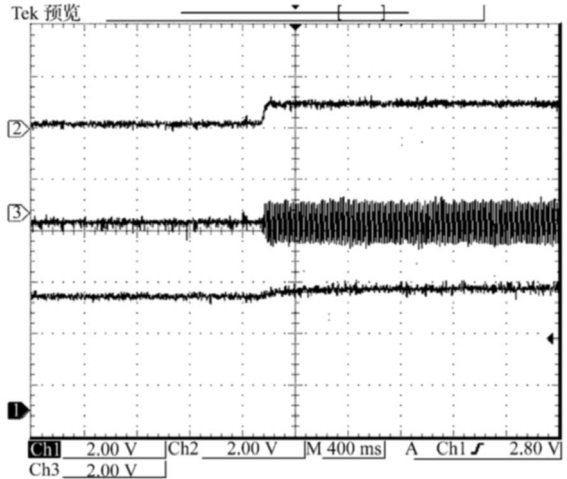


图3 直流电压波形
Fig.3 Waveform of DC voltage

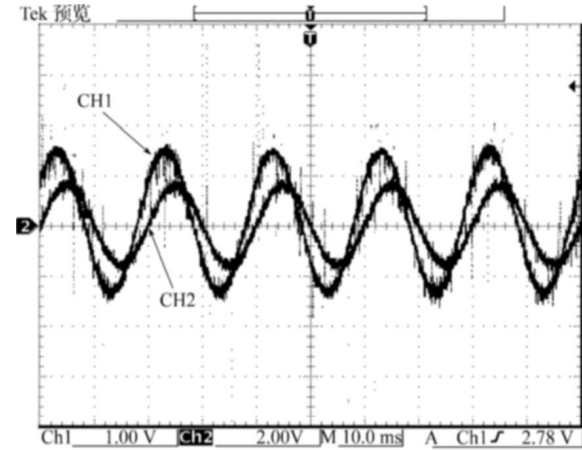
(2) 恒流充电过程

充电机启动后投入电池负载充电时的波形如图4所示, 充电时a相电流和线电压 u_{ab} 波形如图5所示。



CH1 ——中间直流电压波形；CH2 ——充电电流；CH3 ——交流a相电流

图4 充电机恒流充电
Fig.4 Constant current charging of charger



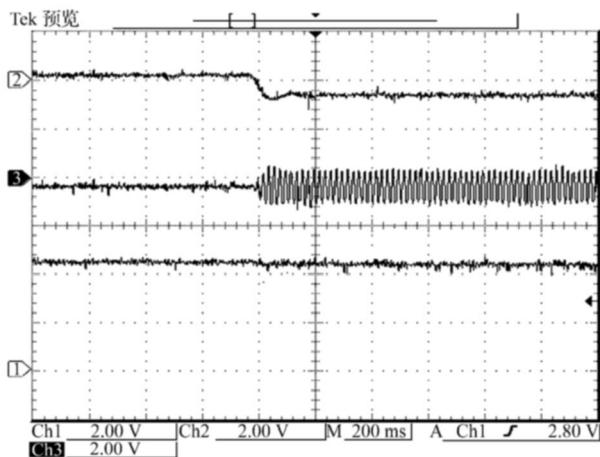
CH1 ——线电压 u_{ab} 波形；CH2 ——交流a相电流

图5 充电过程a相电流和线电压 u_{ab} 波形
Fig.5 The waveforms of a-phase current and line voltage u_{ab} when charging

(3) 放电过程

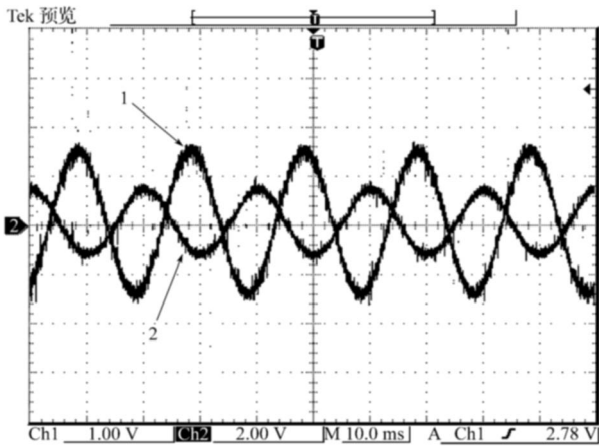
充电机启动后投入电池负载放电时的波形如图6所示,

放电时a相电流和线电压 u_{ab} 波形如图7所示。



CH1 ——中间直流电压波形；CH2 ——放电电流；CH3 ——交流a相电流

图6 充电机恒流放电
Fig.6 Discharging of the charger in constant current



CH1 ——线电压 u_{ab} 波形；CH2 ——交流a相电流

图7 放电过程a相电流和线电压 u_{ab} 波形
Fig.7 The waveforms of a-phase current and line voltage u_{ab} when discharging

4 结语

本文介绍了一种基于三相PWM整流器的电动汽车蓄电池充电机的系统构成, 重点研究了PWM整流器的控制算法。实验结果表明, 该蓄电池充电机可实现网侧电流正弦化、单位功率因数、能量双向流动, 具有良好的动静态性能, 达到抑制谐波、节约能源的目的。

参考文献：

[1] 张崇巍, 张兴. PWM整流器及其控制策略[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
[2] 王笑非, 孔庆德, 郭世明. 应用脉冲整流器的蓄电池充放电系统[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004, 27(6): 23-25.
[3] 高志光, 蔚兰, 郭平华, 等. 三相电压型PWM整流器控制方法研究[J]. 机车电传动, 2006 (2): 43-45.
[4] 王立欣, 靳刚, 程树康. 混合电动车用PWM整流器控制方法的研究[J]. 电机与控制学报, 2005, 9(2): 199-202.