

文章编号: 1006 - 4729(2011)03 - 0280 - 05

基于 PWM 的电动汽车 V2G 双向 充放电装置研究

宋维庭, 耿新民

(上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090)

摘要: 车电互联(V2G)技术实现了电网与电动汽车的双向互动,是智能电网技术的重要组成部分.从V2G技术的概念出发,分析了V2G双向充放电装置的基本结构,并采用同步旋转坐标系电流控制与电压空间矢量控制相结合的方法对系统进行控制,实现了电动汽车与电网的双向能量互动.

关键词: 车电互联; 电动汽车充放电; 智能电网

中图分类号: TM910.6; TP273+.5 **文献标志码:** A

Research on Charge and Discharge Equipment of V2G Technology Based on PWM

SONG Wei-ting, GENG Xin-min

(School of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai University of
Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: V2G technology is an important part of the smart grid, which realizes the power inter-transformation between Power Grid and electric vehicles. V2G technology is introduced and the structure of charging and discharging system in V2G technology is analyzed. Under synchronous rotating frame, the combination current-controlled and Voltage space vector control method is adopted, which carries out the power inter-transformation between Power Grid and electric vehicles.

Key words: Vehicle to Grid; vehicle charge/discharge; smart grid

随着电网智能水平以及电动汽车保有量的大幅提高,未来电动汽车的车载电池可能作为智能电网中的移动储能单元,在电网高峰负荷时段由电动汽车车载电池向电网传输电能,而在电网非高峰负荷时段由电网为电动汽车车载电池充电,这种双向的电能流动称为车电互联(Vehicle to Grid, V2G). V2G技术的应用能够有效降低电网峰谷差,降低传统调峰备用发电容量,提高电网利

用效率;而且在可再生能源发电比重较高的微电网系统中可以有效平衡可再生能源发电功率的波动性和电网负荷状态之间的不同步性,辅助电网有效接纳波动的可再生能源发电容量^[1].

1997年, KEMPTON第一次提出了电动汽车向电网供电的理念,其领导的团队对电动汽车可向电网提供的各种服务进行了经济效益评估,包括调峰、旋转备用、频率调节等^[2]. 2002年, AC

收稿日期: 2010 - 11 - 05

通讯作者简介: 宋维庭(1986 -),男,在读硕士,山东济宁人.主要研究方向为电动汽车充放电技术. E-mail: song-wei-ting@163.com.

Propulsion 公司进行了 V2G 的实践,对一辆 Volkswagen Beetle 进行改装,使其可与电网进行双向能量转换,并安装有无线通讯装置,可接受充放电命令^[3]. 2007 年, KEMPTON 领导的团队成功将一辆“eBox”(Toyota Scion 改装车)接入 PJM 电网,通过电力线路载波接收电网的频率调节信号,为电网提供频率调节服务. 2010 年,上海世博园区国家电网企业馆进行了电动汽车与电网双向互动的展示. 根据电网调度指令,可以完成不同模式下的充放电功能.

目前,晶闸管移相控制仍是国内使用最广泛的电动汽车蓄电池充放电技术. 但这种技术存在电网侧电流波形畸变严重、功率因数低、对电网污染严重等缺点^[3]. 随着电力电子技术的发展,采用 DC/DC 变换器技术的充放电系统逐步得到推广. 该系统由隔离的 DC/DC 变换器和降压斩波器组成. 缺点是在电池放电时只能对电阻放电,电能不能回馈电网,因而会造成能量的大量浪费. 为此,在常规电力电子变换器拓扑结构的基础上,本文提出一种由电压型 PWM 整流器构成的具有功率因数高、工作频率高、体积小和谐波含量小等特点的电动汽车 V2G 双向充放电装置,其放电能量可以全部回馈电网,以提高能量的利用率.

1 基于 PWM 的 V2G 双向充放电装置设计

1.1 V2G 双向充放电装置的基本结构

图 1 为 V2G 双向充放电装置的基本结构^[4]. 其主回路主要由三相交流电源、变流模块、软启动电路和蓄电池组 4 部分构成. 变流模块采用由 IGBT 模块构成的电压型 PWM 整流器,输出采用电容滤波.

PWM 整流器充电时工作在整流状态,放电时工作在逆变状态,蓄电池的电能回馈电网. 控制回路包含电压电流采样电路,同步信号处理单元,微机控制单元,电压电流采样电路完成电压、电流模拟信号的采集和处理,并将处理后的信号传送到微机控制单元;微机控制单元以高端 DSP 器件 TMS320F2812 为核心,在获取充放电指令、工作模式、参数设置等信息后,在自检系统无故障情况下,根据特定运行模式开始工作,利用检测电路采集到的电压、电流等反馈信号进行系统闭环控制并驱动变流模块单元,进而完成蓄电池的充放电控制. 故障诊断处理单元主要进行缺相、过流、超温等系统保护.

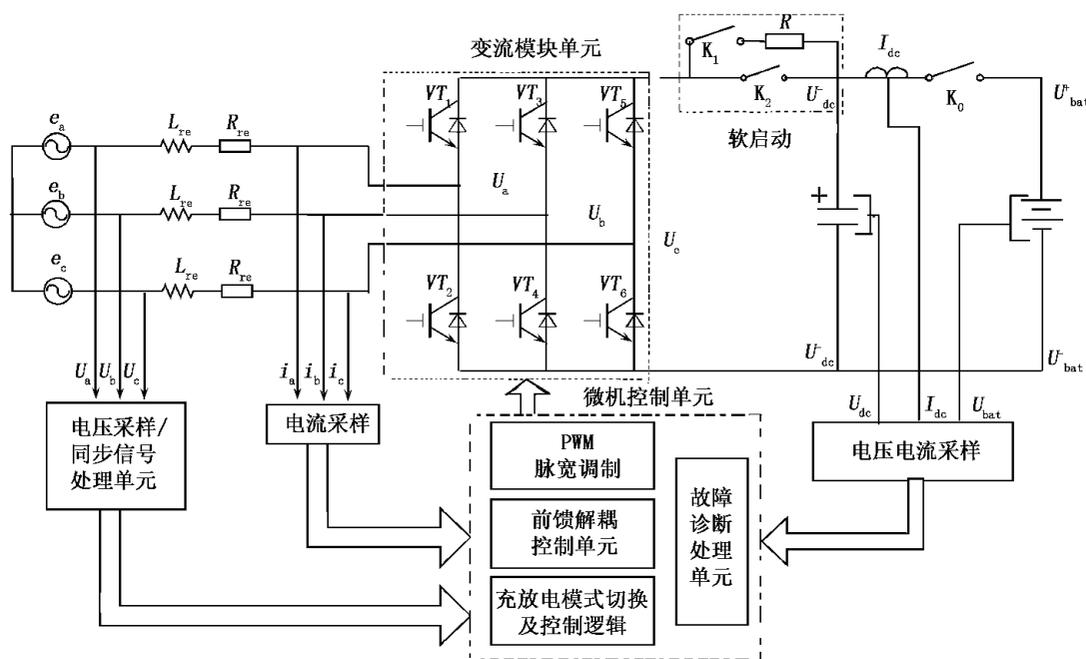


图 1 充放电系统基本结构示意图

1.2 V2G 充放电装置的控制方式

根据电动汽车车载电池的充放电特性,可将充电过程分为恒流充电、恒压限流充电、涓流充电 3 个阶段,如图 2 所示^[5]。

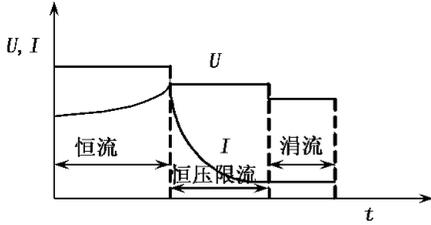


图 2 电池充放电特性

通常在充电初始时刻,蓄电池电压都较低,若以很大的电流对蓄电池充电,将有损电池寿命,因此宜采用恒压限流的充电方式。在恒定电流充电方式下,将输出电压充至设定的电池组端电压值,然后输出电压维持恒定不变。随着充电的进行,充电电流逐渐减小,当充电电流下降到程序设定的较小数值时,充电机维持这个小电流进行恒定电流充电,即为涓流充电,以此实现无人值守。

由上述分析可知,在充电初始阶段需要恒流充电电流。为实现阶段恒流,控制装置需要充电电流的反馈,构成电流外环闭环控制^[6]。充放电装置的主电路采用三相电压型变流器。为实现单位功率因数,消除网侧的谐波,需要控制内环电流。另外,为了判断装置进入哪一阶段的恒流,以及判断蓄电池两端的电压,必须具备蓄电池两端电压的检测控制环节。因此,为实现充放电装置的阶段恒流充放电和网侧的单位功率因数,系统必须采用电流的双闭环控制,即由蓄电池两端电压控制外环电流控制的指令电流,并由输出电压的反馈环节对充放电电压进行限压。

1.3 V2G 充放电装置的控制策略

由图 1 可直接得到 PWM 变流装置状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{bmatrix} = \frac{1}{L_{re}} \begin{bmatrix} e_a - R_{re}i_a - U_a \\ e_b - R_{re}i_b - U_b \\ e_c - R_{re}i_c - U_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

采用式(1)的三相静止坐标系进行三相 PWM 变流器的间接电流控制,是无法实现电流无静差控制和优良的动静态性能的。因此,为得到更好的控制效果,需采用同步旋转坐标系电流控制,即将式(1)变换到 d-q 坐标系下,可得微分状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \frac{1}{L_{re}} \begin{bmatrix} e_d - R_{re}i_d - U_d - \omega L_{re}i_q \\ e_q - R_{re}i_q - U_q + \omega L_{re}i_d \end{bmatrix} \quad (2)$$

由式(2)可知, d 轴与 q 轴变量互相耦合,会给控制系统设计带来一定的困难。为此可采用前馈解耦控制策略,引入比例积分型电流调节器,构造具有前馈解耦功能的电流调节器方程^[7],即:

$$\begin{bmatrix} U_d^* \\ U_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(K_{dp} + \frac{K_{di}}{s}\right)(i_d^* - i_d) + e_d - \omega L_{re}i_q \\ -\left(K_{dq} + \frac{K_{qi}}{s}\right)(i_q^* - i_q) + e_d + \omega L_{re}i_d \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: U_d^*, U_q^* ——d 轴和 q 轴的电压给定;
 K_{dp}, K_{di} ——d 轴 PI 调节器比例、积分系数;
 K_{dq}, K_{qi} ——q 轴 PI 调节器比例、积分系数。

为能单独控制蓄电池充电电压和充电电流或综合控制电流电压,将直流电压(电流)给定值与实际值的差值作为 PI 调节器输入。当调节器输出作为电流有功分量的给定 i_d^* 对应直流电压外环时,有:

$$i_d^* = K_p(U_{dc}^* - U_{dc}) + K_I \int (U_{dc}^* - U_{dc}) dt \quad (4)$$

式中: K_p, K_I ——PI 调节器的比例和积分系数。

当调节器输出作为电流有功分量的给定 i_d^* 对应直流电流环时,有:

$$i_d^* = K_p(I_{dc}^* - I_{dc}) + K_I \int (I_{dc}^* - I_{dc}) dt \quad (5)$$

本设计采用双闭环控制,其外环为直流电压控制环,内环为电流控制环。以电压外环 PI 调节器控制三相电压型 PWM 整流器的直流侧电压,输出电流有功分量的给定 i_d^* ,而电流内环的 PI 调节器则是按照电压外环的输出电流指令进行快速的电流跟踪控制。利用式(3)和式(4)或式(5),即可构建基于蓄电池充放电功能的同步旋转坐标系电流控制算法。其控制框图如图 3 所示^[8]。

通过 A/D 采样得到电压 U_a, U_b, U_c , 电流 i_a, i_b, i_c , 经过 $3s/2r$ 变换将整流器在三相坐标系中的系统变量变换到两相同步旋转 d-q 坐标系中,得

到 d 轴和 q 轴的分量 e_d, e_q, i_d, i_q [9]. 直流电压给定值 U_{dc}^* 与反馈值 U_{dc} (或直流电流给定值 I_{dc}^* 和反馈值 I_{dc}) 的差值通过 PI 调节器的作用产生 I_d^* . 通过电流调节器前馈解耦环节, 输出电压控制指令 U_d^* 和 U_q^* . I_d^* 和 I_q^* 通过 SVPWM 的空间矢量调

制算法, 即可生成相应 6 路驱动脉冲控制三相整流桥 IGBT 的通断, 最终满足蓄电池充放电特性的需求. 充放电模式切换控制主要实现恒流充电、恒压限流充电、涓流充电的阶段控制, 以及直流电压和直流电流外环控制的平滑切换动作.

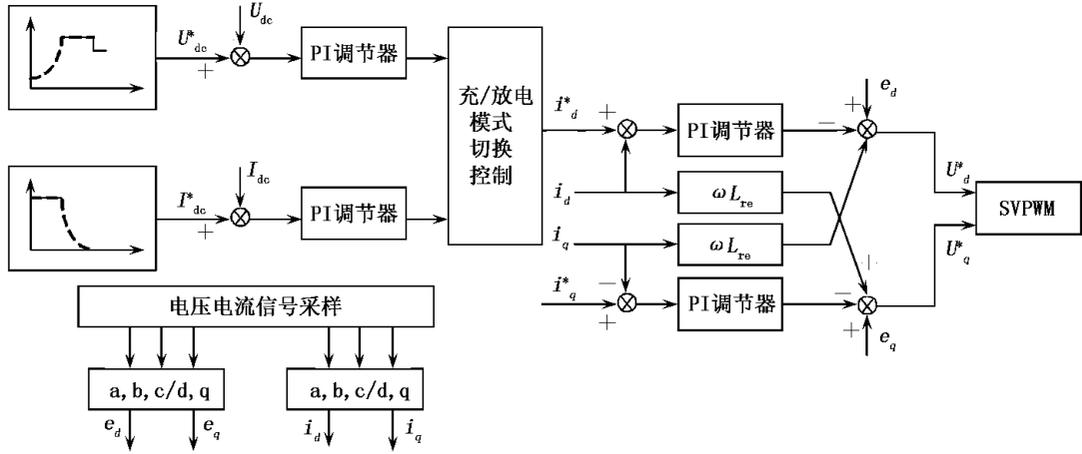


图3 充放电控制示意

2 系统仿真及分析

在 Matlab 7.0 中搭建的系统仿真模型如图 4 所示. 三相电压源峰值电压为 310 V, 交流侧电阻

为 0.5Ω , 交流侧电感为 0.01 H , 直流侧电容为 0.005 F , 直流侧电阻为 100Ω , 三角载波频率为 10 kHz , 幅值为 6×10^{-5} , 仿真时间为 0.2 s , 算法为 ode23tb, 最大步长设为 1×10^{-5} .

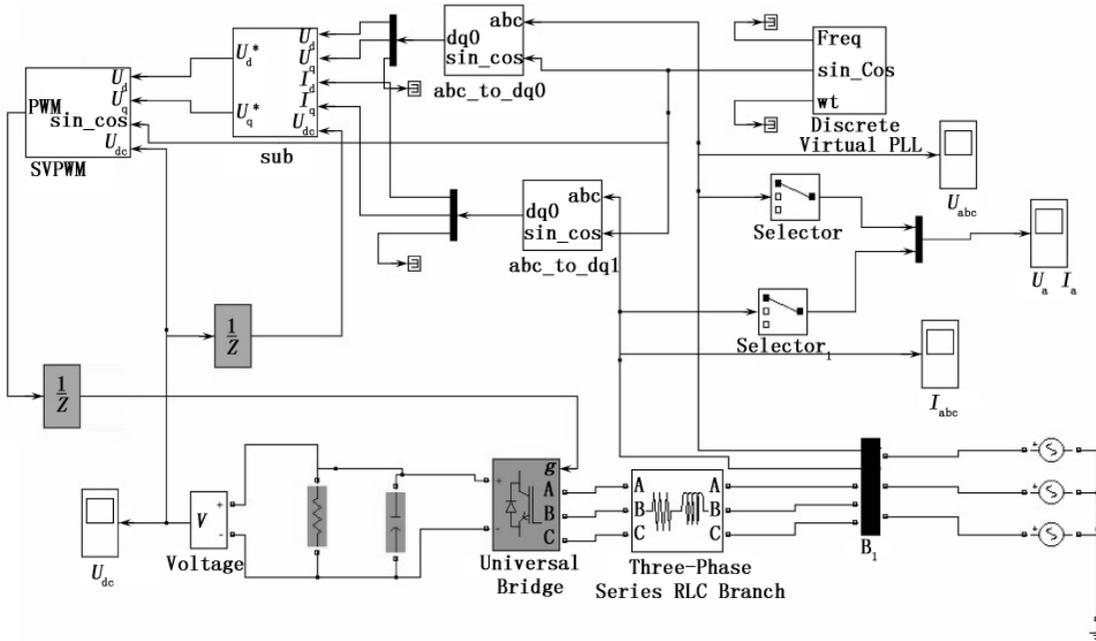


图4 系统仿真模型

图 5 给出了充电状态下 A 相电压和电流波形. 由图 5 可知, 系统在 0.1 s 后进入单位功率因

数整流运行状态, 交流侧电流为正弦波且与电压同相位, 幅值约为 10 A .

图6给出了直流电压波形.由图6可知,直流侧电压在0.1s后达到给定值600V并保持稳定.图7为系统运行在放电状态下的A相电压和电流波形.将直流侧负载设置为 $-100\ \Omega$,表示其发出功率.系统即运行在逆变状态.由图7可以看出,电流为正弦波并与电压反相位,幅值约为10A.

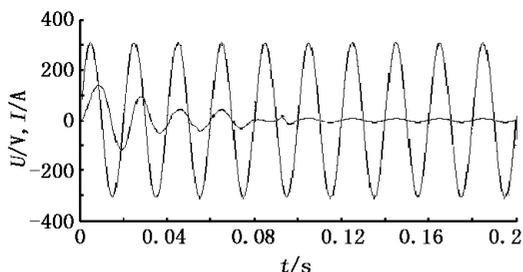


图5 充电状态下A相电压和电流波形

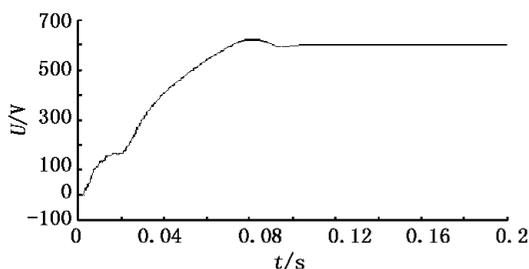


图6 直流电压波形

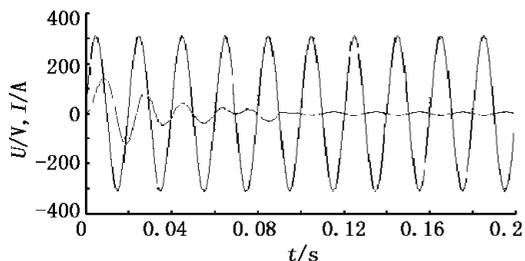


图7 放电状态下A相电压和电流波形

于蓄电池充放电时,可实现电网与电动汽车之间的双向能量互动,并可显著抑制谐波干扰,能有效改善电网运行质量,节约能源.因此,系统及其控制技术能够有效代替现有的晶闸管相控充放电装置,为电动汽车蓄电池提供稳定、高效的充放电电源.但目前V2G模式还处于试验示范阶段,仍需研究技术可靠、成本低廉的满足V2G商业化运行的双向变流及通信装备,同时,支持V2G模式的电网智能化水平及相应的电力市场环境还不具备,还需要电网通信、调度、控制与保护等先进技术的配合,以及峰谷电价政策、电动汽车接入电网提供调峰调频调整和需求响应等有偿服务政策的支持.

参考文献:

- [1] 刘振亚. 智能电网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 336-337.
- [2] BROWN J S. Situated cognition and the culture of learning [J]. Educational Reasercher 2010(1): 32-34.
- [3] CHRIS Dede. The evolution of constructivist learning environments: immersion in distributed virtual world [J]. Educational Technology, 2009(12): 16-17.
- [4] 张伟华. 基于PWM整流器的机车蓄电池充放电装置研究 [J]. 电力电子技术, 2009, 43(9): 76-77.
- [5] 蔚兰, 岳燕, 刘启中, 等. 电动汽车蓄电池充放电装置控制系统设计 [J]. 电力电子技术, 2009, 43(9): 69-70.
- [6] 沈茂盛, 刘志刚, 张钢, 等. 采用三相电压型PWM整流器的地铁牵引供电系统 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(7): 74-77.
- [7] 方宇, 袁迅, 邢岩, 等. 三相高功率因数电压型PWM整流器建模与仿真 [J]. 电工技术学报, 2009, 21(10): 44-49.
- [8] 贾继承, 刘德志. 单位功率因数整流器的仿真研究 [J]. 船电技术, 2008(2): 7-9.
- [9] 刘培国, 戴珂, 熊健. 一种基于DSP的三相电压型变换器电流控制技术 [J]. 电力电子技术, 2010, 37(3): 31-33.

(编辑 胡小萍)

3 结 语

采用基于PWM的V2G双向充放电装置应用