

DOI: 10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2017.6.09

# 基于 DCDC 变换器的铅酸蓄电池充电控制方法

孟 佳, 李 慧\*

(长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

**摘 要:** 针对车载铅酸蓄电池存在过充放电进而导致使用寿命、容量降低和充电时间较长的问题, 提出基于电池剩余电量(SOC)预测和模糊控制算法相结合的方法, 并且在将铅酸蓄电池剩余电量维持在健康范围内的约束条件下, 实现车载蓄电池高效、快速、安全的智能充电。首先通过建立电池的 SOC 预测模型, 根据模糊算法设计了智能充电控制器, 其次设计了基于 Buck 电路拓扑和模糊控制器的蓄电池智能充电拓扑, 并通过搭建 Simulink 进行仿真, 最终验证在蓄电池保证健康剩余电量的情况下, 智能充电曲线符合马斯充电曲线, 实现对于蓄电池快速、安全的充电, 有利于蓄电池的健康使用。

**关键词:** 剩余电量; Buck 电路拓扑; 铅酸蓄电池; 智能充电

**中图分类号:** TP 273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2017)06-0566-07

## Research on charge control method of lead acid battery based on DCDC vonverter

MENG Jia, LI Hui\*

(School of Electrical & Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of overcharge and overcharge in automotive lead-acid batteries, which leads to the problems of service life, capacity reduction and long charging time, this paper proposes a method based on SOC estimation and fuzzy control algorithm. Electricity is maintained within the constraints of the healthy range, to achieve efficient, fast and safe charging of car battery. First of all, the battery SOC prediction model is established, and the intelligent charging controller is designed according to the fuzzy algorithm. Secondly, the battery intelligent charging topology based on Buck circuit topology and fuzzy controller is designed and simulated by building Simulink. Finally, in the case of healthy remaining power, intelligent charging curve in line with Massey charging curve, to achieve fast, safe charging of the battery is conducive to the healthy use of batteries.

**Key words:** remaining power; Buck circuit topology; lead-acid batteries; smart charging.

收稿日期: 2017-04-27

基金项目: 长春工业大学与中国第一汽车股份有限公司技术中心合作项目(W65-GNZX-2016-0009)

作者简介: 孟 佳(1992-), 男, 汉族, 江苏徐州人, 长春工业大学硕士研究生, 主要从事汽车电子及控制技术方向研究, E-mail: 972074298@qq.com. \* 通讯作者: 李 慧(1973-), 女, 汉族, 吉林长春人, 长春工业大学教授, 博士, 主要从事汽车电子及控制技术、先进控制与系统仿真、复杂系统故障诊断与预报方向研究, E-mail: lihui@ccut.edu.cn.

### 0 引 言

车载蓄电池是汽车重要的辅助设备,但是往往存在过充或过放的问题,进而导致蓄电池寿命缩短。而其中车载铅酸蓄电池通常使用常规的充电方法,这种充电法的耗时较长且存在一定弊端。针对上述问题,文中提出一种基于电池剩余电量(SOC)检测的快速智能充电方法,通过实时对电池电压、电流等参数进行监测,再通过将电池的SOC的估算算法与模糊控制充电相结合,实现当SOC低于某个下限值时进行自动充电;当SOC高于某个上限值时,则停止充电,从根本上保证了电池不被过放电<sup>[1-2]</sup>。

### 1 SOC 定义

美国先进电池联合会(United States Advanced Battery Consortium)将SOC定义为在特定放电倍率下,电池剩余电量占相同条件下额定容量的百分比<sup>[3]</sup>:

$$SOC = \frac{Q_c}{Q_I} \quad (1)$$

式中: $Q_c$  —— 电池剩余电量;

$Q_I$  —— 以电流  $I$  放电一段时间后电池的容量<sup>[4]</sup>。

从式(1)中可以看出,当  $SOC=1$ ,代表电池充满电, $SOC=0$ ,代表电池理论上完全放电,剩余电量为 0;在实际使用过程中,为了尽量延长电池的使用寿命,一般不会对电池进行完全放电,因此实际 SOC 值也不可能为 0。

文中采取电动势法对电池 SOC 进行估算,选择电动势法的原因主要有两方面:一是铅酸蓄电池的电动势和 SOC 之间设有某种必然的联系,依靠实时检测电动势的方式可以很好地预测电池 SOC;二是电动势法相对于安时计量法等传统算法可降低 SOC 估算的初值误差和累积误差。

确定了 SOC 的估算方法后,需要进一步选取合适的电池电路拓扑,常用的电池等效电路拓扑模型如图 1 所示<sup>[5-6]</sup>。

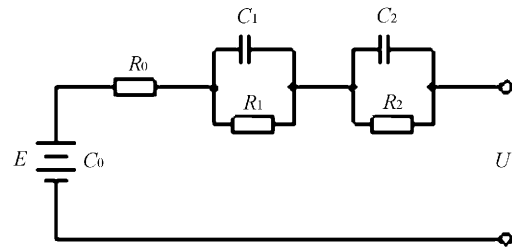


图 1 蓄电池等效电路

图中, $E$  为电动势, $R_0$  为欧姆电阻, $R_1$  和  $R_2$  为极化电阻, $C_1$  和  $C_2$  为极化电容。

分别给电池施加电流和电压激励,通过检测不同激励下的响应数据对图 1 中电池等效电路模型进行参数辨识。首先对电池进行充电,按照一定的电流倍率,充电一段时间后将电池静置大约 1 h,再按照一定的电流倍率进行放电,记录这段时间电池端电压的变化,并且分析充电和放电过程中电压、电流波形和参数的变化,整个参数辨识过程如图 2 所示<sup>[7]</sup>。

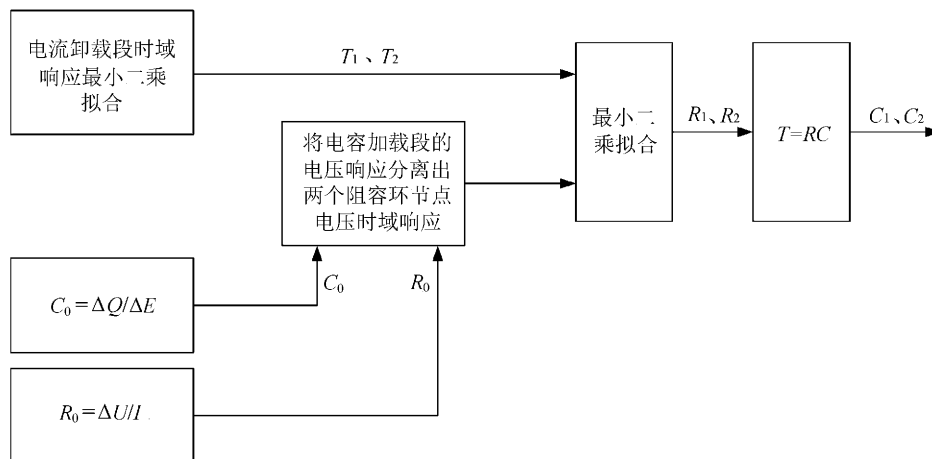


图 2 参数辨识过程

在整个参数辨识过程中,由于阻容环节的电压无法突变,因此电压的突变与电阻  $R_0$  有关,在静置过程中电压的变化主要与两个阻容环节电容的放电有关。

$$u(t) = U_{oc} - U_{C1} e^{-\frac{t}{T1}} - U_{C2} e^{-\frac{t}{T2}} \quad (2)$$

由于放电过程是在电池完全静置的前提下进行的,因此两个极化电容相当于零状态响应:

$$u_c(t) = I[R_1(1 - e^{-\frac{t}{T1}}) + R_2(1 - e^{-\frac{t}{T2}})] \quad (3)$$

式中: $U_{oc}$ ——二阶电路的开路电压;

$U_{C1}$ 、 $U_{C2}$ ——分别是电容  $C_1$  和  $C_2$  两端的电压;

$T_1$ 、 $T_2$ ——两个阻容环节的时间常数,  $T_1 = R_1 C_1$ ,  $T_2 = R_2 C_2$ ;

$I$ ——端电流。

由于电容  $C_0$  值一般很大,因此在放电过程中,可以认为  $C_0$  两端电压的变化很小,可以认为随时间线性变化,用  $f(\Delta E, \Delta t)$  表示:

$$u(t) = U_{oc} - f(\Delta E, \Delta t) - IR_0 - I[R_1(1 - e^{-\frac{t}{T1}}) + R_2(1 - e^{-\frac{t}{T2}})] \quad (4)$$

## 2 智能充电器控制器设计

根据著名的马斯定律可知,蓄电池充电过程中伴随着温升、析气、极化等限制充电速度的系列问题。过高的充电电流并不增长充电率,只增长析气;相反,过低的充电电流则会增加充电时刻。因此快速、高效的充电电流应该满足马斯曲线,如图 3 所示。

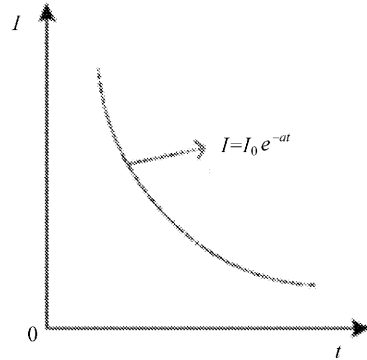


图 3 马斯充电曲线

然而,理论上充电电流完全跟踪马斯曲线是无法实现的,因此各种“非理想”的近似充电方法应运而生,目前效果最好的是智能充电法<sup>[8]</sup>。

基于蓄电池 SOC 检测充电并采用智能充电方法,检测系统实时对蓄电池的电压、电流等参数进行采集,根据采集完后通过处理器估算出蓄电池当前的 SOC 值,进而采取相适应的电流。文中所涉及充电系统要求电池 SOC 值保持在 70% 以上,因此当 SOC 低于 70% 时立即开始充电,当电池的 SOC 值达到 90% 时停止充电。

要实现蓄电池智能充电,充电电流曲线需遵循马斯曲线。对于充电电流,可利用模糊控制器实现,模糊控制器通过采集蓄电池两端的电压及电压变化率,通过模糊推理计算出蓄电池的可接受充电电流。蓄电池智能充电模糊控制器结构框图<sup>[9]</sup>如图 4 所示。

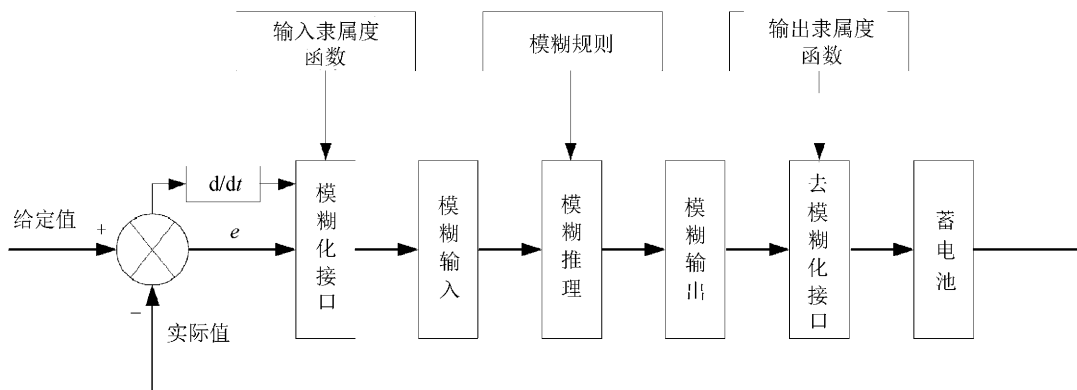


图 4 充电模糊控制器结构框图

模糊控制器的输入为蓄电池端电压与参考电压的偏差  $E$  以及相邻两次电压检测值的变化率

$E_c$ , 模糊控制器的输出为充电电流变化量  $U$ 。由于充电过程中端电压一直处于上升阶段,因此偏

差  $E$  的模糊语言集设为  $\{PS, PM, PB, PVB\}$ , 其量化论域为  $(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 。误差变化率  $E_C$  的模糊语言集设为  $\{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ , 其量

化论域为  $(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$ 。输入和输出的隶属度函数如图 5 所示。

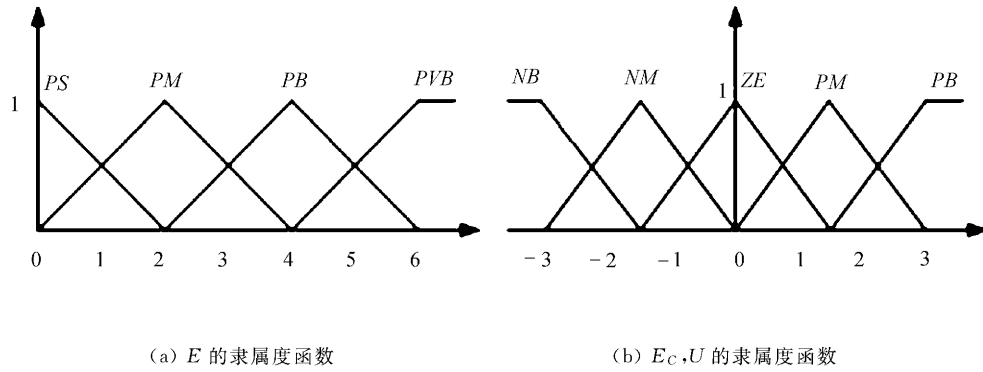


图 5  $E, E_C, U$  的隶属度函数

模糊控制规则见表 1。

表 1 模糊控制规则表

$E_C$	$E$			
	$PS$	$PM$	$PB$	$PVB$
$NB$	$B$	$PM$	$ZE$	$NM$
$NS$	$PB$	$PS$	$NS$	$NB$
$ZE$	$PB$	$ZE$	$NM$	$NB$
$PS$	$PB$	$NS$	$NB$	$NB$
$PB$	$PM$	$NM$	$NB$	$NB$

### 3 充电电路拓扑

使用 Buck 电路作为智能充电器的主电路, Buck 电路可以依靠改变 MOS 管的导通占空比实现控制负载输出电压的大小, Buck 电路原理图如图 6 所示。

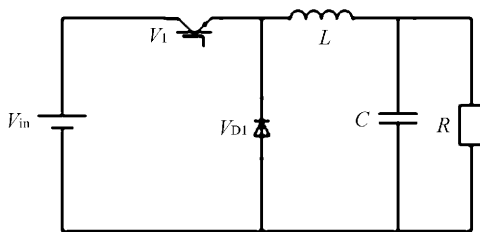


图 6 Buck 电路原理图

Buck 型电路拓扑是由电源  $V_{in}$ 、可控器件  $V_1$ 、续流二极管  $V_{D1}$ 、电感  $L$ 、电容  $C$  等元件构成。其工作过程如图 7 所示。

在  $t_0 - t_1$  期间,  $V_1$  导通, 此时电源  $V_{in}$  给负载

供电, 电感电流呈线性上升, 电容  $C$  会同时充电, 由于此时二极管承受反压, 因此处于关断状态; 在  $t_1 - t_2$  期间,  $V_1$  关断, 此时电感电流不会突变, 二极管承受正压导通电流, 并与电感  $L$  和负载  $R$  构成闭环电路,  $V_{D1}$  导通后即将电感左端电压嵌位相比于地点位拉低一个二极管的导通压降。此时, 电感电流通过续流二极管  $V_{D1}$  续流, 电感电流线性下降。

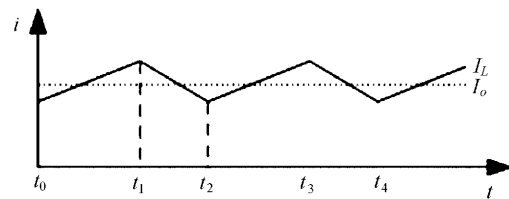


图 7 Buck 电路工作过程

其输出电压  $U_R$  满足下式:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{T_{on}}{T} \quad (5)$$

式中:  $V_{out}$ ——输出电压;  
 $V_{in}$ ——输入电压;  
 $T_{on}$ —— $V_1$  管导通时间;  
 $T$ ——触发脉冲的周期。

若 Buck 电路不加输出滤波器, 则输出为脉动直流, 无法满足蓄电池的充电需求, 因此 Buck 电路后续采用 LC 滤波器对输出脉冲直流进行滤波, 纹波电流的大小与输出电感存在直接关联:

$$I_{ripple} = \frac{V_o \cdot T_{off}}{L} \quad (6)$$

输出纹波电压大小主要由输出滤波电容的等效串联电阻(ESR)造成,一般补偿电容的大小根据工程经验计算为:

$$C \approx \frac{(50 \sim 80)}{\left(\frac{V_{\text{ripple}}}{I_{\text{ripple}}}\right)} \quad (7)$$

式中: $V_{\text{ripple}}$ ——根据系统设计指标选取;

$V_{\text{ripple}}/I_{\text{ripple}}$ ——选取的电容 ESR 值。

主电路开环设计无法满足电池的动态充电要求,因此需对电压和电流进行采样,对电池 SOC 进行估算如图 8 所示。

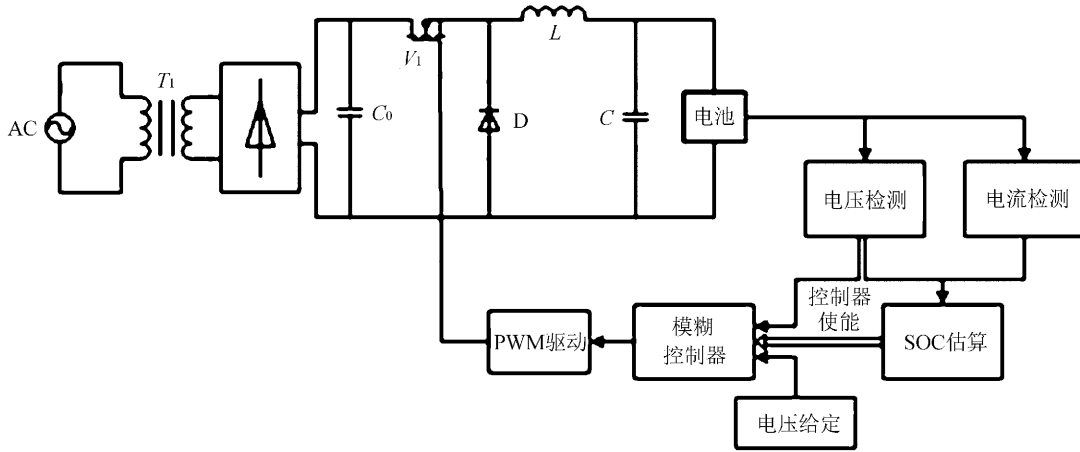


图 8 蓄电池充电拓扑

当 SOC 值低于 70% 作为启动充电器的使能信号,大于 90% 作为关断充电器的使能信号,模糊控制器输出信号经过功率放大作为 MOS 管的驱动信号,实时调控输出占空比<sup>[10]</sup>。

#### 4 电路仿真

依据图 8 所示电路,采用 Matlab 搭建铅酸蓄电池智能充电仿真模型如图 9 所示。

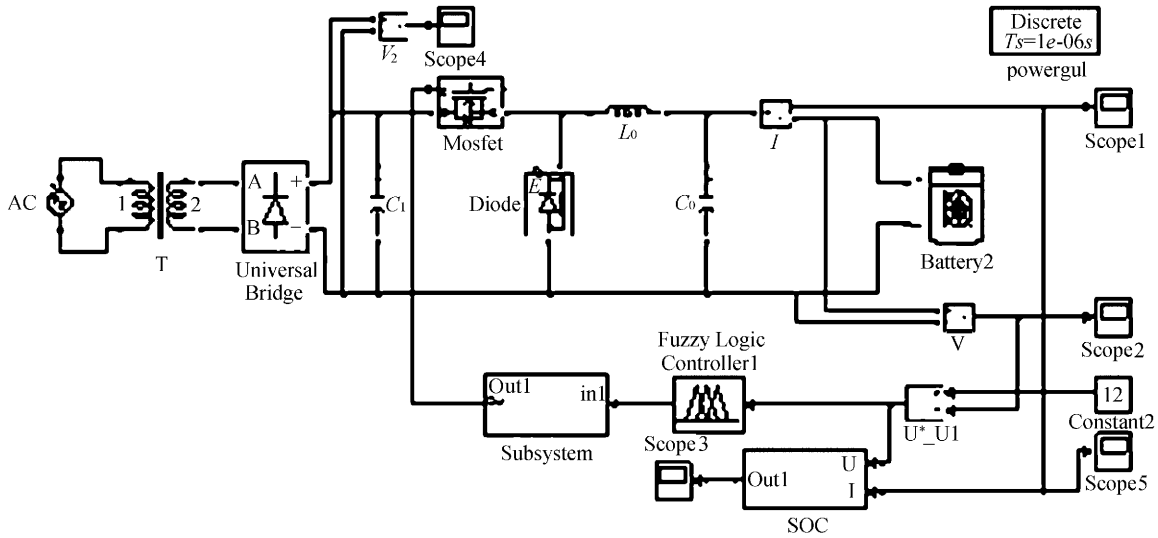


图 9 智能充电器仿真模型

选用 12 V/100 AH 的铅酸蓄电池作为充电对象,基于 Fuzzy 工具箱建立的输入、输出函数表

隶属函数如图 10 所示。

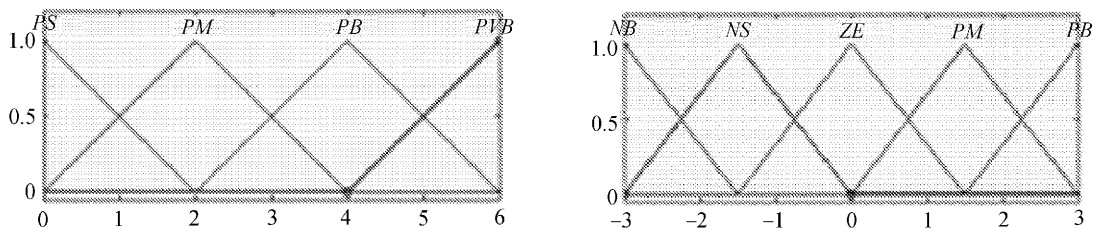
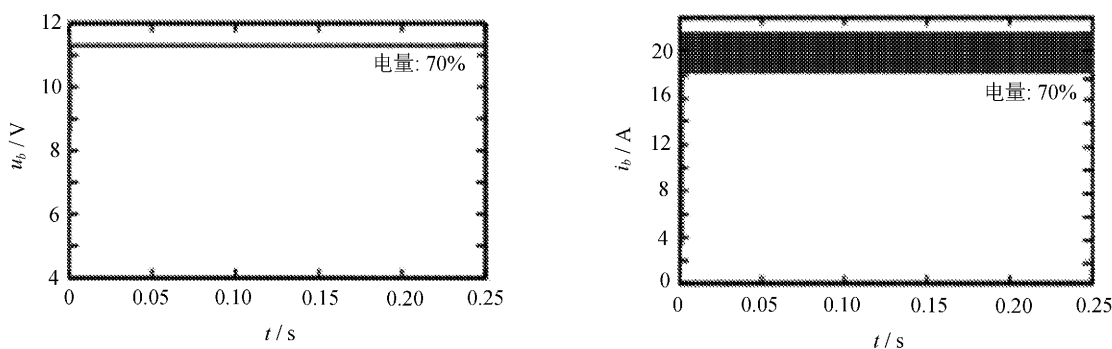
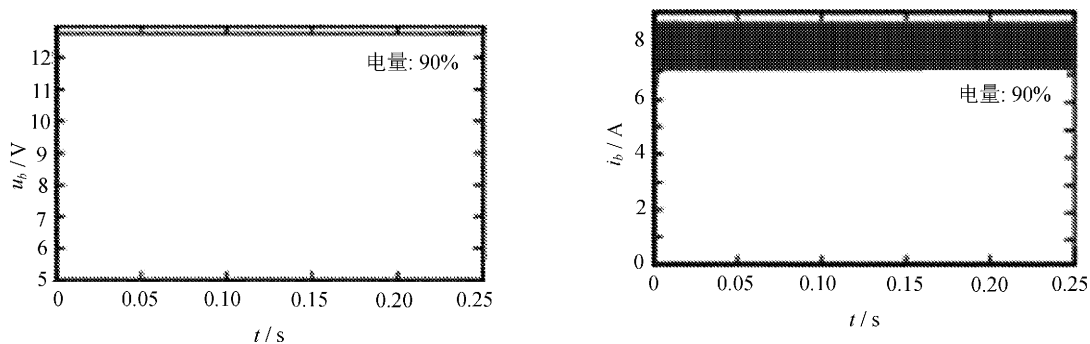


图 10 输入、输出隶属度函数

分别仿真了当蓄电池 SOC 为 70% 和 90% 时的充电状态, 充电电压、电流曲线如图 11 所示。



(a) SOC 为 70% 时, 电池充电电压、电流波形



(b) SOC 为 90% 时, 电池充电电压、电流波形

图 11 智能充电仿真波形图

图 11(a) SOC 为 70% 时, 电池的充电电流、电压, 此时电流约为 21 A, 电压约为 11.2 V。图 11(b) SOC 为 90% 时, 电池的充电电流、电压, 此时电流约为 8 A, 电压约为 12.8 V。

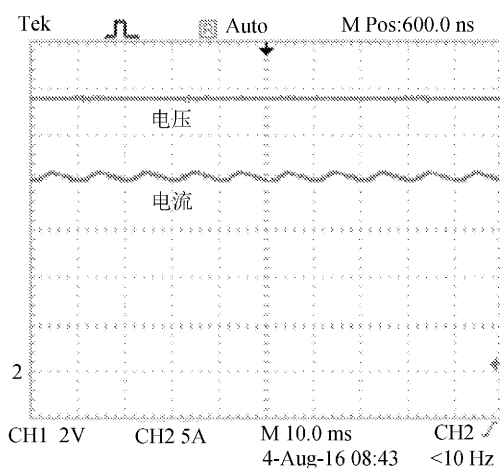
从上述仿真结果来看, 图 8 所示的基于模糊控制的 Buck 充电电路基本能满足铅酸蓄电池的充电需求。

### 5 实验验证

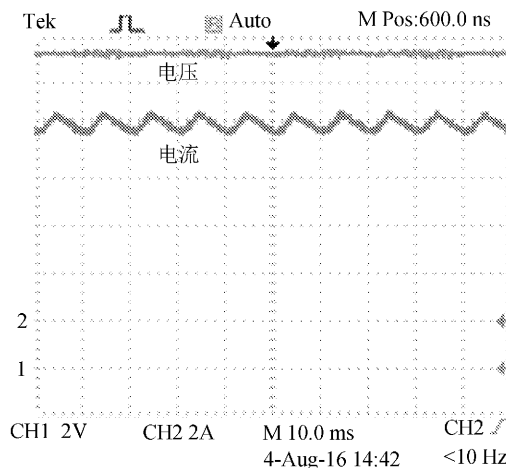
根据图 8 搭建系统实验平台, Buck 电路的触

发脉冲由 DSP28335 发出经驱动电路放大后产生。经过模糊控制后, SOC 分别为 70% 和 90% 时, 充电电压、电流实验波形如图 12 所示。

为了将模糊控制算法智能充电方式与普通二阶段充电的方式进行比较, 对两种控制算法下整个电池充电过程中的电池电压、电流进行采样并且绘制成曲线, 如图 13 所示。



(a) SOC 为 70% 时



(b) SOC 为 90% 时

图 12 充电电压、电流实验波形

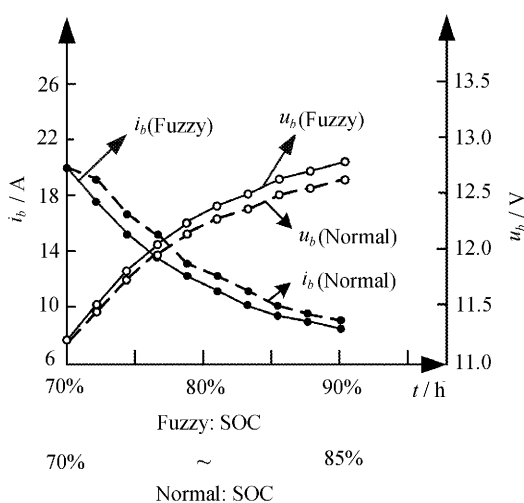


图 13 蓄电池充电电流、电压趋势图

从图中可以看出,模糊控制算法的充电电流走势基本与电池的最佳充电曲线趋势相同,这样说明采用模糊充电方式是一个有效的充电方式,模糊控制相比普通的控制算法具有更快的充电速度,同时充电电流平滑更加接近马斯特性曲线,可以达到快速充电的目的,并减少充电过程对于电池的损害,有利于电池的使用。

## 6 结 语

以 Buck 型 DCDC 变换器为基础的充电拓扑电路,设计了一种基于模糊控制算法的 SOC 预测的铅酸蓄电池智能充电方法。将对铅酸蓄电池的 SOC 进行估计的电动势法和 DCDC 充电拓扑的

模糊控制相结合,并且采用铅酸蓄电池智能充电的斩波电路,搭建 Matlab 仿真和实验平台,验证了该方法的可行性。

### 参考文献:

- [1] 周志敏,周纪海,纪爱华.充电器电路设计与应用[M].北京:人民邮电出版社,2005.
- [2] 廖金华,李建黎.铅酸蓄电池充电技术综述[J].蓄电池,2010(3):132-135.
- [3] 王源,程方晓,王旭.基于电池剩余电量估计的快速充电策略[J].长春工业大学学报,2016,37(6):555-560.
- [4] 李文江,张志高,庄益诗.电动汽车用铅酸电池管理系统 SOC 算法研究[J].电源技术,2010,34(12):1266-1268,1286.
- [5] 吴敬民.电动汽车用蓄电池的充电方式对电池性能的影响[J].蓄电池,2002,2(3):62-64.
- [6] 李慧,肖伟,骆万博.电池剩余电量 SOC 估计[J].长春工业大学学报,2017,38(1):73-78.
- [7] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [8] Tomohiko I. Charging operation with high energy efficiency for electric vehicle valve-regulated lead-acid battery system[J]. J Power Sources, 2000, 91(1):130-136.
- [9] 徐成胜,邱东,王宏志.AOD 炉溅渣炉炉氮气流量模糊自适应 PID 控制[J].长春工业大学学报,2016,37(3):256-260.
- [10] 梁文瀚,贾文超.太阳能路灯模糊控制器[J].长春工业大学学报:自然科学版,2012,33(2):146-150.