

# 智能充电桩充电算法研究与仿真

缪泽铎, 徐成午, 屈稳太

浙大宁波理工学院, 浙江 宁波  
Email: 2528721342@qq.com

收稿日期: 2021年7月16日; 录用日期: 2021年7月31日; 发布日期: 2021年8月6日

## 摘要

随着电动汽车的迅速普及, 电动汽车对充电技术的要求提出了越来越高的要求。本文对传统的恒流恒压充电算法进行了分析研究和仿真, 提出了变脉冲的充电算法。通过研究各种方法在充电过程中电池电压和电流的变化规律, 将充电的时间和温升作为衡量指标, 与恒流充电算法、恒压充电算法、固定脉冲充电算法进行比较。仿真结果表明, 变脉冲充电算法相较于其他充电算法有较好的充电效果。

## 关键词

充电桩, 恒流恒压充电, 变脉冲充电, 快速充电

# Study and Simulations on the Intelligent Charging Algorithms of Charging Pile

Zehua Miao, Chengwu Xu, Wentai Qu

Ningbo Institute of Technology, Ningbo Zhejiang  
Email: 2528721342@qq.com

Received: Jul. 16<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jul. 31<sup>st</sup>, 2021; published: Aug. 6<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The charging algorithm is particularly important for the improvement of charging effect of electric vehicles. In this paper, the traditional constant current and constant voltage charging algorithm is analyzed, studied and simulated, and a variable pulse charging algorithm is proposed. By studying the variation law of battery voltage and current in the charging process of various algorithms, taking the charging time and temperature rise as the measurement index, it is compared with constant current charging algorithm, constant voltage charging algorithm and fixed pulse charging algorithm. The simulation results show that the variable pulse charging algorithm has better charging effect than other charging algorithms.

## Keywords

Charging Pile, Constant Current Constant Voltage, Variable Pulse Charging, Rapid Charging

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着社会的发展,石化能源的燃烧产生了大量的温室气体,全球气候变暖问题严重。社会迫切需要相对于传统能源污染少,储量大的新能源。为了满足这样的需求,使用电能的交通工具越来越多。简而言之,消费者对充电的需求有三点:充电速度快,对电池寿命影响小,充电效率高[1]。

国内主流的电动汽车主要的充电方式为交流慢充为主,直流快充为辅。便携式小功率直流充电机的供电电源可以是 220 V 交流市电,故在实现整车降低成本的同时,还可以实现减重提升同等电量下的续航里程,是未来车企发展的重要方向[2]。

在传统的恒流恒压充电方法得到广泛应用后,为了提高电池的充电效率,陆续提出了多种快速充电的方法,例如间歇充电,脉冲充电等。锂电池充电速度得到了很大的提升[3]。

就当下新能源使用频率提高的现状,用户对新能源的使用体验需要提高。本文以安全充电为前提,进一步提高充电的效率,让其速度可以适应人们快节奏的生活方式。并且具有积极的社会效益和经济前景,是当下人民的需求所在。

本文对常用的恒流恒压充电算法进行研究,并提出一种变脉冲脉冲充电算法。比较两者的充电速度和充电效果,探讨不同充电算法对电池充电的影响。

## 2. 充电算法研究

### 2.1. 恒流恒压充电算法

图 1 为恒流恒压充电算法的充电曲线图。恒流恒压充电算法作为最常用的充电方法,其控制相对简单,实现起来相对容易,但存在着极化现象严重充电效率低的问题。恒流恒压充电把充电过程分为了两部分,恒流充电的过程中电压会不断上升,当电压提升到截止电压,电池冲入电量已经接近额定电量。此时再对电池进行恒压充电,此时由于电池内部特性影响,充电电流不断减少直到将为零[4]。

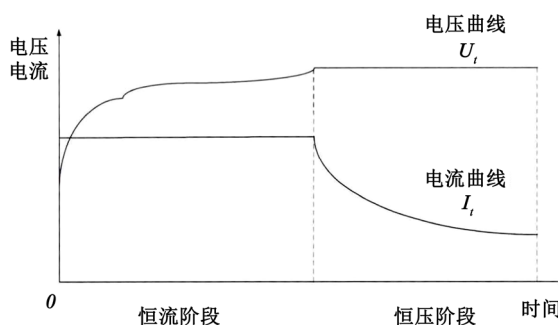


Figure 1. Constant current and constant voltage charging curve

图 1. 恒流恒压充电曲线

## 2.2. 脉冲充电算法

图 2 为脉冲充电算法的充电曲线图。脉冲充电算法主要包括预充、恒流充电、脉冲充电三个阶段，在恒流充电过程中，电压上升到上限电压时，进入脉冲充电模式，用脉冲电流间隙得为电池充电。在恒定的充电时间内电池电压会不断升高，停止充电时电压慢慢下降。当电压下降的上限电压后，以同样的电流对电池充电，开始下一个充电周期，如此循环直到电池充满[5]。

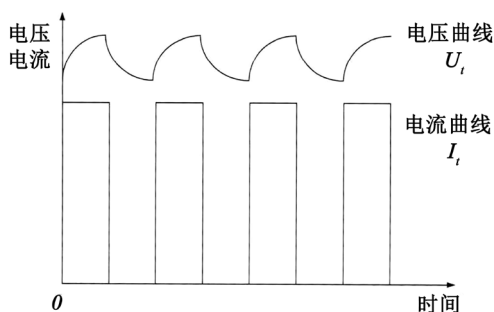


Figure 2. Pulse charging curve

图 2. 脉冲充电曲线

## 2.3. 变脉冲充电算法

本文提出一种变脉冲充电算法，与脉冲充电算法不同的是，变脉冲充电算法通过电压反馈控制脉冲的宽度。变化的脉冲宽度导致进入脉冲充电的时间会发生改变。在变化的充电时间内，电池电压不断提高，停止充电时电压不断下降。当达到截至电压后，以同样的电流对电池充电，此时充电时间也发生改变，如此循环直到电池充满[6]。

## 3. 充电模型

### 3.1. 充电算法选择

通过对上述充电算法的研究与分析，选择使用恒流恒压充电，脉冲充电算法作为本课题的仿真算法。恒流恒压充电算法结合了恒流充电与恒压充电算法的优点，同时回避了二者的缺陷，可以达到相对较好的充电效果。脉冲充电算法分为固定脉冲充电和变脉冲充电。脉冲充电可以大大缩短充电时间也能够消除极化，加深充电时化学反应得深度，可增加蓄电池容量。

### 3.2. 基本充电电路

图 3 是基本充电电路。基本充电电路由三相整流电路、电阻、电感和电池串联组成。电路中有 0.2 Ohm 电阻模拟电路中的损耗，接  $1 \times 10^5$  H 电感保证电路的安全。充电电流与充电电压作为反馈信号反馈给 PID。

### 3.3. 充电原理分析

在仿真过程中使用 1F 的电容 C 代替电池 V 的作用。将三相整流电路等效为一个电压为 12 V 的直流源。仿真电路图即为 RLC 电路，过分析可得其充电电压与电流的全响应。

电路固有频率

$$S_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -39997.0$$

$$S_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -2.5$$

通解  $U_{ch}(t) = K_1 e^{s_1 t} + K_2 e^{s_2 t}$

特解  $U_{cp}(t) = 12 \text{ V}$

全响应

$$U_c(t) = U_{ch}(t) + U_{cp}(t) = K_1 e^{s_1 t} + K_2 e^{s_2 t} + 12 \text{ V}$$

得

$$U_c(0) = 10 = K_1 + K_2 + 12 \text{ V} \tag{1}$$

$$\frac{dU_c(0)}{dt} = \frac{i_l(0)}{C} = S_1 K_1 + S_2 K_2 \tag{2}$$

联立 1, 2 方程得

$$K_1 = 1.25 \times 10^{-4}, \quad K_2 = -2.0$$

解得充电电压电流得全响应

$$u(t) = 1.25 \times 10^{-4} e^{39997t} - 2e^{-2.5t} + 12$$

$$i_L(t) = i_C(t) = C \frac{du_C}{dt} = -5e^{-39997t} + 5e^{-2.5t}$$

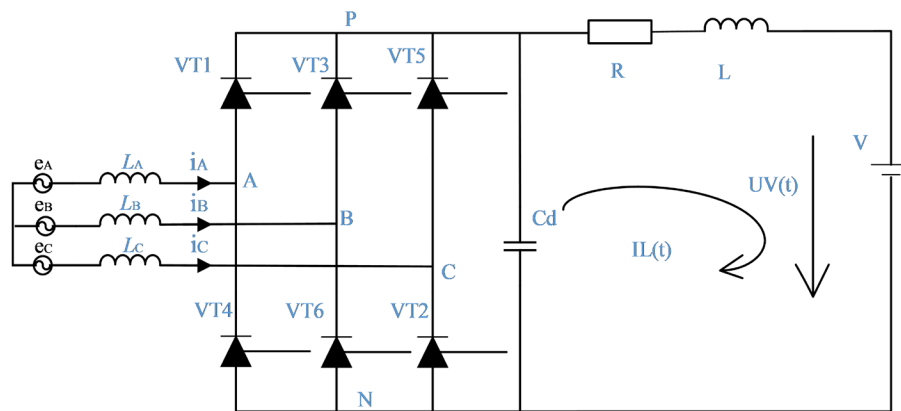


Figure 3. Basic charging circuit  
图 3. 基本充电电路

### 3.3. 充电算法原理分析与仿真模型的搭建

恒流恒压充电的系统结构图如图 4 所示。恒流恒压充电的第一阶段以恒定的电流充电，电压达到预定值时转到第二阶段进行恒压充电，此时电流逐渐减小，当充电电流降至零时，充电完成[7]。

六脉冲发生器可用于产生出发三相全控整流桥路中晶闸管所需要的六个触发电压脉冲，可设置为产生六个双脉冲形式。本文通过 PID 连接控制晶闸管得控制角输入端来达到恒流恒压控制。

变脉冲充电的系统结构图如图 5 所示。变脉冲充电通过 PID 控制晶闸管控制角控制恒流输入，再在原始电路中接入可空开关，通过控制开关的开闭达到脉冲充电效果。

脉冲宽度调制 PWM 是利用微处理器的数字输出来对模拟电路进行控制的一种非常有效的技术，

PWM 有一个很重要的优点，其从处理器到被控制系统信号都是数字形式。这样可以将噪声降到最小。使用 PWM 脉冲宽度调制器使其输出 0 和 1 的信号，用该信号控制开关来达到对整个系统控制的目的。

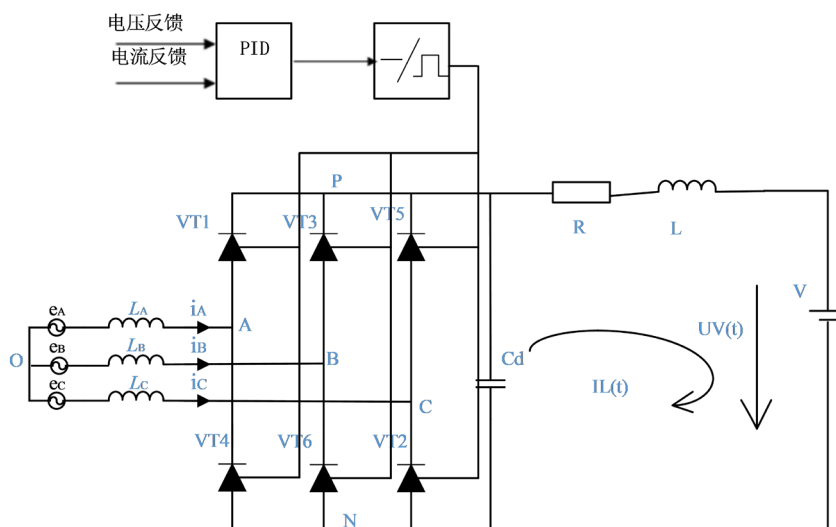


Figure 4. Constant current and constant voltage charging system  
图 4. 恒流恒压充电系统结构图

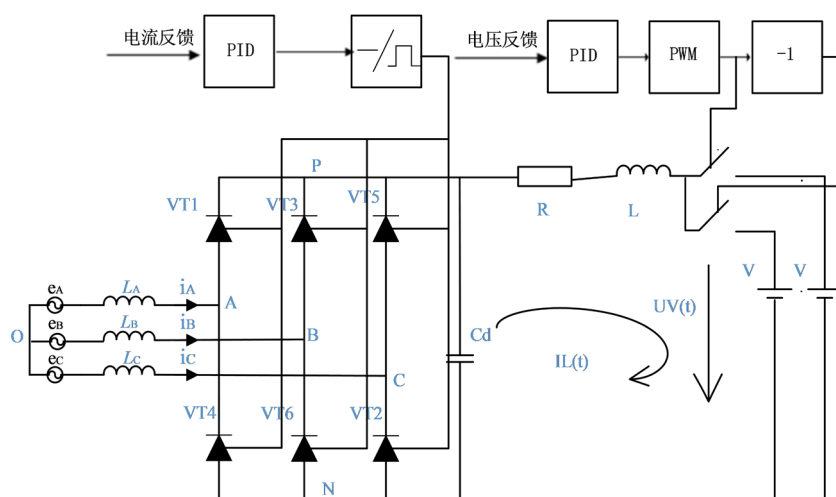


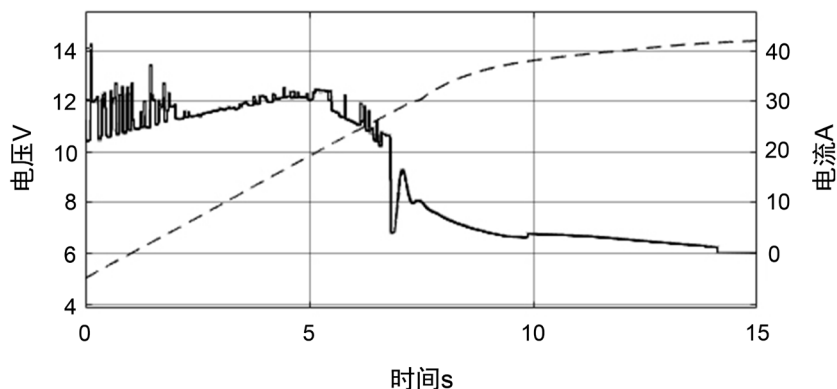
Figure 5. Constant current and constant voltage charging system  
图 5. 恒流恒压充电系统结构图

## 4. 仿真结果分析

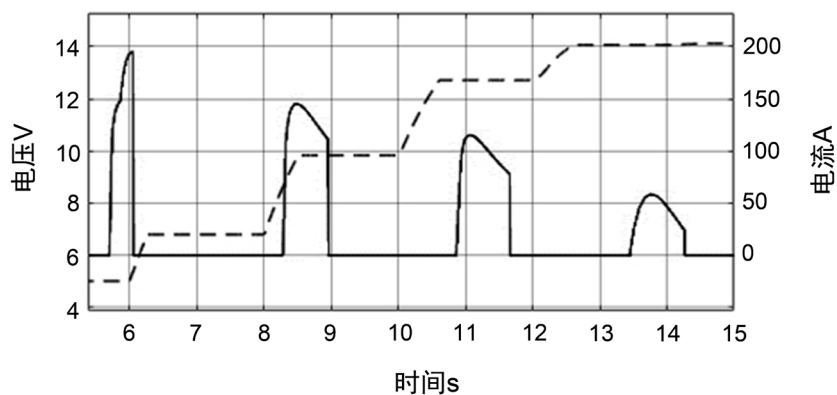
### 4.1. 仿真波形分析

图 6 为恒流恒压充电电压、电流的变化曲线。本文恒流恒压充电设置切换电压为 12 V。系统先进行恒流充电，当充电电压达到 12 V 时系统变为恒压充电。7 s 前电路处于恒流充电状态，电压几乎呈线性平稳增长。7 s 后电路转换为恒压充电，充电速率下降，电压逐渐趋于平稳，完成充电。14.5 s 左右时间完成充电。

图 7 为变脉冲充电电压电流。PWM 控制可控开关的开闭使得充电不是一个连续的过程。电池每充电一段时间便会停止充电，充电电压呈梯状上升。相对于恒流恒压充电算法，充电效率更高。

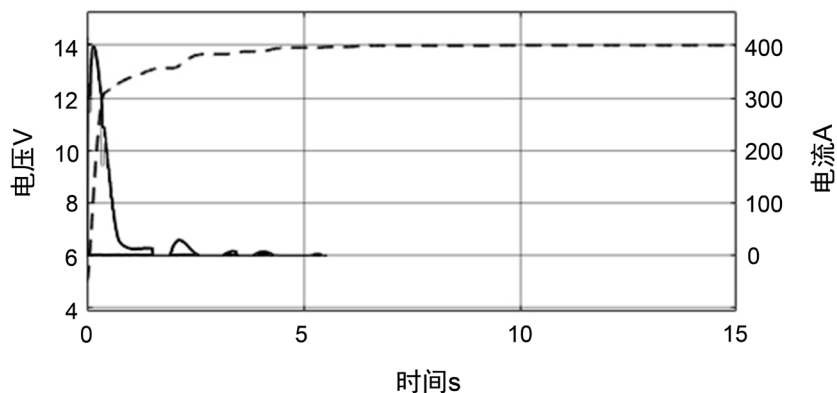


**Figure 6.** Constant current and constant voltage charging voltage and current  
**图 6.** 恒流恒压充电电压、电流



**Figure 7.** Variable pulse charging voltage and current  
**图 7.** 变脉冲充电电压、电流

图 8 为恒压充电电压、电流变化曲线。采取全程恒压的充电方法电压上涨后在设定电压的值处趋于平稳。充充电初期电压上升很快，电流很大随着电压的之间上升，电流慢慢减小，在充电终期只有极小的电流流过。电压在 14 V 左右时达到最大，完成充电。恒压充电算法相对于恒流恒压充电算法充电的时间较短，充电速度较快。但充电初期充电电流过大，电池肯能因过流损坏。相较于变脉冲充电算法，充电时间较长，安全性也相对较差。



**Figure 8.** Voltage and current of constant voltage  
**图 8.** 恒压充电的电压、电流

图 9 为恒流充电电压的变化曲线。恒流充电保持充电电流不变，充电电压曲线几乎成线性上升，电压在 14 V 左右时趋于平稳。达到 12 V 后电压持续上升达到 14 V，有过充电现象。恒流充电在充电后期电流会用于电解水产生气体，使得内部压力上升，容易导致蓄电池失水，影响蓄电池容量。恒流充电的充电速度与恒流恒压充电算法相近，但对蓄电池的容量有很大影响，充电效果相对恒流恒压充电算法较差。恒流充电算法在充电速度和充电安全性方面皆不如变脉冲充电算法。

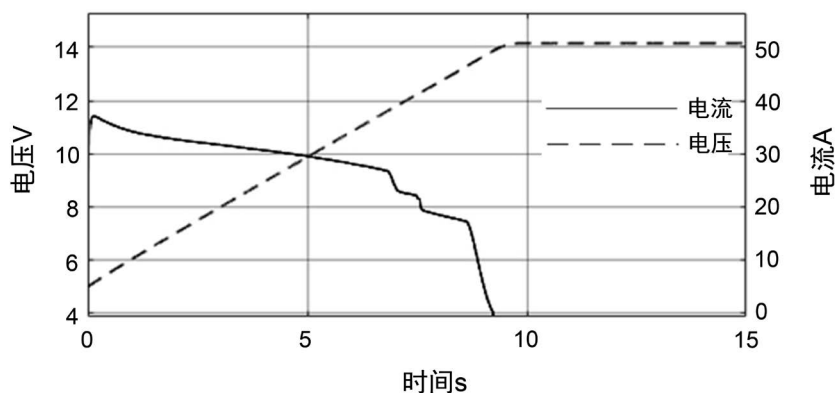


Figure 9. Voltage and current of constant current charging

图 9. 恒流充电的电压、电流

图 10 为固定脉冲充电电压、电流。脉冲充电首先用脉冲电流对蓄电池充电，然后让蓄电池停充一段时间，如此循环。固定脉冲充电与变脉冲充电不同，固定脉冲充电可控开关开闭的时间是固定的。本文设定可控开关 1.6 s 闭合 0.4 秒断开，如此循环。固定脉冲充电电压也呈梯状上升。固定脉冲充电电压充电速度与恒流恒压充电算法相近，两者对电池的损害都较小。相较于变脉冲充电算法，充电时间较长，充电速度较慢。

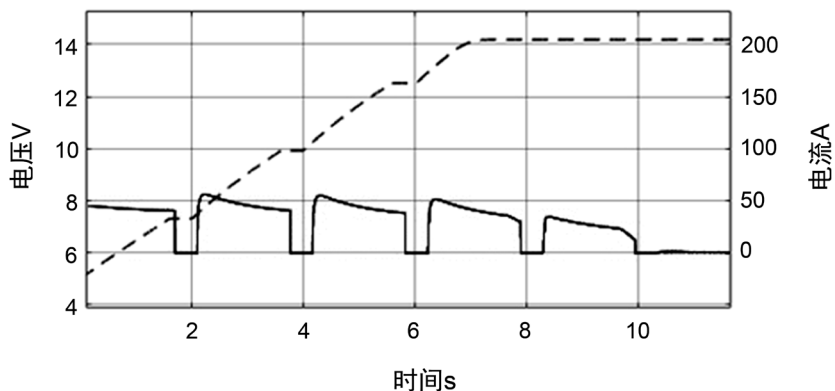


Figure 10. Fixed pulse charging voltage and current

图 10. 固定脉冲充电电压、电流

#### 4.2. 充电效果对比

为了更直观地体现各个充电算法对电池的影响，设电池有一个  $0.025 \Omega$  的内阻，通过计算内阻的发热量来评估充电对电池的影响。发热量  $W = \int I(t)^2 R dt$ 。表 1 为不同充电算法的充电时间与电池内阻的发热量。

从表 1 可看出变脉冲充电算法与恒流充电算法、固定脉冲充电算法、恒流恒压充电算法相比充电速度更快，发热量相对较小，相较于恒压充电算法对电池的影响较小，有较好的充电效果。

**Table 1.** Comparison between charging time of different charging algorithms and heating capacity of battery internal resistance  
**表 1.** 不同充电算法的充电时间与电池内阻的发热量对比

充电算法	恒流充电	恒压充电	恒流恒压充电	固定脉冲充电	变脉冲充电
充电时间	10 s	6.5 s	14 s	9.5 s	6.5 s
电池发热量	3500 J	22,000 J	1400 J	3800 J	10,500 J

## 5. 结束语

本文研究的智能充电桩充电算法仿真模型，使用 PID 控制器控制 PWM 脉冲宽度调制器、PID 控制晶闸管控制角的方式，使其具有自适应性，可根据不同的充电算法控制电池的实时充电电压、电流。出于对充电时间和电池内阻发热量的考量，变脉冲充电算法相较于其他充电算法有最好的充电效果。智能充电桩充电算法仿真的实现基于 SIMULINK，为电池充电算法的研究提供路径，其可操作性让变脉冲充电算法的过程直观易懂。可用于实验室对充电桩的不同充电算法充电效果的研究，为智能充电桩充电算法设计提供建模思想。

## 基金项目

宁波科技创新 2025 项目“智能工厂与智能引擎研发”(项目编号: 2019B10080)。

## 参考文献

- [1] 郑坤. 动力电池模组信号采集与快速充电策略研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [2] 朱东友, 邓云嵩, 邓海文, 等. 电动汽车充电设施现状及发展趋势[J]. 时代汽车, 2021(4): 3-4.
- [3] 郭振, 张长水, 孟海军, 等. 锂离子电池优化充电技术研究现状[J]. 电池, 2013, 43(2): 1-2.
- [4] 崔继慧. 电动汽车充电设施与发展现状研究[J]. 科技与创新, 2019(15): 72-73.
- [5] 梁安危. 锂电池快速充电方法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2019: 33-38, 46-48.
- [6] 姚雷, 王震坡. 锂离子动力电池充电方法研究[J]. 汽车工程, 2015, 37(1): 73-74.
- [7] 翟建勇. 锂电池脉冲放电管理[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2008.