

Application Research on Rapid Establishment of Battery Simulation Model Based on Actual Battery Parameters

Guangjie Zhang

Beijing Tiancheng Tongchuang Electric Co., Ltd., Beijing, 101102, China

Abstract

A method for rapidly establishing a high-precision simulation model based on battery experimental data is proposed. By accurately measuring key battery parameters and utilizing fitting algorithms and simulation technology, a simulation model that can accurately reflect battery performance is constructed. This paper analyzes in detail the application methods of rapidly establishing a battery simulation model based on actual battery parameters.

Keywords

actual battery parameters; battery simulation model; fitting model parameters; construction of simulation model

基于电池实参快速建立电池仿真模型的应用研究

张广洁

北京天诚同创电气有限公司, 中国·北京 101102

摘要

基于电池实验数据快速建立高精度仿真模型的方法通过精确测量电池的关键参数, 利用拟合算法和仿真技术, 构建出能够准确反映电池性能的仿真模型, 本文详细分析基于电池实参快速建立电池仿真模型的应用方式。

关键词

电池实参; 电池仿真模型; 拟合模型参数; 构建仿真模型

1 引言

电池实参, 即电池的实际参数, 是描述电池性能和状态的物理量。这些参数通常通过实验测量获得, 用于评估电池在各种条件下的表现。电池仿真模型是通过计算机模拟电池性能和行为的工具, 其基于物理、化学和数学模型, 通过对电池内部反应的数值计算, 预测电池在各种条件下的性能。基于电池实验数据快速建立的仿真模型, 能够更准确地反映电池的实际工作状态, 为电池性能评估提供可靠依据。通过仿真模型, 可以在计算机上对电池进行虚拟测试和优化, 无需进行大量的实物实验, 缩短研发周期, 降低研发成本。仿真模型可以模拟电池在极端条件下的工作状态, 有助于发现潜在的安全隐患, 提高电池的安全性能。

可控制电压源: 电压控制电压源 (VCVS, 即是英文 Voltage Controlled Voltage Source 的缩写), 电压受电路中其它部分的电压控制的电压源称为电压控制电压源。

作者简介: 张广洁 (1981-), 男, 锡伯族, 中国辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 从事变频器, 嵌入式系统设计, 系统仿真等研究。

PSCAD: (全称 Power Systems Computer Aided Design) 是广泛使用的电磁暂态仿真软件。

SOC: 全称是 State of Charge, 荷电状态, 也叫剩余电量, 当 SOC=0 时表示电池放电完全, 当 SOC=1 时表示电池完全充满。

SOD: 放电状态 State of Discharge。SOD=1-SOC;

2 电池仿真现状

常用的几种电池等效模型的不足之处: RC 模型^[2]: 结构相对简单, 但是准确度很差; Thevenin 模型与 PNGV 模型具有很高的准确度, 但是结构非常复杂, 温度、电流、电荷状态之间的耦合度非常高, 参数计算也非常复杂, 并且影响仿真速度, 仿真过程当中参数错误很难排查。Peuker 模型曾广泛的接受, 但在一阶等效情况下会出现系统误差, 而二阶模型又比较复杂, 因此也没有得到广泛应用^[5]。

针对以上电池仿真模型的不足提出了用一种新的建模方法。此种建模型方法是基于电池实测数据, 并通过对实测数据进行参数辨识方法进行建模^[1]。此模型建立方法是采用可控电压源加串联内阻的方法, 模型整体简单, 仿真速度快。模型可以改变电池的充放电速率来加快仿真速度, 使仿真更

加灵活，但不丢失准确度。可以应用于单节电池建模，也可以应用于电池组整体建模。

3 电池仿真模型建立原理

在电池的电气仿真模型中，重点是电池外部的电气特性，也就是 V-I 特性曲线。可以用公式 1 的函数来描述：

$$V=f(I,T,t) \quad \text{公式 1}$$

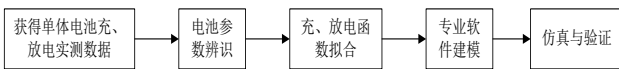
V: 电池输出的电压。

I: 电池充 / 放电电流。

T: 电池所在的温度。

t: 电池的运行时间。

本文论述的等效模型采用的是一种可控制电压源和一个等效内阻串联来建模。模型中模拟电池的充放电特性用非线性拟合函数拟合。具体建模过程如下：



4 仿真模型结构

本文中模型等效模型图如下：

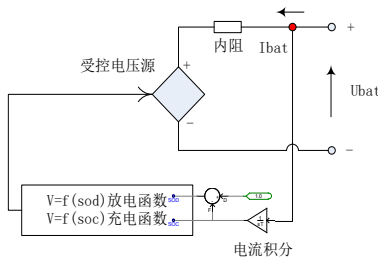


图 1 电池仿真模型原理图

模型构成说明：模型由受控电压源，等效内阻，电流采样，电流积分，充放电函数等组成。

受控电压源：为 PSCAD 软件中自带的理想受控电压源元件^[3]。

内阻：电池经过等效计算或是测量得到的电池内阻。

电流采样：在电池工作时的电流值。

电流积分：电流对时间的积分可以得到 SOC。

充 / 放电函数：通过对电池的实测参数进行有效辨识后得 soc 与 V 的对应函数。

5 获取电池实际参数

在电池建模之前要测量实际电气值。测量过程可以是用户根据实际应用情况进行测量，也可以用电池厂家给出的产品参数。

文中用厂家出的实测数据为例来说明建模过程。以天津神公司的 LP2770134-20Ah 型号的电池参数为例来说明建模过程。依据产品手册，可以查到电池的内阻 6mΩ。

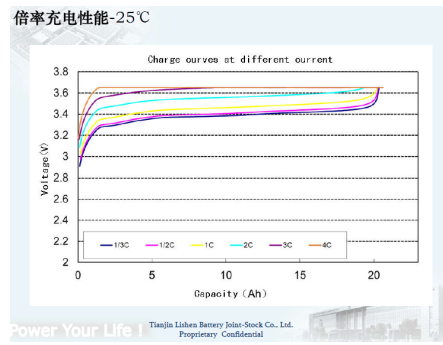


图 2 电池充电曲线

这个曲线表中可以看到横坐标是充电的电量 (AH)，它与电池 SOC 的关系为充电电量除以电池容量。纵坐标给出的在某一电量下对应的电池电压值。因为电池的标称容量为 20AH, 即 1C 充电电流为 20A。

$$Q_{\text{charge}} := \int_0^t I_{\text{bat}} dt \quad \text{公式 1}$$

$$\text{SOC} = Q_{\text{charge}} / Q_e \quad \text{公式 2}$$

Qcharge: 充电电量；

Ibat: 电池的充电电流。

Qe: 电池的额定容量。

从这个图 2 上可以得知电池在不同充电电流下电池的端口电压，可以用充电函数公式 3 来表示：

$$V := f(\text{soc}) = f(I_{\text{bat}}, t) \quad \text{公式 3.}$$

同理可得到电池放电函数，我们在说明书得到如下的实测曲线图。

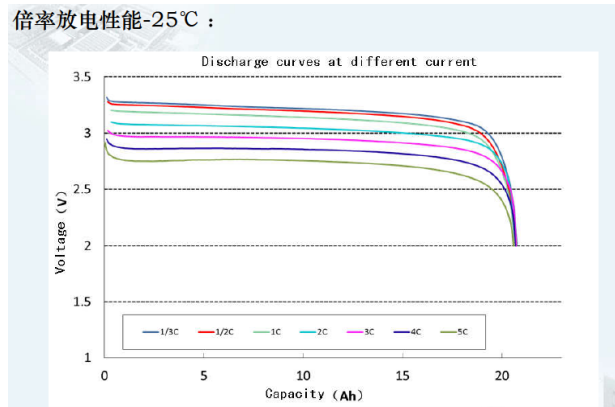


图 3 电池放电曲线

这个曲线表中可以看到横坐标是放电的电量，它与电池 SOD 的关系为放电电量除以电池容量。

$$Q_{\text{discharge}} := \int_0^t I_{\text{bat}} dt \quad \text{公式 4}$$

$$\text{SOD} = Q_{\text{discharge}} / Q_e \quad \text{公式 5}$$

Qdischarge: 横坐标的放电电量。

Ibat: 电池的放电电流。

Qe: 电池的额定容量。

从这个图上能得到电池在不同放电电流下电池的端口电压，放电函数可以用公式 6 表示：

$$V := f(sod) = f(Ibat, t) \quad \text{公式 6}$$

6 参数辨识

电池的实际参数辨识并进行曲线拟合是建模的关键。以 LP2770134-20Ah 电池为例进行说明。

第一步，提取出数据手册中的数据。

第二步：将数据导入到 matlab 的 curve fitting 工具箱中^[4]。

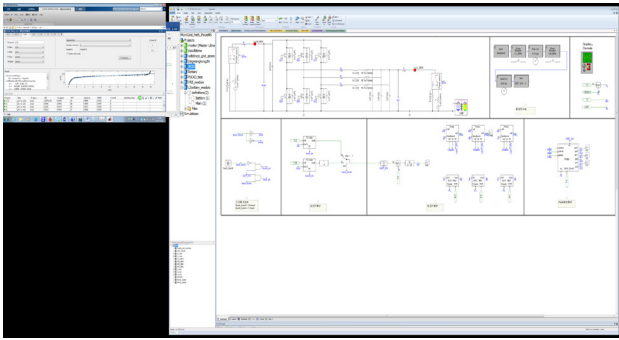


图 10 matlab 数据拟合

得到拟合公式及拟合系数，可以将数据分段拟合，进行多次拟合的方法。

第三步：整理得到的拟合公式以及拟合系数表，并对拟合系数进行线性修正，得到充放电函数。

表 1 曲线拟合系数表

拟合公式：f(x) = a*exp(b*x) + c*exp(d*x)								
放电拟合曲线				充电拟合曲线				
	a	b	c	d	a	b	c	d
1C	0	1.587	3.222	-0.00328	3.363	0.003019	-0.4255	-1.559
2C	0	1.587	3.091	-0.001947	3.482	0.002149	-0.4854	-1.68
3C	0	1.589	2.997	-0.002053	3.558	0.003361	-0.4723	-1.9

V=f(sod) 放电函数
V=f(soc) 充电函数

7 电池充电函数拟合

经多断式拟合以及系数整理后得到的充电拟合公

$$Fcs_{1c}(x) := ac_{1c} \cdot e^{bc_{1c} \cdot x} + cc_{1c} \cdot e^{x \cdot dc_{1c}} + cce_{1c} \cdot e^{x \cdot dce_{1c}} \quad \text{公式 7}$$

其中：x=Qsoc,

Fcs.1c=V

表 2 拟合系数表

Ac _{1c} =3.363	cc _{1c} =-0.4255	cce _{1c} =3.7*10 ⁻¹⁶
bc _{1c} =-0.003019	dc _{1c} =-1.559	dce _{1c} =1.686

对拟合数曲线进行作图，通过对数据对比拟合度 >95%。

8 电池放电函数拟合

在 MathCAD 中，与放电曲线比对，经多断拟合以及系数整理后得到的放电函数公式为：

$$F1sc(x) := a_k \cdot e^{x \cdot b_k} + \frac{c_k \cdot e^{d_k \cdot x}}{2} + \frac{Fs1c(x)}{2} \quad \text{公式 8}$$

其中：

$$x=Qsod$$

$$F1sc=V$$

经多断拟合以及系数整理后得到的放电拟合系数为：

表 3 拟合系数表

a _k =-4.931*10 ⁻¹⁵	b _k =1.587	c _k =3.222
d _k =-0.00328	as _k =3.222	bs _k =-0.02

对拟合数曲线进行作图，通过对数据对比，拟合度 >95%。

9 利用专业软件构建仿真模型

将整理好的公式 7 和公式 8 在仿真软件中进行建模。仿真模型可以在 PSCAD 建立模型^[3]，也可以在 matlab 等其他软件中建立模型。按照图 1 的模型结构进行建模。

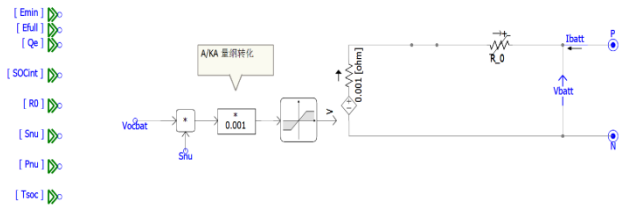


图 11 电池模型内部主结构

注：

Emin: 单体电池最小电压

Efull: 单体电池电高电压

Qe: 单体电池容量, 单位 AH

socint: 电池初始电量其值在 0 ~ 1 之间。

R0: 单体电池内阻

Snu: 电池组中单体电池串联个数

Pnu: 电池组中并联支路数

Tsoc: 电池充 / 放电 100%SOC 所需要时间, 单位 S, 通过修改此参数, 可以在仿真中模拟电池快速充满或放尽时的特性

图 11 中的电池结构由一个电压控制电压源加上一个可变内部 R0 组成。对外输出有两个, 一个是输出电压 Vbatt 和输出电流 Ibatt 两个电参量。其输入参量也是两个, 一个是 Vocbat 和 Snu, 这个参数分别是单节电池电压和串联个数。

10 模型仿真与验证

通过设定电组参数, 使其运行在充、放电状态, 对电池参数进行验证。如下图 12。

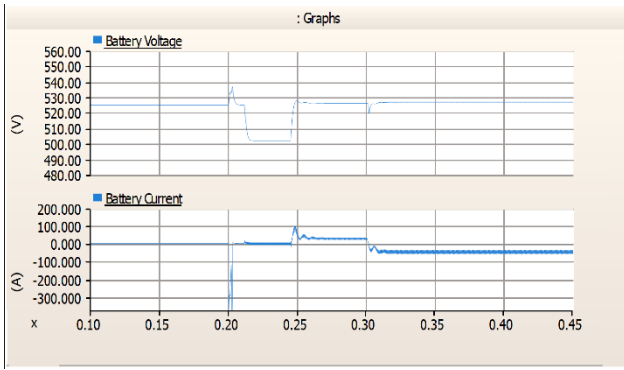


图 12 仿真数据验证

函数建模法,可以利用函数直接获得 SOC 和 SOD 特性, V-I 关系与真实电池特性保持不变。通过修改积分时间,可以在较短时间内获得仿真结果,加快仿真速度。

11 结语

通电池实参建模,可以使仿真度更高。单节电池参数可以通过实际测量充放电曲线来获得,也可以依据电池手册获得,并依据此方法建模。

依据实际参数建模的优势:

(1) 此种建模方法不限于对单节电池进行建模,也可以对电池组,或是电池模块整体建模;

(2) 模型采用可控电压源加串联电阻的方法,模型整

体简单,仿真速度快;

(3) 模型可以改变电池的充放电速率,可以加快仿真速度,使仿真更加灵活,但不丢失准确度。利用模型中的电流积分环节可以得到 SOC 或是 SOD。积分器的时间是可设定的,改变积分时间,相当于人为调整电池的充/放电速率,但是电池的充/放电函数关系不变,电气的外特性不变,从而在仿真时可以在较短的时间内观测到电池电气特性变化情况。不像 RC 模型, Thevenin 模型, PNGV 模型, Peuker 模型那样没有办法改变电池的时间特性。

(4) 建模方法不限于具体的那一种电池,而且此种模型建立方式也可应用到其他领域的仿真建模。

参考文献

- [1] 黑文洁. 基于等效电路模型的锂离子电池模型参数辨识算法对比研究[D]. 陕西:长安大学,2018.
- [2] 廖善彬,刘海峰,曹辉,等.基于自适应同步的锂离子电池RC模型混沌系统参数辨识方法的研究[J].汽车零部件,2023(8):6-11,19.
- [3] 徐以升,李树梅,孙冯营,等.基于PSCAD的蓄电池模型的仿真研究[J]. 电子质量,2015(5):5-8,22. DOI:10.3969/j.issn.1003-0107.2015.05.002.
- [4] 胡佳文. 基于MATLAB的线性系统动态响应曲线拟合技术[J]. 科学与信息化,2024(14):25-27.
- [5] 傅军栋,刘深深,孙翔,等.基于VFFRLS参数辨识的蓄电池三维电热耦合模型.电源技术,2023,47(4):453-457.