

基于电池荷电状态的大容量电池储能系统建模与控制特性分析

电池储能系统为风电和光伏发电等分布式电源大规模接入电网提供了一种有效的方式。介绍了大容量电池储能系统结构及其工作原理,分析了电池系统充放电工作特性及其性能参数与电池荷电状态的关系,从系统应用的角度提出基于电池荷电状态的大容量电池储能系统数学模型,讨论了电池荷电状态对大容量电池储能系统控制特性的影响。在PSCAD/EMTDC环境下搭建了大容量电池储能系统的仿真平台,进行了系统充放电工作特性的仿真。仿真结果和试验数据对比分析表明,所建立的电池储能系统数学模型能有效地模拟大容量电池储能系统的充放电工作特性,为大容量电池储能系统的控制与应用提供了理论基础。

彭思敏¹ 孙 烨² 辅小荣¹/1.盐城工学院电气工程学院 2.盐城工业职业技术学院艺术设计学院



彭思敏/讲师

关键词/Keywords

大容量电池储能系统·
数学模型·
电池系统·
电池荷电状态·

近年来,随着能源危机及环境恶化等问题的日益严重,风能、太阳能等可再生能源越来越受到人们的关注^[1]。然而由于这些可再生能源具有间歇性、随机性及波动性等特点,导致其大规模开发及广泛应用时面临并网难、控制复杂等难题^[2]。电池储能系统可以有效地解决这些可再生能源直接并网对电网的冲击作用,且能为电网提供有功功率和无功功率支撑^[3]。同时,因受可再生能源规模不断扩大、用电负荷容量快速提升等因素影响,大容量(兆瓦级)电池储能系统(Battery Energy Storage System, BESS)也应运而生^[4]。

国家自然科学基金(51507150),江苏省自然科学基金项目(BK20150430),江苏省高校自然科学研究面上项目(15KJB480004)。

在大容量BESS中,电池系统作为其能量存储及转换的主要载体,一般由成千上万个电池单体经串并联而成,且实际充放电过程中各电池单体性能参数并不一致,导致大容量BESS的电池性能参数(如电压、电流和荷电状态)及其充放电特性难以被准确测量、估算,严重制约其大规模开发与应用^[5]。因此,研究大容量BESS的建模及其控制特性对大容量BESS的安全运行、控制及其优化设计等均具有重要意义。

目前,国内外关于BESS建模的主要方法包括电化学模型、分析模型及等效电路模型等,其中等效电路模型因直观、简单和物理意义明确等优点而被广泛应用于电气工程领域^[6-7]。同时,由于电池性能参数变化均与荷电状态(State of Charge, SOC)有关^[8],然而从系统应用角度来看,表征电池系统工作特性的电池性能参数不宜过多,因而有必要研究一种适宜系统应用开发、且基于SOC的大容量电池储能系统数学模型。在介绍大容量电池储能系统结构及其工作原理的基础上,分析电池系统的充放电特性及其电池性能参数与SOC的关系,从系统应用的角度提出基于电池荷电状态的大容量BESS数学模型,讨论了电池荷电状态对大容量BESS控制特性的影响。在PSCAD/EMTDC环境下搭建大容量BESS的仿真平台,并通过系统充放电工作特性的仿真及试验数据对比分析,以验证所提出的系统模型正确性。

大容量电池储能系统的构成及工作原理

1. 大容量BESS的构成

大容量BESS通常由电池系统（Battery System, BS）、电池管理系统（Battery Management System, BMS）、功率转换系统（Power Conversion System, PCS）及监控系统等部分构成；而在实际应用中，为便于大容量BESS的设计、管理及控制，通常将BS、BMS和PCS组合成模块化BESS，再由多个模块化BESS并联构成大容量BESS，如图1所示。电池系统是BESS实现电能存储与转换的主要载体；BMS主要用于对电池系统及其内部的电池模块或电池单体进行状态信息监测（如电池端电压 U 、电流 I 、温度 T_c 和SOC等）、控制及保护等功能，并能实现与监控系统的数据交换及通信；PCS是实现BESS与外部进行电能转换与交互的主要电力电子装置；监控系统主要实现对BESS运行状态进行监测、管理及控制等功能。

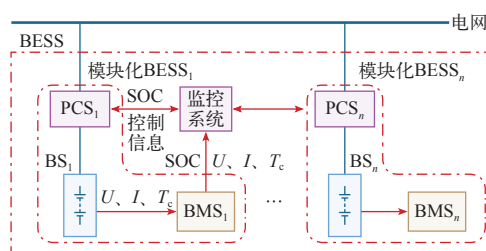


图1 大容量电池储能系统结构示意图

2. 工作原理

当系统中负荷或电源变化时，BESS首先根据监控系统提供的SOC值来计算当前电池系统电量的多少，并根据充放电工作条件来决定BESS的工作状态（如充电、放电等），然后通过不同控制策略来控制PCS的输出，进而实现BESS的各种实际应用控制功能：若SOC值满足放电工作条件要求，BESS通过控制其PCS将电池系统中存储的直流电转换为系统所需的交流电，从而实现BESS的各种应用控制功能；若SOC值满足充电工作条件要求，BESS通过控制其PCS将电网中的交流电转换为直流电存于电池系统中。同时，在整个充放电过程中，BMS不断监测电池系统及其内部电池模块或电池单体的端电压、电流和温度等状态信

息，计算出对应的SOC值，并将这些状态信息及SOC值适时传送给监控系统，以供监控系统进行管理与控制。

大容量BESS数学模型及其控制特性

1. 电池系统等效模型及其控制特性

(1) 电池系统等效模型

考虑到各模块化BESS在结构及控制上的相似性，现以其中任一模块化BESS的电池系统为例进行分析，电池系统是由电池单体经 m 串 n 并而成的 $m \times n$ 型电池系统，如图2所示。

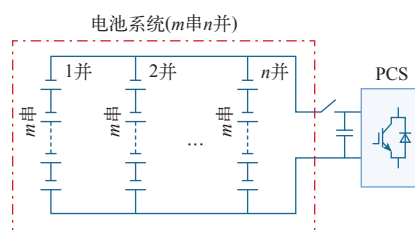


图2 电池系统结构示意图

电池单体是构成大容量电池系统的基本单元，其模型及电池性能参数的准确度直接关系着电池系统模型的准确性，然而，从系统应用角度而言，电池单体模型的复杂程度也将制约电池系统模型的实用性。文献[8]采用含两个RC并联电路的等效模型来描述电池单体充放电动态特性，具有较高的准确度，但需要拟合的电池性能参数较多，难以适宜于由成千上万个电池单体组成的电池系统建模，采用的单体等效电路模型如图3所示。模型主电路由1个RC并联电路、受控电压源 $U_0(\text{SOC})$ 及电池内阻 R 等组成。图3中， U_0 为电池单体开路端电压； R_d 和 C_d 分别为描述电池单体暂态响应特性的电阻、电容，且均与SOC相关。

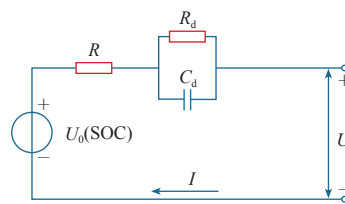


图3 电池单体等效电路模型

根据单体电池模型电路结构及充放电工作特性，其等效模型的数学表达式可写为

$$\begin{cases} U(t) = U_0[\text{SOC}(t)] - I(t) \left[R(t) + \frac{R_s(t)}{1 + R_s(t)j\omega C_s(t)} + \frac{R_l(t)}{1 + R_l(t)j\omega C_l(t)} \right] \\ U_0(\text{SOC}) = a_0 e^{-a_1 \text{SOC}(t)} + a_2 + a_3 \text{SOC}(t) - a_4 \text{SOC}^2(t) + a_5 \text{SOC}^3(t) \\ R(\text{SOC}) = b_0 e^{-b_1 \text{SOC}(t)} + b_2 + b_3 \text{SOC}(t) - b_4 \text{SOC}^2(t) + b_5 \text{SOC}^3(t) \\ R_l(\text{SOC}) = c_0 e^{-c_1 \text{SOC}(t)} + c_2 \\ C_l(\text{SOC}) = d_0 e^{-d_1 \text{SOC}(t)} + d_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中, U_0 为电池开路端电压; $a_0 \sim a_5$ 、 $b_0 \sim b_5$ 、 $c_0 \sim c_2$ 和 $d_0 \sim d_2$ 均为模型系数, 可由电池测量数据经拟合而得^[9]。

SOC 的表达式为

$$\text{SOC}(t) = \text{SOC}_0 - \frac{\int I(t)dt + Q_u(t)}{Q_0} \quad (2)$$

式中, SOC_0 为 SOC 初始值, 一般为 0~1 的常数; $Q_u(t)$ 为电池不可用容量, Q_0 为电池额定容量。

1) 电池系统的开路端电压。根据串联电路中总电压等于串联各元件端电压之和, 并联电路中总电压等于各支路端电压, 得 $m \times n$ 型电池系统的开路端电压为

$$U_{b0}(\text{SOC}) = \sum_{i=1}^m U_{0i}(\text{SOC}) \quad (3)$$

式中, $U_{0i}(\text{SOC})$ 为第 i 个电池单体开路端电压。

2) 电池系统的阻抗。为便于分析, 假设 $m \times n$ 型电池系统是先由 m 个电池单体串联构成串联型电池系统, 然后再由 n 个串联型电池系统构成。当 m 个电池单体串联时, 串联型电池系统阻抗等于各个电池单体阻抗之和; 当 n 个串联型电池系统并联时, 电池系统总阻抗的倒数等于各串联型电池系统阻抗倒数之和, 即

$$\begin{cases} Z_s = \sum_{i=1}^m R_i(\text{SOC}) + \sum_{i=1}^m \frac{R_{di}(\text{SOC})}{R_{di}(\text{SOC})j\omega C_{di}(\text{SOC}) + 1} \\ Z_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^n Z_{si}} \end{cases} \quad (4)$$

式中, Z_s 、 Z_b 分别为串联型电池系统阻抗及电池系

统总阻抗。

在实际应用中, 构成电池系统的电池单体一般经过筛选而得, 各电池单体的对应阻抗参数基本相等^[10], 故从系统应用角度来看, 可认为其对应阻抗参数近似相等, 即

$$\begin{cases} R_l(\text{SOC}) \approx R_2(\text{SOC}) \approx \dots \approx R_m(\text{SOC}) = R(\text{SOC}) \\ R_{d1}(\text{SOC}) \approx R_{d2}(\text{SOC}) \approx \dots \approx R_{dm}(\text{SOC}) = R_d(\text{SOC}) \\ C_{d1}(\text{SOC}) \approx C_{d2}(\text{SOC}) \approx \dots \approx C_{dm}(\text{SOC}) = C_d(\text{SOC}) \end{cases} \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (4) 中可得

$$\begin{cases} Z_b = R_b(\text{SOC}) + \frac{R_{bd}(\text{SOC})}{R_{bd}(\text{SOC})j\omega C_{bd}(\text{SOC}) + 1} \\ R_b(\text{SOC}) = \frac{m}{n} R(\text{SOC}) \\ R_{bd}(\text{SOC}) = \frac{m}{n} R_d(\text{SOC}) \\ C_{bd}(\text{SOC}) = \frac{n}{m} C_d(\text{SOC}) \end{cases} \quad (6)$$

式中, R_b 为电池系统内阻; R_{bd} 、 C_{bd} 分别为描述电池系统暂态响应特性的电阻、电容。

同理, $m \times n$ 型电池系统的开路端电压应为电池单体开路端电压的 m 倍, 式 (3) 可改写为

$$U_{b0}(\text{SOC}) = \sum_{i=1}^m U_{0i}(\text{SOC}) = mU_0(\text{SOC}) \quad (7)$$

由此, 由式 (1)、式 (6) 和式 (7) 得 $m \times n$ 型电池系统等效电路模型, 如图 4 所示。

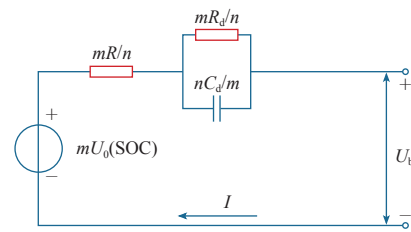


图4 电池系统等效电路模型

(2) SOC 对电池系统控制特性的影响

SOC 的大小代表电池系统当前可用电量的多少, 因此, 电池系统的 SOC_b 不仅决定着电池系统能否正常工作, 也决定着电池系统与外界进行能量交换的能力大小, 具体对电池系统控制特性的影响有三个方面。一是放电工作特性控制方面。只有当 SOC_b 大于某一最小安全阈值 $\text{SOC}_{\min}$ 时, 电池系统才能被允许放电, 且在放电过程中若 SOC_b

小于 $\text{SOC}_{\min}$ 时,应停止放电,以避免电池系统出现过放现象,即电池系统进行放电时,必须满足

$$\text{SOC}_b \geq \text{SOC}_{\min} \quad (8)$$

$\text{SOC}_{\min}$ 取值大小可根据实际情况而定,为了电池安全运行起见,常取值为0.2。

二是充电工作特性控制方面。一般地,当 SOC_b 小于 $\text{SOC}_{\min}$ 时,电池应停止放电而进入充电状态,且当 SOC_b 大于某一最大安全阈值 $\text{SOC}_{\max}$ 时,电池系统应停止充电,以避免出现过充现象,即电池系统进行放电时,必须满足

$$\text{SOC}_b \leq \text{SOC}_{\max} \quad (9)$$

$\text{SOC}_{\max}$ 取值大小可根据实际情况而定,为了电池安全运行起见,常取值为0.8。

三是能量平衡控制方面。若忽略电池及线路的损耗,电池由外部吸收的电量应等于其向外提供的电量,且等于SOC变化量所对应的电量,即

$$I_d \Delta t_1 = Q_0 \Delta \text{SOC} = I_c \Delta t_2 \quad (10)$$

式中, I_c 、 I_d 分别为电池系统的充、放电电流; Δt_1 、 Δt_2 分别为充、放电时间; ΔSOC 为SOC变化量。

2. PCS及其控制特性

大容量BESS是通过多个模块化BESS并联构成,而PCS是模块BESS的核心控制装置,因此,研究大容量BESS的控制实质是研究PCS并联运行控制问题。假设PCS输出电压 U_b 与公共母线电压 U_g 的相角差为 δ ,PCS与公共母线间的输出阻抗为 Z ,其阻抗角为 θ ,通过输出阻抗 Z 与公共母线相连的PCS单相简化运行情况如图5所示。

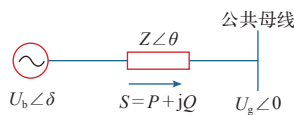


图5 PCS与公共母线相连的简化原理图

在图5中,PCS注入公共母线的有功功率 P 、无功功率 Q 分别为

$$\begin{cases} P = \left(\frac{U_b U_g}{Z} \cos \delta - \frac{U_g^2}{Z} \right) \cos \theta - \frac{U_b U_g}{Z} \sin \delta \sin \theta \\ Q = \left(\frac{U_b U_g}{Z} \cos \delta - \frac{U_g^2}{Z} \right) \sin \theta - \frac{U_b U_g}{Z} \sin \delta \cos \theta \end{cases} \quad (11)$$

(1) 低压配电网中的控制特性

由于在低压配电网中可认为电抗近似为0,线

路阻抗主要为电阻,即 $Z \approx R$ 、 $\theta \approx 0^\circ$ 。同时,在线路潮流计算时一般认为 δ 很小,即满足 $\sin \delta \approx \delta$,从而由式(11)可得

$$\begin{cases} P = \frac{U_g (U_b - U_g)}{R} \\ Q = -\frac{U_b U_g}{R} \delta \end{cases} \quad (12)$$

由式(12)可知,在低压配电网中,线路传输的有功功率主要取决于PCS与公共母线间的电压差 $U_b - U_g$,而无功功率则主要取决于PCS与公共母线间的电压相位差 δ 。

(2) 高压电网中的控制特性

由于在高压电网中阻抗主要呈现为感性,即 $Z \approx \omega L$ 、 $\theta \approx 90^\circ$,而线路潮流计算时一般认为 δ 很小,即满足 $\sin \delta \approx \delta$,从而由式(11)可得

$$\begin{cases} P = -\frac{U_b U_g}{\omega L} \delta \\ Q = \frac{U_g (U_b - U_g)}{\omega L} \end{cases} \quad (13)$$

由式(13)可知,在高压电网中,线路传输的有功功率主要取决于PCS与公共母线间的电压相位差 δ ,而无功功率则主要取决于PCS与公共母线间的电压差 $U_b - U_g$ 。

(3) 基于SOC的负荷分配控制策略

针对大容量电池储能系统多用于中高压电力系统中,应用式(13)结合下垂控制来进行负载分配控制。针对采用传统下垂控制可能导致实际应用过程中 SOC_b 初值小的模块化BESS提前结束放电的问题,采用一种基于SOC的改进型下垂控制策略^[11],即

$$\begin{cases} \omega_{li} = \omega_0 - k_{oi} P_i \\ k_{oi1} \text{SOC}_{b1} = k_{oi2} \text{SOC}_{b2} = \dots = k_{oi} \text{SOC}_{bi} = \Delta \omega_{\max} \end{cases} \quad (14)$$

式中, k_{oi} 为第 i 个模块化BESS的下垂控制系数。

式(14)表明,各模块化BESS将根据各自的 SOC_b 比值来承担系统负荷。

仿真及试验数据验证

为验证所提出的大容量BESS模型的正确性及有效性,在PSCAD/EMTDC电磁暂态仿真环境

下搭建了由两个等容量（ $100\text{ A}\cdot\text{h}\times 128\text{ V}$ ）模块化BESS并联而成的BESS（ $25.6\text{ kW}\cdot\text{h}$ ）仿真模型及试验平台，并进行了充放电工作特性仿真结果与其试验数据的对比分析，图6为BESS仿真及试验平台结构示意图。在系统中，每个模块化BESS（ BESS_1 、 BESS_2 ）中的电池系统是由 4×2 （4串2并，下同）个电池模块构成，每个电池模块由 12×2 个电池单体组成（考虑到电池系统端电压设计要求，其中一个电池模块由 4×2 个电池单体组成）；各PCS为基于IGBT的传统三相单级电压型变换器，其控制策略采用式（14）。具体系统仿真及试验参数如下表所示。

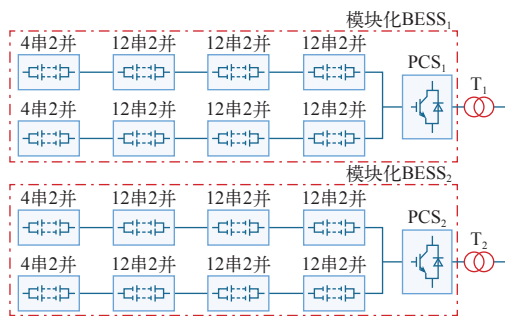


图6 电池储能系统仿真及实验平台结构图

表 仿真及试验参数

系统参数	仿真值	实验值
系统频率 f_p/Hz	50	50
系统电压 U_p/kV	6.3	0.38
PCS容量 $S_p/\text{kV}\cdot\text{A}$	1 000	500
T_1 （ T_2 ）容量 $S_T/\text{MV}\cdot\text{A}$	1	0.5
电池单体容量 $\text{A}\cdot\text{h}$	25	25
电池单体工作电压 V	3.2	3.2
电池单体放电截止电压 V	2.5	2.5
电池模块容量 $\text{A}\cdot\text{h}$	50	50
电池模块工作电压 V	38.4	38.4
单个电池系统容量 $C_b/\text{A}\cdot\text{h}$	100	100
单个电池系统工作电压 U_b/V	128	128
充放电功率 P_i/kW	25	25

1. 仿真分析

仿真分析主要包括电池储能系统放电工作特性及充电工作特性的仿真，考虑到电池充放电过程中电压变化不大及便于实际应用与分析，采用恒功率（ 25 kW ）充放电方式，即充放电倍率为 2C （ 200 A ）。充、放电时 BESS_1 和 BESS_2 的 SOC_b 初

值均相等，且分别为 0 、 0.8 ，意味着采用下垂控制时两个模块化BESS将平均分配系统负荷或充电功率。图7为电池储能系统放电工作特性仿真结果，图8为电池储能系统充电工作特性仿真结果。

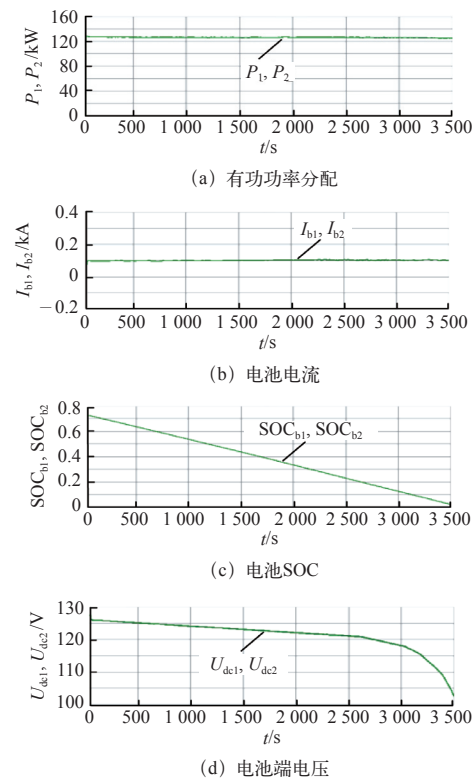


图7 电池储能系统放电工作特性仿真结果

图7a为放电时 BESS_1 和 BESS_2 分配负载有功功率的情况，由于 SOC_b 初值均为 0.8 ， BESS_1 和 BESS_2 各承担负载有功功率的一半（ $P_1=P_2=125\text{ kW}$ ）。由于 BESS_1 与 BESS_2 并联，若忽略线路损耗，其各自电池端电压均相等，且电池端电压在放电过程中电压变化不大（放电末期除外）， BESS_1 与 BESS_2 的放电电流应始终相等（ $I_{b1}=I_{b2}=100\text{ A}$ ），且变化不大；在放电末期，因采用恒功率充电，当电池电压下降较大时， I_{b1} 、 I_{b2} 均稍有上升趋势，如图7b所示。图7c为两个模块化BESS的 SOC_b （ SOC_{b1} 、 SOC_{b2} ）变化情况，整个放电过程中， SOC_{b1} 与 SOC_{b2} 均由初值 0.8 逐渐减小至 0 ，表明电池放电结束。图7d为 BESS_1 与 BESS_2 端电压（ U_{dc1} 、 U_{dc2} ）变化情况，放电时， U_{dc1} 与 U_{dc2} 在前期均一直呈近似直线关系缓慢下降，当进入放电末期（ 3 000 s ）后，呈近似指数关系快速下降，至止放电结束，

反映了放电末期电池暂态响应特性。

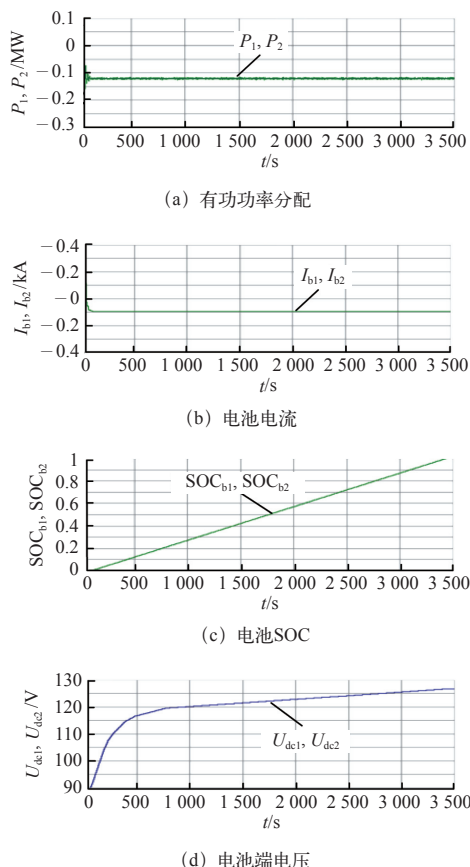


图8 电池储能系统充电工作特性仿真结果

图8a为充电时BESS₁和BESS₂分配电源有功功率的情况，与放电时相似，BESS₁和BESS₂承担相同的电功率 ($P_1 = P_2 = -125 \text{ kW}$)，且方向一致为负。同时，BESS₁与BESS₂均以相等电流进行充电 ($I_{b1} = I_{b2} = -100 \text{ A}$)，如图8b所示。图8c为SOC_{b1}与SOC_{b2}变化情况，整个充电过程中，SOC_{b1}与SOC_{b2}均由初值0逐渐上升至1，表明电池充满电。图8d为充电时 U_{dc1} 与 U_{dc2} 变化情况，在充电初期， U_{dc1} 与 U_{dc2} 都呈近似指数关系快速上升，而后呈近似直线关系缓慢提高，直至充电结束。

2. 仿真结果与试验数据对比分析

由于并联时总电压等于各支路端电压，且各模块化BESS在结构与控制上相似，仅以BESS₁为例来进行对比分析，试验的充放电条件与仿真时相同，电池充、放电时电池端电压试验数据是由电压传感器检测电池系统直流母线电压获得，每隔2 min读取一次数据。图9为充放电时仿真结果与

试验数据对比情况。

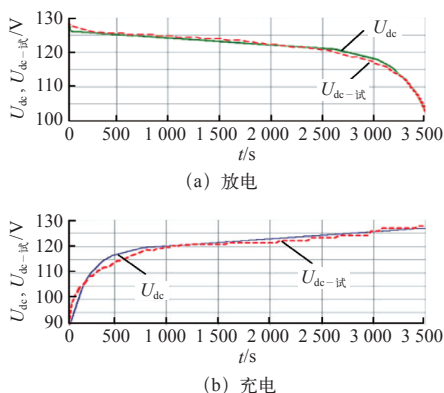


图9 仿真结果与试验数据对比

图9a、b分别为放电、充电时电池系统端电压仿真结果与试验数据对比情况。由图9a、b可知，无论是放电过程，还是充电过程，仿真结果 (U_{dc}) 均与试验数据 ($U_{dc_试}$) 基本吻合，尤其是在电池工作平台电压区间 (直线区域)；由于该系统模型仅采用一阶RC并联电路来反映电池暂态响应特性，当电池进入放电末期 (3 000 s后) 或充电初期 (0~800 s) 时，其 U_{dc} 与 $U_{dc_试}$ 的误差相对较大，但仍可大致模拟电池储能系统充放电工作特性，验证了所提系统模型的正确性。

结束语

针对由多个电池单体构成的大容量电池储能系统的充放电工作特性难以被准确模拟的问题，首先介绍了大容量电池储能系统的构成及其工作原理，分析了实际应用中构成电池系统的电池单体阻抗参数与电池系统性能参数关系，从系统应用的角度提出基于电池荷电状态的大容量电池储能系统数学模型，并讨论了电池荷电状态对大容量电池储能系统控制特性的影响。在PSCAD/EMTDC环境下搭建了大容量电池储能系统的仿真平台，通过仿真分析可以看出，所建立的电池储能系统数学模型无论是在放电末期 (3 000 s) 和充电初期 (0~800 s)，还是整个充放电过程中都能有效地模拟大容量电池储能系统的充放电工作特性；因系统模型仅采用一阶RC并联电路来反映电池暂态响应特性，在放电末期或充电初期与试验数据对比时存在一定误差 (5%)，但仍可大致模

拟电池储能系统充放电过程。所提出的模型, 适宜于对大容量电池储能系统进行电气设计、仿真及应用研究, 为大容量电池储能系统的控制与应用提供了理论基础。

参考文献

- [1] 陈哲. 配电系统中的风力发电 [J]. 电工技术学报, 2013, 28 (5): 1-14.
- [2] 叶瑞丽, 刘瑞叶, 刘建楠, 等. 直驱风电机组风电场接入后的电力系统暂态稳定计算 [J]. 电工技术学报, 2014, 29 (6): 211-218.
- [3] 姚勇, 朱桂萍, 刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用 [J]. 电工技术学报, 2012, 27 (1): 85-89.
- [4] Damon B, Shaahin F, Ani M G. Stability analysis of converter connected battery energy storage systems in the grid [J]. IEEE Transaction on Sustainable Energy, 2014, 5 (4): 1204-1212.
- [5] Matthieu D, Nicolas V, Bor Y L. Origins and accommodation of cell variations in Li-ion battery pack modeling [J]. International Journal of Energy Research, 2009, 34 (2): 216-231
- [6] Jonghoon K, Cho B H. Screening process-based modeling of the multi-cell battery string in series and parallel connection for high accuracy state of charge estimation [J]. Energy, 2013, 57 (3): 581-599.
- [7] Min C, Gabriel A R M. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance [J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 2006, 21 (2): 504-511.
- [8] 彭思敏, 施刚, 蔡旭, 等. 基于等效电路法的大容量蓄电池系统建模与仿真 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33 (7): 11-18.
- [9] Taesic K, Wei Q. A hybrid battery model capable of capturing dynamic circuit characteristics and nonlinear capacity effects [J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 2011, 26 (4): 1172-1180.
- [10] kim J, Shin J, Chun C, et al. Stable configuration of a li-ion series battery pack based on a screening process for improved voltage/SOC balancing [J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2012, 27 (1): 411-424.
- [11] 彭思敏, 窦真兰, 凌志斌, 等. 并联型储能系统孤网运行协调控制策略 [J]. 电工技术学报, 2013, 28 (5): 128-134.

(收稿日期: 2015-07-28) **EA**

信息动态

江森自控与安捷电力强强联手 打造节能减排示范项目 ——双方签署战略合作协议 将围绕节能服务产业主题开展战略合作

2015年10月22日, 江森自控与天津安捷公共设施服务有限公司(以下简称为“安捷电力”)在天津签署战略合作协议, 双方将围绕节能服务产业结成联盟, 利用各自所在领域的优势与资源, 帮助天津乃至全国推进新型能源与节能推广工作, 从而加快资源节约型、环境友好型社会的建设步伐。

江森自控是行业领先的一站式建筑节能解决方案供应商。安捷电力是海谐集团旗下子公司, 致力于电力及公

用事业维护服务的行业创新, 自主研发了用户侧变电站及线路智能化运维系统, 真正实现了变电站的无人值守、远程集控的智能维护模式, 是电力用户维护新技术、新模式的倡导者和领导者。根据协议, 双方将针对既有建筑节能改造业务进行合作, 在楼宇自控及节能改造项目上实现资源共享、优势互补。另一方面, 双方还将发挥各自资源优势, 在技术、市场、服务和客户等方面, 共同开拓节能服务的新领域与新市场。