

基于光伏电站场景下的梯次电池储能经济性分析

刘大贺¹, 韩晓娟¹, 李建林²

(1. 华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要:大规模可再生能源并网时,通过配置储能系统平抑功率波动,可以实现能量的平稳转移。以某光伏电站为应用场景,分析梯次电池储能在平抑光伏功率波动这一应用模式下的优化规划并评估其经济性。建立光伏电站储能系统优化规划和经济性评估模型,以满足并网波动率限制下储能容量成本最小为目标函数,采用人工鱼群算法进行优化求解,并通过对比常规储能系统评估梯次电池的经济性。选取相关算例进行分析,结果表明模型具有一定的合理性和有效性。

关键词:梯次电池储能;光伏电站;经济性;人工鱼群算法

中图分类号:TM912

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)06-0027-05

0 引言

近年来,应用梯次电池储能已成为研究热点,但成本仍是制约电池储能大规模应用的主要因素^[1,2]。对于退役动力电池,直接报废回收处理会对环境造成极大的危害,同时也是对电池价值的巨大浪费。退役动力电池虽然无法满足在电动汽车应用领域的性能要求,但仍可在其他场合发挥其作用,一个最主要的用途就是用于储能领域,比如用于可再生能源发电等领域^[3]。在一定程度上可以降低电池储能系统的成本,优化储能配置。对退役动力电池进行梯次利用,可充分发挥动力电池的容量价值、延长使用寿命、促进节能减排,有利于缓解大量电池报废带来的回收工作压力,并能在一定程度上分摊电池储能的高成本。研究动力电池的梯次利用技术,对于推动电力行业的健康绿色发展、储能系统的推广应用以及节能环保具有重要的社会意义和巨大的经济效益^[4]。

国内外对于动力电池梯次利用的重要性和经济效益已经有了较明确的认识,但对于动力电池的梯次利用仍处于初步阶段。在国外市场,商业运作方面的应用主要集中在家庭储能、商业储能、移动电源等小型灵活的设备^[5,6]。国内示范工程的应用领域主要集中在新能源发电、低速电动车、电动汽车充换电站等方面^[7-10]。示范工程验证了梯次电池用于储能系统的技术可行性,而动力电池梯次利用是否具有经济可行性,则决定了其在未来能否具有成规模商业化运作。文献^[11]从动力电池所有

者的角度,以动力电池全寿命周期的整体价值为研究对象,提出了评估动力电池梯次利用经济性的方法。文献^[12]根据给出的典型住宅负荷曲线,分别确定了典型住宅在具备和不具备梯次利用电池储能系统进行负荷调节情况下的年成本,并分析了在不同电价和辅助费用等级下采用梯次利用动力电池所节约的成本。文献^[13]从环保角度出发,分析了动力电池梯次利用所面临的技术难题和成本问题,并提出了新的动力电池商业模式:租赁。文献^[14]以退役动力电池梯次利用的电动汽车快速充电站为研究对象,从电网引入梯次利用储能系统所带来的价值的角度,建立了梯次利用储能系统的经济效益模型。大都没有考虑梯次电池储能在光伏电站场景下的经济性。

本文以某光伏电站为应用场景,分析梯次电池储能在平抑光伏功率波动这一应用模式下的优化规划并对其经济性进行评估。建立光伏电站储能系统优化规划和经济性评估模型,以满足并网波动率限制下储能容量成本最小为目标函数,采用人工鱼群算法(artificial fish school algorithm, AFSA)进行优化求解,对比常规储能系统,以此评价梯次电池的经济性,并选取相应的算例进行分析来验证该模型的合理性和有效性。

1 梯次电池储能用于光伏电站的优化规划和经济性评估模型

模型采用基于马尔可夫链的光伏功率预测方法^[15],对光伏电站的出力进行预测,同时考虑光伏并网的功率波动限制,即光储系统合成出力在单位时间内的功率波动量 λ_{PE} 应小于其并网电网所能接受的最大功率波动量 λ_{lim} ,采用滑动平均法^[16]从马

收稿日期:2017-06-28;修回日期:2017-08-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51577065);国家重点研发计划资助项目(2017YFGX100110)

尔科夫预测功率 $P_{pv,pre}$ 中分离出持续分量和波动分量,其中持续分量 $P_{pv,ref}$ 作为光伏电站的并网功率 P_{grid} ,而光伏实际出力与并网功率的差额则由储能来弥补,即储能系统的目标出力为:

$$P_{ess} = P_{pv} - P_{grid} \quad (1)$$

式中: P_{ess} 为储能系统的目标出力; P_{pv} 为预测功率; P_{grid} 为光伏电站的并网功率。

1.1 模型目标函数及约束条件

光伏电站储能系统容量优化配置模型以光伏电站配置储能系统的成本最小为目标函数。即:

$$F = \min C_{ess} \quad (2)$$

其中配置储能系统的成本 C_{ess} 包括电池储能系统初始投资成本 C_{ess1} 和运行维护成本 C_{ess2} ,各成本均折算到等年值,如式(4)、式(5)所示。

$$C_{ess} = C_{ess1} + C_{ess2} \quad (3)$$

$$C_{ess1} = (C_E E_b + C_P P_b) \frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \quad (4)$$

$$C_{ess2} = k_{ess} \times (C_E E_b + C_P P_b) \quad (5)$$

电池储能系统初始投资成本 C_{ess1} 主要包括容量成本与功率成本两部分,即储能电池成本和功率转换系统(PCS)的成本^[17];运行维护成本 C_{ess2} 包括储能电池和电池储能系统的(battery energy storage system, BESS)年运行维护成本; C_E 为储能电池的单价; C_P 为 PCS 的单价; P_b 和 E_b 分别为储能电池系统的额定功率与额定容量; m 为储能系统的使用年限; k_{ess} 为电池储能系统的年运行维护系数; r 为贴现率。

模型的约束条件包括电池荷电状态约束(state of charge, SOC)、电池充放电功率约束、电池充放电守恒约束、系统功率平衡约束以及光伏并网功率波动限制约束。

(1) 电池荷电状态约束。

$$E_{SOC_{min}} \leq E(t)_{SOC} \leq E_{SOC_{max}} \quad (6)$$

式中: $E_{SOC_{min}}$ 和 $E_{SOC_{max}}$ 为 SOC 的上下限。

(2) 电池充放电功率约束。

$$|P_{ba}(t)| \leq P_{ba,max} \quad (7)$$

式中: $P_{ba,max}$ 为充放电功率限制; $P_{ba}(t)$ 为 t 时刻电池的充放电功率; $P_{ba,max} \leq (1-a)P_b$, 即储能电池的充放电功率需留有一定裕度。

(3) 电池充放电守恒约束^[19]。

$$\sum_{t=1}^{1440} P_{ba}(t) = 0 \quad (8)$$

电池充放电守恒约束即一天内蓄电池总充电量和总放电相等。

(4) 系统功率平衡约束。

$$P_{grid}(t) = P_{pv}(t) + P_{ba}(t) \quad (9)$$

式中: $P_{grid}(t)$, $P_{pv}(t)$, $P_{ba}(t)$ 分别为各时刻光伏电站并网功率、光伏发电出力以及储能出力。

(5) 光伏并网功率波动限制约束。

$$\lambda_{PE}(n) < \lambda_{lim} \quad (10)$$

式中: $\lambda_{PE}(n)$ 为光储系统合成出力在单位时间内功率的波动量; λ_{lim} 为并网电网所能接受的最大功率波动量,通常并网波动功率不超过装机容量的 10%。

1.2 求解算法

本文采用人工鱼群算法对所建的光伏电站储能系统容量优化配置模型进行求解。AFSA 是由李晓磊等^[18]提出的一种基于模拟鱼群行为的智能优化算法,其原理是在一片水域中,鱼生存数目最多的地方往往是水域中富含营养物质最多的地方,依据这一特点来模仿鱼群的觅食等行为,从而实现全局寻优。AFSA 需初始化一组鱼群,每条人工鱼代表一个经济优化模型的一个解状态,每个个体所在位置的食物浓度代表解状态下对应的经济效益值。鱼群通过觅食、聚群及追尾行为向食物浓度更大的区域游动,从而向经济性最优解附近的区域靠近。

采用 AFSA 能够具有较快的收敛速度,可以用于解决有实时性要求的问题,在本文中求解精度要求不高,可以通过 AFSA 快速得出解。采用 AFSA 进行光伏电站储能优化配置和经济性评估模型的优化求解步骤如图 1 所示。

1.3 梯次电池储能系统成本估计

在可计算得到梯次电池的循环寿命和日历寿命^[19-23]的基础上,本节提出以梯次电池储能系统所能产生的使用价值为依据的配置梯次电池储能系统的成本估算方法。梯次电池储能系统的成本由初始购买成本和运行维护成本构成。初始购买成本(折算到等年值)由容量成本(梯次储能电池成本)和功率成本(储能变流器成本)组成,可由式(11)计算:

$$C_{1_{sec}} = (C_{E_{sec}} E_{sec} + C_{P_{sec}} P_{sec}) \times \frac{r(1+r)^{m_{sec}}}{(1+r)^{m_{sec}} - 1} \quad (11)$$

式中: $C_{E_{sec}}$ 为梯次电池储能系统单位容量的价格,不同于常规电池储能系统的容量成本; $C_{P_{sec}}$ 为梯次储能系统单位功率的价格,即储能变流器(power control system, PCS)的单价,可认为与常规电池储能系统的 PCS 单价一致; E_{sec} , P_{sec} 分别为梯次电池储能系统的额定容量与额定功率; m_{sec} 为梯次电池储能系统的日历寿命(年)。运行维护成本由梯次储

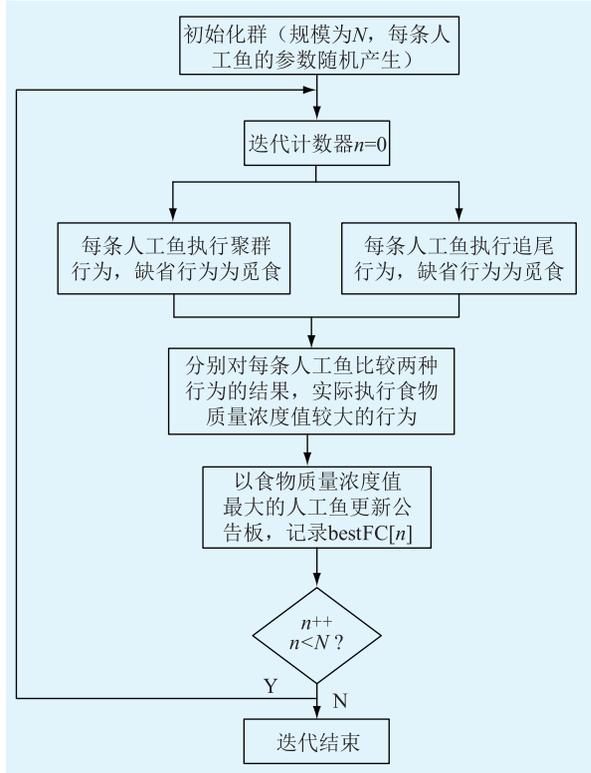


图1 人工鱼群算法流程

Fig.1 Flow chart of artificial fish swarm algorithm

能电池的运维成本和 PCS 的运维成本组成,可由式(12)计算:

$$C_{2_sec} = K_{E_sec} E_{sec} + K_{P_sec} P_{sec} \quad (12)$$

式中: K_{E_sec} 为单位容量梯次储能电池运行维护费用,其值受梯次电池的初始容量保持率影响; K_{P_sec} 为 PCS 运行维护单价,其值与常规储能系统的 PCS 运维单价一致。

由式(11)和(12)可知,梯次电池储能和常规电池储能系统在计算成本时,除了日历寿命 m_{sec} 不同之外,单位容量的购买费用 C_{E_sec} 和运行维护费用 K_{E_sec} 也有差异。

针对梯次储能电池单位容量的购买费用 C_{E_sec} ,从梯次电池用于储能所能产生的使用价值角度出发来进行评估,与常规储能电池的使用价值相比较,梯次电池用于储能系统产生的使用价值可由式(13)估计其单位容量购买费用 C_{E_sec} 。

$$C_{E_sec} = C_{E_con} \times \frac{m_{sec}}{m_{con}} \quad (13)$$

式中: C_{E_con} 为单位容量常规储能电池的价格; m_{con} 为常规储能电池寿命。

单位容量梯次储能电池运行维护费用 K_{E_sec} 随梯次电池初始容量保持率变化,以锂离子电池为例,不同初始容量保持率的梯次电池对应的运行维护单价如表 1 所示。

表 1 不同容量保持率的锂电池对应的运行维护单价
Table 1 Operation and maintenance price of lithium battery with different capacity retention rate

锂电池容量保持率	运行维护单价/[元·(kW·h) ⁻¹]
1	0.07
0.9	0.18
0.8	0.34
0.7	1.01
0.6	3.13
0.5	11.61
0.4	70.17

采用指数函数拟合得到单位容量梯次储能电池运行维护费用 K_{E_sec} 与梯次电池初始容量保持率的关系,如式(14)所示:

$$K_{E_sec} = 0.05165 \times \beta^{-6} \quad (14)$$

2 算例分析

2.1 模型参数设定

在本文中选取河北张家口风光储能电站的数据进行算例分析,其装机容量 P_{ins} 为 40 MW,功率数据采集间隔 $\Delta t = 1 \text{ min}$,即一个典型日内共采 1440 个点。由于光伏发电夜间出力为 0,因此只考虑每天从 6:00 时至 19:00 时的出力数据。模型所需各参数如表 2 所示。

表 2 模型所需各参数

Table 2 parameters of the model

名称	数值
贴现率	0.07
单位容量常规储能电池的价格/[元·(kW·h) ⁻¹]	2200
PCS 的单价/元	1000
常规储能电池的寿命/a	10
储能裕度	0.03
常规储能系统年运行维护单位容量成本/[元·(kW·h) ⁻¹]	0.05
常规储能系统年运行维护单位功率成本/(元·kW ⁻¹)	25
并网电网所能接受的最大功率波动量	10% P_{ins}

2.2 算例分析

采用人工鱼群算法对所建模型进行优化求解,AFSA 算法参数设置如下:最大迭代次数为 100;鱼群规模为 30;视野范围为 6—12;最大步长为 3—5;拥挤度因子为 0.628;T 为 4—8;安全度系数为 0.9;则求解得到该光伏电站配置储能系统的额定容量为 2.218 9 MW·h,额定功率为 3.925 9 MW。图 2 为典型日光伏电站实测功率、马尔可夫预测功率以及光伏并网功率曲线。图 3 为储能电池充放电功率及荷电状态变化曲线。

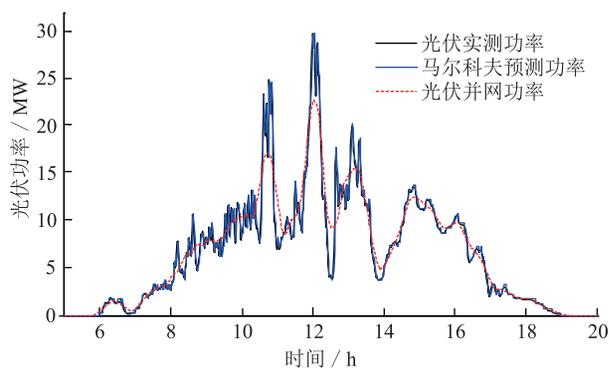


图2 光伏实测功率和预测功率以及并网功率曲线

Fig.2 Measured power, predictive power and grid connected power

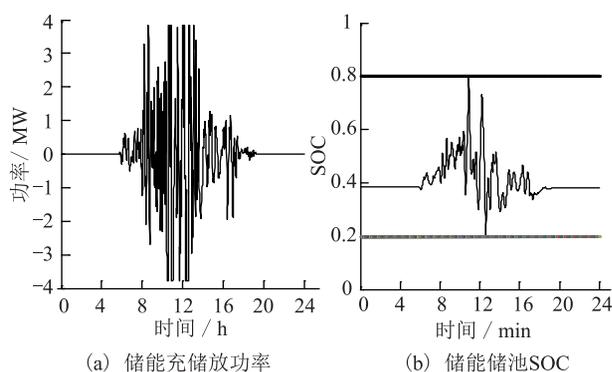


图3 储能电池充放电功率以及荷电状态变化曲线

Fig.3 Charging and discharging power and state of charge curve of energy storage battery

由所述计算梯次电池等效循环寿命^[19]的方法,根据储能电池的荷电状态计算得到电池在该典型日内的等效完全充放电次数 $N_{\text{day}} = 3.3502$ 次。根据式(14)计算得单位容量梯次储能电池运行维护费用为 0.2 元/(kW·h)。从梯次电池用于储能所能产生的使用价值角度出发,由式(13)可估算梯次储能系统单位容量购买价格 C_E 取 1270 元/(kW·h),则可计算得到配置常规储能系统和梯次储能系统的成本,同时对比梯次储能系统单位容量分别为 990.8 元/(kW·h)、 800 元/(kW·h)、 600 元/(kW·h)时的情况,得到如表3所示的经济性对比结果。

表3 配置常规储能和梯次储能系统的经济性对比

Table 3 Economic comparison of conventional configuration and echelon storage system

项目	常规储能	梯次储能			
		1	2	3	4
储能系统成本/ [元·(kW·h) ⁻¹]	2200	1270	990.8	800	600
购买成本/万元	128.61	146.07	128.63	121.31	115.62
运行维护成本/万元	7.85	7.89	7.89	7.89	7.90
总成本/万元	135.37	151.97	135.37	128.23	119.32

从表3中可以看出,当梯次储能系统单位容量的购买价格 C_E 取 1270 元/(kW·h)时,梯次储能系统的购买成本和运维成本均高于常规储能系统,说明该情况下配置梯次储能系统相较于常规储能并不具有优势;当 C_E 取 990.8 元/(kW·h)时,配置梯次储能与配置常规储能的总成本相同;当 C_E 取 800 元/(kW·h)和 600 元/(kW·h)时,配置梯次储能的成本低于常规储能系统。由以上分析可说明,在光伏电站应用场景中,考虑经济性的前提下,当梯次储能单位容量购买价格 C_E 小于 990.8 元/(kW·h)时,该模型能够带来一定的经济效益。

3 结论

本文以某光伏电站为应用场景,建立光伏电站储能系统优化规划和经济性评估模型,以满足并网波动率限制下储能容量成本最小为目标函数,分析梯次电池储能在平抑光伏功率波动这一应用模式下的优化规划并对其进行经济性评估。采用 AFSA 进行优化求解,并对比常规储能系统,以此来评价梯次电池储能的经济性,算例分析结果表明了模型的合理性和有效性。

参考文献:

- [1] 傅旭,李海伟,李冰寒. 大规模风电场并网对电网的影响及对策综述[J]. 陕西电力, 2010, 38(1): 53-57.
FU Xu, LI Haiwei, LI Binghan. Influence of large scale wind farm on grid and its counter measures [J]. Shaanxi Electric Power, 2010, 38 (1): 53-57.
- [2] 金虹,衣进. 当前储能市场和储能经济性分析[J]. 储能科学与技术, 2012, 1(2): 103-111.
JIN Hong, YI Jin. Current energy storage market and energy storage economy analysis [J]. Energy Storage Science and Technology, 2012, 1 (2): 103-111.
- [3] 朱广燕,刘三兵,海滨,等. 动力电池回收及梯次利用研究现状[J]. 电源技术, 2015(7): 1564-1566.
ZHU Guangyan, LIU Sanbing, HAI Bin, et al. Study on the status of power battery recycling and echelon utilization [J]. Power System Technology, 2015(7): 1564-1566.
- [4] 全瑞军. 动力锂电池梯次利用的关键技术研究[J]. 客车技术与研究, 2014(3): 30-32.
TONG Ruijun. Power lithium battery echelon of the key technology research [J]. Bus Technology and Research, 2014(3): 30-32.
- [5] HESSAMI M, BOWLY D R. Economic feasibility and optimization of an energy storage system for Portland wind farm [J]. Applied Energy, 2011, 88: 2755-2763.
- [6] 佚名. 日产和住友集团合资成立废弃锂电池能源公司 [J]. 新材料产业, 2010(10): 83-83.
Anonymous. Nissan and Sumitomo group jointly established waste lithium battery energy company [J]. New Materials Industry, 2010(10): 83-83.

- [7] 退役动力电池有救了,电动地车动力电池的梯次利用分析 [EB/OL]. [2015-06-24]. <http://www.d1ev.com/38911-4.html>.
Retired power battery has saved, electric vehicle power battery echelon use analysis [EB/OL]. <http://www.d1ev.com/38911-4.html>.
- [8] 裴 锋. 江西电力开展动力电池梯次利用研究[EB/OL]. [2014-12-12]. http://www.cpn.com.cn/js/201209/t20120903_461000.html.
PEI Feng. Jiangxi electric power to carry out the use of power battery echelon [EB/OL]. [2014-12-12]. http://www.cpn.com.cn/js/201209/t20120903_461000.html.
- [9] 河南省攻克退役动力电池再利用技术难题[EB/OL]. [2014-9-23]. <http://www.zhev.com.cn/news/show-1411426688.html>.
Henan Province to overcome the retired power battery recycling technology problems [EB/OL]. [2014-9-23]. <http://www.zhev.com.cn/news/show-1411426688.html>.
- [10] 陈佰爽. 磷酸铁锂电池梯次利用于储能领域的影响因素分析[J]. 储能科学与技术, 2014(4):427-428.
CHEN Baishuang. Lithium iron phosphate battery echelon utilization and energy storage field influencing factors analysis [J]. Energy Storage Science and Technology, 2014(4): 427-428.
- [11] VISWANATHAN V, VILAYANUR V, MICHAEL K M. Second use of transportation batteries; maximizing the value of batteries for transportation and grid services[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(7):2963-2970.
- [12] CATHERINEH, WALKER S B, YOUNG S B, et al. Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-leveling[J]. Energy Policy, 2014, 71(1): 22-30.
- [13] LIH W C, YEN J H, SHIEH F H, et al. Second-use applications of lithium-ion batteries retired from electric vehicles; challenges, repurposing process, cost analysis and optimal business model[J]. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2012,4(22): 518-527.
- [14] 张金国, 焦东升, 王小君, 等. 基于梯级利用电池的储能系统经济运行分析[J]. 电网技术, 2014, 38(9):2551-2555.
ZHANG Jinguo, JIAO Dongsheng, WANG Xiaojun, et al. Economic operation analysis of energy storage system based on cascade battery [J]. Power System Technology, 2014, 38(9): 2551-2555.
- [15] ZHANG H, HAN X, DOU J Y. A method to forecast photovoltaic power outputs based on Markov Chain [C]// International Power, Electronics and Materials Engineering Conference, Dalian, China;2015.
- [16] 林卫星, 文劲宇, 艾小猛, 等. 风电功率波动特性的概率分布研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1):38-46.
LIN Weixing, WEN Jingyu, AI Xiaomeng, et al. Study on the probability distribution of the fluctuation of wind power [J]. Proceedings of the CSEE, 2012,32(1): 38-46.
- [17] 张 浩. 储能系统用于配电网削峰填谷的经济性评估方法研究[D]. 北京:华北电力大学, 2014.
ZHANG Hao. Study on the economic evaluation method of energy storage system for peak shaving and valley filling in distribution network [D]. Beijing:North China Electric Power University, 2014.
- [18] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11):32-38.
LI Xiaolei, SHAO Zhijiang, QIAN Jixin. An animal optimizing method based on autonomous; fish swarm algorithm [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2002, 22(11): 32-38.
- [19] 韩晓娟, 张 娜, 修晓青, 等. 配置梯次电池储能系统的快速充电站经济性评估[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(4): 514-521.
HAN Xiaojuan, ZHANG Hua, XIU Xiaoqing, et al. Economic evaluation of fast charging station for echelon battery energy storage system [J]. Energy Storage Science and Technology, 2016,5(4):514-521.
- [20] 程 成. 用于可再生能源发电并网技术的混合储能控制策略研究[D]. 北京:华北电力大学, 2014.
CHENG Cheng. Research on hybrid energy storage control strategy for grid connected generation of renewable energy [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [21] 李新静, 张佳璐, 魏引利, 等. 锂离子电池日历寿命研究进展[J]. 电源技术, 2015, 39(8):1777-1779.
LI Xinjing, ZHANG Jiarong, WEI Yinli, et al. Research progress of lithiumion battery calendar life [J]. Power Technology, 2015, 39(8): 1777-1779.
- [22] 徐 晶. 梯次利用锂离子电池容量和内阻变化特性研究[D]. 北京:北京交通大学, 2014.
XU Jing. Research on the variation characteristics of capacity and internal resistance of Lithium-ion batteries echelon use [D]. Beijing:Beijing Jiaotong University, 2014.
- [23] 陈伟华, 李 娜, 苑津莎. 梯次利用锂离子电池循环性能分析[J]. 华北电力技术, 2017(6):14-19.
CHEN Weihua, LI Na, YUAN Jinsha. Cycle performance analysis of second-use of Lithium-ion power batteries[J]. North China Electric Power, 2017(6):14-19.

作者简介:



刘大贺

刘大贺(1991—),男,北京昌平人,硕士研究生,研究方向为新能源发电控制技术、储能技术等(E-mail:1067236785@qq.com);

韩晓娟(1970—),女,北京昌平人,博士,教授,研究方向为新能源发电控制技术、故障诊断、信息融合和检测技术等(E-mail:wmxhj@163.com);

李建林(1976—),男,北京海淀人,教授级高级工程师,主要从事大规模储能应用技术的研究(E-mail:dkyjl@163)。

(下转第 77 页)

A Fault Self-diagnosis Mechanism for Multiplexing Optical Channels of Relay Protection

CAI Bo, TAN Hao, LI Yan, LI Xiang

(National Energy Power Control and Protection Research and Development Center
(Nanjing NR Electric Co., Ltd.), Nanjing 211111, China)

Abstract: Aiming at fault point locating problem of the line protection multiplexing optical channels, the digital multiplexing device and protection device detect the channel fault flags by the validity of physical layer encoding, generate a status stamp at reserved field by expanding communication message, and use heartbeat frame mechanism of digital multiplexing device to solve the problem of exchanging status stamp when error occurs in channel. The fault point location of the channel can be detected on the protection device directly. Fault self-diagnosis mechanism is implemented for multiplexing optical channels.

Key words: multiplexing channels; fault diagnosis; line protection; heartbeat frame

(编辑 陈 娜)

(上接第 31 页)

Economic Analysis of Echelon Battery Energy Storage Based on Artificial Fish Swarm Algorithm

LIU Dahe¹, HAN Xiaojuan¹, LI Jianlin²

(1. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Large scale renewable energy such as wind power grid, photovoltaic grid and others has brought great challenges to the grid's safety and stability. Energy storage system should be configured so as to stabilize the power fluctuation and achieve energy smooth transfer. Under the application scenario of photovoltaic power plant, the echelon battery storage' optimal planning is analyzed in the mode of stabilizing the photovoltaic power fluctuation. Economic evaluation is assessed. The optimal planning and economic evaluation model of the photovoltaic power plant energy storage system is established to meet the minimum storage capacity cost under the limit of the grid fluctuation ratio. The artificial fish swarm algorithm is used for solution optimization, and the economy evaluation of echelon battery is assessed and compared with conventional energy storage system. The results show the rationality and validity of the model.

Key words: echelon battery energy storage; photovoltaic power plants; economy; AFSA

(编辑 陈 娜)

(上接第 72 页)

On-line Monitoring System Design of Circuit Breaker Based on Multi-core Structure

LIANG Junhan, ZHENG Jianyong, PAN Yi

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Aiming at the problems such as weak system processing capability and insufficient stability in online monitoring of circuit breakers, the ARM, DSP and FPGA three-core platform are used to realize the on-line monitoring of the circuit breaker. The on-line monitoring function of circuit breaker is divided into 3 parts: data acquisition, data operation and human-computer interaction. Data acquisition is completed by FPGA control ADS8568. The circuit breaker state variables are passed into the system by sensors. The DSP performs wavelet decomposition five times on the signal collected by FPGA using db2 wavelet. Processed data is transmitted to the ARM through the dual-core communication mechanism based on Syslink heterogeneous, and finally the human-computer interaction is completed by the ARM. The scheme gives full play to the advantages of three control cores, so that it has better data processing ability. Through testing, the on-line monitoring system of circuit breaker based on three-core structure has a better performance than the original system.

Key words: high voltage circuit breaker; on-line monitoring; Syslink; heterogeneous dual-core communication

(编辑 钱 悦)