

Distributed New Energy System Economic Efficiency Optimization Decision-Making Method

Xinwei Yan

Hubei Provincial Shuiguohu High School, Wuhan Hubei
Email: 971769247@qq.com

Received: Dec. 7th, 2017; accepted: Dec. 21st, 2017; published: Dec. 28th, 2017

Abstract

With the continuous development of photovoltaic technology and energy storage technology, the distributed hybrid energy system integrating photovoltaic and energy storage receives great attention as a new utilization mode of clean energy. Based on the existing policy and pricing environment, taking the actual distributed micro-grid demonstration project as an example, this paper establishes a comprehensive and optimized operation model of the system to maximize the economic benefits. It provides a new strategy and idea for the optimal dispatch and operation of distributed micro-grid system under the current peak and valley price and real-time price environment in the future.

Keywords

Sequential Quadratic Programming (SQP), Economic Benefit, Distributed PV, Energy Storage

分布式新能源系统经济效益最大化决策方法

晏欣炜

湖北省水果湖高级中学, 湖北 武汉
Email: 971769247@qq.com

收稿日期: 2017年12月7日; 录用日期: 2017年12月21日; 发布日期: 2017年12月28日

摘要

随着光伏技术和储能技术的不断发展, 集成光伏和储能的分布式混合能源系统作为清洁能源新的利用方式受到极大关注。本文基于现有的政策与电价环境, 以实际的分布式光伏-储能微网示范项目为例, 以

系统经济效益最大化为目标，建立了系统的综合优化运行模型，并采用序列二次规划算法对模型求解。为目前峰谷电价以及未来的实时电价环境下，分布式光伏-储能系统的优化调度运营提供了一种新的策略和思路。

关键词

序列二次规划(SQP)，经济效益，分布式光伏，储能

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

光伏电站装机容量近年来快速增长，特别是在国家“精准扶贫”政策的指引下，分布式光伏电站投入运行的数量急剧增加。但是光伏可再生能源的波动性和随机性特征对电网稳定性的影响日益凸显，光伏电站运行利润最大化日益受到业主的重视。

作者在假期社会实践活动中，走访了湖北大悟、麻城等地的多个光伏电站，从中了解到：为减少光伏发电间歇性的影响，集成光伏、储能的分布式混合能源系统(以下简称光伏发电-储能“微网系统”)作为光伏电站新的应用方式受到业主的极大关注。分布式光伏-储能项目的经济效益直接决定能否吸引投资。

文献[1] [2] [3]研究表明：在一定范围内，储能系统的加入能有效提高光伏发电-储能微网系统的经济性和环境效益。同时，中国正积极推进电力体制改革。这种分布式混合能源微网系统是电网配售侧向社会主体放开的一种具体方式，符合目前电力体制改革的方向，可为新能源创造巨大发展机遇。随着储能技术的不断成熟和成本不断下降，以及未来峰谷电价甚至实时电价的广泛实行，这种综合微网系统将越来越受到用户的青睐！

因此，研究在中国目前以及将来的能源政策和电力市场环境下，微网系统经济效益最优的调度决策方法具有重要的意义。

在此背景下，本文以光伏-储能微网系统为具体研究对象，以其运行的净收益最大化为目标，考虑国家的光伏补贴政策，最后以目前实际示范工程中的光伏微网系统数据为例，建立了峰谷电价、实时电价情况下计及光伏上网补贴收益的综合经济优化运行模型。该模型可以抽象为一类多约束、非线性的复杂规划问题，采用序列二次规划(SQP)算法进行了求解。为分布式光伏-储能微网系统的高效运营策略提供决策参考。

2. 光伏-储能微网收益模型

在分布式光伏-储能系统中，储能既可以作为负荷吸收存储能量，也可以作为电源向外输送能量。当光伏输出电能大于负荷需求时，多余电量既可以选择为储能系统充电，也可以选择向电网卖电。当光伏输出电能小于负荷需求时，微网既可以通过从电网买电对负荷供电，也可以通过储能存储电量对负荷供电。而在不同的电价模式下，不同时刻向电网卖电，或者不同时刻从电网买电的价格均不相同。

按照这种特性建立其收益最大化为优化目标的调度模型[4] [5]。其中，整个系统运行的收益主要包括：向负荷供电节省的电网买电电费收益，系统多余电量上网的收益。成本包括：储能充放电的循环寿命成

本、主要设备的维护成本、从电网买电的成本。

其综合决策模型的目标表达为：

$$\begin{cases} \max f = E_{total} - C_{total} \\ E_{total} = \sum_{k=1}^N E_D(P_{L,k}) + E_{grid}(P_{grid}) \\ C_{total} = C_{bat}(P_b) + C_{grid}(P_{grid}) + C_{maintenance} \end{cases} \quad (1)$$

式中， E_{total} 为微网运行中的总收益； C_{total} 为微网运行中总的成本； $E_D(P_{L,k})$ 为向 k 个负荷供电的收益， $E_{grid}(P_{grid})$ 为从向电网卖电的收益。 $C_{bat}(P_b)$ 为储能调度运行损耗循环寿命的折算成本，具体根据储能电池的特性手册确定。 $C_{grid}(P_{grid})$ 为系统向大电网买电的成本， $C_{maintenance}$ 为系统的运行维护成本。 $P_{L,k}$ 为第 k 个负荷的功率， P_{grid} 为微网与大电网之间的交换功率，为正值时表示微网向大电网购电，为负值时表示微网向大电网售电； N 为一天中调度的次数，一般以小时为调度单位，因此 $N = 24$ ； P_b 为储能单元的出力。

由于在任何时刻，系统与大电网之间的功率不同同时双向流动，因此购电与售电不能同时进行，因此将式(1)中微网的售电收益与购电成本分别表述如下：

$$E_{grid}(P_{grid}) = c_s \frac{|P_{grid}| - P_{grid}}{2} \quad (2)$$

$$C_{grid}(P_{grid}) = c_b \frac{|P_{grid}| - P_{grid}}{2} \quad (3)$$

式中， c_b 与 c_s 分别为系统向大电网购电和售电的电价。

光伏 - 储能微网项目需要满足的约束条件如下：

1) 微网与电网的传输功率受到传输路径最大承受功率：

$$P_{grid} < P_{grid}^{max} \quad (4)$$

2) 光伏 - 储能微网内部功率必须守恒：

$$\sum_{k=1}^N P_{L,k} = P_{grid} + P_{PV} + P_b \quad (5)$$

3) 储能响应速度，即储能功率限制：

$$\begin{cases} P_b < P_{b_max} \\ P_b > -P_{b_max} \end{cases} \quad (6)$$

4) 储能系统的最大放电深度，即储能单元的最大最小荷电状态：

$$-S_{soc_min} < S_{soc} < S_{soc_max} \quad (7)$$

3. 光伏 - 储能微网收益模型求解

从以上数学模型描述可以看出，该分布式光伏 - 储能系统的经济效益最优化属于典型的多约束、非线性规划问题，传统的数值解放很难求解，本文采用 SQP 算法对上述优化运行模型进行求解。SQP 算法是一种尤其适用于求解中小规模且包含约束的光华非线性问题的求解方法，原理主要是利用一系列的线性规划或二次规划来逐次逼近原非线性规划问题，具有较好的全局收敛性。

根据上述思路，可以将一个光伏 - 储能微网的收益模型抽象为如下描述的优化问题：

$$\begin{cases} \min f(x) \\ \text{s.t. } h(x) = 0 \\ g_j(x) \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中： $f(x)$ 为优化目标函数，对应收益最大化微网优化运行模型， $h(x)$ 为等式约束，对应微网内功率平衡条件； $g_j(x)$ 为不等式约束函数，对应储能功率限制和荷电状态限制。

通过载入实际的光伏 - 储能微网项目系统内负荷参数，预测天气数据以及对应的光伏出力数据，光伏和储能功率、容量就可以得到对整个系统的经济效益最优化运行策略，具体流程图如图 1 所示。

4. 算例实证分析

本文选择某市已经建成的分布式光伏 - 储能系统为分析案例，模型基础数据包括当地某一天实际的光照强度，负荷预测数据，采用 SQP 算法对上文所建立的系统数学优化模型进行求解。这里分别选择了峰谷电价和未来可能实行的实时电价两种模式作为分析案例。峰谷电价和实时电价的变化曲线见图 2 和图 3。

载入实际的光照曲线、负荷曲线和峰谷电价以及实时电价数据后，光伏 - 储能微网项目系统运行结果如下图所示。在峰谷电价和实时电价情况下，基于 SQP 算法求得两种电价场景下该系统优化电力情况如图 4 和图 5，其中光伏和负荷曲线已经确定，随着电价场景的不同，储能输入输出能量和电网交换电量曲线略有不同。结果显示基于 SQP 算法的该分布式光伏 - 储能系统最优化运营策略在不同的电价场景下均可根据实际情况自适应调节。详细的储能曲线见图 6 和图 7 所示，储能蓄电池的荷电状态见图 8 和图 9 所示。在该优化运行策略下，整个系统遵循低价时从电网购电，高价时尽量向电网卖电的基本原则，使 24 小时内系统经济效益最大化的同时，满足了储能充放电功率约束和最大最小核电状态约束，以及所

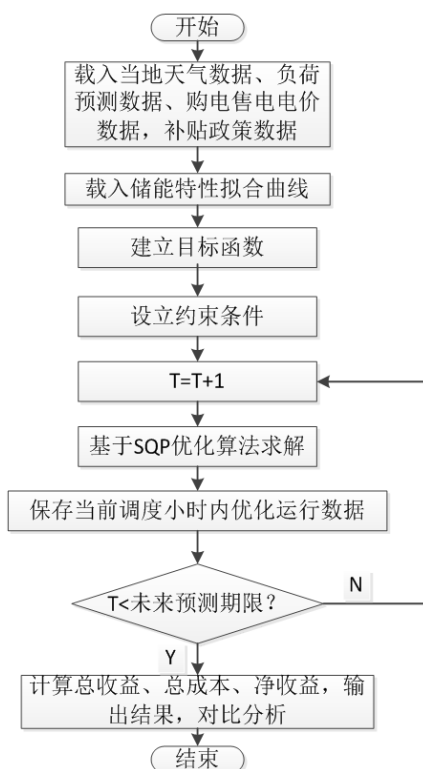


Figure 1. Flow chart of micro-grid project economic assessment

图 1. 微网项目经济性评估流程图

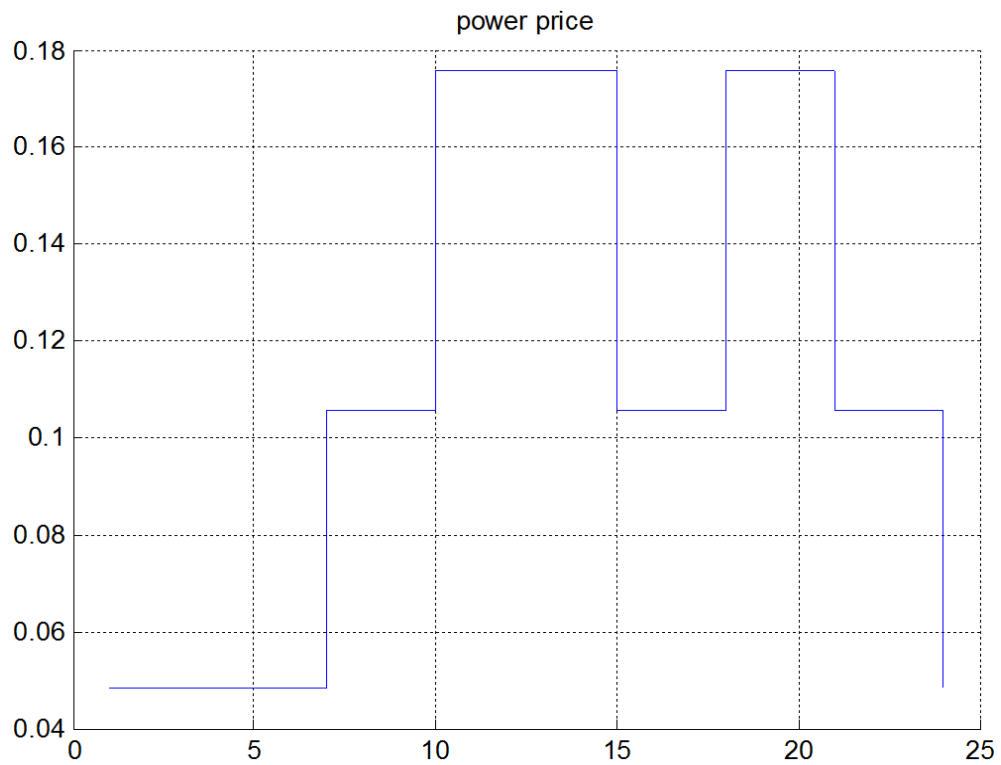


Figure 2. 24 hour electricity price curve in an industrial park
图 2. 某工业园区 24 小时峰谷电价变动曲线

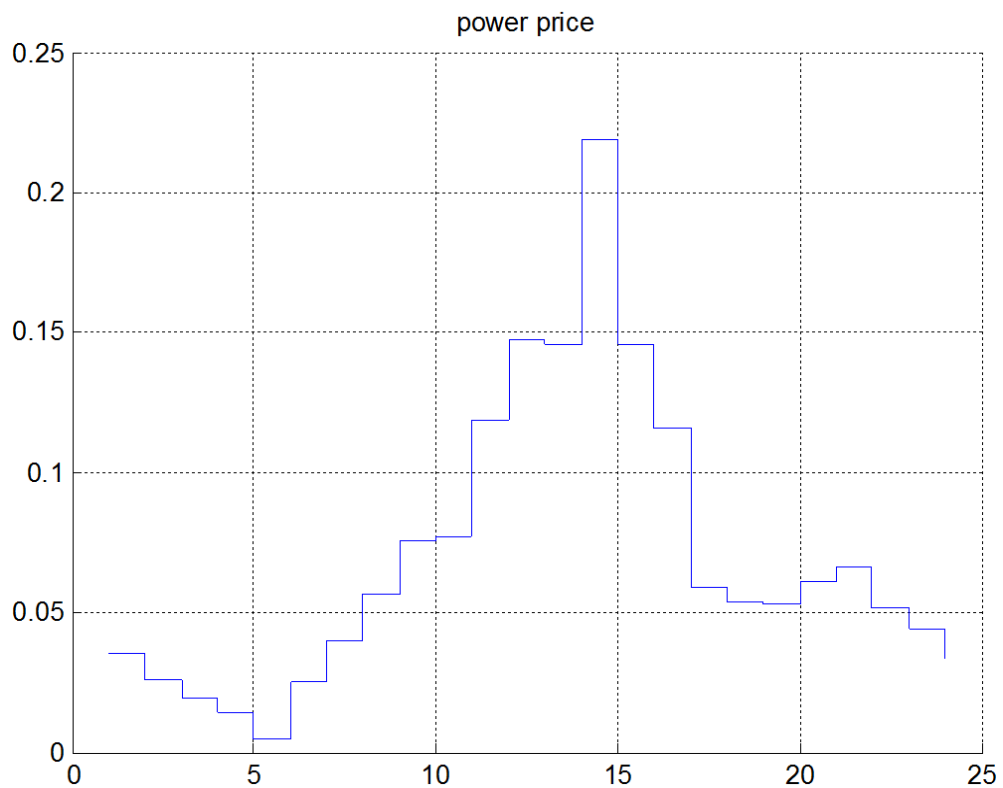


Figure 3. Simulation of real-time price changes curve
图 3. 模拟实时电价变动曲线

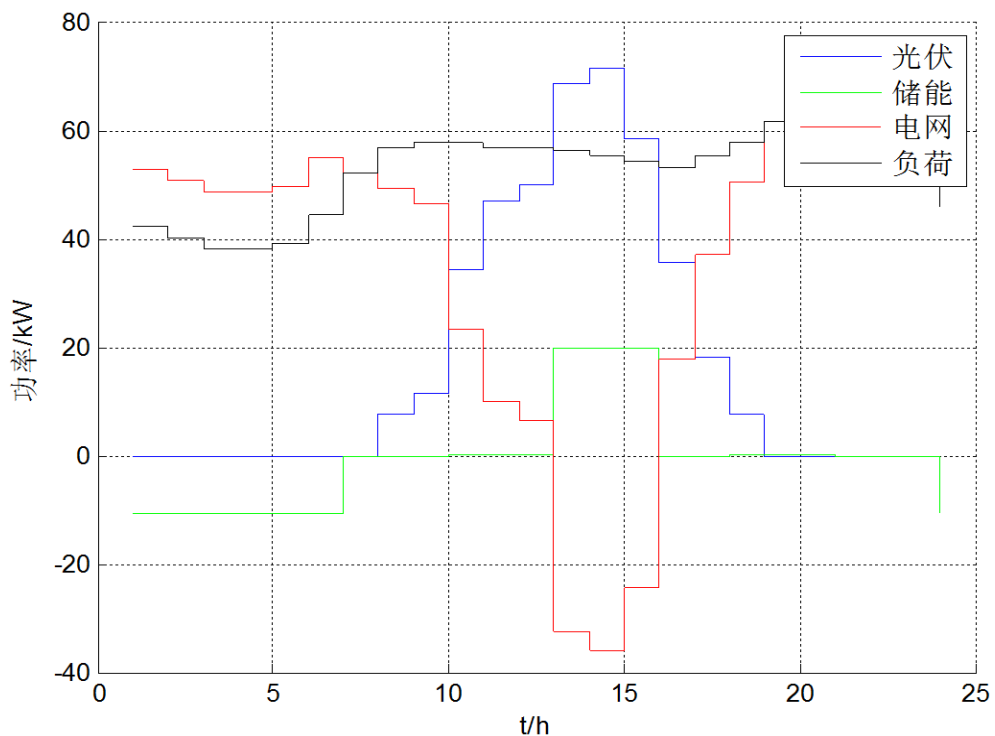


Figure 4. Optimal operational results of distributed photovoltaic-energy storage system under the peak-valley price environment

图 4. 峰谷电价场景下分布式光伏 - 储能系统经济效益最优化运行决策结果

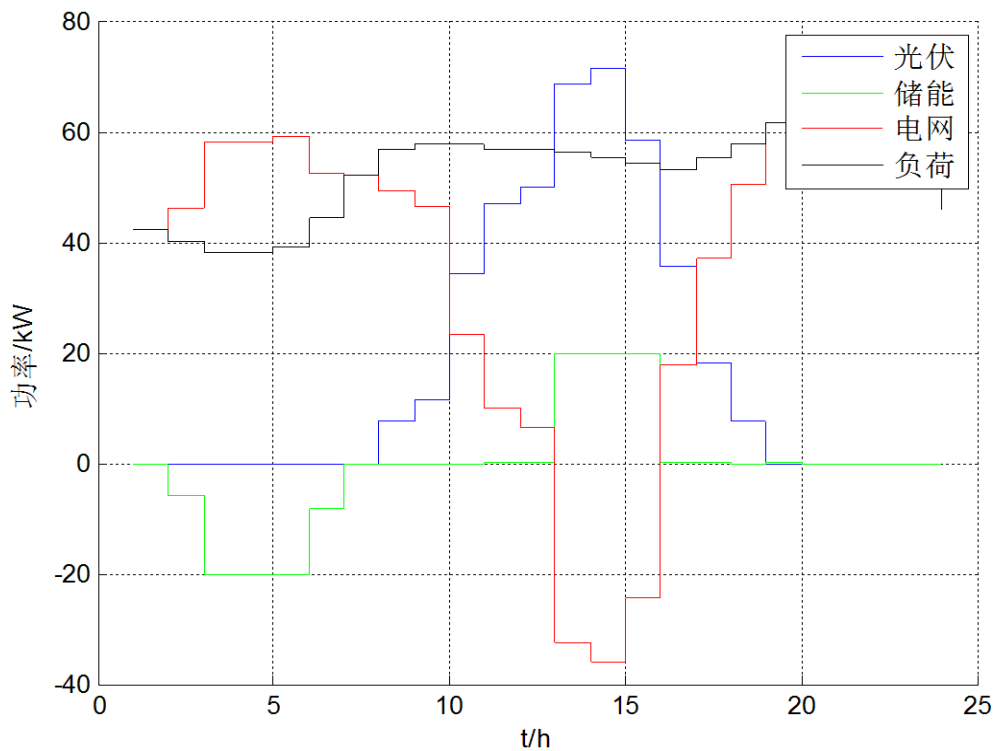


Figure 5. Optimization decision-making results distributed photovoltaic-energy storage system in real-time electricity price scenario

图 5. 实时电价场景下分布式光伏 - 储能系统经济效益最优化运行决策结果

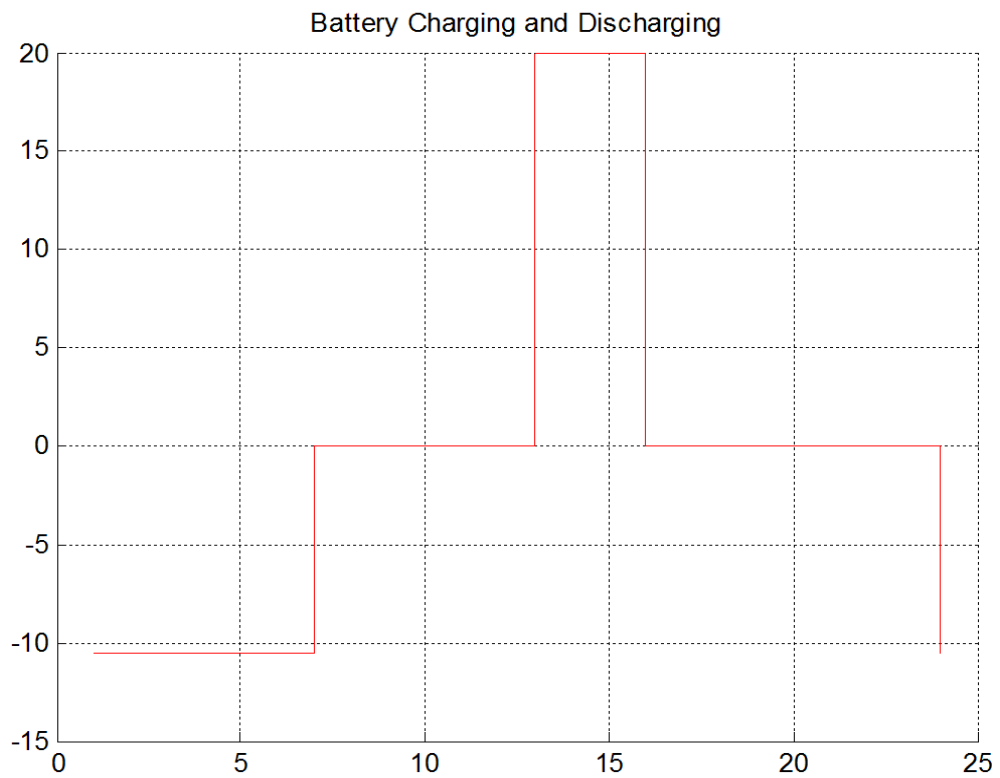


Figure 6. Charging and discharging variation of energy storage in peak and valley price scenarios
图 6. 峰谷电价场景下储能充放电功率变化

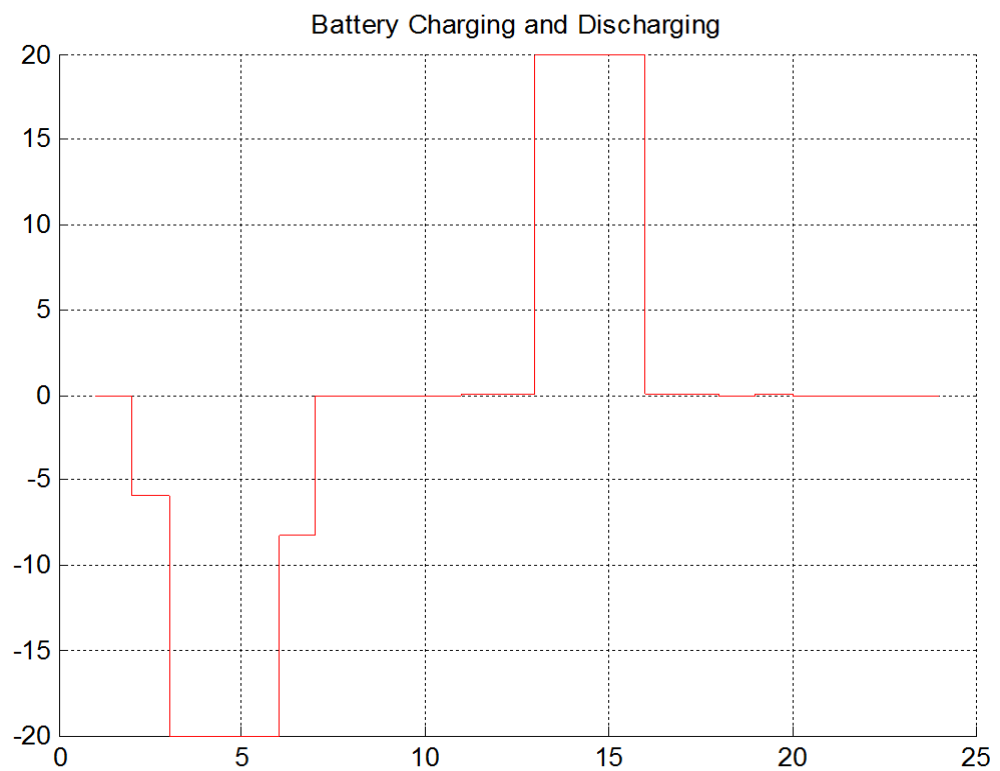


Figure 7. State variation of energy storage in peak and valley price scenarios
图 7. 峰谷电价场景下储能充放电功率变化

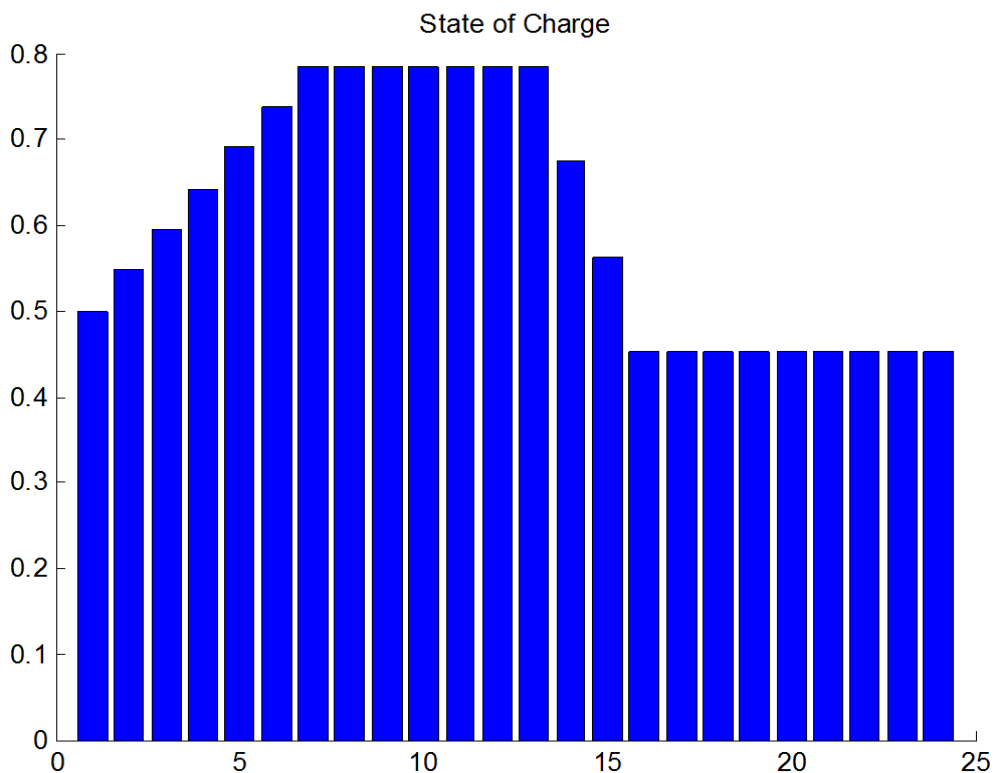


Figure 8. State variation of storage battery under peak and valley electricity price
图8. 峰谷电价场景下储能蓄电池荷电状态变化

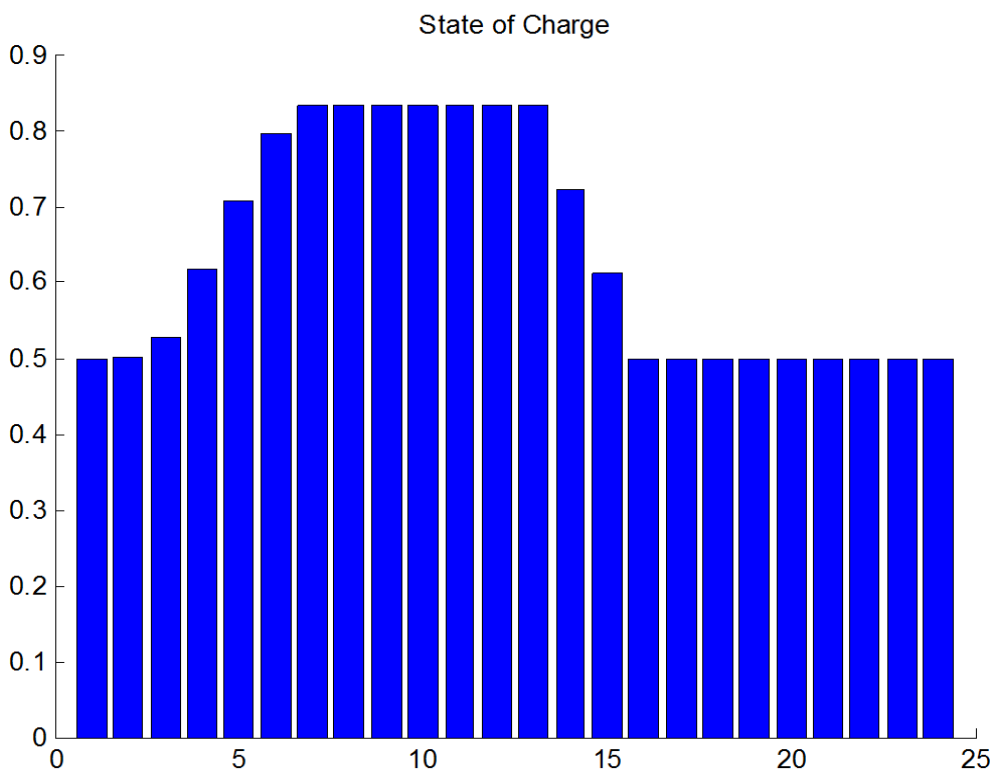


Figure 9. State variation of storage battery under real-time electricity price
图9. 实时电价场景下储能蓄电池荷电状态变化

设定的 24 小时内总波动为零的约束条件。

5. 结论

本文以净收益最大化为目标，建立了光伏 - 储能微网系统综合优化运行模型，以实际的光伏 - 储能微网示范项目数据为例，对这种经济效益最优的分布式光伏 - 储能微网系统运行策略进行了案例分析。

本文主要贡献在于：

1) 对于光伏 - 储能微网的经济效益提供了一种更精细化的内部优化运行算法；

2) 通过加入不同的目标函数构成环节，约束条件，能够对于包含多种新能源(光伏、风电等)和多类型负荷的更复杂的新能源微网项目运营提供参考。

基金项目

华融天泽高投湖北智能制造与技术服务投资基金为社会实践提供支持。

参考文献 (References)

- [1] 周亚虹, 蒲余路, 陈诗一, 等. 政府扶持与新型产业发展——以新能源为例[J]. 经济研究, 2015(6): 147-161.
- [2] 林伯强, 李江龙. 基于随机动态递归的中国可再生能源政策量化评价[J]. 经济研究, 2014(4): 89-103.
- [3] 吕双辉, 蔡声霞, 王守相. 分布式光伏 - 储能系统的经济性评估及发展建议[J]. 中国电力, 2015(2): 139-144.
- [4] 刘冠群, 袁越, 王敏, 等. 考虑经济成本的光伏电站储能容量配置[J]. 可再生能源, 2014(1): 1-5.
- [5] 杨海晶, 田春笋, 王璟, 等. 以光伏发电为代表的微电网的经济运行评估[J]. 电力电子技术, 2013, 47(3): 36-38.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-9219，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：se@hanspub.org