

火电机组储能联合调频控制策略研究

李春峰¹ 杨红军¹ 陈芷君²

1 上海电气电站服务公司 2 上海交通大学

DOI:10.12238/etd.v5i5.9129

[摘要] 火电机组通过自动发电控制系统(automatic generation control, AGC) 参与电网辅助调频,电厂中配置储能辅助机组调频的优势日显,但储能直接参与调控的策略指导研究不足。本文基于某省电力辅助服务市场交易规则,构建了调频性能指标计算方法,在此基础上基于某电厂的1#和2#机组真实历史数据,进行了火-储联合二次调频仿真实验。实验结果表明,所提控制策略在某电厂储能工程项目的仿真中具有显著的效果。

[关键词] 调频; AGC性能指标; 控制策略

中图分类号: TM31 **文献标识码:** A

Research on Energy Storage Combined Frequency Control Strategy for Thermal Power Units

Chunfeng Li¹ Hongjun Yang¹ Zhijun Chen²

1 Shanghai Electric Power Station Service Company 2 Shanghai Jiao Tong University

[Abstract] Thermal power units participate in grid auxiliary frequency regulation through automatic generation control (AGC) systems, and the advantages of configuring energy storage auxiliary units for frequency regulation in power plants are becoming increasingly apparent. However, there is insufficient research on the strategy guidance of energy storage directly participating in regulation. This article is based on the trading rules of the power auxiliary service market in a certain province, and constructs a calculation method for frequency regulation performance indicators. Based on the real historical data of Unit 1 and Unit 2 of a certain power plant, a simulation experiment of the combined secondary frequency regulation of fire and storage was conducted. The experimental results show that the proposed control strategy has significant effects in the simulation of an energy storage project in a power plant.

[Key words] FM; AGC performance indicators; control strategy

引言

机组参与电网辅助调频主要指发电机通过AGC按照一定调节速率实时调整发电机出力,满足自动响应区域控制偏差要求的频率调节行为,当前主要由火电机组承担。由于系统频率特性日渐复杂^[1],传统火电机组的响应时滞长、爬坡速率低、不能准确跟踪指令,储能则在电力领域中显现出针对调频响应的优势。因此在电厂中配置储能辅助机组调频成为国内储能参与调频辅助服务的重要模式^[2]。本文从工程实际出发,针对目前国内主要的调频辅助服务市场对发电单元的考核和补偿机制^[3],深入分析调节速率、调节精度等指标与储能控制的对应关系,提出考虑考核性能实现经济性优化的储能控制策略。仿真验证表明该策略能够合理控制储能出力策略,最大限度发挥储能作用,提高电厂参与辅助服务的经济性,为储能辅助电厂调频的实际工程问题提供一种重要的解决思路。

1 考虑调频性能指标的储能控制策略

1.1 比例分配策略

比例分配策略是指在火电机组和电化学储能系统之间,按照一定的比例对AGC指令进行分配。这种策略最先在北美的电力市场中使用^[1],他们根据调频主题的额定功率来确定分配比例。即火电机组的额定功率为 P_{Gen} ,储能系统的额定功率为 P_{ES} ,那么在二次调频过程中火电机组和储能系统分别按照如下公式进行功率指令分配。

$$AGC_{Gen} = \frac{P_{Gen}}{P_{Gen} + P_{ES}} \times AGC \quad (1)$$

$$AGC_{ES} = \frac{P_{ES}}{P_{Gen} + P_{ES}} \times AGC \quad (2)$$

1. 2 差额分配策略

差额分配策略在不改变原有火电机组的工作方式的情况下, 将AGC指令和火电机组输出功率的差额作为储能的调频输入信号。当火电机组出力低于AGC指令目标值时, 储能系统在状态和能力限度内, 放电补充不足的功率; 当火电机组出力高于AGC指令目标值时, 储能系统在状态和能力限度内, 吸收多余的功率。

2 策略比较数值实验

本报告根据某省性能指标评价方式^[3]和上所述储能出力策略, 在某电厂1#和2#机组的历史数据上进行仿真实验, 对比了单纯机组出力、比例分配和差额分配三种策略的效果。数值实验基于Python3.8实现。

2. 1 实验设置

2. 1. 1 数据集

火电厂1#和2#机组为630MW燃煤机组, 数据集为2023年9月21日-2023年10月17日之间这两个机组参与AGC调频辅助服务的运行数据, 包含机组出力和AGC数据, 其中2023年10月9日与2023年10月13日数据缺失。因此, 该数据集共计包含两个机组25天的运行数据。其中, 1#机组2023年9月21日的运行情况如下图2-1所示。

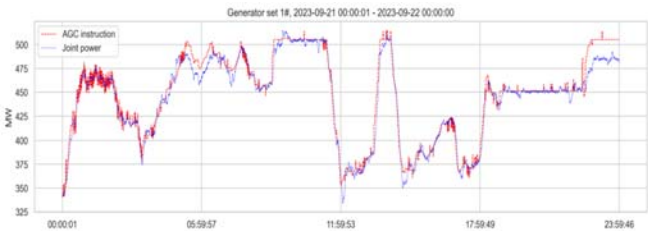


图2-1 1#机组运行情况 (2023年9月21日)

2. 1. 2 实验策略

在实际实验所用策略方面, 单纯机组出力策略为仅在考虑实际机组出力情况下, 进行AGC调频性能评估。比例分配策略和差额分配策略如下:

(1) 比例分配策略

按装机容量比例 (630MW:17.5MW) 分配AGC指令, 在跟踪AGC指令时最大维持时长40秒。设定初始储能充电水平为50%, 储能充电水平最低限度设置为25%, 最高为90%。若放电到25%, 则强制进行充电至50%; 若充电达到90%, 则强制放电直至50%。

(2) 差额分配策略

按照AGC指令与历史机组实际出力差额进行分配。若机组出力不足AGC指令目标值, 则储能按照最大放电倍率进行放电; 否则, 就以最大充电倍率对储能进行充电。在跟踪AGC指令时, 最大维持时长40秒。设置初始储能充电水平为50%, 储能最低限度设置为25%, 最高为90%。若放电到25%, 则强制进行充电至50%; 若充电达到90%, 则强制放电直至50%。

综合以上, 本文数值实验所用的参数列表汇总如下表2-1所示。

表2-1 参数列表

N0	名称	取值	N0	名称	取值
1	机组额定容量	630 MW	6	放电效率	95%
2	储能额定容量	17.5 MWh	7	最大放电倍率	1. 2C
3	最低充电水平	25%	8	最大充电倍率	1. 2C
4	最高充电水平	90%	9	最大维持时长	40秒
5	充电效率	95%	10	维持充电水平	50%

2. 2 实验结果

在上述AGC调频性能指标计算方式和储能出力策略下, 基于该火电厂2023年9月21日-10月17日 (除10月9日、13日外) 运行数据集进行火-储联合二次调频仿真实验。实验结果汇总如下表2-2所示。其中Pure为单纯机组出力策略, Ratio为比例分配策略, Diff为差额分配策略。

表2-2 不同储能出力策略在不同机组上的综合调频性能指标

Date	1# Gen			2# Gen		
	Pure	Ratio	Diff	Pure	Ratio	Diff
2023/9/21	1. 34	1. 35	12. 3	1. 38	1. 43	21. 41
2023/9/22	1. 53	1. 56	13. 43	1. 25	1. 3	22. 43
2023/9/23	1. 4	1. 41	12. 63	1. 37	1. 45	21. 48
2023/9/24	1. 34	1. 36	13. 56	1. 38	1. 4	22. 88
2023/9/25	1. 28	1. 29	13. 57	1. 29	1. 34	22. 96
2023/9/26	1. 16	1. 17	10. 7	1. 44	1. 5	22. 9
2023/9/27	1. 43	1. 42	8. 67	1. 31	1. 37	22. 25
2023/9/28	1. 26	1. 32	11. 61	1. 35	1. 38	22. 17
2023/9/29	1. 5	1. 52	13. 64	1. 33	1. 42	23. 35
2023/9/30	1. 44	1. 45	13. 65	1. 65	1. 71	23. 46
2023/10/1	1. 41	1. 43	14. 78	1. 38	1. 42	22. 55
2023/10/2	1. 47	1. 47	13. 18	1. 45	1. 49	23. 44
2023/10/3	1. 27	1. 27	15. 62	1. 41	1. 49	21. 65
2023/10/4	1. 27	1. 27	14. 31	1. 32	1. 38	23. 09
2023/10/5	1. 41	1. 42	15. 12	1. 37	1. 46	22. 86
2023/10/6	1. 31	1. 32	10. 66	1. 36	1. 39	22. 91
2023/10/7	1. 41	1. 42	12. 88	1. 21	1. 27	22. 6
2023/10/8	1. 26	1. 28	13. 86	1. 36	1. 4	22. 76
2023/10/10	1. 13	1. 15	7. 91	1. 42	1. 5	23. 06
2023/10/11	1. 27	1. 26	13. 72	1. 45	1. 57	22. 8
2023/10/12	1. 32	1. 33	14. 91	1. 37	1. 4	22. 52
2023/10/14	1. 17	1. 17	9. 92	1. 29	1. 37	23. 43
2023/10/15	1. 37	1. 37	10. 09	1. 35	1. 49	23. 11
2023/10/16	1. 25	1. 26	12. 67	1. 32	1. 45	23. 53
2023/10/17	1. 3	1. 28	7. 2	1. 26	1. 35	21. 83

具体来看,以2#机组2023年10月1日为例,在三种不同储能出力策略下机组跟踪AGC调频指令的仿真结果曲线分别如下图2-2,2-3和2-4所示。

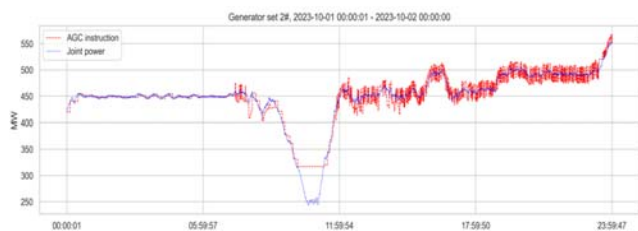


图2-2 单纯机组出力策略($K_p = 1.38$)

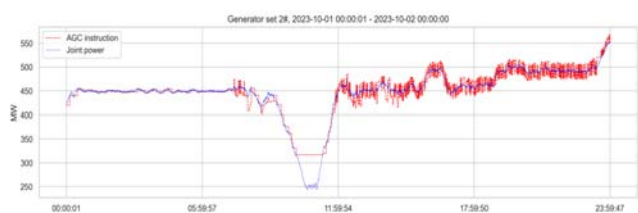


图2-3 比例分配策略($K_p = 1.42$)

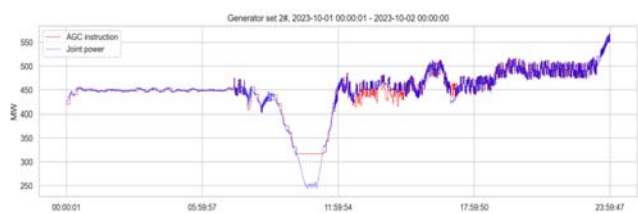


图2-4 差额分配策略($K_p = 22.55$)

从以上结果可以看到,相比单纯采用机组出力策略,采用比例分配策略可以提高机组AGC调频性能。在采用差额分配策略下,机组AGC调频性能指标均高于另外两种策略。因此,实验表明通过增加储能系统辅助火电机组进行联合AGC调频,可以有效提升机组的调频性能指标。同时,采用差额分配策略,相比比例分配策略可以较好地提升机组AGC调频性能表现。

3 总结

本文基于某省电力辅助服务(调频)市场交易规则构建了调频性能指标计算方法,在此基础上基于某电厂的1#和2#机组真实历史数据,通过单纯采用机组出力、比例分配和差额分配三种不同策略,进行了火-储联合二次调频仿真实验。实验结果表明,增加储能系统可以有效提高火电机组二次调频性能。同时,采用差额分配策略与比例分配相比,可以更好地提升机组二次调频性能。

[参考文献]

- [1]黄棉,黄荣泽,储能参与百色区域电网AGC调频仿真分析,青海电力2023,42(2):15-24.
- [2]肖春梅.电储能提升火电机组调频性能研究[J].热力发电,2021,50(6):98-105.
- [3]国家能源局江苏监管办公室.江苏电力辅助服务(调频)市场交易规则(试行)[Z].2020.

作者简介:

李春峰(1983--),男,汉族,中国吉林人,本科,高级工程师,从事“煤电+”领域(储能调频、调峰、储热)研究。