

大容量储能对电力系统小干扰稳定的影响

胡振威

安徽理工大学电气与信息工程学院 安徽 淮南 232001

[摘要]我国能源分布与负荷中心分布的特殊性导致大量的新能源发电需要通过远距离输送至负荷中心。而大规模远距离输电是导致系统产生低频振荡问题的重要原因。在此背景下,研究大容量储能接入究竟会对系统小干扰稳定性带来怎样的影响,是需要重点关注的问题。

[关键词]大容量储能; 电力系统; 小干扰; 稳定; 影响

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2020.02.1201

1 常见的大容量储能技术

1.1 电池储能技术

现阶段适合规模化应用的电池技术较多,如钠硫电池、锂电池、铅酸电池等。不同的电池性能存在一定的区别,以铅酸电池为例,该电池应用的化学储能方式最为成熟,应用范围较为广泛,成本相对较低、储能容量较大,但也存在明显的不足,该电池的储能密度相对较低,具有较高的自放电率,造成能源浪费,电池寿命较短,也容易造成严重的重金属污染,需要进一步进行技术优化,以满足人们的需求。锂离子电池应用也较为广泛,该电池具有较强的优势,其能量密度和能源效率较高,整体安全性高,可以灵活利用并联或者串联的方式优化,提升其容量与电压,为人们提供优质的服务。但锂离子电池也存在一定安全性问题,电池寿命问题明显,相对成本较高,需要进一步进行技术创新。钠硫酸电池的能量密度较高,相对于其他电池来说充放电效率较高,能量密度较大,并且具有维护便捷、占据空间较小以及运行成本较低等优势,为人们提供良好的服务。该电池的不足在于放电深度与循环寿命还有待提升,需要营造一定的高温运行环境,在发展过程中,该电池技术已经逐渐商业化,形成完整的电池应用体系。电池储能与当前的控制技术、电力电子技术相结合,可以从整体上优化技术水平,实现精准控制,提升储能技术水平。电池储能应用于光伏、风电发电中可以促使光、风等自然资源不稳定带来的短期输出功率波动问题,保证电站的出力能力,以此提升能源的利用效率,保证安全性提升。与此同时,还可以优化供电的可靠性,保证电能质量,利用先进的技术优势开展处理,完善现阶段的发展模式,改善电能质量。

1.2 储热技术

储热技术是现阶段人们生产与生活必不可少的技术,常见的规模化储热技术主要有熔融盐储热技术、水储热技术,被广泛地应用在各个领域中,满足现阶段的发展需求。以熔融盐储热技术为例,该技术常被应用在大型塔式光热发电系统中,其技术原理是通过液态熔盐的显热进行储热,通过熔盐的吸收与释放热量来达到储热的目的,具有较强的技术优势,整体安全性较高,相对成本较低,可以为人们提供优质的服务。水储热技术是现阶段常见的技术,常见于暖通空调行业中,利用自身的技术优势既能供热,又能供冷,并且整体的成本较低,可以发挥出较高的技术价值,满足发展需求。该技术具有较强的清洁性,可以优化清洁能源电力或者进行电网峰谷差调节,但由于技术应用过程中需要以大面积的水池为基础,导致其技术的城市规模化应用存在一定的限制,需要全面进行创新,以满足实际的需求。高温变相储

热技术也是常见的技术,该技术应用中主要利用变相材料的变相潜热来存储热量,相比于其他技术更具有优势,温度适用范围较为宽泛,储能密度较高,并且在系统配置上趋于简单,具有较高的充、放热速度,成本较低,被人们广泛地应用在清洁电力供暖中,提升能源的利用效率。与此同时,氢储能系统也是研究的重点内容,该技术被广泛地应用,如通过清洁能源电力电解技术获取氢气,存储于储氢装置中,以燃料电池为基础将存储的能量回馈到电网中,实现资源的高效应用。氢能量密度较高,绿色无污染,相对的运行成本较低,是现阶段最具潜力的大规模储能技术。

2 大容量储能对电力系统小干扰稳定的作用机理

2.1 基于变流器控制的储能装置类型与工作原理

由图1可以看出该装置主要分为功率调节系统和储能系统两部分,各部分的组成大不相同,但是互相之间有联系且整体通过电力电子接口并入电网,从而形成储能系统。其中大容量储能主要依靠蓄电池、超级电容器等方式实现,但各储能技术各有利弊,在实际工程应用上由于自身构造、工作条件、电网对电压和容量等方面的要求较高,目前还无法大面积应用,为了对大容量储能产生的影响和作用进行研究分析,可以构建用于仿真和实验系统的装置,以获得一些理论数据参考。

2.2 储能变流器的PQ解耦控制策略

由图1可知功率调节系统主要包括主电路和控制系统两部分,其中的控制系统可以采集储能单元的状态信号,来自电网的电压和电流信号,传递给低层控制器,而电力系统的状态变量则由系统层控制器采集,并经处理后向低层控制器发送交换指令,指示工作模式,低层控制器汇总所有信号和数据后,生成合适的触发控制脉冲来调控系统运行参数,如提高系统的阻尼特性、电能质量,从而实现有功、无功的独立交换,控制储能系统的交换功率。

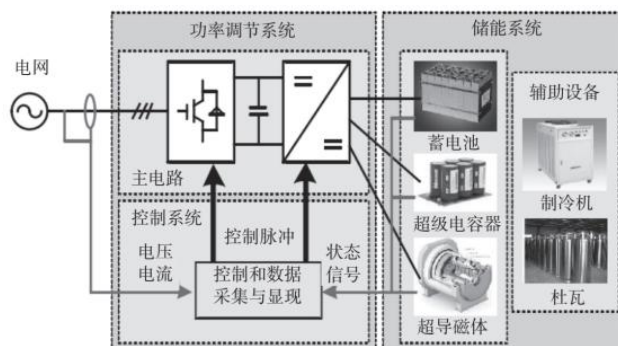


图1 基于变流器控制的储能装置结构示意图

3 大容量储能对电力系统小干扰稳定的影响

3.1 系统动态建模

以三机九节点系统为例，对大容量储能系统接入电力系统后的小干扰稳定影响进行了分析。（1）建立同步发电机模型，采用同步电机4阶模型，相关计算公式可参照电力行业的有关规范，同时由于电力系统稳定器PSS可以提高系统基本运行方式下的小干扰稳定性，还可以在基本运行方式下通过配置和不配置PSS来所呈现的机电振荡模式来表明PSS在增强系统阻尼特性中的优势。（2）储能电站，模型主要包括电池及电池管理系统，PCS换流器和控制模块，电池充放电特性为线性，当大容量储能接入电网时，可按照功率内外环控制策略实现有功、无功解耦控制。通过以上模型和原理模拟不同条件下储能阻尼系统低频振荡情况，并采用特征值分析法，以换流器及控制模块的动态性能为重点，根据系统的状态变量、输出变量、输入变量，结合电力系统的动态特性有关计算方程式得出系统状态极点，并根据状态矩阵特征值对应的振荡模式阻尼比，进而对小干扰稳定性进行分析。

3.2 系统潮流不变下的影响

通过完整的模型，模拟逐步增加储能发电有功出力后的振荡模式变化，例如在储能并网容量增加且协调控制系统潮流不变的情况下，将储能有功出力从20MW增加至100MW，在并网容量以20MW的基数增长的情况下，对比相同模式下的阻尼特性变化情况以及有无PSS时的阻尼特性变化情况，从表1可以得出，模式一的振荡频率基本保持不变，而阻尼比与并网容量呈正比，而模式二的频率比模式一大，且呈下降趋势，而阻尼比也明显在逐步上升且都没有产生新的振荡模式，因此在系统潮流不变的情况下，阻尼比会随着储能容量的接入而增大。

表1 系统潮流不变下的阻尼特性变化情况

并网容量MW	模式一		模式二	
	频率Hz	阻尼比%	频率Hz	阻尼比%
0	1.17	13.22	1.95	11.73
20	1.18	13.39	1.95	13.35
40	1.18	13.45	1.93	14.67
60	1.19	13.53	1.90	17.24
80	1.19	13.72	1.86	19.76
100	1.20	13.79	1.85	21.35

3.3 系统潮流改变下的影响

若同步电机G3没有参与协调控制，储能渗透率在增加过程中就会失衡，系统潮流就会发生变化，因此可以模拟系统潮流变化情况下的振荡模式，得出储能并网容量逐步增加情况下，两种模式的频率和阻尼比变化，通过数据对比分析可以得出阻尼比的变化趋势为先降后增，但变化性非常小，而模式一的频率呈微弱增长趋势，模式二则正好相反，但同样都没有引发新的振荡模式。因此，在以上两种情况下，大容量储能都不会明显改变或降低阻尼比，对小干扰稳定的影响也较小，也不会参与系统的低频振荡，但系统潮流不变时更有利于系统的小干扰稳定。

3.4 锁相环影响

为了便于研究储能接入后的小干扰稳定性影响，现有机电暂态仿真软件中并未考虑锁相环动态模型，若要精确

定其影响性，可基于锁相环基本原理，建立动态模型，以 $K_p=1.5$ ， $K_i=10$ 为典型参数（ K_p 为比例参数，主要用于快速调节误差； K_i 为积分参数，主要用于调节稳态时间），以系统潮流为条件，模拟不同变化情况下的振荡模式，同样也是以并网容量变化时引起的频率和阻尼比变化来对比有无考虑锁相环的系统阻尼特性，并进一步评估对系统小干扰稳定的影响（具体数据见下表2），试验后得出，未考虑锁相环时稳定性会变差。

表2 考虑锁相环影响时的阻尼特性变化情况

并网容量MW	模式一		模式二	
	频率Hz	阻尼比%	频率Hz	阻尼比%
0	1.17	13.22	1.95	11.73
20	1.20	12.86	1.93	11.21
40	1.21	13.02	1.93	11.14
60	1.22	13.23	1.91	11.33
80	1.22	13.32	1.88	11.56
100	1.23	13.42	1.87	11.71

3.5 附加阻尼控制的影响

以一次调频及惯量控制模型为基础，研究大容量储能对电力系统阻尼比产生的具体影响，通过模拟大容量储能接入并网容量递增时，系统振荡模式的变化情况，在100MW情况下有无附加阻尼控制时，出现三相瞬时短路故障时G3有功功率响应情况（详见图2），综合以上试验数据分析可以得出，附加阻尼控制可以改善系统小干扰稳定性。

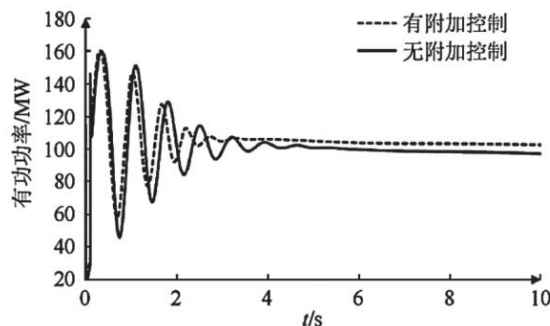


图2 G3机组有功功率响应

4 结束语

大容量储能技术可以灵活地实现有功、无功的快速、解耦控制，打破了发、用电实时平衡的限制，满足电网峰值负荷的需求，有效降低昼夜峰谷差，辅助解决低电压穿越问题，从而提高运行效率和稳定性，保证供电质量。因此加强对其的研究具有重要的现实意义。

参考文献

[1] 党杰, 石梦璇, 梁辰, 徐友平, 孙海顺. 基于储能控制的低频振荡抑制方法及作用机理[J]. 高电压技术, 2019, 45(12): 4029-4037.
 [2] 牛文君. 风电并网中的储能技术研究进展[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2016, 0(18): 5-5.
 [3] 胡静, 李琼慧, 黄碧斌, 冯凯辉. 适应中国应用场景需求和政策环境的电网侧储能商业模式研究[J]. 全球能源互联网, 2019, 0(4): 367-375.