

飞轮储能技术在风力发电中的应用

李文圣, 王文杰, 张锦程

(苏州菲莱特能源科技有限公司, 江苏 苏州 215021)

摘要:随着风力发电的大发展,风电在未来电网中所占的比例越来越大,然而,风电在并网过程中带来的一系列问题,成为制约风力发电的瓶颈。飞轮储能技术作为一种电网调频和短时间内调峰的手段,具有一系列适合于风电并网调节的优点,引起了广泛的关注。一些试验性和实际的应用表明,飞轮储能技术在解决风电并网问题上有着很大的潜力。

关键词:飞轮储能; 风力发电; 调频
中图分类号:TK82

1 引言

作为世界上重要工业制造基地和能源消耗大国,我国非常重视研发和利用可替代化石能源的新型清洁能源包括风能和太阳能等。近些年来,我国风电呈爆发式增长。自2005年开始,伴随着《可再生能源法》等一系列产业政策的出台,我国风电驶入了快车道:2007年我国新增风电机组3155台,新增装机容量330.4万kW,跃居世界第三位,装机总容量超过丹麦居世界第五位^[1]。2007年提前计划3年达成500万kW目标,2008年提前2年达成1000万kW目标。未来3a中,中国厂家准备制造比任何其他国家都要多的风力发电机^[2]。

但是现实情况远比看起来的复杂。间歇性是风能利用的最大障碍。风电场风电功率的波动会增加电网电力调度的难度,影响风电场安全高效运行,对电网安全运行造成冲击。在目前风电功率只占电网总功率极小比例的情况下,风电功率的波动还不至于对整个电网造成严重的冲击。但是,随着风力发电的高速增长,可以预见风电功率占电网总功率比例会快速上升,风电的波动将会对电网造成极大的冲击,损害电网的稳定性。

2 飞轮储能技术(kinetic energy storage systems, 简称 KESS)简介

飞轮储能装置最基本的工作原理是,将电网输入的电能通过电动机转化为飞轮转动的动能储存起来,电源不正常或者中断时,又通过发电机将飞轮的动能转化为电能,输出到外部负载。当网侧电源恢复正常时,飞轮回到备用状态,整个装置就可以以最小损耗方式运行。为了减少运转时的损耗,提高飞轮的转速和飞轮储能装置的效率,飞轮储能装置轴承一般都使用非接触式的磁悬浮轴承技术,而且将电机和飞轮都密封在一个真空容器内减少风阻。通常发电机和电动机使用一台电机来实现,通过轴承直接和飞轮连接在一起。图1为一种飞轮储能装置的结构示意图。



图1 Active Power公司的磁悬浮飞轮储能设备示意图

作为一种机械存储手段,飞轮储能具有以下特点:

(1) 响应速度快,充放电迅速。当收到电网调节信号后,飞轮储能装置能够在极短时间内(5 ms 以内)响应,开始充电或放电。充电的时候,吸收电网上多余的电能,飞轮加速转动;放电的时候,释放电能,补充电网电能的不足,飞轮减速转动。飞轮储能可以有效减少风电的不稳定性,起到平稳风电的作用,见图 2 和图 3^[3]。飞轮储能装置的充电和放电过程十分迅速,一般都在几分钟以内。电网的波动时间尤其是风电是以秒计,要求调节的响应时间也应当以秒计。同飞轮相比,化学电池不具有在短时间内(以秒计)迅速充电或放电来达到调节电网的能力。

(2) 充放电次数多,达到 100 万次以上。飞轮储能装置的寿命一般在 10 a 以上免维护,部分设计良好的飞轮储能系统的寿命能够达到 20 a 以上免维护。化学电池的充放电次数远远小于飞轮储能装置,一般只在几千次左右,用于电网调节时,往往 1~2 a 的时间就需更换。

(3) 无污染、无任何气体排放。飞轮储能是一种机电储能装置,无任何污染和温室气体的排放,非常符合我国的节能减排的环保政策。

3 飞轮储能应用于风电调节

由于飞轮储能装置具有以上诸多优点,它非常适合用于调节电网尤其是波动量比较大的风电网的平衡。图 2 和图 3 为典型的飞轮储能调节风电的曲线图。由于飞轮储能具有非常好的电网调节功能,欧美等主要发达国家非常重视它在电网调节尤其是在风力发电调节方面的研究与应用,飞轮储能被作为智能电网的核心技术之一,加以大力扶植。民间资本也非常看好这项技术的商业前景,投资力度相当大,并成功培育出在纽约、伦敦等上市的风轮储能公司包括 Beacon Power Corporation, Activer Power, Vycon 等。下面是一些飞轮储能技术应用于风力发电的实际范例。

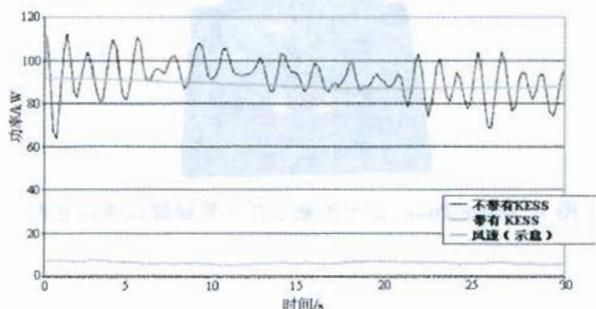


图 2 典型的飞轮储能系统对风电功率输出的稳定作用

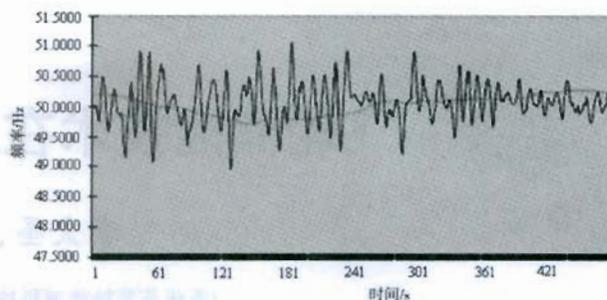


图 3 典型的飞轮储能系统对风电输出频率的稳定作用

(1) Dogo Island, Japan^[4]

Dogo Island 是日本近海的一个小岛。2003 年,富士电气(Fuji Electric)安装了 1 台 200 kW 的飞轮储能系统(UPT KESS),用来降低 3 台 600 kW 的 De-Wind D4 风力发电机的电力输出的波动,与已有的柴油发电机,构成了一个孤岛电网。另外,为了在紧急情况下补充电力,这个孤岛电网与外部电网保持着比较弱的联系。通过试验这套系统,富士电气希望达到以下四个目标:

- a. 稳定电网频率;
- b. 充分利用波动大的阵风能量;
- c. 减少柴油发电机的使用;
- d. 减少风力发电的调节需要。

试验的结果非常诱人。飞轮储能系统(UPT KESS)通过动态的吸收和释放电能,非常有效地提高了这个孤岛电网的风电比例,并且稳定了电网频率。事实证明,飞轮储能系统在可以有限地减小风电的波动,可以在风电并网方面起着关键的作用。

(2) Coral Bay, Australia^[5]

位于澳大利亚西澳洲的 Coral Bay, 在 2007 年之前,由柴油发电机给此地供电。2007 年,电场开始引入风电,使用了 7 台 320 kW 的低负载柴油发电机和 3 台 Vergnet GEV-MP 200 kW 的风力发电机,一套 500 kVA 飞轮储能系统配合风机使用,来稳定风电输出。飞轮储能作为一个能量缓冲区,可以储存过多的风电,并在需要的时候,释放电能到电网。引入风电后,风电在强风时候可提供 100% 的供电量,柴油发电机用来配合风电使用,在风电不够时提供电能。

飞轮储能系统表现的非常优秀。在强风的时候,风电能满足 100% 的电力需求。平均来说,风电提供了 90% 以上的 Coral Bay 的用电量。飞轮储能系统极大地提供了风电对已有电网的渗透性。

类似的风电/柴油发电机/飞轮储能系统在很多地方都有使用,并在澳洲、北美、欧洲等广泛使用。

(3) 美国加州^[6]

加州能源委员会 (California Energy Commission) 在 2008 年授予了飞轮储能设备制造商 Beacon Power 一项研究合同, 研究使用飞轮储能系统提高新能源发电 (主要包括风电和光电) 的并网渗透性。Beacon Power 的 10 MW 的飞轮储能系统被安装在加州风能丰富的 Tehachapi 市。根据 2007 年的一项研究报告, 加州电力调控部门 (California ISO) 预测, 在未来几年内, 由于风电的并网比例不断加大, 加州将需要增加几百 MW 的电网调频容量。到 2010 年, 新能源电力比例将占 20%。因此, 提供新能源发电尤其是风电的电网渗透性对未来新能源电力的并网至关重要。

(4) 英国^[7]

英国国家电网 (National Grid) 公司在 2009 年 1 月授予飞轮储能设备制造商 Beacon Power 一项研究合同, 研究使用其飞轮储能系统进行电网调频和提高风电并网渗透性。英国国家电网预测在不久的将来, 风电将占其总电力总量的比例将会有很大提高。

4 飞轮储能技术在我国的发展

我国很早就对飞轮储能技术进行了研究。一些著名大学如清华大学、华中科技大学、北京航空航天大学等设立了专门的飞轮储能技术研究机构, 并取得了显著的成果。

清华大学 1996 年开始 300 Wh 飞轮储能样机研制, 1997 年首次实现充放电实验。2003 年完成 500

Wh 飞轮储能不间断电源原理样机, 飞轮转速 42 000 r/min, 复合材料飞轮转子边缘线速度达到 650 m/s^[8]。

北京航空航天大学、中科院长春光学精密机械与物理研究所近年来开展飞轮储能电源的航天应用研究。北航的飞轮实验装置可用电能为 13 Wh, 转换效率达到 83%, 实验输出功率 100 W, 最大输出功率可达 200 W 左右^[9]。

苏州菲莱特能源科技有限公司研发的用于商业化的 50 kW 飞轮储能设备 (见图 4), 其放电时间可达 2 min。虽然与国外最先进的产品相比, 其储存能量和放电时间还有差距, 但是考虑到苏州菲莱特技术研发的速度, 相信在不久的将来, 其产品会赶上甚至超过国外同类产品的性能。

参考文献:

- [1] 刘磊, 杨凡. 风电企业谁将笑傲群雄? 风电行业深度跟踪报告. 中信证券, 2008, 9(8).
- [2] Editorial. China's wind-power potential [J]. Nature, 2009, 1 (12).
- [3] C D Tarrant. Energy Storage Technologies and Applications. Urenco Power Technologies Ltd. <http://www.cambridgeenergy.com/archive/2005-06-22/CEF-Tarrant.pdf>.
- [4] Richard Baxter. Energy Storage: A Nontechnical Guide[M]. PennWell Corp, 2005, 9: 230-231.
- [5] PowerCorp Australia. Project descriptions for Coral Bay and Denham (low load diesel) and Coral Bay and Flores Island (flywheel). http://www.pcorp.com.au/index.php?option=com_content&task=view&id=83&Itemid=132.
- [6] Pramod Kulkarni. California/DOE Electrical Energy Storage Initiative: Current Status, DOE Energy Storage Program Peer Review. Washington D.C., 2004.11.10. http://www.sandia.gov/ess/Publications/presen_kulkarni.pdf.
- [7] ElectricEnergyonline.com. National Grid and Beacon Power Sign Agreement to Evaluate Flywheel Technology for Grid Applications. http://www.electricenergyonline.com/?page=show_news&id=103947.
- [8] 戴兴建, 卫海岗, 沈祖培. 储能飞轮转子轴承系统动力学设计与试验研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(4): 97-101.
- [9] 杨春帆, 刘刚, 张庆荣. 磁悬浮姿控 / 储能飞轮能量转换控制系统设计与实验研究 [J]. 航天控制, 2007, 25(3): 91-96.

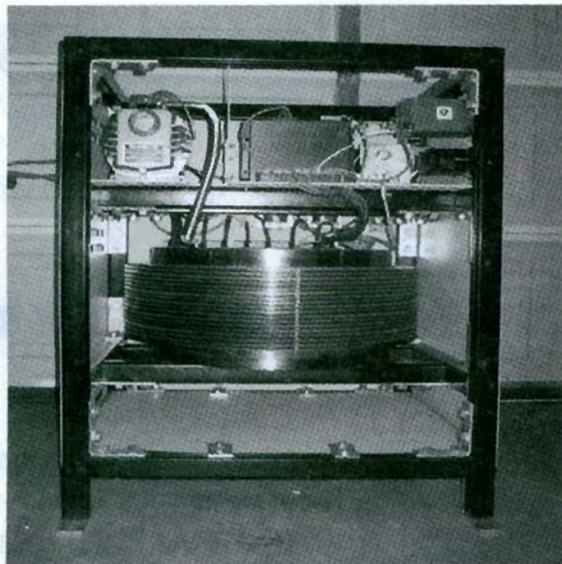


图 4 苏州菲莱特能源科技有限公司 50 kW 飞轮储能样机

(下转第 14 页)