

微网系统中电池储能系统应用技术研究

黄晓东¹, 郝木凯², 陆志刚³, 陈柔伊³, 董旭柱³, 饶宏³

(1 中国南方电网有限责任公司 调峰调频发电公司, 广东 广州 510623; 2 合肥工业大学 电气工程学院, 安徽 合肥 230009; 3 南方电网科学研究院有限责任公司, 广东 广州 510080)

摘要: 随着可再生能源发电技术的发展, 能够整合分布式发电系统的微网成为满足日益增长的电力需求、节省投资和提高能源利用率的一种有效途径。储能系统作为微网必要的能量缓冲环节, 其作用越来越重要。文章概述了电池储能系统的基本特性, 分析了电池储能系统的运行及控制原理, 并详细阐述了其在微网中作用。基于蓄电池的储能系统, 不仅能起到能量缓冲的作用, 还能提供短时供电、缓冲微网中负荷波动、改善微网电能质量, 对提高微网的经济效益具有重要作用。

关键词: 微网; 电池储能系统; 电能质量; 分布式电源

Application of Battery Energy Storage System in Microgrid

HUANG Xiao-dong¹, HAO Mu-kai², LU Zhi-gang³, CHEN Rou-yi³, DONG Xu-zhu³, RAO Hong³

(1 China Southern Grid Power Generation Company, Guangzhou 510080, China; 2 Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3 China Southern Power Grid Co.Ltd., Guangzhou 510623, China)

Abstract: With the development of renewable energy power generation, microgrid, which integrates distributed generations, is considered as an effective way to meet the growing power demand, and economize the investment and improve energy efficiency. As a necessary energy buffer, energy storage system plays an increasingly important role. This paper summarizes the characteristics and performance of battery energy storage system (BESS), and outlines its applications in microgrid. Energy storage system based on battery, is an energy buffer, can supply for a short time, suppress load fluctuations, improve the power quality, and play an important role on the economic performance of microgrid.

Key words: microgrid; battery energy storage system (BESS); power quality; distributed generations

0 引言

为整合分布式发电的优势, 削弱分布式发电对电网的冲击和负面影响, 最大限度发挥分布式发电技术的经济性, 2001年, 美国威斯康星大学 R. H. Lasseter 提出了微网的概念^[1]。微网能够节省投资、降低能耗、提高系统安全性和灵活性, 是未来的发展方向。一个典型的微网由多种分布式发电单元、储能系统及电力负荷组成, 并由一个中央能量管理单元负责微网内的发电调度。其中, 储能系统作为微网系统必要的能量缓冲环节, 可以提高系统的电能质量, 使整个微网系统稳定运行。储能系统利用蓄电池储存微网系统多余的能量, 当能量紧急缺乏时, 再将存储的能量通过控制单元释放出来, 快速准确

地补偿系统所需的有功和无功, 从而实现电能的平衡、稳定控制。储能系统对于微网的稳定控制、电能质量的改善和不间断供电具有非常重要的作用^[2,3], 是微网安全可靠运行的关键。

可用在微网系统中的储能单元种类繁多, 比较常见的有超导储能 (SMES)、电池储能 (BESS)、飞轮储能、超级电容器储能、抽水储能、压缩空气储能等。在各种类型的储能单元中, 电池储能系统应用较为广泛, 具有技术相对成熟、容量大、安全可靠、无污染、噪声低、环境适应性强、便于安装等优点, 成为微电网储能系统的首选装置之一。

1 蓄电池基本特性

电池储能系统主要由蓄电池组和变流器两

部分组成, 电池组一般采用技术比较成熟的钠硫电池或铅酸电池。其中钠硫电池在能量密度、使用寿命、运行效率上有较明显优势, 所以钠硫电池的应用更广泛^[4,5]。钠硫电池与铅酸电池特性参数的比较如表 1 所示。

表 1 钠硫电池与铅酸电池特性比较

Table 1 Characteristics Comparison with Sodium Sulfur Battery and Lead Acid Battery

	钠硫电池	铅酸电池
功率密度 W / Kg	120~200	50~100
能量密度 Wh / Kg	117	40
充放电效率	>90%	>84%
维护性	免维护	定期维护
工作寿命 (100% 充放电周期)	2500 次	1200 次

表 2 是蓄电池与超级电容器、超导储能以及飞轮储能的性能比较。超级电容器、超导储能和飞轮储能均为比较优秀的储能元件, 但它们的造价比蓄电池高, 能量密度比蓄电池低。同时, 超导储能除了超导自身费用较高外, 维持低温所需费用也相当高, 而飞轮储能受转速和机械强度等因素的限制。

表 2 各类储能系统性能比较

Table 2 Performances Comparison of Different Energy Storage System

	蓄电池	超级电容器	超导储能	飞轮储能
功率密度 W / Kg	50~200	7000~18000	1000	180~1800
能量密度 Wh / Kg	20~100	1~10	<1	5~50
循环寿命	103	>106	106	106
效率	80~85	>95	90	90~95
安全性	高	高	低	不高
维护量	小	很小	大	较大
成本/pu	1	8	20	4

由表2可以看出, 与其他储能元件相比, 蓄电池具有如下优点。

- 1) 容量大, 蓄电池具有较高的能量密度, 通过电池组串联的方式, 可以达到MW级容量。
- 2) 耐用性强, 使用寿命长达15a。
- 3) 环境适应性强, 环境温度对其正常使用影响不大, 使用温度范围 (-40~70℃) 广。
- 4) 成本低, 造价和安装费用较低, 不需要

经常维护。

- 5) 低污染、无振动、无噪声, 环境友好度高。

蓄电池的诸多优点使得蓄电池储能系统在微电网中被广泛应用。

2 电池储能系统的运行及控制原理

图1为典型的微网系统结构, 整个系统由主发电设备、分布式电源、储能系统以及电力负荷构成。作为一个可控单元, 微网系统既可以与主网连接并网运行, 也可以与主网断开独立运行。储能系统由蓄电池和变流器组成, 它的存在增大了微网系统的惯性。在微网并网运行时, 它可以吸收微网内多余的能量进行存储; 在微网孤立运行时, 可以提高微网的动态响应速度, 改善微网电能质量, 保证微网的稳定运行。

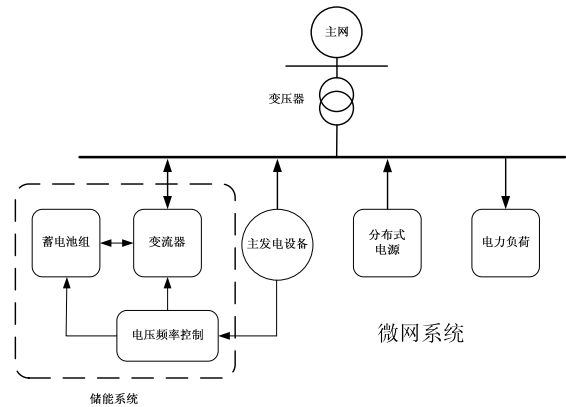


图 1 典型微网系统结构

Fig.1 Structure of Typical Micro-grid System

储能变流器实质上是大量的电压逆变器, 它是连接蓄电池和微网之间的接口电路, 实现了电池直流能量和交流电网之间的双向能量传递。电池储能系统的电路原理如图2所示。

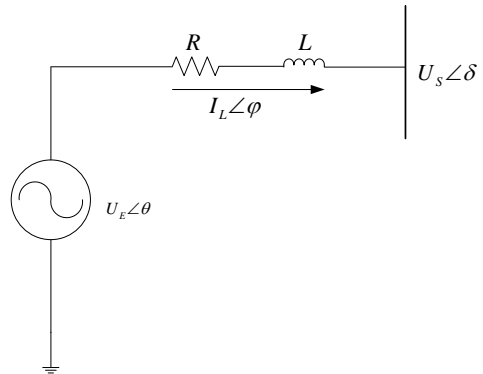


图 2 电池储能系统原理

Fig.2 Principle of Battery Energy Storage System

将图2中电池储能系统等效为一个理想的电压源，其电压幅值为 U_E ，电压相角为 θ ；电路中的 R 、 L 代表总的功率损耗、线路损耗等；电池储能系统注入微网系统的电流幅值为 I_L ，电流相角为 φ ；微网系统接入点的电压幅值为 U_S ，电压相角为 δ 。

在电池储能系统中，电压幅值 U_E 和电压相角 θ 都是可以控制的，当需要向系统注入有功功率时，便可以控制 $\theta > \delta$ ，这时电池储能系统的电压相角超前于系统接入点的电压相角，所以有功功率由电池储能系统流入微网系统；反之亦然。当需要向系统注入无功功率时，便可以控制 $U_E > U_S$ ，这时电池储能系统的电压幅值高于微网系统接入点的电压幅值，所以无功功率由电池储能系统流入微网系统；反之亦然。可见，适当地调整变流器来控制电池储能系统的电压幅值和相角，便可以实现电池储能系统与微网系统之间的有功功率和无功功率的交换。

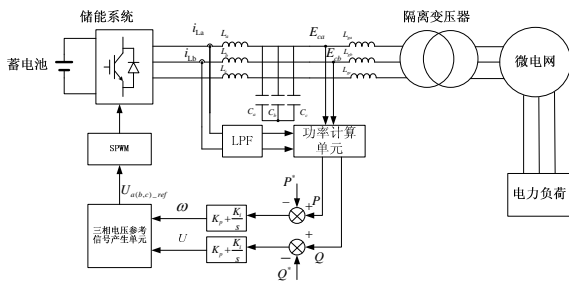


图 3 电池储能系统控制原理图

Fig. 4 Control Diagram of Battery Energy Storage System

电池储能系统的变流器存在多种控制方式。有文献提出储能系统在孤岛运行时，变流器采用具有下垂特性的电压与频率控制；在并网运行时，变流器采用有功与无功控制。典型的有功与无功控制方式如图3所示，储能系统可以即时检测输出有功和无功功率的变化，根据需要通过逆变控制单元将能量储存起来或释放出去，快速调节输出电压和频率，准确地调节系统需要的有功和无功，从而实现微网电能的平衡、稳定控制。

3 电池储能系统在微网中的应用

3.1 提供短时供电

微网存在两种典型的运行模式：正常情况下，微网与主网连接并网运行，称为并网运行模式；当检测到电网存在故障或电能质量不满足并网要求时，微网与主网断开并独立运行，此时称为孤岛运行。

由于微网往往要从主网吸收有功功率，因此

当微网从并网模式向孤岛模式切换时，中间会有一个过渡过程，会造成短时的功率缺额，此时储能系统可以提供短时供电，有助于微网在两种运行模式中平稳过渡。

3.2 用作能量缓冲装置

由于微网规模一般较小，系统惯性不大，当大功率的电力负荷投切时，微网的电压和频率波动十分明显，对整个微网系统的稳定运行造成一定影响。我们总是期望微网中的主发电设备（一般为同步发电机）始终工作在其额定容量下，但是微网系统的负荷量并非一直不变的，它会随时间和天气的变化而变化，为了满足高峰时的负荷供电，往往需要使用燃油、燃气的调峰电厂对高峰负荷用电进行调整，但现在燃料的价格很高，这种高峰调节方式费用昂贵。

电池储能系统可以有效解决这个问题，它可以在负荷低落时储存分布式电源的多余电能，在负荷高峰时将储存的能量回馈给微网，以满足功率调节需要。储能系统作为微网必要的能量缓冲环节，增大了系统的惯性，可以提高系统的电能质量，使整个微网系统稳定运行。它不仅避免了为满足负荷高峰期而额外安装的发电机组，同时充分利用了负荷低谷期系统的剩余发电量，避免了能量浪费。电池储能系统在微网系统中的作用已经越来越重要。

3.3 改善微网电能质量

人们对电网电能质量的问题日益关注。一方面，微网作为电网要满足负荷对供电质量的要求，保证输出电压、频率、幅值、波形畸变率以及年停电次数在一个很小的范围内变化；另一方面，当微网并网运行时，大电网对并网的微网的电能质量也有严格的要求，如功率因数、电流谐波畸变率和最大功率等都有严格限制。

电池储能系统对微网电能质量的提高起到了十分重要的作用。通过逆变控制单元，可以调节储能系统向用户及电网提供有功及无功能量，从而达到提高电能质量的目的。由于电池储能系统可以快速吸收、释放大功率电能，非常适宜作为微网的电能质量调节装置，可以利用电池储能系统提供快速功率缓冲，吸收或补充电能，提供有功无功支撑，进行功率补偿，以稳定、平滑电网电压的波动。

3.4 优化分布式电源的运行

微网中的分布式电源（如风力发电系统、光伏发电系统等）具有随机性和不均匀性，随着风

速和太阳光强度的变化,这些能源产生的电能输出也会发生相应的变化,这就需要一种能量缓冲装置来存储这些能量。由于分布式电源的发电量可能不足以满足微网负荷高峰期的电能需求,因此,可以采用储能系统在短时间内提供所需要的峰值电能。

同时,电池储能系统还可以在分布式电源不能正常运行的情况下起到过渡的作用,比如太阳能发电在夜间和风力发电在无风或风速不满足发电要求的情况下,或者部分分布式电源在检修期时,就可以将电池储能系统作为一个能量过渡单元,其储存能量的大小取决于负荷的需求。

另外,微网中有时会存在发电量是稳定的而负荷需求是不断变化的情况,比如微网中存在燃料电池这种微电源时,就可以持续地输出电能。如果没有储能装置,燃料电池容量就要做的很大,才能满足用电高峰的电能需求,这将显著提高投资成本。利用电池储能系统就可以将用电低峰时剩余的电能储存起来,然后在用电高峰时再释放出来,从而满足负荷高峰的电能需求。

3.5 提高微网的经济效益

电池储能系统的应用对提高微网经济效益具有重要意义。

1) 可大幅增加可再生能源的比例,缓解建设新的输电、配电线路以及新建发电厂的投资压力,降低系统成本。

2) 对于具有随机性的分布式电源(如光伏发电和风力发电)可以预先制定一定的发电规划,在特定的时间提供所需的电能。有了足够的电能储存,就使微网成为可以调度的发电单元,甚至可以根据情况向电力公司售电,获得较大的经济利益。

3) 提供有效的负荷管理机制,降低负荷高峰时的供电成本。

4) 提供有效的电能备用容量,改善电能质量,提高系统运行的可靠性和稳定性。

4 结论

微网技术作为国际电力系统一个前沿研究领域,以其灵活、环保、高可靠性的特点被欧盟和美国能源部门大力发展,今后也必将在我国得到广泛应用。作为微网中必不可少的环节,电池储能系统也获得了广阔的发展空间。

电池储能系统对于实现微网内部能量的瞬时平衡、维持微网的稳定、提高供电的电能质量

具有非常重要的作用,甚至可以达到调峰的目的。随着大功率逆变器技术的不断成熟,电池技术的不断发展,电池储能系统在微网系统中的应用前景将越来越广泛。

参考文献

- [1] LASSETER R H, AKHIL A, MARNAY C, et al. Consortium for electric reliability technology solutions white paper on protection issues of the microgrid concept [EB/OL]. <http://certs.lbl.gov>, 2002-03-17.
- [2] 王成山,王守相. 分布式发电供电系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (20):1-4.
- [3] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19):100-107.
- [4] 崔艳华,孟凡明. 钒电池储能系统的发展现状及其应用前景[J]. 电源技术, 2005, 29(11):776-780.
- [5] 王振文,刘文华. 钠硫电池储能系统在电力系统中的应用[J]. 中国科技信息, 2006, 13: 41-44.
- [6] 严俊,赵立飞. 储能技术在分布式发电中的应用[J]. 华北电力技术, 2006, 10: 16-19.

收稿日期:

作者简介:黄晓东 1964 年出生,男,大学本科,高级工程师,从事调峰调频电厂的检修试验管理工作 hxd1392615@126.com