

大型储能基地的电气系统设计思路

曲坤

中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i6.10942

[摘要] 大型储能基地电气系统设计需综合多方面因素。涵盖储能技术选型对电气性能影响,系统架构搭建确保高效稳定,电气设备选型适配功率与容量需求,以及控制策略实现智能化管理等。通过合理设计,保障储能基地安全、高效、可靠运行,提升电力系统稳定性与灵活性,适应不同应用场景需求。

[关键词] 大型储能基地; 电气系统设计; 储能技术; 系统架构; 设备选型

中图分类号: N945.23 文献标识码: A

Design Ideas for Electrical Systems of Large Energy Storage Bases

Kun Qu

China Energy Engineering Group Heilongjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] The electrical system design of large-scale energy storage bases requires comprehensive consideration of multiple factors. Covering the impact of energy storage technology selection on electrical performance, ensuring efficient and stable system architecture construction, adapting electrical equipment selection to power and capacity requirements, and implementing intelligent management of control strategies. Through rational design, ensure the safe, efficient, and reliable operation of energy storage bases, enhance the stability and flexibility of the power system, and adapt to different application scenarios.

[Key words] large-scale energy storage base; Electrical system design; Energy storage technology; System architecture; Equipment Selection

引言

随着能源转型发展,大型储能基地的建设日益重要。其电气系统设计是整个储能项目的关键。一方面,要满足日益复杂的电力系统对储能的需求,如削峰填谷、调频等。另一方面,要应对储能技术自身特性带来的挑战,例如不同储能技术的充放电特性差异。合理的电气系统设计能够提高储能基地的性能、安全性和经济性,在现代能源体系中发挥重要作用。

1 储能技术选型

1.1 功率特性

在大型储能基地的电气系统设计中,功率特性是一个关键考量因素。功率特性直接关联到储能系统应对不同工况下的电力需求能力。首先,要明确储能系统的额定功率,这一数值决定了其在正常运行时能够稳定输出或吸收的最大功率。对于大型储能基地而言,较高的额定功率有助于在高峰用电时段快速释放大功率,缓解电网压力,或者在低谷时段快速充电,储存多余电能。

从响应速度来看,功率的响应速度反映了储能系统对电网指令的快速响应能力。例如,在应对突发的电力故障或电力波动时,快速的功率响应能够在极短时间内调整功率输出,起到稳定

电网频率和电压的作用。这要求储能系统的功率转换设备具备高效的控制算法和快速的开关元件,以实现毫秒级甚至微秒级的功率调节。

1.2 能量密度

能量密度在大型储能基地的电气系统设计里是一个不可忽视的重要方面。能量密度主要表征了储能系统在单位体积或单位质量内能够存储的能量大小。

从单位体积能量密度的角度出发,较高的体积能量密度意味着在有限的空间内能够存储更多的电能。对于大型储能基地这种对土地等资源有一定要求的项目来说,提高体积能量密度可以减少储能设备的占地面积,降低土地成本。例如,在城市中心或土地资源稀缺的地区建设储能基地时,采用高体积能量密度的储能技术就显得尤为重要。

单位质量能量密度同样关键。特别是在一些对储能设备重量有特殊要求的场景下,如移动储能或对建筑结构承载能力有限制的场所。较高的质量能量密度能够减轻储能系统整体的重量负担,便于设备的安装、运输和维护。

1.3 充放电效率

在大型储能基地的电气系统设计中,充放电效率是一个至

关重要的指标。充放电效率直接影响着储能系统的能量转换效果以及整体的经济性。

充放电效率首先体现在电能转换过程中的损耗程度。在充电过程中,从外部电源输入的电能并非完全被储能系统所存储,一部分会以热能等形式损耗掉。例如,对于电池储能系统,充电过程中的电化学反应、浓差极化等现象会导致充电效率降低。在放电过程中,同样存在类似的损耗,电池内部的内阻会消耗一部分电能,使得实际输出的电能小于存储的电能。

2 系统架构设计

2.1 拓扑结构

在大型储能基地的电气系统设计中,拓扑结构的选择是构建稳定、高效储能系统的关键环节。拓扑结构决定了储能系统中各个组件之间的电气连接方式,对系统的性能、可靠性和可扩展性有着深远的影响。

首先,常见的拓扑结构有集中式拓扑结构。在这种结构下,储能单元集中连接到一个或几个集中的功率转换装置上。其优点在于结构简单,便于管理和控制。例如,对于小型的大型储能基地初期建设,集中式拓扑结构可以降低系统的复杂度,减少设备的种类和数量,从而降低建设成本。然而,集中式拓扑结构也存在一定的局限性。一旦集中的功率转换装置出现故障,可能会导致整个储能系统的瘫痪,系统的可靠性相对较低。

与之相对的是分布式拓扑结构。分布式拓扑结构将储能单元分散连接到多个小型的功率转换装置上。这种结构的优势在于提高了系统的可靠性。即使某个小型功率转换装置出现故障,也只会影响到与之相连的少量储能单元,不会导致整个系统停止运行。同时,分布式拓扑结构具有较好的可扩展性,可以方便地增加或减少储能单元的数量,以适应不同阶段的储能需求。但是,分布式拓扑结构的缺点是系统较为复杂,需要更多的设备和控制策略来协调各个部分的运行,这会增加建设和运营成本。

2.2 连接方式

在大型储能基地的电气系统设计中,连接方式的确定对于系统的安全、高效运行至关重要。连接方式主要涉及储能单元之间以及储能单元与其他电气设备之间的电气连接关系。

从储能单元之间的连接来看,串联连接是一种常见的方式。串联连接时,各个储能单元的电压相加,而电流保持不变。这种连接方式的优点在于可以提高储能系统的总电压,适用于需要高电压输出的场景。例如,在将储能电能传输到高压电网时,串联连接能够减少电流传输过程中的损耗。然而,串联连接也存在一些问题。由于各个储能单元的电压差异,可能会导致个别单元过充或过放的情况。一旦某个储能单元出现故障,可能会影响整个串联支路的正常运行。

并联连接则是另一种重要的连接方式。在并联连接中,各个储能单元的电压保持不变,而电流相加。并联连接的好处是可以增加储能系统的总容量,提高储能系统的储能能力。同时,当某个储能单元出现故障时,其他单元仍然可以正常工作,不会影响整个系统的运行,提高了系统的可靠性。但是,并联连接可能会

导致电流分配不均匀的问题,尤其是在储能单元性能存在差异的情况下,这需要采用合适的均流技术来解决。

除了单纯的串联和并联连接,还有串-并联混合连接方式。这种连接方式结合了串联和并联连接的优点。例如,可以先将多个储能单元串联成一个模块,然后再将多个模块并联起来。这样既可以提高系统的电压,又可以增加系统的容量。在大型储能基地中,根据不同的储能需求和储能单元的特性,可以灵活地采用串-并联混合连接方式来构建储能系统。

2.3 冗余设计

在大型储能基地的电气系统设计中,冗余设计是保障系统可靠性和稳定性的重要手段。冗余设计旨在通过增加备用设备或备用线路等方式,确保在部分设备出现故障时,系统仍能正常运行。

从设备冗余的角度来看,对于关键设备如逆变器、变压器等,应考虑采用冗余配置。例如,在逆变器的冗余设计中,可以采用N+1的冗余模式。即正常运行时,有N个逆变器在工作,同时配备1个备用逆变器。当其中一个工作中的逆变器出现故障时,备用逆变器能够立即接替其工作,保证储能系统的电能转换功能不受影响。这种冗余设计可以大大提高系统的可用性,减少因设备故障导致的停电时间。

对于储能单元本身,也可以进行冗余设计。例如,在储能电池组的设计中,可以预留一定比例的备用电池单元。当部分电池单元出现性能下降或故障时,备用电池单元可以补充其功能。这不仅可以延长电池组的整体使用寿命,还能在紧急情况下确保储能系统的储能能力。

3 电气设备选型

3.1 变压器选型

在大型储能基地的电气系统设计中,变压器选型是一个关键的决策过程。变压器在储能系统中起着改变电压等级、实现电能传输和分配的重要作用。

首先,要考虑变压器的容量。变压器的容量必须满足储能基地的功率需求。在大型储能基地中,储能系统的功率输入和输出可能会有较大的波动,因此变压器的容量应根据储能系统的最大额定功率以及可能出现的过载情况来确定。例如,如果储能系统的最大额定功率为P,考虑到10%-20%的过载余量,变压器的容量应选择为(1.1-1.2)P左右。这可以确保在储能系统高功率运行或突发过载情况下,变压器能够正常工作,不会因为容量不足而出现过热、烧毁等故障。

其次,电压等级也是变压器选型的重要因素。大型储能基地可能需要与不同电压等级的电网进行连接,如高压输电网络和低压配电网。因此,需要根据储能系统的输出电压和目标电网的电压等级来选择合适的变压器电压比。例如,如果储能系统的输出电压为V1,目标电网的电压为V2,那么就需要选择电压比为V1/V2的变压器。同时,还要考虑变压器的变压范围,以适应电网电压的波动情况。

变压器的类型也是需要考量的。常见的变压器类型有油浸

式变压器和干式变压器。油浸式变压器具有散热性能好、容量大等优点,适用于大型储能基地这种功率较大的应用场景。但是,油浸式变压器存在油泄漏的风险,需要有严格的防火、防爆措施。干式变压器则具有安全性高、维护方便等优点,但其容量相对较小,散热性能相对较差。在选择变压器类型时,需要综合考虑储能基地的功率大小、环境条件以及安全要求等因素。

3.2 逆变器选型

在大型储能基地的电气系统设计中,逆变器选型对于实现高效的电能转换和稳定的系统运行具有关键意义。

首先,逆变器的功率容量必须与储能系统的功率需求相匹配。大型储能基地的储能系统具有较大的功率输出和输入能力,因此逆变器的功率容量要能够满足储能系统在各种工况下的功率转换要求。例如,如果储能系统的额定功率为 P ,考虑到一定的功率裕度,逆变器的功率容量应选择为 $(1.1-1.2)P$ 左右,以确保在储能系统高功率运行、启动或停止时,逆变器能够稳定地进行电能转换,不会出现过载或功率不足的情况。

其次,逆变器的转换效率是一个重要的考量因素。较高的转换效率意味着在电能从直流到交流(或反之)的转换过程中,损耗更小。在大型储能基地这种大规模的储能应用中,即使是微小的转换效率差异也会导致大量的电能损失。例如,一个转换效率为95%的逆变器和一个转换效率为90%的逆变器,在长期运行过程中,前者能够节省大量的电能。因此,应尽量选择转换效率高的逆变器,目前一些先进的逆变器转换效率可以达到98%以上。

逆变器的输出电压和频率特性也需要符合目标电网的要求。大型储能基地的储能系统通常需要与电网进行连接,逆变器输出的电压和频率必须与电网的电压和频率相匹配,以实现稳定的并网运行。例如,对于50Hz的电网,逆变器的输出频率必须稳定在50Hz左右,并且输出电压的幅值、波形等也要满足电网的相关标准。

3.3 保护设备选型

在大型储能基地的电气系统设计中,保护设备选型是确保系统安全、稳定运行的关键环节。

首先,熔断器是一种常见的保护设备。熔断器的主要作用是在电路发生过载或短路时,通过熔断自身的熔体来切断电路,防止故障进一步扩大。在大型储能基地中,对于不同电流等级的电路,需要选择合适额定电流的熔断器。例如,在储能单元的直流电路中,如果正常工作电流为 I ,根据经验,可选择额定电流为 $1.2-1.5I$ 的熔断器。这样既能在正常工作时保证熔断器不熔断,又能在电路出现过载或短路时及时切断电路。同时,熔断器的熔

断速度也是需要考虑的因素,快速熔断器能够更快地切断故障电流,减少故障对其他设备的损害。

断路器也是不可或缺的保护设备。断路器不仅能够在过载、短路时切断电路,还能够的正常操作时进行电路的开关控制。对于大型储能基地的高压电路,需要选择额定电压和额定电流符合电路要求的断路器。例如,对于10kV的高压电路,如果最大工作电流为 I_1 ,就需要选择额定电压为10kV、额定电流大于 I_1 的断路器。而且,断路器的分断能力要强,能够在短时间内切断较大的故障电流,保护其他电气设备。

过电压保护装置同样重要。在大型储能基地中,由于储能系统的充放电过程、电网波动等因素,可能会出现过电压现象。过电压保护装置如氧化锌避雷器等,能够在电压超过一定限值时将过电压引入大地,保护电气设备免受过高电压的损害。在选型时,要根据系统的最大工作电压以及可能出现的过电压幅值来选择合适的过电压保护装置。

欠电压保护装置也是保护系统的一部分。当电网电压过低时,欠电压保护装置能够及时检测到并采取相应措施,如切断部分负载或停止储能系统的充放电操作,以保护设备不被欠电压损坏。在选型时,要确定合适的欠电压保护阈值,根据储能系统和电网的实际电压情况进行选择。

4 结语

大型储能基地的电气系统设计是一个复杂且系统的工程。从储能技术选型到系统架构搭建,再到电气设备选型和控制策略制定,每个环节都紧密相连。只有全面考虑各方面因素,才能构建出性能优良、安全可靠的电气系统。这不仅有助于大型储能基地自身的高效运行,还能更好地满足电力系统对储能的需求,推动能源转型和可持续发展进程。

【参考文献】

- [1]刘云涛,王晓燕,李臻.基于超级电容储能的工矿机车电力牵引系统的研究[J].科技经济导刊,2020(06):145-147.
- [2]陈雯洁,韩金刚,李继方,等.基于超级电容储能装置的电力系统控制及仿真研究[J].中国电工技术学会电力电子学会学术年会.中国电工技术学会,2021(08):243-245.
- [3]张锦涛,王英翹.基于超级电容储能的HL-3装置中性束逆变型高压电源模块设计[J].核技术,2024,47(05):155-162.

作者简介:

曲坤(1984-),女,汉族,黑龙江青冈人,硕士,高级工程师,研究方向:发电厂、变电站、风电光伏等新能源工程电气专业方向。