

新型高效 SHVDC 电源在数据中心 的应用分析

Application Analysis of New High Efficiency SHVDC Power Supply in Data Center

陈邦稳¹, 姜晓君² (1. 中国联通浙江分公司, 浙江 杭州 310051; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)
Chen Bangwen¹, Jiang Xiaojun² (1. China Unicom Zhejiang Branch, Hangzhou 310051, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

数据中心供电系统的节能是人们重点关注的问题,以中国联通浙江省某大型数据中心引入的一种简约、高效、绿色的三相 10 kV AC/240 V DC 直变式的特种不间断电源(SHVDC 电源)系统为例,分别从电源类型、供电架构、技术原理、电能质量、效率提升、可用度、投资成本和实际运用效果验证等角度进行分析论证,发现其在数据中心建设中具有良好的应用前景和推广价值。

关键词:

简约;可靠;绿色;不间断电源

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.12.002

文章编号: 1007-3043(2019)12-0007-05

中图分类号: TN86

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Energy saving of data center power supply system is a key concern. It takes a simple, efficient and green three-phase 10 kV ac/240 Vdc direct-conversion uninterruptible power supply (SHVDC) system introduced by a large data center in Zhejiang Province of China Unicom as an example, and analyzes and demonstrates the SHVDC power supply from the aspects of power type, power supply structure, technical principle, power quality, efficiency improvement, availability, investment cost and actual application effect verification. It has good application prospects and popularization value in the construction of data center.

Keywords:

Simple; High-reliable; Green; Uninterruptible power supply

引用格式: 陈邦稳, 姜晓君. 新型高效 SHVDC 电源在数据中心的应用分析[J]. 邮电设计技术, 2019(12): 7-11.

1 概述

近年来数据中心建设规模快速增长,全国数据中心总用电量已突破 1 000 亿 kWh, 约占全社会总用电量的 1.9%。北上广深等地方政府相继出台数据中心建设标准,要求新建数据中心的 PUE 必须低于 1.4, 相比国外很多数据中心 1.3 以下的 PUE 值,国内数据中心节能潜力巨大,降低 PUE 已成为各界热衷研究和探索的方向,也是衡量一个数据中心建设和管理水平的标志。

数据中心是能耗大户,其功率密度约为普通办公

建筑的 20 倍,电费约占总运营成本的 60% 以上,降低电源系统损耗、提高供电效率、减少能源消耗已成为当前数据中心建设面临的主要任务,同时相关的产业政策、技术发展和市场竞争也催生了新型供电技术的突破。

本文以中国联通浙江省某大型数据中心为应用实例,在传统 10 kV AC/400 V AC 变配电和 240HVDC 高压直流供电系统基础上进行了供电结构改进和实现方式的创新,引入了三相 10 kV AC/240 V DC 直变式的不间断电源(下称 SHVDC 电源),在确保数据中心供电系统安全性和可靠性不降低的前提下,通过减少输配电环节、缩短配电链路、减少电能变换级数等手段来实现供电系统效率、空间利用率的重大提升。通过在数据

收稿日期: 2019-10-16

中心内的规模试用和运行效果评价,阐述了 SHVDC 电源在提升数据中心效能、挖掘电力资源的利用率方面具有较大的推广价值,具有开创性的意义。

2 数据中心的电源类型

数据中心最常见的供电电源一般采用交流 UPS 不间断电源,通俗地说 UPS 电源经历了工频 UPS、塔式高频 UPS 和模块化高频 UPS 系统三大阶段,其系统容量由 100 kVA 左右提升至 600 kVA 乃至 1 MVA 以上,系统效率由 87% 左右提升到 95% 以上,其在数据中心的负荷率一般控制在 45% 以下(2N 结构);其主要使用对象一般为小型互联网客户和金融政企类客户。

近几年来由于 HVDC 电源的兴起,其减少了一级 DC/AC 变换,后备电池组直接并接在直流输出母线上,模块化的整流结构以及直流的并联输出等特点,使电源效率可以提升到 96% 以上,其负荷率一般控制在 50% 以下(2N 结构),设备容量的利用率较 UPS 系统提升约 11%(2N 结构)。HVDC 电源系统的高效率、高安全和易维护,使其迅速在大型互联网公司的数据中心中得到规模应用。

另外,国外还有少数数据中心使用动态 UPS 电源,鉴于其造价高、后备时间短、维护要求高等特点,在国内应用较少。

3 数据中心的电源供电架构

本文以“中国联通绿色数据中心建设标准”的 T3 和 T3+ 供电结构进行论述。

当前,数据中心 UPS 电源通常采用 2N 供电架构,每套电源的输入采用双路市电切换输入,为降低电源变换的损耗,提升供电系统效率,目前可将 UPS 升级成 ECO 供电模式,当旁路源电压处于 ECO 电压范围内时,旁路静态开关导通,此时旁路供电。当旁路源电压不在 ECO 电压范围内时,负载由旁路转向逆变供电。无论是旁路还是逆变供电,整流器都将处于开启状态并通过充电器为后备电池充电。该模式使供电系统的效率提升近 3%,由于存在供电切换和逆变隐患,在业内应用存在局限。

240 V HVDC 电源的可用性较 UPS 电源提升了 2 个“9”,为进一步降低供电损耗,大型互联网用户的数据中心通常采用一路高压直流+一路市电直供的混合供电模式,其供电效率提高约 3%,使供电系统的可靠性、安全性、节能率、投资成本得到完美的统一。

4 新型高效 SHVDC 电源

SHVDC 电源是一种简约、高效、清洁、可靠的特种 HVDC 高压直流电源,在中国联通浙江省某大型数据中心得到实际应用,其具有如下优势。

- a) 10 kV AC 到 240 V DC 整系统效率达到 97.5%。
- b) 节省供配电系统成本和工程施工成本约 30%。
- c) 模块化设计,按需配置容量,可节约 40% 电力机房空间。
- d) 缩短建设工期 3 个月以上。
- e) 供电链路简洁,有效提高系统供电可靠性。

SHVDC 系统原理框图如图 1 所示。

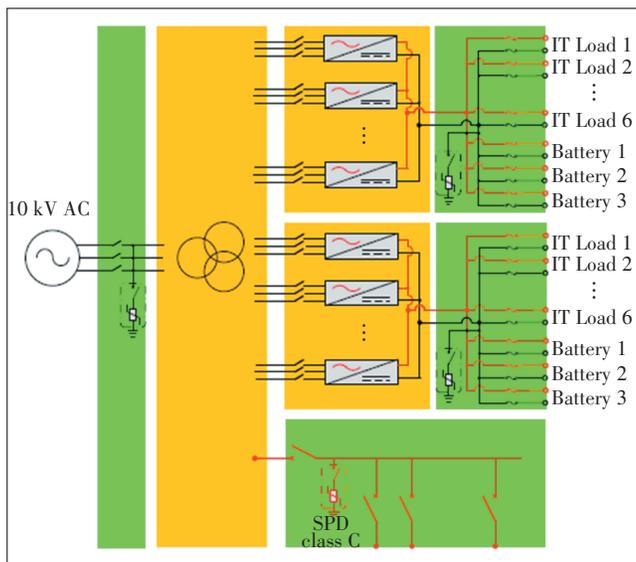


图 1 SHVDC 直流电源系统原理框图

SHVDC 是一种超越传统 HVDC 的高效不间断电源,其输入由 10 kV 三相交流电直供,直接输出 240 V 直流电源,系统把 10 kV 至 240 V 整个转换过程集成在一起,缩减至一级隔离,能大大缩减电气器件数目,减少转换过程,提高了整体效率,系统结构如图 2 所示。

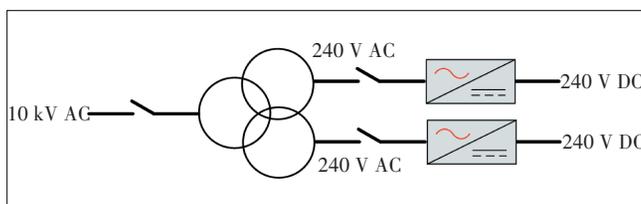


图 2 SHVDC 的简化系统结构

4.1 移相变压器的关键作用

移相变压器是整流变压器的一种。整流装置的单向导电作用,会引起整流变压器交变磁场波形的畸变;

畸变的大小取决于直流容量占电网容量的比例和流入电网中的谐波电流的频率及谐波次数。抑制谐波的有效办法之一是对整流变压器高压侧进行移相, 该方法可以基本上消除幅值较大的低次谐波。当直流容量较大时, 则采用等效 18 相以上的整流系统, 后端的 IGBT 相当于可控硅的作用, 在整流系统中, 仅控制通断不控制相位。

移相变压器多用于大功率变频器及大功率直流电源的输入侧。采用移相变压器的目的是增加整流器的脉数, 三相整流称为 6 脉整流, 三相变压器经过移相产生另外一组三相, 整流输入为 6 相, 称为 12 脉整流。三相变压器经过移相产生另外三组三相, 整流输入为 12 相, 称为 24 脉整流。整流器脉数越多, 输入电流谐波越小, 对电网的谐波污染越小。

为减小输入电流谐波, 本文所述的 SHVDC 电源采用 72 脉的移相变压器。

4.2 SHVDC 与传统 HVDC 的对比

目前, 数据机房常用的从 10 kV 输入至 240 V 输出的结构如图 3 所示。

10 kV AC 转换至 380 V AC 时需进行一级隔离, 380 V AC 转换为 240 V DC 时需第 2 级隔离, 且 380 V AC 和 10 kV 只是电压等级的转换, 故在 380 V AC 这级

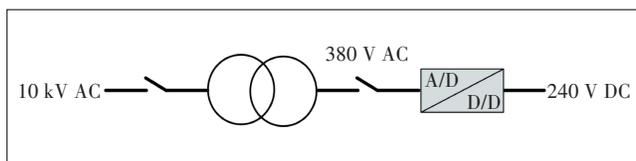


图3 HVDC的简化系统

网络上需要有功率因数校正(PFC)的功能, 目前商用的 HVDC 电源设备在输入电路中普遍配置 PFC, PFC 的电压一般需要将电压提升到 400 V 左右。此电路导致 380 V AC 至 240 V DC 的效率最高只能达到 96% 左右。

SHVDC 的一体方案相比较于目前常用 HVDC 电源方案, 通过定制变压器输出, 把功率因数校正功能集成于 10 kV 整流(移相)变压器, 但不会增加变压器的难度和成本, 同时后级电源的输入电压直接工作在接近 400 V, 使 PFC 升压电路可以长时间不工作, 可以提高直流电源的可靠性和效率, 效率为 97.5%。

后级 240 V AC 转换 240 V DC 的环节也能从隔离变为非隔离, 在功能和结构上大大简化了这级变换器的设计, 功率密度和效率大幅度提升, 功率转换的密度基本翻倍, 最高效率亦可以达到 98%。10 kV 输入侧的功率因素值(PF)大于 0.99, 电流谐波含量(THD)小于 5%。系统外观如图 4 所示。



图4 SHVDC系统外观与结构图

5 电源系统可用度对比分析

SHVDC 电源的供电环节可以简化为如图 5 所示的结构。

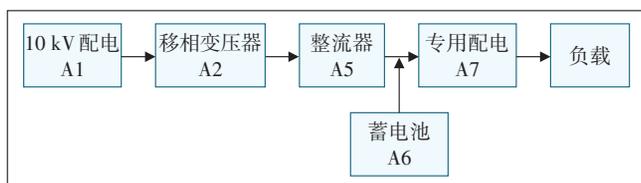


图5 SHVDC电源供电系统结构

根据可用度计算公式, SHVDC 的可用度为:

$$AS = [1 - (1 - A1 \times A2 \times A5) \times (1 - A6)] \times A7$$

通常的 HVDC 电源系统的供电环节可以简化为如图 6 所示的结构。

通常, HVDC 电源的可用度为:

$$AH = [1 - (1 - A1 \times A2 \times A3 \times A4 \times A5) \times (1 - A6)] \times A7$$

根据可用度的定义, A1-A7 的实际值都小于 1, 得: $(1 - A1 \times A2 \times A5) < (1 - A1 \times A2 \times A3 \times A4 \times A5)$, 故 SHVDC 的可用度较通常的 HVDC 电源系统高。此处不用

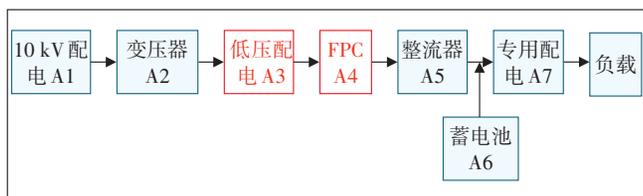


图6 通常的HVDC电源供电系统结构

具体数值代入计算, AS、AH、A1-A7 分别代表对应的可用度。

6 第三方验证测试结果

本文所述案例的 SHVDC 电源在调试开通后进行了第三方验证测试, 验证结果达到预期的设计目标, 现列举一些主要测试结果供大家参考。

表1示出的是不同负载率下的测试数据。

表1 不同负载率下的测试数据

电源负载率/%	THDi/%	功率因数	系统效率/%	压力测试
50	2.30	0.99	97.5	-
100	1.43	0.99	95.8	通过

取4套1250 kW SHVDC电源的平均测试值。

7 综合效益分析

7.1 节能节电测算

中国联通浙江省某大型数据中心实际采用了2套650 kW和4套1250 kW的SHVDC电源, 分别按2N系统架构设计, 按其实际测得的50%负荷率下的系统效率97.5%考虑, 较常用的HVDC电源供电系统效率(考虑变配电损耗和压降)提升约3.5%。4套1250 kW的SHVDC电源每年可节省的电费为: 每年可节约用电= $4 \times 1250 \times 50\% \times 365 \times 24 \times 3.5\% = 766\,500$ kWh, 按1元/kWh计算每年可节省电费约76.6万元。

7.2 盘活电力容量

目前国内大型数据中心单体市电引入一般为主备各2万kVA电力容量, 在后续的输变配电环节, 通常被分割成相互独立的2000 kVA或2500 kVA的变配电子系统, 然后再在这些配电系统下挂接300~600 kVA的电源子系统, 实际运用中这些后备电源总存在5%~15%的碎片容量, 盘活和管理这些碎片容量是大型数据中心的一个难题。SHVDC电源则可以在10 kV中压母线出线端将低压的各子系统的碎片容量集中, 极大地提高了数据中心的电力资源利用率, 尤其在沿海经济发达地区对挖掘电力容量这个稀缺资源具有较大的

经济价值。

在信息通信机房改造扩容过程中, SHVDC更有利于挖掘配电子系统的电力碎片容量, 提高电力资源的利用率, 同时SHVDC作为10 kV市电的负载, 可以节省电力审批和变压器的增容费。

7.3 支撑弹性容量

由于SHVDC电源较通常的HVDC或UPS系统容量大一倍以上, 其资源池的作用愈加明显, 在大型数据中心建设, 负载不确定、负载升级换代较快的背景下, 其对负载的弹性裕度较大, 资源调度的灵活度高。

7.4 节约空间资源

SHVDC取消了传统的变压器和低压配电系统, 同时将多套HVDC电源集成在一套电源之中, 可以节省动力设备的安装空间, 经理论测算和实际运用案例分析, 其节约安装空间约40%, 极大地提升了数据中心动力机房的空間利用率。

以2000 kW容量的数据中心模块负荷为例, 使用HVDC方案, 考虑一路市电+一路HVDC, 需要配置2台2500 kVA变压器, 约21面低压配电柜, 8套HVDC(每套负荷250 kW)。使用SHVDC电源, 即使按照2N系统配置, 也只需要4套1250 kW SHVDC电源。2种方案所需设备对比见表2和表3。

表2 HVDC方案设备配置表(一路市电+一路HVDC)

设备	规格型号	数量/台	占地面积 ^① /m ²
隔离柜	10 kV/630 A	2	2.88
变压器	2500 kVA	2	8.84
低压配电柜		21	16.80
HVDC-交流屏	380 V/800 A	8	5.12
HVDC-整流屏	150 kW	16	10.24
HVDC-直流屏	240 V/1200 A	8	5.12
合计		67	49.00

表3 SHVDC方案设备配置表(2N结构)

设备	规格型号	数量/台	占地面积 ^① /m ²
隔离柜	10 kV/630A	4	5.76
移相变压器	1250 kVA	4	11.52
整流1流柜	600 kW	8	5.12
直流输出柜	2500 A	8	5.12
交流输出柜		4	2.56
合计		24	30.08

注①: 表中只计了设备落地面积。

由表2和表3可知, 使用SHVDC电源方案, 设备数量和占地面积都将大大降低。需要补充的是, 以上是HVDC+市电方案与2N SHVDC方案对比, 如果使用

2N HVDC 与 2N SHVDC 电源方案对比, SHVDC 电源节约设备数量、节省空间的优点将更加突出。

SHVDC 电源采用了大容量的整流电源系统, 同 HVDC 方案对比, 相同负荷的情况下, 电池配置的组数少、单组容量大, 减少了电池组数和电池的安装空间。

SHVDC 电源系统不仅输出 240 V 直流, 在本案例中还预留了低压 220 V 交流输出, 用于解决部分照明、空调末端的非保障型交流负荷需求。

7.5 降低工程投资

由表 2 和表 3 的对比可知, SHVDC 电源相对传统的变压器-低压柜-HVDC/UPS 配电系统, 设备数量减少, 电缆数量也减少。考虑综合投资, 该方案较传统方案节约投资约 30%。随着 SHVDC 电源逐步推广, 造价逐渐降低, 节约投资效果会越来越明显。

同时低配系统的取消、电源套数减少和电池单体数量的减少, 简化了动力环境监控的网元和测点数量, 同样节约了投资。

7.6 简化工作易维护

SHVDC 本质上属于一种直流电源, 其系统结构简单, 整流的模块化结构具有系统维护方便、扩容和割接容易的特点, 但是新技术引入必须有对应新运维规程的跟进, 高压直流系统的漏电监测和高压直流开关的选择都必须引起重视。

8 结论

SHVDC 相较于通常的 HVDC 电源, 把功率因数校正功能集成于 10 kV 移相变压器, 后级 240 V AC 转换 240 V DC 的环节从隔离变为非隔离, 在功能和结构上大大简化了变换器的设计, 功率密度和效率大幅提升, 最高效率可以达到 98% 左右。10 kV 输入侧的功率因数数值(PF)大于 0.99, 电流谐波含量(THD)小于 5%。

SHVDC 电源通过对 10 kV AC/240 V AC 直接变换, 取消了低压变配电系统, 通过 AC/DC 转换输出直接达到了 HVDC 电源的效果, 整体结构简约、占地减少。相较于传统的 HVDC 因减少了供电环节, 系统可靠性提高。

综上, SHVDC 电源从提高数据中心电力资源和空间资源的利用率、简化运行维护、降低 TCO 角度来看都具有较大的推广价值。

参考文献:

[1] 钟景华. 新一代绿色数据中心的规划与设计[M]. 北京: 电子工业

出版社, 2010: 36-37.

[2] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 73-79.

[3] 刘宝庆, 孔力, 范俊谱, 等. 现代通信电源技术及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016: 197-205.

[4] 钟景华. 中国数据中心运维管理指针[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 219-220.

[5] 通信高压直流电源设备工程设计规范: GB 51215-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012: 6-8.

[6] 前瞻产业研究院. 2018 年全国及 31 省市数据中心相关政策汇总及解读[EB/OL]. [2019-08-07]. http://www.sohu.com/a/273823257_416839.

[7] 中国信息通信研究院数据中心白皮书(2018)[EB/OL]. [2019-08-07]. http://www.cbdio.com/BigData/2018-10/17/content_5871010.htm.

[8] 数据中心设计规范: GB 50174-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017: 43-45.

[9] 20 kV 及以下变电所设计规范: GB 50053-2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013: 4-8.

[10] 低压配电设计规范: GB 50054-2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012: 15-16.

[11] 通信电源设备安装工程设计规范: GB 51194-2016[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016: 16-23.

[12] 胡燕, 姜洁良. 240 V 直流系统和模块化 UPS 在数据中心的应用对比分析[J]. 电信科学, 2014, 30(3): 134-139.

[13] 刘希禹. 电信和数据中心高压直流供电系统发展目标[J]. 邮电设计技术, 2014(11): 80-87.

[14] 蔡一鸿. 浅谈通信用高压直流供电系统应用方案[J]. 邮电设计技术, 2016, (12): 75.

[15] 祁澎泳, 刘希禹. 通信电源接地系统设计新观念[J]. 邮电设计技术, 2013, (12): 80.

[16] 曹播, 朱利伟. 数据中心机柜电源系统研究[J]. 智能建筑与城市信息, 2009(4): 76-78.

[17] 丛宝丰. 数据中心限额供电下的低压配电架构研究[J]. 南方能源建设, 2018, 5(S1): 114-120.

[18] 刘星星, 朱林, 谢昆. 3N 架构 UPS 在数据中心供电系统中的应用[J]. 信息通信, 2018(8): 169-170.

[19] 韩玉. 互联网数据中心不间断供电架构演进[J]. 工程建设标准化, 2015(6): 58-60.

作者简介:

陈邦稳, 毕业于哈尔滨工业大学, 高级工程师, 学士, 主要从事通信基础设施、网络规划和建设管理工作; 姜晓君, 毕业于郑州大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事通信电源、电气工程相关咨询设计工作。

