高敏感用户供电质量综合提升装置拓扑及参数设计

胡 伟1,沈 煜1,李小平1,杨 帆1,杨志淳1,左文平2 (1. 国网湖北省电力有限公司 电力科学研究院,湖北 武汉 430077; 2. 华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:为满足大容量高敏感用户的供电质量需求,提出了一种含储能的源-荷隔离的级联H桥拓扑结构和一 种考虑级联H桥冗余的关键参数设计方法,研制了一套容量为1MV·A高敏感用户供电质量综合提升装置。 基于电网模拟器搭建了装置性能测试平台,测试了电网发生各种供电质量事件时装置的输出性能。测试结 果表明:该拓扑能够自动实现电网和储能供电的无缝切换,为高敏感用户综合供电质量的提升提供有效方 法;所提参数设计方法能够减少储能投入次数,延长了储能寿命。

关键词:供电质量;综合提升;拓扑结构;冗余;参数设计 中图分类号:TM 711

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202006014

0 引言

以半导体、生物医药、精密制造等为代表的电力 用户,普遍使用变频器、可编程控制器、接触器等敏 感设施[1-2],易受电压暂降、电压短时中断等供电质 量问题的影响,造成巨大的经济损失。如何提升高 敏感用户的供电质量,已成为行业关注的热点问题。

目前改善网侧电能质量已有较为成熟的技术和 装置。如无源调谐滤波器、有源电力滤波器(APF) 能有效解决非线性负荷引起的电网谐波问题[3-4]:静 止无功补偿装置和静止同步补偿器能有效解决电弧 炉等引起的电网电压波动和闪变问题[5-6];动态电压 恢复器(DVR)能有效解决电压暂降问题^[7-8]。然而 配电网源-网-荷的多元化趋势使供电质量问题从 单一指标向综合事件发展,若干种供电质量问题在 同一用户特别是敏感用户中同时出现的情况越来越 多,针对网侧每一种供电质量问题分别采取一种类 型的装置,不仅增加供电质量提升成本和装置运行 维护的复杂程度,还易因各装置之间的耦合影响以 及协调配合问题,影响联合运行效果^[9-10]。因此,有 学者提出另一种技术路线,即面向网侧电能质量问 题保证向负载提供高质量供电。日本学者 Akagi 于 1996年首次提出统一电能质量调节器(UPQC)^[11], 其为APF和DVR在结构上的有机组合及功能上的相 互协调,能同时解决电压暂降、波动、闪变、三相不平 衡和无功功率补偿等供电质量问题^[12-13]。但UPQC 的控制性能对检测回路准确性以及实时性较为敏 感,检测延迟会影响UPQC性能^[14],其综合补偿性能 有待提升。ABB公司近期提出了一种基于阻抗隔离

收稿日期:2020-01-16;修回日期:2020-04-14

基金项目:湖北省技术创新专项项目(2019AAA015)

Project supported by the Technology Innovation Project of Hubei Province(2019AAA015)

型静态变换器结构的中压大容量并联在线式不间断 电源[15],能解决网侧多种供电质量问题,但存在以下 难点:①需要快速准确地检测供电质量事件,而检测 的快速性和准确性往往难以同时实现:②供电质量 事件检测和判断的固有时间影响装置性能:③装置 需要根据供电质量检测结果制定对应控制策略,控 制策略复杂。由此可见,大容量高敏感用户供电质 量综合提升装置在拓扑结构和控制策略方面有待 完善。

因此,本文提出一种源-网-荷隔离的中压配电 网供电质量综合提升拓扑,无需检测网侧供电质量 事件,自动实现电网和储能供电无缝切换,仅需实现 定电压控制,控制简单;提出一种考虑级联H桥冗余 的参数设计方法,提升了装置可靠性;研制了一套容 量为1 MV·A高敏感用户供电质量综合提升装置, 试验验证了装置供电质量提升性能和参数设计方法 的有效性。

1 供电质量综合提升装置拓扑及控制策略

1.1 拓扑结构及工作原理

大容量高敏感用户供电质量综合提升装置的拓 扑结构如图1所示,其由过电压保护装置、移相变压 器、功率单元模块、接地电阻及系统控制器组成。

由图1可知,当电网电压正常时,电网电压经移 相变压器和功率单元模块转化后为负荷供电:当电 网电压发生深度暂降或短时中断时,储能经过功率 单元模块为负荷供电;当电网电压出现频率波动、幅 值波动、三相不平衡、闪变时,功率单元模块的直流 环节使得装置输出电压不受影响,能够继续为敏感 负荷提供高质量供电。因此,该拓扑能够应对网侧 电压暂降、电压短时中断、电压不平衡、谐波等多种 供电质量问题,同时能够有效隔离负荷电能质量对 电网供电质量的影响。



220



Fig.1 Topology structure of power supply quality comprehensive improvement device

功率单元模块采用交-直-交拓扑结构,由三相 不控整流单元、单相H桥逆变单元、储能单元和直流 电容等组成,其拓扑结构如图2所示。



图 2 功率单元模块拓扑结构

Fig.2 Topology structure of power unit modules

由图1可知,当电网电压正常时,电网电压经过 移相变压器转换后传到图2中的输入端口,经过三 相不控整流桥转换为直流电压,直流电压经过单相 H桥逆变单元转换为交流电,通过多个H桥级联后 达到10kV。当电网电压发生电压暂降或短时中断, 直流电压低于电池电压时,二极管导通,自动切换到 储能给电容充电,然后经过单相H桥逆变单元转换 为交流电。

功率单元模块具有如下特点:①采用交-直-交 拓扑结构,实现了10kV电网和负荷的有效隔离,有 效减少了电网电压频率波动、幅值波动、三相不平 衡、谐波、间歇波、暂时过电压对负荷的影响,隔离了 负荷谐波、不对称等对电网供电质量的影响;②储能 单元利用功率二极管的单相导通特性自动实现电网 供电和储能供电的无缝切换,无需检测电网供电质 量,实现了10kV电网电压暂降和电压短时中断时 对敏感负荷的不间断供电,有效治理了电网电压暂 降和电压短时中断对敏感负荷供电的影响,有效提 高了供电可靠性;③采用定电压控制策略,无需根据 供电质量事件调整控制策略,控制简单,容易实现; ④输出端为H桥级联结构,易实现冗余设计,采用旁路开关和提出的输出电压波形异常检测方法,能够快速隔离H桥及控制单元故障,有效提高装置的可靠性。

1.2 控制策略

装置带多种负载,对其动态特性要求高,因此采 用电压外环、电流内环的双闭环控制策略。输出电 压固定,通过内环电流环调节装置的动态特性,通过 限流环节控制装置输出电流。其控制框图如图3所 示。图中,U^{*}_{al},U^{*}_{al}和I^{*}_{al},I^{*}_{al}分别为输出电压和电流控 制目标值的d、q轴分量;U^{*}_{al}、U^{*}_{al}和I^{*}_{al},U^{*}_{al}分别为输出 电压和电流的d、q轴分量;U^{*}_{al}、u^{*}_{al}、u^{*}_{al}分别为输出电 压控制目标值的a、b、c相分量。



图3 装置输出定电压控制

Fig.3 Constant voltage control of device output

除输出电压控制外,为延长储能寿命,采用定 期主动充放电控制。装置整体控制流程图如图4所 示。图中,SOC为荷电状态。



Fig.4 Flowchart of device control

2 供电质量综合提升装置参数设计

装置参数包含避雷器参数、移相变压器参数、功 率单元模块参数、开关柜参数等,功率单元模块参数 包含储能模块参数、单元级联个数、直流环节参数、 整流模块参数和逆变模块参数。其中移相变压器和 功率单元模块是核心部件,其参数设计复杂,本文综 合考虑装置的性能和可靠性,提出了一种考虑级联 H桥冗余的参数设计方法。设S为装置额定容量,S_m 为最大容量,U_{in}为输入线电压,U_o为输出线电压,t₀ 为电压暂降最长持续时间。参数设计过程如下。

2.1 储能模块参数

储能模块关键参数包含电池电压和电池容量。 目前储能电池有多种,由于锂离子电池具有密度高、 应用范围广等优势,本文以锂电池为例进行储能模 块的参数设计。根据电压暂降特性及成熟应用锂电 池单元电压,确定单个模块电池电压U_{Bde},并获取放 电时电池最低电压U_{Bdemin}。根据装置最大容量S_m、单 元级联个数n和电池最低放电电压U_{Bdemin}确定电池 最大放电电流I_{Bm}:

$$I_{\rm Bm} = \frac{S_{\rm m}}{3(n-1)U_{\rm Bdemin}} \tag{1}$$

根据 I_{Bm} 和电池放电特性,确定电池放电电流 I_{B} 。 根据 I_{B} 和电压暂降需要支撑的最长时间 t_{0} ,考虑裕量 系数 k_{m} (根据电池放电特性和电池厂家推荐确定), 确定电池容量为 $B_{s}=k_{m}I_{B}t_{0}$ 。

2.2 单元级联个数

当发生电压暂降时,级联单元输出电压应能达 到装置额定输出电压U_o,逆变侧最大调制比为m,调 制电压中注入3次谐波后输出电压的提升系数K_c为 1.154。为提高装置可靠性,考虑一个单元故障时装 置仍能输出额定电压,则单元级联个数n计算方 法为:

$$n = \operatorname{cont}\left(\frac{\sqrt{2} U_{\circ}}{\sqrt{3} K_{c} m U_{\text{Bdemin}}}\right) + 1$$
 (2)

其中,cont(·)为取整函数。

2.3 直流环节参数

从装置拓扑可以看出,电网供电时直流母线电 压U_{gde}>U_{Bde},当电网出现电压暂降时,U_{Bde}>U_{gde},此时 由电池为负荷供电,结合直流电容和逆变侧IGBT耐 压水平,可确定直流母线电压参数。

当整流侧稳定工作于电流连续状态时,其整流侧直流电流为*I*_{de_r},整流侧输入直流电流引起的直流电压波动Δ*U*_{de},两者满足:

$$\Delta U_{\rm dc} = \frac{1}{C} \int_0^T I_{\rm dc_re} \, \mathrm{d}t = \frac{\sqrt{3} \, I_{\rm in_re} T_{\rm dis}}{\sqrt{2} \, C} \tag{3}$$

其中,T为电容的充放电周期;T_{dis}为不控整流时每个 脉波的放电周期;C为直流母线电容值;I_{dc_re}为直流 母线电流;I_{in re}为整流桥输入电流。

要使整流侧的直流电压波动限制在 σ_{\min} 之内,则直流电容C满足:

$$C \ge \frac{\sqrt{3} I_{\text{in_re}} T_{\text{dis}}}{\sqrt{2} \sigma_{\min} U_{\text{gdc}}}$$
(4)

在以上设计完成后,根据储能系统供电,单相H 桥直流电压波动要求校核电容参数,若不满足要求, 则需按照储能系统供电时,单相H桥直流电压波动 要求设计直流支撑电容。

2.4 整流模块参数

根据三相不控整流交流电压 U_{in_re}与直流电压 U_{de re}之间的关系可得:

$$U_{\text{in_re}} = \frac{U_{\text{dc_re}}}{1.35} \tag{5}$$

当装置运行在最大功率,且1个功率单元故障时,整流模块输入电流*I*_m最大,满足以下关系:

$$I_{\rm in_re_max} = \frac{S_{\rm m}}{3(n-1) \times \sqrt{3} U_{\rm in_re}}$$
(6)

因此,整流模块输入电流 I_{in_re}不小于 I_{in_re_max}。

2.5 逆变模块参数

当逆变侧有1个单元故障时,每个逆变单元输 出交流电压为U_{o,iv}=U_o/11,交流侧输出电流设计值 应大于装置最大输出电流I_{o,iv_max}。应用U_{gde}、U_o/11和 I_{o,iv_max}数值大小确定逆变单元IGBT选型。

2.6 移相变压器参数

根据装置最大容量并考虑一定裕量确定移相变 压器容量;根据输入侧避雷器残压确定移相变压器 原边电压 $U_{in,tr}$,一般为网侧输入额定电压的1.2倍; 根据级联单元个数n确定副边绕组数 n_{tr} 和移相角度 φ ;根据 U_{in} 和整流模块输入电压 U_{in} 。确定变比k。

3 试验验证

以湖北省某工业园区为例,验证装置拓扑特性 及参数设计方法的有效性。该园区含有变频器、低 压托扣器、PLC敏感负荷,在2018年出现了数十次 电压暂降事件,对生产造成严重影响,亟需提升园区 供电质量。园区配电变压器额定容量为1 MV·A,园 区内峰值负荷不超过1 MW,输入电压为10 kV。根 据以上参数,确定装置额定容量为1 MV·A,峰值容 量为1.2 MV·A,输入额定电压U_w=10 kV,输出额定 电压为U。=10kV,电压暂降最长持续时间为1min, 纹波电压百分比 σ_{mn} =5%。按照本文所提出的功率 单元参数设计方法,装置关键参数设计结果如下: 储能模块中, U_{Bdc}=700 V, U_{Bdcmin}=650 V, B_s=50 A·h; 单元模块中,单元级联个数为12;直流环节中,直流 母线电压 U_{gde} =930 V,电容C=2520 μ F;整流模块中, 输入电压 U_{in re} = 690 V, I_{in re max} = 33 A; 逆变模块中, *I*_{o iv max} = 70 A, *U*_{o iv max} = 525 V;移相变压器中, 原边最 高电压为12 kV,k=10000/690,容量为1500 MV·A, 副边绕组数为12,移相角度为5°。

按照本文所提出的拓扑和所设计的参数,研制 了高敏感用户供电质量综合提升装置,装置采用定 电压慢闭环控制策略,载波移相调制方式,控制策略 简单,易实现。装置如附录中图A1所示。

为验证装置提升供电质量性能,采用电网模拟 器模拟电网各种供电质量问题,园区内主要是变频 器敏感负载,电压降低会引起保护动作,但由于本装 置能够保持输出电压稳定,不会造成敏感负荷保护, 考虑到试验条件限制,本文采用电阻和电感组合模 拟装置供电负荷,测试平台如图5所示。图中,电网 模拟器型号为XHVSC-400,容量为100 kV·A,输入 电压为380 V,输出电压为10 kV,能有效模拟电网 电压暂降、电压短时中断、三相不平衡、电压闪变等 多种电网电压质量实践,负载能够有效模拟装置输 出最大电流。基于图5所示的测试平台,全面测试 装置的性能,具体测试方法及测试结果如下。



图5 供电质量综合提升装置性能测试平台

Fig.5 Performance testing platform for power supply quality comprehensive improvement device

3.1 电压暂降

222

按图5所示接线,电网模拟器输出电压分别为 50% Uin、10% Uin、0,装置带额定感性负荷,暂降的持 续时间大于1 min,装置输入及输出电压有效值测量 结果如图6所示。图中,f为装置输出电压频率; δ_{THD}





Fig.6 Output voltage results of device during voltage sag

为装置输出电压总谐波畸变率;Buvr 为装置输出电 压不平衡度。输入电压暂降及恢复过程中,装置输 出电压波形如附录中图A2所示。

图6和图A2所示的测试结果表明,当装置输入 电压发生持续时间为1min、暂降深度为100%的电 压暂降时,在暂降发生以及电压恢复期间,装置输出 电压频率在49.95~50.05 Hz之间,幅值有效值在 9.9~10.1 kV之间,总谐波畸变率小于1.2%,不平衡 度小于0.4%。输出电压所有指标均优于国标要求, 能有效避免电压暂降对负荷的影响,有效提高了负 荷供电质量。

3.2 谐波及间谐波

按图5接线,电网模拟器输出电压中含有5、7、 11、13、17次谐波和220、420、580 Hz 间谐波,总谐波 畸变率大于5%,装置输入及输出电压测量结果如 附录中图A3所示。图A3的测试结果表明,当装置 输入电压中含有5、7、11、13、17次谐波和220、420、 580 Hz间歇波时,装置输出电压有效值在9.9~10.1 kV之间,输出电压频率在49.95~50.05 Hz之间,输出 电压总谐波畸变率小于1.2%,输出电压不平衡度小 于0.4%。输出电压所有指标均优于国标要求,满足 敏感用户供电需求,有效提高了敏感用户供电质量。 3.3 电压波动与闪变

按图5所示接线,电网模拟器输出电压幅值在 90%U"与110%U"之间进行周期为2s的交替变化, 装置输入及输出电压测量结果如附录中图A4所示。 图 A4 的测试结果表明,当装置输入电压出现波动和 闪变时,装置输出电压有效值在9.9~10.1 kV之间, 输出电压频率在49.95~50.05 Hz之间,输出电压总 谐波畸变率小于1.2%,输出电压不平衡度小于 0.4%。满足敏感用户供电需求,有效提高了敏感用 户供电质量。

3.4 三相不平衡

基于图5所示的测试平台, 调整电压模拟器, 使其输出电压不平衡度在15%~20%范围内变化, 装置输入及输出电压测量结果如附录中图A5所示。 图 A5 的测试结果表明,当装置输入电压出现不超 过20%的不平衡时,装置输出电压有效值在9.9~ 10.1 kV之间,输出电压频率在49.95~50.05 Hz之间, 输出电压总谐波畸变率小于1.2%,输出电压不平衡 度小于0.4%。满足敏感用户供电需求,有效提高了 敏感用户供电质量。

按图5所示接线,电网模拟器输出电压暂升、频 率波动时,测试装置输出电压均满足敏感用户供电 需求。以上测试结果表明,本文所提出的一种含储 能的源-网-荷隔离的级联H桥拓扑结构能够有效地 解决电网电压暂降、电压短时中断、谐波等各电能质



量问题,所提出的参数设计方法合理有效。

4 结论

本文提出了一种含储能的源-荷隔离的级联H 桥拓扑结构和一种考虑级联H桥冗余的参数设计方 法,研制了一套1MV·A高敏感用户供电质量综合 提升装置,测试了装置性能,验证了拓扑特性及参数 设计方法的有效性。经验证得到如下结论:

(1)所提出的拓扑无需检测电网供电质量事件, 能够自动实现电网供电和储能供电无缝切换,有效 解决了电网电压暂降对高敏感用户的影响,为中压 配电网高敏感用户供电质量提升提供了一种有效 途径;

(2)所提出的考虑级联H桥冗余的参数设计方 法确保装置在有1个甚至多个单元发生故障时输出 电压仍能满足高敏感用户供电质量要求,大幅提高 了供电可靠性。

附录见本刊网络版(http://www.epae.cn)。

参考文献:

[1] 唐顺,唐松浩,陈聪,等.变频调速器电压暂降耐受特性试验及量化方法研究 I:机理分析与试验方法[J].电工技术学报,2019,34(6):1276-1281.

TANG Shun, TANG Songhao, CHEN Cong, et al. Experimental research on adjustable speed drivers tolerance to voltage sags and quantitative method part I :mechanism analysis and test method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(6):1276-1281.

- [2] 徐永梅,兰巧倩,洪旺松. 交流接触器对电压暂降敏感度的试验研究[J]. 电工技术学报,2015,30(21):136-146.
 XU Yongmei, LAN Qiaoqian, HONG Wangsong. Experimental research on AC contactor sensitivity during voltage sags[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(21): 136-146.
- [3] 蒋晨阳,刘青,梁宵. 多FACTS元件控制变量配对方法与协调 投运策略[J]. 电力自动化设备,2017,37(4):179-184.
 JIANG Chenyang,LIU Qing,LIANG Xiao. Control variable pairing and coordinated commissioning for multiple FACTS components[J]. Electric Power Automation Equipment,2017,37(4): 179-184.
- [4]许德志,汪飞,阮毅.LCL、LLCL和LLCCL滤波器无源阻尼分析[J].中国电机工程学报,2015,35(18):4725-4735.
 XU Dezhi, WANG Fei, RUAN Yi. Passive damping of LCL, LLCL and LLCCL filters[J]. Proceedings of the CSEE,2015, 35(18):4725-4735.
- [5] 刘华东,张定华,唐建字,等. 抑制电弧炉闪变的 STATCOM 直接电压控制研究[J]. 电工技术学报,2012,27(9):41-47.
 LIU Huadong, ZHANG Dinghua, TANG Jianyu, et al. Research on direct voltage control of STATCOM for mitigating electric arc furnaces flicker[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(9):41-47.
- [6]米阳,马超,符扬,等. 基于滑模观测器的孤岛风柴混合电力系统 SVC 滑模补偿控制器设计[J]. 电网技术,2017,41(1): 178-186.

MI Yang, MA Chao, FU Yang, et al. Design of SVC sliding mode compensation controller in isolated wind-diesel hybrid power system based on sliding mode observer[J]. Power System Technology, 2017, 41(1):178-186.

- [7] 周武,乐健,杨金涛,等.中压动态电压恢复器的虚拟阻抗控制 策略[J].电网技术,2016,40(8):2525-2532.
 ZHOU Wu,LE Jian,YANG Jintao, et al. Control strategy of MV dynamic voltage restorer as virtual impedance[J]. Power System Technology,2016,40(8):2525-2532.
- [8] MAHDIANPOOR F M, HOOSHMAND R A, ATAEI M. A new approach to multifunctional dynamic voltage restorer implementation for emergency control in distribution systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(2):882-890.
- [9] 吕志鹏,吴鸣,宋振浩,等.高阶无源滤波器对比分析[J].电力自动化设备,2019,39(6):54-60.
 LÜ Zhipeng,WU Ming,SONG Zhenhao,et al. Comparative analysis of high-order passive filters[J]. Electric Power Automation Equipment,2019,39(6):54-60.
- [10] 陈继开,马修伟,李江,等.并联双APF交互影响分析[J]. 电网技术,2017,41(3):956-961.
 CHEN Jikai, MA Xiuwei, LI Jiang, et al. Analysis on interaction of two-parallel APF[J]. Power System Technology,2017,41(3):956-961.
- [11] AKAGIA H. New trends in active filters for power conditioning[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 12(6):1312-1322.
- [12] KHADKIKA R V. Enhancing electric power quality using UPQC: a comprehensive overview [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(5):2284-2297.
- [13] 慕小斌,王久和,孙凯,等. 统一电能质量调节器串联变流器多频级联无源控制研究[J]. 中国电机工程学报,2017,37(16): 4769-4779.
 MU Xiaobin,WANG Jiuhe,SUN Kai, et al. Study on multi-fre-

quency cascade passivity-based control for the series converter of unified power quality conditioner [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(16):4769-4779.

 [14] 黄晓明,范志华,刘子文,等.基于有功和无功功率协调分配的 统一电能质量调节器控制策略[J].电力自动化设备,2018,38
 (3):177-183.

HUANG Xiaoming, FAN Zhihua, LIU Ziwen, et al. Control strategy of UPQC based on active and reactive power coordination distribution [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018,38(3):177-183.

[15] NICK E, ROBERT T. A new UPS topology for multi-megawatt medium voltage power protection [C]//2018 IEEE International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems. Hamilton, New Zealand: IEEE, 2018:245-249.

作者简介:



胡伟

胡 伟(1981—),女,安徽安庆人,高 级工程师,博士,主要研究方向为配电网运 行分析、交直流配电网、电力电子技术在配 电网中的应用等(E-mail:huweitest@mail.163. com);

沈 煜(1983—),男,湖北孝感人,高 级工程师,硕士,主要研究方向为配电网规 划、配电网自动化、配电网运维等关键技术 (E-mail:shenyu@126.com)。

(编辑 王欣竹)

Topology and parameter design of power supply quality comprehensive improvement device for highly sensitive users

HU Wei¹, SHEN Yu¹, LI Xiaoping¹, YANG Fan¹, YANG Zhichun¹, ZUO Wenping²

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430077, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to meet the high demand of power supply quality for large capacity and highly sensitive users, a topology structure of cascade H-bridge with energy storage and source-load isolation and a design method of key parameters considering the redundancy of cascade H-bridge are proposed. A set of power supply quality improvement device with the capacity of $1 \text{ MV} \cdot \text{A}$ for highly sensitive users is developed. Based on power grid simulator, the device performance test platform is built to test the output performance of the device in case of various power supply quality events. The test results show that the proposed topology can automatically realize seamless switching between power grid and energy storage power supply, and provide an effective method for improving the comprehensive power supply quality of highly sensitive users. The proposed parameter design method can reduce the number of energy storage inputs and extend the energy storage life.

Key words: power supply quality; comprehensive improvement; topology structure; redundancy; parameter design

(上接第202页 continued from page 202)

Arc fault identification method based on wavelet packet transform and high-order cumulant

BAI Hui^{1,2}, XU Zhihong^{1,2}

(1. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Fujian Key Laboratory of New Energy Generation and Power Conversion, Fuzhou 350108, China)

Abstract: For low-voltage distribution systems, when a mixed load is applied or an arc fault occurs in the branch, the recognition difficulty of arc fault is greatly improved. Aiming at this problem, an arc fault recognition method based on wavelet packet transform and HOS (High-Order Statistics) is proposed. Firstly, the voltage and current data of different loads and branch arc faults are collected, and an arc fault waveform database is established. Then, the wavelet packet transform is used to analyze the arc current signal, the characteristic frequency band of fault arc is determined, and the arc current waveforms are reconstructed as the characteristic signal. By analyzing the fourth-order cumulant value of the fault arc characteristic signal, a criterion for identifying arc fault in time domain is proposed. The criterion can accurately and quickly identify the arc fault generated under the conditions of single load and mixed load, branch arc fault, etc., and can accurately detect the moment when the arc fault occurs, which provides a reference for branch arc fault identification and arcing time research.

Key words: wavelet packet transform; higher-order cumulant; arc fault; arcing time; branch arc; fault identification





Fig.A3 Output voltage results of device when input voltage contains harmonics







图 A5 输入电压不平衡时装置输出电压测试结果

Fig.A5 Output voltage results of device when input voltage is

unbalanced