

微电网并网验收试验规范的研究

毛涛¹, 乐健¹, 杨志淳², 黄银龙¹, 刘开培¹

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 国网湖北省电力公司电力科学研究院, 湖北 武汉 430077)

摘要: 依据现有的国内外相关标准和规范, 对验证微电网在并/解列过程以及并网运行中是否满足相关技术要求所必须进行的验收试验进行了研究。结合对微电网并网/解列及并网运行过程中的技术要求, 给出了验收试验应具备的条件、测量仪器设备、验收试验的一般流程和验收标准等。重点针对并解列操作、并网运行时的电能质量参数、逆功率保护和短路保护等关键操作、运行参数和保护功能的验收试验进行了设计, 给出了相应的测试方法、具体步骤和验收标准。该研究为制定微电网接入验收试验规范提供了较好的基础和依据。

关键词: 微电网; 并网/解列; 电能质量; 逆功率; 验收试验

Study on the acceptance test specification of the grid-connected microgrids

MAO Tao¹, LE Jian¹, YANG Zhi-chun², HUANG Yin-long¹, LIU Kai-pei¹

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Electric Power Research Institute of Hubei Electric Power Company, Wuhan 430077, China)

Abstract: According to the current relevant standards and specifications at home and abroad, this paper studies the acceptance tests which must be performed to validate whether the grid-connection/splitting process and grid-connection operation of the Microgrids meet the relevant technical requirements or not. Combining the technical requirements of the Microgrids, this paper gives the conditions, measuring instruments, general process and acceptance standards of the acceptance tests, and focuses on the designing of acceptance tests of key operation, operation parameters and protection functions of the Microgrids, such as grid-connection/splitting process, power quality during the grid-connection operation and reverse power and short-circuit protection, etc. The relevant test methods, specific steps and acceptance standards are proposed. This paper can provide a good foundation and basis for designing the acceptance tests specification of the Microgrids.

Key words: microgrids; grid-connection/splitting; power quality; reverse power; acceptance test

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)02-0108-07

0 引言

微电网依其灵活的配置结构和方便的运行方式在近年来得到广泛的研究^[1-3], 它能在提高电力系统的安全性和可靠性的同时, 提高用户的供电质量和电网服务水平, 促进了可再生能源分布式发电的应用。

微电网接入配电网运行将对接入系统的电压分布、线路潮流、电能质量、继电保护以及网络可靠性等都将产生影响^[4-6]。为了限制这种对配电网正常运行的冲击, IEEE 制定了分布式电源接入标准《IEEE 1547 分布式电源与电力系统互联的系列标准》^[6-8]。文献[9]对微电网并网运行的各个方面提出了较为全面具体的技术要求。国家电网公司于近期

下达了《关于印发电力储能、分布式电源和微电网技术标准体系的通知》, 提出形成了公司电力储能、分布式电源和微电网技术标准体系。在其中的微电网技术标准体系框架的工程建设类中列出了“微电网接入配电网系统调试及验收规程”。因此, 制定微电网接入电网的技术规定以及相应的验收试验规范将非常重要。

本文首先就微电网并网验收试验的一般事项进行了说明, 包括了验收试验应具备的条件、测量仪器设备、验收试验的一般流程和验收标准等。其次依据对微电网并网的技术要求^[10], 针对微电网并网的并解列操作、电能质量、逆功率保护、短路保护等关键操作、运行参数和保护功能的验收试验进行了设计, 给出了具体的标准依据、试验测试方法、

具体步骤和验收标准。本文为今后制定微电网接入标准和提高微电网的工程建设提供了良好的基础和依据。

1 并网验收试验的一般事项

1.1 验收试验应具备的条件

微电网并网验收试验应由微电网所有者和运行方、微电网设备制造商及施工单位、监理单位、电网运行调度部门和具有相应资质的测试机构共同组织验收工作组完成,且需具备如下条件:微电网方已向电网方提交并网所需的接入申请各项说明文件,包括微电网系统(接线图、微电网中各组成单元的主设备参数、运行特性、操作导则、保护配置及其参数设置说明等;微电网已完成自身硬件设备和监控、通讯软件系统、二次回路接线及二次设备的现场安装和调试工作,并向电网方提交相应的报告;与系统相关的辅助设备(电源、接地、防雷等)已安装调试完毕;安装调试单位已提交验收申请报告,并已报验收工作组批准;安装调试单位已会同设备制造商共同完成验收试验大纲的编写工作,验收试验大纲已由验收工作组审核并确认;验收工作所需各项安全措施已经完备。

1.2 验收试验的测量仪器设备

安装在设备上的测量仪器和测量装置不应引起微电网测试指标或其他特性的变化;测量仪器和设备的精度应适用于所进行的测试。每次测量的误差不应超出所测试参数精度的0.5倍。

主要的测量仪器设备包括:多功能电能质量测试仪;测量公共连接点连接状态、有功功率、无功功率、电压、电流和频率所需的仪器设备;电磁干扰测试设备;耐压测试仪;继电保护测试仪。

1.3 验收试验的一般流程

验收试验的一般流程为:

- (1) 验收试验条件具备后,启动验收程序;
- (2) 验收组织部门成立验收工作组;
- (3) 安装调试单位将工程竣工报告、设备资料、试验报告、验收大纲及现场申请报告等提交验收工作组审核;
- (4) 验收工作组按照审核确认后的验收大纲所列测试内容进行逐项测试、逐项记录;
- (5) 验收中发现的问题经处理后,需由验收工作组重新验收,并确认无遗留问题后填写验收报告;
- (6) 验收测试完成后,编写验收报告,并报验收工作组确定验收结论。

1.4 验收试验的标准

验收试验结束后,由验收工作组和安装调试单位共同签署验收试验报告。验收遗留问题应在验收试验报告中提出要求及完成期限,由安装调试单位会同设备制造单位负责处理。

验收试验报告应包含以下内容:验收缺陷和偏差记录;验收试验记录及分析报告;验收结论;验收遗留问题备忘录(应包含现象描述、解决方案和预计解决时间);验收大纲。

验收试验达到以下要求时,可认为验收试验通过:系统文件、相关图纸及资料完整、齐全;所有设备型号、数量、配置符合技术协议要求;验收各项试验结果必须满足本规范要求;无缺陷项目;偏差项目总数不得超过5%。

2 并解列操作的验收试验

2.1 并网设备验收试验

本试验的目的是验证已安装的并网设备具备设备制造商所述的各项性能。需要注意的是本试验不是现场验收试验的组成,但却是现场验收试验必需具备的前提条件。本文列出的试验需作为设备型式试验或出厂验收的一部分,在试验室、生产制造工厂或现场完成。现场验收时也可根据需求选择部分试验内容进行试验。

主要的相关试验及方法为:1)实现同步功能装置的试验。主要按照JB/T3950-1999《自动准同期装置》中给出的试验方法进行试验,并能满足该标准的要求。2)电磁兼容-发射试验。在居住、商业和轻工业环境或工业环境中,分别按照GB/T17799.3-2001《电磁兼容通用标准居住商业和轻工业环境中的发射标准》或GB/T17799.4《电磁兼容通用标准工业环境中的发射标准》中规定的方法进行并网设备的电磁发射水平测试,并能满足该标准的要求。3)电磁兼容-抗扰度试验。主要按照GB/T17626《电磁兼容通用标准工业环境中的发射标准》系列标准中规定的相应方法,测试并网设备的静电放电抗扰度、射频电磁场辐射抗扰度、浪涌(冲击)抗扰度、射频场感应的传导骚扰抗扰度、电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度,并能满足该标准的要求。4)绝缘耐压试验。主要按照GB50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中规定的方法,分别对并网设备的输入电路对地、输出电路对地以及输入电路对输出电路绝缘强度进行测试,并能满足该标准的要求。5)温度稳定性试验。主要按照GB/T2423《电工电子产品环境试验国家

标准》中规定的方法,分别进行低温工作试验、高温工作试验和恒定湿热试验,并能满足该标准的要求。

2.2 并网功能验收试验

2.2.1 并网时的技术要求

微电网带电并网时,必须限制其对系统的冲击。此时的微电网可视为等效发电机,并网技术参数要求和并网过程均可参考发电机并网相应的规定。JB/T3950-1999《自动准同期装置》中5.7规定:“装置检测运行系统与待并系统之间的频率差,允许发出合闸脉冲的频率整定范围应在 $1/16(1/10) \sim 1/2$ Hz之间选取”;该标准5.8中还规定:“装置检测运行系统与待并系统之间的电压差,允许发出合闸脉冲的电压差整定范围在 $\pm 3\% \sim \pm 10\%$ (或 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$)额定电压之间选取”。

IEEE1547-2003中给出了同步互联时的参数允许范围如表1所示。同时规定:“当并联设备闭合瞬间,表中的所有三个参数均处于给定的范围内。若任何一个参数超出了表中所述的范围,并联设备将不能闭合。”

表1 分布式电源并网参数限值

| DR 单元合计容量/kVA | 频差 Δf /Hz | 压差 ΔV /% | 相角差 $\Delta \Phi$ (°) |
|---------------|----------------------|---------------------|--------------------------|
| 0~500 | 0.3 | 10 | 20 |
| >500~1 500 | 0.2 | 5 | 15 |
| >1 500~10 000 | 0.1 | 3 | 10 |

并网时上述三个技术参数的选取可综合考虑国家标准和IEEE1547中的规定。

2.2.2 并网解列功能现场验收模拟试验

本试验的目的是通过模拟并网过程的方法,验证并网设备能准确可靠地完成并网操作,且闭合时刻所有参数均处于2.2.1节中给出的并网技术参数所要求的范围内;通过模拟解列过程的方法,验证并网设备能根据解列命令准确可靠地完成解列操作。

试验流程如下:

a) 依照试验方案完成系统连接,断开微电网与电网连接之间的任何一个隔离开关,并进行目视检查以确保该开关处于断开位置。对测试用的电流和电压互感器的额定值、相位和连接进行检查。

b) 连接测试设备,监测并网设备的并网命令、并网设备微电网侧和电网侧电压之间的相位关系、两个电压的频率以及微电网侧和电网侧所有相的电压。

c) 关闭并网功能,调节微电网电压和频率,

使得微电网与电网之间的电压幅值差和频率差处于并网技术参数要求范围内,保持稳定至少3 min。

d) 验证并网设备未启动并网操作。

e) 打开并网功能。验证并网设备完成并网操作,测量并记录并网时间,记录并网时间内微电网侧和电网侧各相电压波形,记录并网设备闭合时刻的电压差值、相位差值和频率差值。

f) 记录测试过程中各种参数设置值。

g) 发出解列命令,验证并网设备完成解列操作,记录解列时间。

h) 调节微电网电压和频率,改变电压幅值差和频率差,但仍处于并网计算参数要求范围内,重复步骤c)~步骤g) 1~2次。

上述试验的验收标准是:在上述任何测试中,并网设备能正确完成并网操作,且闭合时刻的所有参数均满足并网技术参数的要求。在上述任何测试中,并网设备能正确完成解列操作,且解列时间满足设计要求。

需要注意的是:试验过程中需结合考虑微电网相关保护设置限值,使得对微电网电压和频率调节不会引起微电网内相关保护(例如过压、欠压、低频或高频保护)的动作,必要时可将这些保护退出。

2.3 电压与频率变动时的验收试验

本试验的目的是通过模拟并网过程的方法,验证电压/频率差从不满足并网技术参数所要求的范围到恢复至允许范围的过程中,并网设备能准确可靠地动作。

试验流程如下:

a) 同2.2.2节中步骤a)。

b) 同2.2.2节中步骤b)。

c) 关闭并网功能。调节微电网频率/电压,使其与电网频率/电压的差值处于允许范围内,并保持恒定。保持相角差值在允许范围内。调节并保持微电网电压/频率高于电网电压/频率,并使得两者电压差超出允许范围。

d) 打开并网功能。验证至少在3 min内并网设备未启动并网操作。

e) 逐步减少电压/频率差至并网技术参数所允许范围内。验证并网设备完成并网操作,测量并记录并网时间,记录并网时间内微电网侧和电网侧各相电压/频率波形,记录并网设备闭合时刻的电压差值、相位差值和频率差值。

f) 记录测试过程中各种参数设置值。

g) 设置微电网初始电压/频率低于电网电压/频率,重复步骤c)~步骤f)。

上述试验的验收标准是:在上述任何测试中,当且仅当所有参数均满足并网技术参数的范围时,并网设备才进行并网操作。

2.4 并网功能现场验收试验

本试验的目的是验证微电网能够按照并网技术要求,通过并网设备精确可靠地实现带电并网。

试验步骤如下:

a) 依照试验方案完成系统连接。对测试用的电流互感器和电压互感器的额定值,相位和连接进行检查。

b) 连接测试设备,监测并网设备的并网命令、并网设备微电网侧和电网侧电压之间的相位关系、两个电压的频率以及微电网侧和电网侧所有相的电压。

c) 关闭并网功能,调节微电网电压和频率,使得微电网与电网之间的电压幅值差和频率差处于并网技术参数所要求的范围内,保持稳定至少 3 min。

d) 验证并网设备未启动并网操作。

e) 打开并网功能。验证并网设备完成并网操作,测量并记录并网时间,记录并网时间内微电网侧和电网侧各相电压波形,记录并网设备闭合时刻的电压差值、相位差值和频率差值。

f) 记录测试过程中各种参数设置值。

上述试验的验收标准是:在上述测试中,微电网并网时刻的所有参数均满足并网技术参数的要求。如无特殊要求,本测试仅需进行一次。

2.5 重新并网功能现场验收模拟试验

本试验的目的是通过模拟重新并网过程的方法,验证微电网解列后重新连接定时器的功能,该定时器将在解列事件后将微电网延时重新并网。

试验步骤如下:

a) 完成 2.2.2 节中试验的步骤 a) ~步骤 g)。

b) 调节微电网电压,使其超出电网电压至少 2 倍于允许偏差,保持微电网电压至少 2 倍于设定的重新并网延时,确认微电网未进行重新并网。

c) 逐步调节微电网电压至并网技术参数允许范围内,验证并网设备完成并网操作。测量并记录电压恢复至允许范围内到并网设备完成并网操作的时间。

d) 确认在给定的误差允许范围和规定的重新并网延期内,并网设备未启动重新并网。

e) 为验证在重新并网延期内定时器会由于另外的电压偏离复位,重新进行测试。并在重新并网延期内,调节微电网电压超出电网电压至少 2 倍于允许偏差,并保持该电压持续至少 1 倍于解列时间。

h) 验证重新并网定时器将复位,且仅在微电网电压恢复到允许范围内,在规定的重新并网延时之后才将微电网重新并网。

i) 需对解列后微电网的过压、欠压和过频、低频进行测试。

j) 需对重新并网延期内,微电网的过压、欠压和过频、低频进行测试。

上述试验的验收标准是:在上述任何测试中,重新并网定时器具有制造商给定的精度,且延时满足并网技术规定中的要求。

2.6 解列功能现场验收试验

本试验的目的是验证微电网能够按照并网技术规定的要求,通过并网设备安全可靠地实现解列。

解列功能分为自动和手动解列两种,自动解列功能的验收试验步骤为:

a) 依照试验方案完成系统连接。对测试用的电流互感器和电压互感器的额定值、相位和连接进行检查。

b) 连接测试设备,监测并网设备的解列命令。确保微电网在并网方式下运行。

c) 发出解列命令,测量并记录解列时间。

手动解列功能的验收试验步骤为

a) 同自动解列验收试验中步骤 a)。

b) 同自动解列验收试验中步骤 b)。

c) 逐步退出微电网中所有微电源及其他主用电设备。逐步切除微电网中所有负荷。

d) 确认并网设备电流接近于 0,人工操作断开手动解列装置。

本试验仅对解列命令的发出到解列实现的过程,不考虑引起解列的原因。如无特殊要求,本测试仅需进行一次。

3 并网运行时电能质量综合验收试验

本试验的目的是验证微电网并网运行过程中,公共连接点的各项电能质量指标,包括各次谐波电流值、电压波动与闪变大小、电压三相不平衡度和功率因数均满足相应的要求。

电能质量综合测试验收试验步骤为

a) 依照试验方案完成系统连接。对测试用的电流互感器和电压互感器的额定值,相位和连接进行检查。对测试用电能质量测试仪的连接进行检查。

b) 确保微电网在无任何微电源的条件下并网运行,持续监测记录不少于 24 h。

c) 收集监测数据并进行统计分析。

d) 确保微电网在正常方式下并网运行,持续监测记录不少于 24 h。

e) 收集监测数据并进行统计分析。

电能质量综合测试的试验过程较简单,以下主要给出各项指标的技术参数要求、测量方法及验收标准。

3.1 谐波

微电网在公共连接点处引起的谐波电压和注入的谐波电流取决于电网的特性、微电网内微电源

的组成及特性、所连接的负载和设备。微电网并网运行时，向公共连接点注入的谐波电流应满足 GB 14549-1993 《电能质量 公用电网谐波》中的相应要求。谐波测试时需满足的技术参数可根据该标准中给出的方法进行确定。

对谐波电流测量数据，计算测量时段内各相实测值的 95% 概率值，并取最大的一相值作为判断谐波电流是否超过允许值的依据。在上述测试中得到的各次电流谐波不能超出所要求的限值。

需要注意的是：需要事先得到微电网并网前公共连接点的谐波电流背景资料，以确保所测得的超过允许水平的谐波并非是由电网的特性所引起的。并网前公共连接点的谐波电压畸变率应小于 2.5%。微电网在公共连接点处的注入谐波电流受微电网运行方式、微电源和负荷的谐波特性的影响很大，可根据实际情况在认为需要时进行附加测试。

3.2 电压波动与闪变

微电网并网运行时在公共连接点引起的电压波动必须满足 GB 12326-2008 《电能质量 电压波动和闪变》中第 4 条的要求。微电网并网运行时，公共连接点的闪变干扰允许值必须满足上述标准中第 5 条的要求。

微电网单独引起的电压闪变值可根据微电网负荷大小、其协议用电量占总供电容量的比例以及公共连接点的状况，按照 GB 12326-2008 分别作不同的规定和处理。

对公共连接点，在电网正常运行的较小方式下，电能质量综合测试中得到的所有长时间闪变值，都不能超出所给定限值。

在不满足闪变限值要求时，可根据测量得到的最大长时间闪变值和微电网解列后的背景闪变值，通过式(1)计算得到微电网单独引起的长时间闪变值。

$$P_{R2} = \sqrt[3]{P_{R1}^3 - P_{R0}^3} \quad (1)$$

式中： P_{R1} 为微电网投入时的长时间闪变测量值； P_{R0} 为背景闪变值，是微电网退出时一段时期内的长时间闪变测量值； P_{R2} 为微电网单独引起的长时间闪变值。

需要注意的是：需要事先进行附加测试，以得到微电网并网运行前公共连接点的电压闪变背景资料；电压波动尚无公认可接受的现场测试方法，也无成熟可用的电压波动测试设备。可按照 GB 12326-2008 中的方法进行估算；现场验收时可仅对电压闪变测试结果进行验收。

3.3 电压不平衡度

微电网并网运行（仅对三相输出）时，三相不平衡度必须满足 GB 15543 《电能质量 三相电压不

平衡》中第 4 条的要求。即允许值为 2%，短时不得超过 4%。2) 接入公共连接点的每个用户引起该点负序电压不平衡度允许值一般为 1.3%，短时不超过 2.6%。根据连接点的负荷状况以及邻近发电机、继电保护和自动装置安全运行要求，该允许值可作适当变动，但必须满足 1) 中的要求。用户引起的电压不平衡度允许值可按照 GB 17625.6-2003 中的方法进行换算。

对公共连接点，取电压负序不平衡度测量值的 10 min 方均根值的 95% 概率值作为判断电压不平衡度是否超过允许值的依据。

需要注意的是：公共连接点的电压不平衡度通常由负序电压不平衡度衡量，对于低压系统的零序电压不平衡度一般不做规定。微电网在公共连接点处产生的电压不平衡度受微电网运行方式、微电源和负荷特性的影响很大，可根据实际情况在需要时进行附加测试。需要事先得到微电网并网前公共连接点的电压不平衡度背景资料，以确保所测得的超过允许水平的电压不平衡度并非是由电网的特性所引起的。

3.4 功率因数

当微电网吸收感性无功功率时，公共连接点的功率因数应满足《电力系统电压和无功电力管理条例 2004》的要求。即“35~220 kV 变电站在主变压器最大负荷时，其一次侧功率因数应不低于 0.95；在低谷负荷时不应高于 0.95”；而“35 kV 及以上供电的电力用户，可参照该条款执行；100 kVA 及以上 10 kV 供电的电力用户，其功率因数应达到 0.95 以上；其他电力用户，其功率因数宜达到 0.9 以上”。

在电能质量综合测试中得到的微电网在公共连接点的功率因数需满足上述所列出的要求。

功率因数的计算可按式(2)计算得到。

$$\cos\varphi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} \quad (2)$$

式中： $\cos\varphi$ 为测量时段内的平均功率因数； W_P 为测量时段内的有功电量； W_Q 为测量时段内的无功电量。

需要注意的是：微电网在公共连接点处的功率因数受微电网运行方式、微电源和负荷特性的影响很大，可根据实际情况在需要时进行附加测试。微电网中包含无功补偿装置的，应在投入无功补偿装置的条件下进行测试。

4 逆功率保护的验收试验

逆功率保护用于不可逆流并网运行方式。但在可逆流并网方式下，对微电网向电网输送的功率通常也存在一个限制。在该输送功率超出限值时的保

护原理与逆功率保护的基本相同。因此,对于可逆流并网方式下,微电网向电网输送功率限制的保护的测试也可参照本测试进行。

后续所有试验均采用信号注入测试方法。

4.1 逆功能保护幅值的验收试验

本试验主要用于确认不可逆流并网运行方式下逆功率保护幅值设置的精确度特性。测试前,必须给定逆功率保护的幅值精度。

试验步骤如下:

a) 依照试验方案完成系统连接。对测试用的电流和电压互感器的额定值、相位和连接进行检查。对测试用继电保护测试仪的连接进行检查。

b) 调节并在测试过程中保持微电网和电网电压为额定值。调节电网流向微电网的电流至额定值,并使得电网电压与电流间相角为 0° ,使得计算得到的电网输送至微电网的功率为额定值。

c) 将逆功率保护的延时设置为 0 s 。

d) 阶跃电流幅值为接近于 0 ,相角从 0° 阶跃至 180° 。在一定时段内保持该电流幅值和相角不变,在该时段的末尾,逐步增加电流幅值。

e) 记录继电保护测试仪测得的电流幅值。

f) 将电流恢复至额定值,将相角恢复至 0° 。

g) 重复步骤c)~步骤e)共计3次。

在上述所有的测试中,所测得的电流幅值均需满足给定的幅值精度要求。

4.2 逆功能保护的幅值试验

本测试主要用于确认不可逆流并网运行方式下逆功率保护时间设置的精确度特性。测试前,必须给定逆功率保护的时间精度。

试验步骤如下:

a) 同4.1节中试验步骤a)。

b) 调节并在测试过程中保持微电网和电网电压为额定值。调节电网流向微电网的电流至额定值,并使得电网电压与电流间相角为 0° ,使得计算得到的电网输送至微电网的功率为额定值。

c) 阶跃电流幅值为接近于 0 ,相角从 0° 阶跃至 180° 。在一定时段内保持该电流幅值和相角不变,在该时段的末尾,阶跃电流幅值至1.2倍整定值。

d) 记录继电保护测试仪测得的时间。

e) 将电流恢复至额定值,将相角恢复至 0° 。

f) 重复步骤c)~步骤e)共计3次。

在上述所有的测试中,所测得的时间均满足给定的时间精度要求。

5 短路保护的验收试验

5.1 短路保护的幅值试验

本测试主要用于确认电网对微电网短路的保护幅值设置的精度特性。测试前,必须给定短路保

护的幅值精度。

试验步骤如下:

a) 同4.1节中试验步骤a)。

b) 将短路保护的延时设置为 0 s 。

c) 调节并在测试过程中保持微电网和电网电压为额定值。调节电网流向微电网的电流至额定值,在一定时段内保持该电流幅值不变。在该时段的末尾,逐步增加电流幅值。

d) 记录继电保护测试仪测得的电流幅值。

e) 将电流恢复至额定值。

f) 重复步骤c)~步骤e)共计3次。

g) 对每一相单独地或对所有相同时地重复本测试。

在上述所有的测试中,所测得的电流幅值均满足给定的幅值精度要求。

5.2 短路保护的幅值试验

本测试主要用于确认电网对微电网短路保护的时间设置的精度特性。测试前,必须给定短路保护的时间精度。

试验步骤如下:

a) 同4.1节中试验步骤a)。

b) 将短路保护的延时设置为 0 s 。

c) 调节并在测试过程中保持微电网和电网电压为额定值。调节电网流向微电网的电流至额定值,在一定时段内保持该电流幅值不变。在该时段的末尾,阶跃电流幅值至1.2倍整定值。

d) 记录继电保护测试仪测得的时间。

e) 将电流恢复至额定值。

f) 重复步骤c)~步骤e)共计3次。

g) 对每一相单独地或对所有相同时地重复本测试。

在上述所有的测试中,所测得的时间均满足给定的时间精度要求。

6 结论

微电网被认为是更适合的分布式电源的接入方式,但其并网/解列及并网运行将对传统的配电网造成较大的影响。在微电网接入技术标准的基础上制定相应的验收试验规范将具有重要的现实意义,也是亟待解决的问题。

本文对微电网接入所必须进行的验收试验进行了研究。在参考国内外相关标准和试验规范的基础上,提出了验收试验应具备的条件、测量仪器设备、验收试验的一般流程和验收标准等。重点依据对微电网并网的技术要求,针对微电网并网的并解列操作、电能质量、逆功率保护、短路保护等关键操作、运行参数和保护功能的验收试验进行了设计,给出了具体的标准依据、试验测试方法、具体步骤

和验收标准。本文为制定微电网接入验收试验规范提供了良好的基础和依据。

参考文献

- [1] 吕婷婷, 段玉兵, 龚宇雷. 微电网故障暂态分析及抑制方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 79-83.
Lü Ting-ting, DUAN Yu-bing, GONG Yu-lei. Analysis of micro-grid based fault transient and its suppression[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 79-83.
- [2] 盛鸱, 孔力, 齐智平. 新型电网-微电网 (Micro grid) 研究综述[J]. 继电器, 2007, 35(12): 75-81.
SHENG Kun, KONG Li, QI Zhi-ping. A survey on research of micro grid-a new power system[J]. Relay, 2007, 35(12): 75-81.
- [3] 王新刚, 艾芊, 徐伟华. 含分布式发电的微电网能量管理多目标优化[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(20): 79-83.
WANG Xin-gang, AI Qian, XU Wei-hua. Multi-objective optimal energy management of micro grid with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(20): 79-83.
- [4] 丁银, 丁明, 毕锐. 微电网系统 CIM/XML 模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 37-42.
DING Yin, DING Ming, BI Rui. Research on CIM/XML model of micro grid system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 37-42.
- [5] 郑琰, 焦坡, 张晶莹. 基于无线专网的配变实时监测管理系统[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(16): 96-98.
ZHENG Yan, JIAO Po, ZHANG Jing-ying. Real-time monitoring management system of the distribution transformer based on wireless private network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(16): 96-98.
- [6] 林添顺. 基于 GPRS 的新型配电网自动化通信系统设计及实用性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(19): 44-47.
LIN Tian-shun. A new kind of communication system based on GPRS for power distribution and analysis of its practicability[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(19): 44-47.
- [7] IEEE 1547. IEEE application guide for IEEE Std 1547[S].
- [8] IEEE 1547.1. IEEE application guide for IEEE Std 1547[S].
- [9] IEEE 1547.2. IEEE application guide for IEEE Std 1547[S].
- [10] 杨志淳, 乐健, 刘开培, 等. 微电网并网标准研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(2): 66-76.
YANG Zhi-chun, LE Jian, LIU Kai-pei, et al. Study on the standard of the grid-connected microgrids[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(2): 66-76.

收稿日期: 2013-04-13

作者简介:

毛涛 (1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事微电网运行与控制技术的研究; E-mail: maotaohejiaren@163.com

乐健 (1975-), 男, 通信作者, 博士研究生, 副教授, 主要从事电能质量控制技术、智能电网运行与控制技术的研究; E-mail: lej01@mails.tsinghua.edu.cn

杨志淳 (1987-), 男, 博士研究生, 主要从事微电网电能质量及其控制技术的研究。