

ICS XX. XXX
N XX

团 体 标 准

T/ZSEIA XXXX-YYYY

电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电 网测试规范

Test specification for power grade 5-DOF magnetic levitation flywheel
energy storage system connected to power grid

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中关村智慧环境产业联盟 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则.....	2
5 测试条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 基本条件.....	3
6 测试设备.....	3
6.1 测试仪器仪表.....	3
6.2 电网模拟装置.....	3
6.3 用于测试的电网故障模拟发生装置性能.....	4
7 测试项目及方法.....	4
7.1 电网适应性测试.....	4
7.2 功率控制测试.....	5
7.3 过载能力测试.....	8
7.4 低电压穿越测试.....	8
7.5 高电压穿越测试.....	10
7.6 电能质量测试.....	10
7.7 保护功能测试.....	11
7.8 充放电响应时间测试.....	12
7.9 充放电调节时间测试.....	12
7.10 充放电转换时间测试.....	13
7.11 额定能量测试.....	13
7.12 额定功率能量转换效率测试.....	14
7.13 通信测试.....	14

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本文件由中关村智慧环境产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：华驰动能（北京）科技有限公司、北京华驰万汇科技中心、北京华驰纵横科技中心、国网蒙东电力综合能源服务公司、国网蒙东电力科学研究院、山东大学、内蒙古工业大学、集宁师范学院、安徽华驰动能科技有限公司、华北电力大学、东北大学。

本文件主要起草人：王志强、王方胜、齐四清、高春辉、徐衍亮、刘广忱、荆丽丽、苏森、彭龙、孟德超、韩坤、陈胜林、孙秋野、杨东升。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范

1 范围

本文件规定了电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网的测试条件、测试设备、测试项目及方法等。

本文件适用于额定功率不小于500kW且储能量不小于100kWh的电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统，其他功率等级和储能量等级的飞轮储能系统可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 4793.1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

GB/T 5226.1 机械电气安全机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 7251.1 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变

GB/T 12706.1 额定电压1kV($U_m=1.2$ kV)到35kV($U_m=40.5$ kV)挤包绝缘电力电缆及附件第1部分：额定电压1kV($U_m=1.2$ kV)和3kV($U_m=3.6$ kV)电缆

GB/T 12706.2 额定电压1kV($U_m=1.2$ kV)到35 kV($U_m=40.5$ kV)挤包绝缘电力电缆及附件第2部分：额定电压6kV($U_m=7.2$ kV)到30 kV($U_m=36$ kV)电缆

GB/T 13729 远动终端设备

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 21431 建筑物防雷装置检测技术规范

GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波

GB/T 34133-2017 储能变流器检测技术规程

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

DL/T 474.4 现场绝缘试验实施导则 交流耐压试验

DL/T 620 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合

DL/T 621 交流电气装置的接地

DL/T 995 继电保护和电网安全自动装置检验规程

《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通过技术条件》

3 术语和定义

《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网技术规定》界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

额定功率转换效率 energy conversion efficiency

储能系统额定功率放电时输出能量与同循环过程中锁定功率充电时输入能量的比值,用百分数表示。

3.2

功率控制精度 control precision

在稳定运行状态下,储能系统输出/输入功率依据其设定值变化时,其输出/输入功率控制的稳定程度,按式(1)计算:

$$\delta_P = \left[\left| \frac{(P_M - P_s)}{P_s} \right| \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- δ_P ——功率控制精度;
- P_M ——实际测量每次阶跃后第二个15s有功功率平均值;
- P_s ——功率设定值。

4 总则

- 4.1 测试前应编制测试方案并制定相应的安全措施。
- 4.2 飞轮储能系统各设备在完成现场调试后,方可进行接入电网的现场测试。
- 4.3 飞轮储能系统的测试内容包含:电网适应性测试(包含频率适应性测试、电压适应性测试和电能质量适应性测试)、功率控制测试、过载能力测试、电能质量测试、保护功能测试、充放电响应时间测试、充放电调节时间测试、充放电转换时间测试、额定能量测试、能量转换效率测试等;通过10(6)kV及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统,还应进行低电压穿越测试、高电压穿越测试和通信测试等。
- 4.4 进行电网适应性测试时宜采用模拟电网装置进行测试,进行低电压穿越测试和高电压穿越测试时宜采用电网故障模拟发生装置。
- 4.5 测试结果应满足《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网技术规定》团体标准或其他相关的要求,并形成相应的测试报告。

5 测试条件

5.1 环境条件

应在以下环境条件下进行:

- a) 环境温度: -20 °C~40 °C;
- b) 相对湿度: ≤90%;
- c) 环境气压: 86 kPa~106 kPa。

5.2 基本条件

储能系统在并网测试前应符合以下规定：

- a) 储能系统的防雷接地装置应满足 GB/T 21431、GB 50057 和 DL/T 621 中的规定；
- b) 储能系统接入点设备的绝缘强度应满足 GB 50150 的规定, 接入点各回路交直流电缆绝缘应满足 GB/T 12706.1 和 GB/T 12706.2 的规定；
- c) 储能系统接入点设备的耐压应满足 DL/T 474.4 和 DL/T 620 的要求；
- d) 当储能系统并网点的电压波动和闪变满足 GB/T 12326、电压谐波值满足 GB/T 14549、三相电压不平衡度满足 GB/T 15543、电压间谐波含有率满足 GB/T24337 的要求时, 储能系统应能正常运行；
- e) 测试场地电气安全应满足 GB 4793.1 的要求。

6 测试设备

6.1 测试仪器仪表

测试仪器仪表应满足以下要求：

- a) 测试仪器仪表应检验合格，并在有效期内；
- b) 测试仪器仪表准确度要求见表 1。

表 1 测试仪器仪表准确度要求

名称	准确度等级	备注
电压传感器	0.5 (0.2) 级	FS (满量程)
电流传感器	0.5 (0.2) 级	FS (满量程)
温度计	±0.5℃	
湿度计	±3%	相对湿度
电能表	0.2 级	FS (满量程)
数据采集装置	0.2 级	数据带宽 ≥10 MHz

注：电能质量测量时的准确度要求为0.2级。

6.2 电网模拟装置

模拟电网装置应能模拟公用电网的电压幅值、频率和相位的变化，并符合以下技术要求：

- a) 与储能变流器连接侧的电压谐波应小于 GB/T 14549 中谐波允许值的 50%；
- b) 与电网连接侧的电流谐波应小于 GB/T 14549 中谐波允许值的 50%；
- c) 在测试过程中，稳态电压变化幅度不得超过标称电压的 1%；
- d) 电压偏差应小于标称电压的 0.2%；
- e) 频率偏差应小于 0.01 Hz；
- f) 三相电压不平衡度应小于 1%，相位偏差应小于 3°；
- g) 中性点不接地的模拟电网装置，中性点位移电压应小于相电压的 1%；
- h) 额定功率 (P_N ，下同) 应大于被测试飞轮储能系统的额定功率；
- i) 具有在一个周波内进行 ±0.1% 额定频率 f_N 的调节能力；

- j) 具有在一个周波内进行±1%额定电压 U_N 的调节能力；
- k) 阶跃响应调节时间应小于 20 ms。

6.3 用于测试的电网故障模拟发生装置性能

电网故障模拟发生装置应满足以下技术要求：

- a) 装置应能模拟三相对称电压跌落、相间电压跌落和单相电压跌落，跌落幅值应包含 0%~90%；
- b) 装置应能模拟三相对称电压抬升，抬升幅值应包含 110%~130%；
- c) 电压阶跃响应调节时间应小于 20 ms。

7 测试项目及方法

7.1 电网适应性测试

7.1.1 频率适应性测试

测试储能系统的频率适应性，测试接线如图1所示。本测试项目应使用模拟电网装置模拟电网频率的变化。测试步骤如下：

- a) 将储能系统与模拟电网装置相连；
- b) 设置储能系统运行在充电状态；
- c) 调节模拟电网装置频率至 49.52 Hz~50.18 Hz 范围内。在该范围内合理选择若干个点（至少 3 个点且临界点必测），每个点连续运行至少 1 min，应无跳闸现象，否则停止测试；
- d) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 c)；
- e) 通过 380 V 电压等级接入电网的储能系统：
 - 1) 设置储能系统运行在充电状态，调节模拟电网装置频率分别至 49.32 Hz~49.48 Hz、50.22 Hz~50.48 Hz 范围内，在该范围内合理选择若干个点（至少 3 个点且临界点必测），每个点连续运行至少 4 s；分别记录储能系统运行状态及相应动作频率、动作时间；
 - 2) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 1)。
- d) 通过 10 (6) kV 及以上电压等级接入电网的储能系统：
 - 1) 设置储能系统运行在充电状态，调节模拟电网装置频率至 48.02 Hz~49.48 Hz、50.22 Hz~50.48 Hz 范围内，在该范围内合理选择若干个点（至少 3 个点且临界点必测），每个点连续运行至少 4s；分别记录储能系统运行状态及相应动作频率、动作时间；
 - 2) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 1)；
 - 3) 设置储能系统运行在充电状态，调节模拟电网装置频率至 50.52 Hz，连续运行至少 4s；记录储能系统运行状态及相应动作频率、动作时间；
 - 4) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 3)；
 - 5) 设置储能系统运行在充电状态，调节模拟电网装置频率至 47.98 Hz；连续运行至少 4 s；记录储能系统运行状态及相应动作频率、动作时间；
 - 6) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 5)。

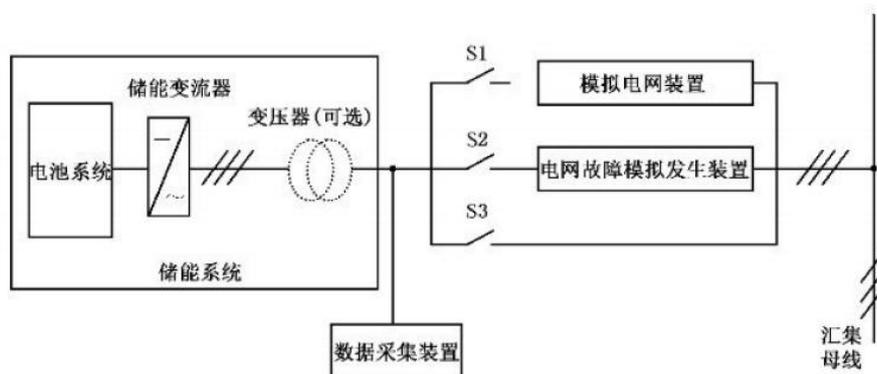


图 1 储能系统测试接线示意图

7.1.2 电压适应性测试

测试储能系统的电压适应性，测试如图1所示。本测试项目应使用模拟电网装置模拟电网电压的变化。测试步骤如下：

- 将储能系统与模拟电网装置相连；
- 设置储能系统运行在充电状态；
- 调节模拟电网装置输出电压至拟接入电网标称电压的 86%~109%范围内，在该范围内合理选择若干个点（至少 3 个点且临界点必测），每个点连续运行至少 1 min，应无跳闸现象，否则停止测试；
- 调节模拟电网装置输出电压至拟接入电网标称电压的 85%以下，连续运行至少 1 min，记录储能系统运行状态及相应动作电压、动作时间；
- 调节模拟电网装置输出电压至拟接入电网标称电压的 110%以上，连续运行至少 1 min，记录储能系统运行状态及相应动作电压、动作时间；
- 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 c) ~e)。

7.1.3 电能质量适应性

测试储能系统的电能质量适应性，测试如图1所示。本测试项目应使用模拟电网装置模拟电网电能质量的变化。测试步骤如下：

- 将储能系统与模拟电网装置相连；
- 设置储能系统运行在充电状态；
- 调节模拟电网装置交流侧的谐波值、三相电压不平衡度、间谐波值分别至 GB/T 14549、GB/T 15543 和 GB/T 24337 中要求的最大限值，连续运行至少 1 min，记录储能系统运行状态及相应动作时间；
- 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 c)。

7.2 功率控制测试

7.2.1 有功功率调节能力测试

7.2.1.1 升功率测试

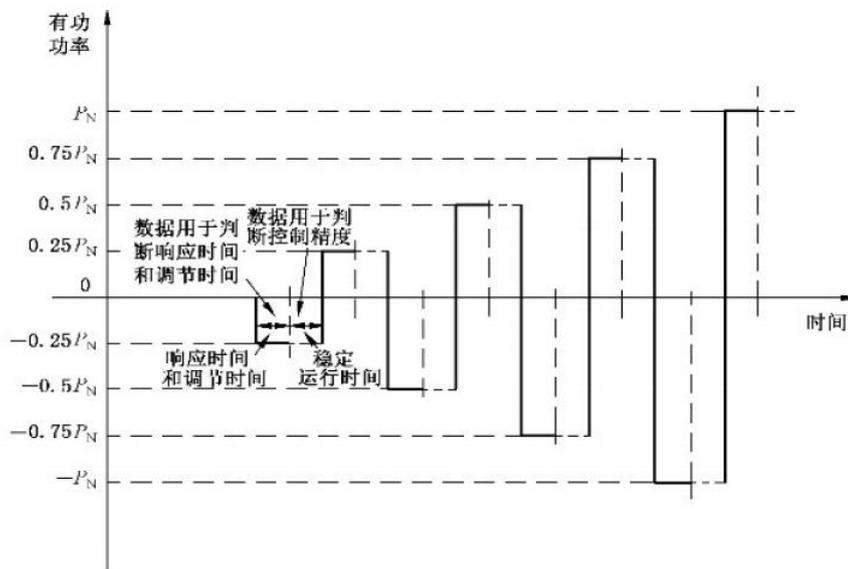
如图1所示，将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件，进行有功功率调节能力升功率测试。测试步骤如下：

- a) 设置储能系统有功功率为 0；
- b) 按图 2 所示，逐级调节有功功率设定值至 $-0.25 P_N$ 、 $0.25 P_N$ 、 $-0.5 P_N$ 、 $0.5 P_N$ 、 $-0.75 P_N$ 、 $0.75 P_N$ 、 $-P_N$ 、 P_N ，各个功率点保持至少 30 s，在储能系统并网点测量时序功率；以每 0.2s 有功功率平均值为一点，记录实测曲线；
- c) 以每次有功功率变化后的第二个 15s 计算 15s 有功功率平均值；
- d) 计算 b) 各点有功功率的控制精度、响应时间和调节时间。

7.2.1.2 降功率测试

如图1所示，将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件，进行有功功率调节能力降功率测试。测试步骤如下：

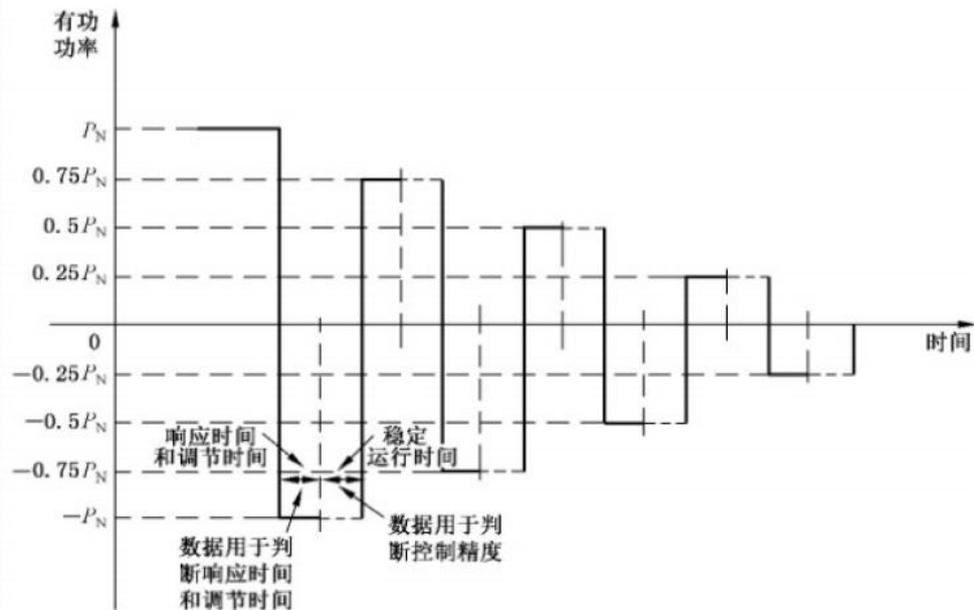
- a) 设置储能系统有功功率为 P_N ；
- b) 按图 3 所示，逐级调节有功功率设定值至 $-P_N$ 、 $0.75 P_N$ 、 $-0.75 P_N$ 、 $0.5 P_N$ 、 $-0.5 P_N$ 、 $0.25 P_N$ 、 $-0.25 P_N$ 、 0 ，各个功率点保持至少 30 s，在储能系统并网点测量时序功率；以每 0.2s 有功功率平均值为一点，记录实测曲线；
- c) 以每次有功功率变化后的第二个 15 s 计算 15 s 有功功率平均值；
- d) 计算 b) 各点有功功率的控制精度、响应时间和调节时间。



注 1：在相同的采样速率下，数据计算时间窗取 200 ms。

注 2：储能系统放电功率为正，充电功率为负。

图 2 升功率测试曲线



注 1：在相同的采样速率下，数据计算时间窗取 200 ms。

注 2：储能系统放电功率为正，充电功率为负。

图 3 降功率测试曲线

7.2.2 无功功率调节能力测试

7.2.2.1 充电模式测试

如图1所示，将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件，进行无功功率调节能力充电模式测试。测试步骤如下：

- 设置储能系统充电有功功率为 P_N ；
- 调节储能系统运行在输出最大感性无功功率工作模式；
- 在储能系统并网点测量时序功率至少记录 30s 有功功率和无功功率，以每 0.2s 功率平均值为一点，计算第二个 15s 内有功功率和无功功率的平均值；
- 分别调节储能系统充电有功功率为 $0.9P_N$ 、 $0.8P_N$ 、 $0.7P_N$ 、 $0.6P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.4P_N$ 、 $0.3P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $0.1P_N$ 、和 0，重复步骤 b)~c)；
- 调节储能系统运行在输出最大容性无功功率工作模式，重复步骤 c)~d)；
- 以有功功率为横坐标无功功率为纵坐标绘制储能系统功率包络图。

7.2.2.2 放电模式测试

如图1所示，将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连所有参数调至正常工作条件，进行无功功率调节能力放电模式测试。测试步骤如下：

- 设置储能系统放电有功功率为 P_N ；
- 调节储能系统运行在输出最大感性无功功率工作模式；
- 在储能系统并网点测量时序功率，至少记录 30s 有功功率和无功功率，以每 0.2s 功率平均值为一点，计算第二个 15s 内有功功率和无功功率的平均值；

- d) 分别调节储能系统放电有功功率为 $0.9P_N$ 、 $0.8P_N$ 、 $0.7P_N$ 、 $0.6P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.4P_N$ 、 $0.3P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $0.1P_N$ 和 0，重复步骤 b) ~ c)；
- e) 调节储能系统运行在输出最大容性无功功率工作模式，重复步骤 c) ~ d)；
- f) 以有功功率为横坐标，无功功率为纵坐标，绘制储能系统功率包络图。

注 1：无功功率正值表示感性无功功率，无功功率负值表示容性无功功率。

注 2：有功功率处于 $\pm 2\%P_N$ 时，即认为有功功率调节到 0。

7.2.3 功率因数调节能力测试

如图1所示，将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件，进行功率因数调节能力测试。测试步骤如下：

- a) 将储能系统放电有功功率分别调至 $0.25P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 P_N 四个点；
- b) 调节储能系统功率因数从超前 0.95 开始，连续调节至滞后 0.95，调节幅度不大于 0.01，测量并记录储能系统实际输出的功率因数；
- c) 将储能系统充电有功功率分别调至 $0.25P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 P_N 四个点；
- d) 调节储能系统功率因数从超前 0.95 开始，连续调节至滞后 0.95，调节幅度不大于 0.01，测量并记录储能系统实际输出的功率因数。

7.3 过载能力测试

储能系统过载能力测试步骤如下：

- a) 将储能系统调整至热备用状态，设置储能系统充电有功功率设定值至 $1.1P_N$ ，连续运行 10min，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一组记录实测曲线；
- b) 将储能系统调整至热备用状态，设置储能系统充电有功功率设定值至 $1.2P_N$ ，连续运行 1min，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一组，记录实测曲线；
- c) 将储能系统调整至热备用状态，设置储能系统放电有功功率设定值至 $1.1P_N$ ，连续运行 10min，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一组，记录实测曲线；
- d) 将储能系统调整至热备用状态，设置储能系统放电有功功率设定值至 $1.2P_N$ ，连续运行 1min，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一组，记录实测曲线。

7.4 低电压穿越测试

7.4.1 测试准备

通过 10(6)kV 及以上电压等级接入电网的储能系统进行低电压穿越测试前，应做以下准备：

- a) 进行低电压穿越测试前，储能系统应工作在与实际投入运行时一致的控制模式下。按照图 1 连接储能系统、电网故障模拟发生装置、数据采集装置以及其他相关设备；
- b) 测试应至少选取 5 个跌落点，并在 $0\%U_N \leq U \leq 5\%U_N$ 、 $20\%U_N \leq U \leq 25\%U_N$ 、 $25\%U_N < U \leq 50\%U_N$ 、 $50\%U_N < U \leq 75\%U_N$ 、 $75\%U_N < U \leq 90\%U_N$ 五个区间内均有分布，并按照图 4 选取跌落时间。

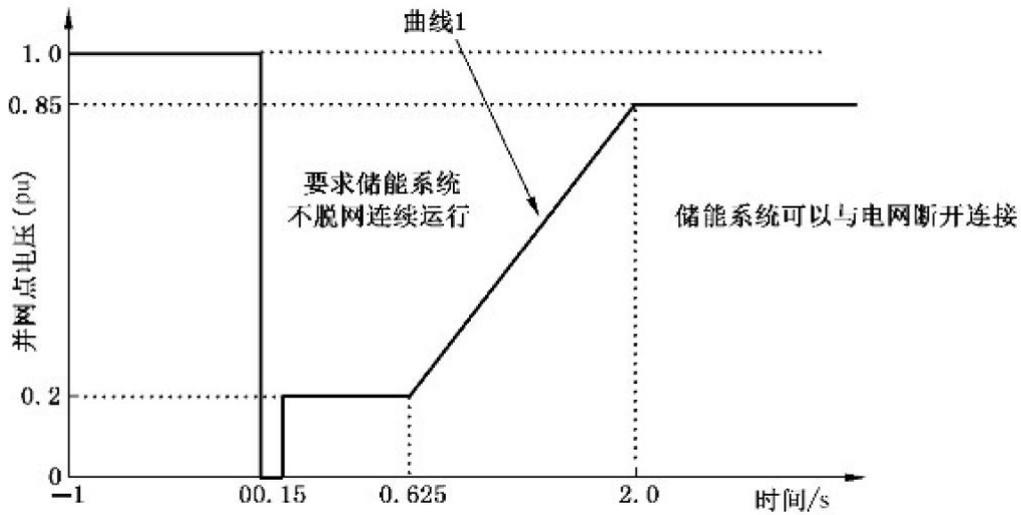


图4 低电压穿越曲线

7.4.2 空载测试

低电压穿越测试前应首先进行空载测试,被测储能系统储能变流器应处于断开状态。测试步骤如下:

- 调节电网故障模拟发生装置,模拟线路三相对称故障,电压跌落点按照 7.4.1 的要求选取;
- 调节电网故障模拟发生装置,模拟表 2 中的 AB、BC、CA 相间短路或接地短路故障,电压跌落点按照 7.4.1 的要求选取;
- 记录储能系统并网点电压曲线。

表 2 线路不对称故障类型

故障类型	故障相		
单相接地短路	A相接地短路	B相接地短路	C相接地短路
两相相间短路	AB相间短路	BC相间短路	CA相间短路
两相接地短路	AB接地短路	BC接地短路	CA接地短路

7.4.3 负载测试

在空载测试结果满足要求的情况下,进行低电压穿越负载测试,负载测试时电网故障模拟发生装置的配置应与空载测试保持一致。测试步骤如下:

- 将空载测试中断开的储能系统接入电网运行;
- 调节储能系统输出功率在 $0.1P_N \sim 0.3P_N$ 之间;
- 控制电网故障模拟发生装置进行三相对称电压跌落;
- 记录储能系统并网点电压和电流的波形,应至少记录电压跌落前 10s 到电压恢复正常后 6s 之间数据;
- 控制电网故障模拟发生装置进行不对称电压跌落;
- 记录储能系统并网点电压和电流的波形,应至少已录电压跌落前 10s 到电压恢复正常后 6s 之间数据;

- g) 调节储能系统输出功率至额定功率 P_N ;
- h) 重复 c)~f)。

7.5 高电压穿越测试

7.5.1 测试准备

测试通过10(6)kV及以上电压等级接入电网的储能系统进行高电压穿越测试前,应做以下准备:

- a) 进行高电压穿越测试前,储能系统应工作在与实际投入运行时一致的控制模式下。按照图 1 连接储能系统、电网故障模拟发生装置、数据采集装置以及其他相关设备;
- b) 高电压穿越测试应至少选取 2 个点,并在 $110\%U_N < U < 120\%U_N$ 、 $120\%U_N < U < 130\%U_N$ 两个区间内均有分布,并按照图 5 中高电压穿越曲线要求选取抬升时间。

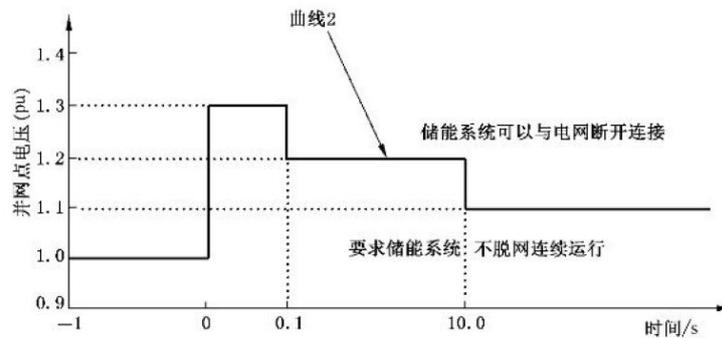


图 5 高电压穿越曲线

7.5.2 空载测试

高电压穿越测试前应先进行空载测试,被测储能系统储能变流器应处于断开状态。测试步骤如下:

- a) 调节电网故障模拟发生装置,模拟线路三相电压抬升,电压抬升点按照 7.5.1 的要求选取;
- b) 记录储能系统并网点电压曲线。

7.5.3 负载测试

在空载测试结果满足要求的情况下,可进行高电压穿越负载测试。负载测试时电网故障模拟发生装置的配置应与空载测试保持一致。测试步骤如下:

- a) 将空载测试中断开的储能系统接入电网运行;
- b) 调节储能系统输入功率分别在 $0.1P_N \sim 0.3P_N$ 之间;
- c) 控制电网故障模拟发生装置进行三相对称电压抬升;
- d) 记录储能系统并网点电压和电流波形,应至少记录电压跌落前 10s 到电压恢复正常后 6s 之间数据;
- e) 调节储能系统输入功率至额定功率 P_N ;
- f) 重复 c)~d)。

7.6 电能质量测试

7.6.1 三相电压不平衡测试

储能系统在充电和放电状态下分别测试，并按照GB/T 15543的相关规定进行系统的三相电压不平衡测试。

7.6.2 谐波测试

储能系统在充电和放电状态下分别测试按照GB/T 14549的相关规定进行系统的谐波测试，按照GB/T 24337的相关规定进行系统的间谐波测试。

7.6.3 直流分量测试

7.6.3.1 储能系统在放电状态下的直流分量测试，步骤如下：

- 将储能系统与模拟电网装置(公共电网)相连，所有参数调至正常工作条件，且功率因数调为1；
- 调节储能系统输出电流至额定电流的33%，保持1min；
- 测量储能系统输出端各相电压、电流有效值和电流的直流分量(频率小于1Hz即为直流)，在同样的采样速率和时间窗下测试5min；
- 当各相电压有效值的平均值与额定电压的误差小于5%，且各相电流有效值的平均值与测试电流设定值的偏差小于5%时，采用各测量点的绝对值计算各相电流直流分量幅值的平均值；
- 调节储能系统输出电流分别至额定输出电流的66%和100%，保持1min，重复步骤c)~d)。

7.6.3.2 储能系统在充电状态下的直流分量测试，步骤如下：

- 将储能系统与模拟电网装置(公共电网)相连，所有参数调至正常工作条件，且功率因数调为1；
- 调节储能系统输入电流至额定电流的33%，保持1min；
- 测量储能系统输入端各相电压、电流有效值和电流的直流分量(频率小于1Hz即为直流)，在同样的采样速率和时间窗下测试5min；
- 当各相电压有效值的平均值与额定电压的误差小于5%，且各相电流有效值的平均值与测试电流设定值的偏差小于5%时，采用各测量点的绝对值计算各相电流直流分量幅值的平均值；
- 调节储能系统输入电流分别至额定输入电流的66%和100%，保持1min，重复步骤c)~d)。

7.7 保护功能测试

7.7.1 涉网保护功能测试

储能系统的涉网保护功能测试应符合DL/T 995的规定。

7.7.2 非计划孤岛保护功能测试

测试储能系统的非计划孤岛保护特性。测试回路如图6所示。测试步骤如下：

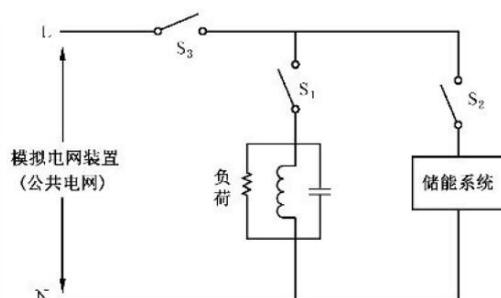


图6 非计划孤岛保护功能测试

- a) 对三相四线制储能系统,图 6 为相线对中性线接线;对三相三线制储能系统,图 6 为相间接线;
- b) 设置储能系统防孤岛保护定值,调节储能系统放电功率至额定功率;
- c) 设定模拟电网装置(公共电网)电压为储能系统的标称电压,频率为储能系统额定频率;调节负荷品质因数 Q 为 1.0 ± 0.05 ;
- d) 闭合开关 S_1 、 S_2 、 S_3 ,直至储能系统达到 b) 的规定值;
- e) 调节负荷至通过开关 S 的各相基波电流小于储能系统各相稳态额定电流的 2%;
- f) 断开 S_3 ,记录从断开 S_3 至储能系统停止向负荷供电的时间间隔,即断开时间;
- g) 在初始平衡负荷的 95%~105%范围内,调节无功负荷按 1%递增(或调节储能系统无功功率按 1%递增),若储能系统断开时间增加,则需额外增加 1%无功负荷(或无功功率),直至断开时间不再增加;
- h) 在初始平衡负荷的 95%或 105%时,断开时间仍增加,则需额外减少或增加 1%无功负荷(或无功功率),直至断开时间不再增加;
- i) 测试结果中,三个最长断开时间的测试点应做 2 次附加重复测试;三个最长断开时间出现在不连续的 1%负荷增加值上时,则三个最长断开时间之间的所有测试点都应做 2 次附加重复测试;
- j) 调节储能系统输出功率分别至额定功率的 66%、33%,分别重复步骤 c)~i)。

注:三相四线制储能系统,L为相线,N为中性线;三相三线制储能系统,L和N均为相线。

7.8 充放电响应时间测试

7.8.1 充电响应时间测试

在额定功率充放电条件下,将储能系统调整至热备用状态,测试充电响应时间。测试步骤如下:

- a) 记录储能系统收到控制信号的时刻,记为 t_{c1} ;
- b) 记录储能系统充电功率首次达到 90%额定功率的时刻,记为 t_{c2} ;
- c) 按照式(2)计算充电响应时间 RT_C :

$$RT_C = t_{c2} - t_{c1} \dots\dots\dots (2)$$

- d) 重复 a)~c)两次,充电响应时间取 3 次测试结果的最大值。

7.8.2 放电响应时间测试

在额定功率充放电条件下,将储能系统调至热备用状态,测试放电响应时间。测试步骤如下:

- a) 记录储能系统收到控制信号的时刻,记为 t_{D1} ;
- b) 记录储能系统放电功率首次达到 90%额定功率的时刻,记为 t_{D2} ;
- c) 按照式(3)计算放电响应时间 RT_D :

$$RT_D = t_{D2} - t_{D1} \dots\dots\dots (3)$$

- d) 重复 a)~c)两次,放电响应时间取 3 次测试结果的最大值。

7.9 充放电调节时间测试

7.9.1 充电调节时间测试

在额定功率充放电条件下,将储能系统调整至热备用状态,测试充电调节时间。测试步骤如下:

- a) 记录储能系统收到控制信号的时刻,记为 t_{c3} ;
- b) 记录储能系统充电功率的偏差维持在额定功率的士 2%以内的起始时刻,记为 t_{c4} ;
- c) 按照式(4)计算充电调节时间 AT_C :

$$AT_C = t_{c4} - t_{c3} \dots\dots\dots (4)$$

d) 重复 a)~c)两次, 充电调节时间取 3 次测试结果的最大值。

7.9.2 放电调节时间测试

在额定功率充放电条件下, 将储能系统调整至热备用状态, 测试放电调节时间。测试步骤如下:

- 记录储能系统收到控制信号的时刻记为 t_{D3} ;
- 记录储能系统放电功率的偏差维持在额定功率的士 2% 以内的起始时刻, 记为 t_{D4} ;
- 按照式 (5) 计算放电调节时间 AT_D :

$$AT_D = t_{D4} - t_{D3} \dots\dots\dots (5)$$

d) 重复 a)~c)两次放电调节时间取 3 次测试结果的最大值。

7.10 充放电转换时间测试

7.10.1 充电到放电转换时间测试

在额定功率充放电条件下将储能系统调整至热备用状态, 进行充电到放电转换时间。测试步骤如下:

- 设置储能系统以额定功率充电, 向储能系统发送以额定功率放电指令, 记录从 90% 额定功率充电到 90% 额定功率放电的时间 t_1 ;
- 重复 a) 两次, 充电到放电转换时间取 3 次测试结果的最大值。

7.10.2 放电到充电转换时间测试

在额定功率充放电条件下, 将储能系统调整至热备用状态, 进行放电到充电转换时间。测试步骤如下:

- 设置储能系统以额定功率放电, 向储能系统发送以额定功率充电指令, 记录从 90% 额定功率放电到 90% 额定功率充电的时间 t_2 ;
- 重复 a) 两次, 放电到充电转换时间取 3 次测试结果的最大值。

7.11 额定能量测试

在稳定运行状态下, 储能系统在额定功率充放电条件下, 测试储能系统的充电能量和放电能量。测试步骤如下:

- 以额定功率放电至放电终止条件时停止放电;
- 以额定功率充电至充电终止条件时停止充电。记录本次充电过程中储能系统充电的能量 E_c 和辅助能耗 W_c ;
- 以额定功率放电至放电终止条件时停止放电。记录本次放电过程中储能系统放电的能量 E_D 和辅助能耗 W_D ;
- 重复 b)~c) 步骤两次, 记录每次充放电能量 E_{cn} 、 E_{Dn} 辅助能耗 W_{cn} 、 W_{Dn} ;
- 按照式 (6)、式 (7) 计算其平均值, 记 E_c 和 E_D 为储能系统的额定充电能量和额定放电能量。

$$E_C = 2 \frac{E_{C1} + W_{C1} + E_{C2} + W_{C2} + E_{C3} + W_{C3}}{3} \dots\dots\dots (6)$$

$$E_D = \frac{E_{D1} - W_{D1} + E_{D2} - W_{D2} + E_{D3} - W_{D3}}{3} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- E_{Cn} ——第n次循环的充电能量，单位为瓦时(W·h)；
- E_{Dn} ——第n次循环的放电能量，单位为瓦时(W·h)；
- W_{Cn} ——第n次循环充电过程的辅助能耗，单位为瓦时(W·h)；
- W_{Dn} ——第n次循环放电过程的辅助能耗，单位为瓦时(W·h)。

注1：对于辅助能耗由自身供应的储能系统， $W_{Cn}=0$ ， $W_{Dn}=0$ 。

注2：放电终止条件和充电终止条件宜采用电压、电流和温度等参数，但测试中终止条件应唯一且与实际使用时保持一致。

7.12 额定功率能量转换效率测试

在稳定运行状态下，储能系统在额定功率充放电条件下，测试储能系统的额定功率能量转换效率。测试步骤如下：

- a) 以额定功率放电至放电终止条件时停止放电；
- b) 以额定功率充电至充电终止条件时停止充电。记录本次充电过程中储能系统充电的能量 E_c 和辅助能耗 W_c ；
- c) 以额定功率放电至放电终止条件时停止放电。记录本次放电过程中储能系统放电的能量 E_d 和辅助能耗 W_d ；
- d) 重复 b)~c) 步骤两次，记录每次充放电能量 E_{Cn} 、 E_{Dn} 和辅助能耗 W_{Cn} 、 W_{Dn} ；
- e) 按式(8)计算能量转换效率：

$$\eta = \frac{1}{3} \left(\frac{E_{D1} - W_{D1}}{E_{C1} + W_{C1}} + \frac{E_{D2} - W_{D2}}{E_{C2} + W_{C2}} + \frac{E_{D3} - W_{D3}}{E_{C3} + W_{C3}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- η ——能量转换效率；
- E_{Cn} ——第n次循环的充电能量，单位为瓦时(W·h)；
- E_{Dn} ——第n次循环的放电能量，单位为瓦时(W·h)；
- W_{Cn} ——第n次循环充电过程的辅助能耗，单位为瓦时(W·h)；
- W_{Dn} ——第n次循环放电过程的辅助能耗，单位为瓦时(W·h)。

7.13 通信测试

7.13.1 通信基本测试

通过10(6)kV及以上电压等级接入电网的储能系统，在并网状态下，按照GB/T 13729的相关规定执行。

7.13.2 状态与参数测试

储能系统和电网调度机构或用户之间测试的状态与参数至少应包括：

- a) 电气模拟量：并网点的频率、电压、注入电网电流、注入有功功率和无功功率、功率因数、电能质量数据等；
- b) 电能量及荷电状态：可充/可放电量、充电电量、放电电量、荷电状态等；
- c) 状态量：并网点开断设备状态、充放电状态、故障信息、远动终端状态、通信状态、AGC 状态等；
- d) 其他信息：并网调度协议要求的其他信息。