团体标准

发 布

中国电机工程学会

电化学储能系统建模的硬件在环

技术规范

Technical specification for hardware-in-loop testing of electrical energy storage system modeling

（征求意见稿）

T/CSEE XXXX—YYYY

ICS 19.020

CCS K85

20XX—XX—XX发布

20XX—XX—XX实施

目 次

[前 言 II](#_Toc202262616)

[1 范围 3](#_Toc202262617)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc202262618)

[3 术语和定义 3](#_Toc202262619)

[4 总体要求 3](#_Toc202262620)

[5 测试条件 4](#_Toc202262621)

[5.1 测试环境条件 4](#_Toc202262622)

[5.2 测试所需资料 4](#_Toc202262623)

[5.3 待测样品要求 4](#_Toc202262624)

[6 测试平台 4](#_Toc202262625)

[6.1 实时数字仿真器功能要求 4](#_Toc202262626)

[6.2 测试平台功能要求 4](#_Toc202262627)

[7 建模测试 5](#_Toc202262628)

[7.1 故障穿越参数测试 5](#_Toc202262629)

[7.2 电网适应性测试 8](#_Toc202262630)

[8 模型结果验证 10](#_Toc202262631)

[9 建模报告 11](#_Toc202262632)

[附 录 A 12](#_Toc202262633)

[A.1 数据处理 12](#_Toc202262634)

[A.2 扰动过程区段划分 12](#_Toc202262635)

[A.3 偏差计算 12](#_Toc202262636)

[A.4 验证结果评价 13](#_Toc202262637)

前 言

本标准按照《中国电机工程学会团体标准管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电机工程学会提出。

本标准由中国电机工程学会电力储能专业委员会技术归口并解释。

本标准起草单位：国网河南省电力公司电力科学研究院、\*\*\*。

本标准主要起草人（按对标准的贡献大小排列）：\*\*\*。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：http://www.csee.org.cn，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

电化学储能系统建模的硬件在环技术规范

1 范围

本文件规定了用于电力系统机电暂态分析用电化学储能系统建模硬件在环技术要求。

本文件适用于跟网型电化学储能系统的暂态建模与结果验证。

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/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范

GB/T 36547 电化学储能电站接入电网技术规定

GB/T 36548 电化学储能电站接入电网测试规程

GB/T 40581 电力系统安全稳定计算规范

GB 38755 电力系统安全稳定导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

实时数字仿真器 **real time digital simulator**

具备实时数字仿真能力的计算机硬件与软件的总称。

3.2

实时信号接口  **real time signal interface**

实时数字仿真器与实际物理装置的交互接口。

3.3

储能变流器硬件在环测试系统  **hardware in-the-loop testing system for storage system**

实时数字仿真器与储能变流器控制器通过实时信号接口连接，构成数字仿真器模型与储能变流器控制器的闭环系统，并实时交互运行的过程。

4 总体要求

4.1 电化学储能硬件在环实测建模前，应收集储能逆变器资料、编制建模方案，明确测试场景和测试工况；

4.2 测试仪器应经过检定或校准，并在有效期内。

4.3 电化学储能系统硬件在环实测建模的模拟系统运行方式应符合GB/T 40581运行方式安排和GB 38755电网结构的规定。

4.4 电化学储能硬件在环实测建模的测试场景应包含接入点电网的多种运行场景，宜包含极端运行场景。

4.5 电化学储能硬件在环的实测建模的测试工况，应包含GB∕T 36548要求的典型工况，应满足涉网性能验证与模型参数辨识数据的测试工况数量需求。

4.6 电化学储能硬件在环实测建模的测试项目应包括低电压故障穿越、高电压故障穿越、连续故障穿越、电压适应性、频率适应性，辨识参数应包括故障穿越期间的有功电流、无功电流计算表达式系数。

4.7 应按照GB/T 36547、GB/T 34120的要求对低电压故障穿越、高电压故障穿越、电压适应性、频率适应性测试结果进行计算判定，宜与现场测试结果进行比对，并出具测试报告。

5 测试条件

5.1 测试环境条件

测试环境应满足以下要求：

a) 环境温度：-20～50℃；

b) 相对环境湿度：≤90%。

5.2 测试所需资料

测试前应收集以下资料：

a) 储能系统功率电路拓扑及关键元器件参数；

b) 交直流侧电压、电流允许范围；

c) 交直流侧保护参数；

d) 实时数字仿真器与待测控制器之间输入/输出的信号类型、信号来源、信号电平范围和信号变比、通讯协议规约、通讯速率；

e) 控制器生产厂家与型号；

f) 控制器信号通道类型、顺序、所在板卡位置；

g) 低电压穿越/高电压穿越控制逻辑、保护逻辑、参数和软件版本说明。

5.3 待测样品要求

储能变流器控制器样品，应与储能电站储能系统控制器型号、软件版本相同，应具备运行控制与保护算法和程序、模拟信号采样、输出驱动和控制信号的功能， 应具备人机接口及通信接口，并能通过人机交互界面对控制器进行参数设置。

6 测试平台

6.1 实时数字仿真器功能要求

测试平台与待测储能变流器控制器典型连接方式见图1。测试平台应满足以下要求：

a) 实时数字仿真器应满足储能系统测试模型电磁暂态实时仿真的要求；

b) 实时数字仿真器应能配置仿真规模和仿真步长，仿真步长应不大于储能变流器功率器件开关周期的1/50；

c) 实时数字仿真器软件应具备储能系统的功率电路模型图形化构建能力，具备测试数据记录和分析功能；

d) 信号接口应满足储能变流器控制器与实时数字仿真器之间信号传输及交互的要求，应能正确体现传输信号的物理状态，可采用模拟/数字信号连接或者通讯信号连接方式，应满足GB/T 44650中5.2.4实时信号接口要求；

e) 模拟信号接口分辨率、模拟信号输入/输出范围应满足储能系统测试要求；

f) 数字信号接口电平信号应满足储能系统变流器电平要求；

g) 通讯信号接口应能正确体现信号的物理状态，并能正确传输；

h) 信号接口中各通道应相互电气隔离。

6.2 测试平台功能要求

测试平台模型应满足以下要求：

a) 电池模型应具备电网典型工况下的电池运行特性模拟功能；

b) 储能变流器功率电路模型应采用电力电子开关模型，根据实际储能变流器拓扑结构建立，具备储能变流器电气特性和保护特性模拟功能，具备与实时数字仿真器进行信号传输的模拟信号驱动模型和数字信号驱动模型。

c) 测试模型应包括低电压故障发生模型、高电压故障发生模型、电压适应性模拟模型、频率适应性模拟模型。低电压故障发生模型、高电压故障发生模型、电压适应性模拟模型、频率适应性模拟模型的模拟功能应满足GB/T 36548中测试设备功能要求；

d) 电网模型应包括大电网等值模型、箱式变压器模型，应具备电网阻抗特性模拟功能，能够模拟储能变流器接入电网的典型场景；

e) 数据采集模块准确度、采样频率、带宽应满足储能系统电磁暂态仿真要求，其中采样频率不应小于10kHz。

增加相关指标



图 1 储能变流器涉网性能硬件在环测试典型连接示意图

7 建模测试

储能系统建模测试项目应包括故障穿越测试和电网适应性测试，故障穿越测试应包括低电压故障穿越测试、高电压故障穿越测试，电网适应性测试应包括电压适应性测试、频率适应性测试。

7.1 故障穿越参数测试

7.1.1 低电压故障穿越参数测试

储能系统变流器低电压故障穿越硬件在环测试步骤如下：

a) 按照图2建立储能变流器控制器测试的仿真模型，模型中开关S2闭合；

b) 根据储能系统接入电网点运行工况，设置电网模型和参数；

c) 调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能系统模型分别运行在10%～30%、70%～100%、-30%～-10%、-100%～-70%四种工况；

d) 调节低电压故障发生模型进行低电压穿越测试，故障类型应包括三相对称电压故障和三相不对称电压故障，依据图3中曲线设置测试工况，应包含表1中测试工况；

e) 开展储能系统低电压穿越机电暂态模型参数辨识测试时，应包括三相对称电压故障和三相不对称电压故障；

f) 低电压穿越机电暂态模型参数辨识测试，储能系统变流器交流端口电压跌落范围应为0p.u-0.90p.u，电压跌落幅值步长应不大于0.1 p.u；

g) 进入/退出低电压故障穿越参数辨识测试，储能系统变流器交流端口电压跌落范围应为0.750p.u-0.90p.u，电压跌落幅值步长应不大于0.01 p.u；

h) 记录储能系统变流器交流端口正序电压、正序有功电流、正序无功电流、正序有功功率、正序无功功率、负序无功电流、负序电压有效值，至少记录电压跌落前3s到电压恢复正常后6s之间的数据。

注：为储能系统额定功率，为储能系统额定电压。

7.1.2 高电压故障穿越参数测试

储能系统变流器高电压故障穿越硬件在环测试步骤如下：

a) 按照图2建立储能变流器控制器测试的仿真模型，模型中开关S3闭合；

b) 根据储能系统接入电网点运行工况，设置电网模型和参数；

c) 调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能系统模型分别运行在10%～30%、70%～100%、-30%～-10%、-100%～-70%四种工况；

d) 调节高电压故障发生模型进行高电压穿越测试，故障类型应包括三相对称电压故障和三相不对称电压故障，依据图4中曲线设置测试工况，应包含表2中测试工况；

e) 开展储能系统高电压穿越机电暂态模型参数辨识测试时，应包括三相对称电压故障和三相不对称电压故障；

f) 高电压穿越机电暂态模型参数辨识测试，储能系统变流器交流端口电压抬升范围应为1.10p.u-1.30p.u，电压抬升幅值步长应不大于0.05 p.u；

g) 进入/退出高电压故障穿越参数辨识测试，储能系统变流器交流端口电压抬升范围应为1.05p.u-1.15p.u，电压抬升幅值步长应不大于0.01 p.u；

h) 记录储能系统变流器交流端口正序电压、正序有功电流、正序无功电流、正序有功功率、正序无功功率、负序无功电流、负序电压有效值，至少记录电压跌落前3s到电压恢复正常后6s之间的数据。



图 2 测试回路示意图



图3 储能系统低电压穿越要求曲线



图4 储能系统高电压故障穿越要求曲线

表1 储能系统低电压故障穿越测试工况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 残压幅值  p.u. | 故障持续时间  ms | 电压波形 |
| 1 | 0%≤≤5% | 依据图3计算 |  |
| 2 | 20%≤≤25% | 依据图3计算 |  |
| 3 | 25%≤≤50% | 依据图3计算 |  |
| 4 | 50%≤≤75% | 依据图3计算 |  |
| 5 | 75%≤≤90% | 依据图3计算 |  |

表2 储能系统高电压故障穿越测试工况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 残压幅值  p.u. | 故障持续时间  ms | 电压波形 |
| 1 | 110%<<120% | 依据图4计算 |  |
| 2 | 120%<<125% | 依据图4计算 |  |

7.1.3 故障模型参数（邓俊）

a) 电化学储能系统实测建模参数应包括进入/退出高/低电压穿越阈值和电压跌落/升高期间无功电流、有功电流表达式系数。

b)电化学储能系统进入/退出高/低电压穿越阈值包括储能系统进入低电压穿越电压阈值、退出低电压穿越电压阈值、进入高电压穿越电压阈值、退出高电压穿越电压阈值，如表3中第1-第4个参数。

c)跌落/升高期间无功电流、有功电流表达式系数，表示储能系数输出无功电流、有功电流与电压、故障前稳态变量之间的关系系数，如表3中第5-第16个参数。

d)电化学储能系统故障模型参数应考虑不同控制方式。

表3 储能系统机电暂态建模参数列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **参数名称** | **参数含义** | **备注** |
| 1 | VLin | 进入低电压穿越电压阈值 | 电压降低到低于该电压阈值时，控制策略由正常控制方式调整为低电压故障控制方式 |
| 2 | VLout | 退出低电压穿越电压阈值 | 电压升高到高于该电压阈值时，控制策略由低电压故障控制方式调整为正常控制方式 |
| 3 | VHin | 进入高电压穿越电压阈值 | 电压升高到高于该电压阈值时，控制策略由正常控制方式调整为高电压故障控制方式 |
| 4 | VHout | 退出高电压穿越电压阈值 | 电压降低到低于该电压阈值时，控制策略由高电压故障控制方式调整为正常控制方式 |
| 5 | K1\_Iq\_LV | 低电压穿越无功电流控制系数1 | 低电压故障控制方式下，无功电流与机端电压函数之间的系数 |
| 6 | K2\_Iq\_LV | 低电压穿越无功电流控制系数2 | 低电压故障控制方式下，无功电流与故障前无功电流之间的系数 |
| 7 | Iqset\_LV | 低电压穿越无功电流控制常数项系数 | 低电压故障控制方式下，无功电流的修正系数 |
| 8 | K1\_Ip\_LV | 低电压穿越有功电流控制系数1 | 低电压故障控制方式下，有功电流与机端电压函数之间的系数 |
| 9 | K2\_Ip\_LV | 低电压穿越有功电流控制系数2 | 低电压故障控制方式下，有功电流与故障前无功电流之间的系数 |
| 10 | Ipset\_LV | 低电压穿越有功电流控制常数项系数 | 低电压故障控制方式下，有功电流的修正系数 |
| 11 | K1\_Iq\_HV | 高电压穿越无功电流控制系数1 | 高电压故障控制方式下，无功电流与机端电压函数之间的系数 |
| 12 | K2\_Iq\_HV | 高电压穿越无功电流控制系数2 | 高电压故障控制方式下，无功电流与故障前无功电流之间的系数 |
| 13 | Iqset\_HV | 高电压穿越无功电流控制常数项系数 | 高电压故障控制方式下，无功电流的修正系数 |
| 14 | K1\_Ip\_HV | 高电压穿越有功电流控制系数1 | 高电压故障控制方式下，有功电流与机端电压函数之间的系数 |
| 15 | K2\_Ip\_HV | 高电压穿越有功电流控制系数2 | 高电压故障控制方式下，有功电流与故障前无功电流之间的系数 |
| 16 | Ipset\_HV | 高电压穿越有功电流控制常数项系数 | 高电压故障控制方式下，有功电流的修正系数 |

7.2 电网适应性测试

7.2.1 电压适应性参数测试

储能系统变流器电压适应性硬件在环测试步骤如下：

a)按照图2建立储能变流器控制器测试的仿真模型，模型中开关 S4闭合；

b)根据储能系统接入电网点运行工况，设置电网模型和参数；

c)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在20% 放电状态，按照表4设定电压进行测试；

d)调节电压适应性模拟模型参数，使输出电压在标称频率条件下，电压从 分别阶跃至91% 、95% 和99% ，每个电压控制点持续运行至少1min后恢复到 ，记录储能系统测试点电压和功率波形；

e)调节电压适应性模拟模型参数，使输出电压在标称频率条件下，电压从 分别阶跃至101% 、105% 和109% ，每个电压控制点持续运行至少1min后恢复到 ，记录储能系统测试点电压和功率；

f)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在20% 充电工况，重复步骤d) ~ e)；

g)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在80% 放电工况，重复步骤d) ~ e)；

h)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在80% 充电工况，重复步骤d) ~ e)。

7.2.2 频率适应性参数测试

储能系统变流器电网适应性硬件在环测试步骤如下：

a)按照图2建立储能变流器控制器测试的仿真模型，模型中开关S5闭合；

b)根据储能系统接入电网点运行工况，设置电网模型和参数；

c)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在20%放电状态，按照表5设定频率进行测试；

d)调节频率适应性模拟模型参数，模拟电网电压频率变化，输出频率从50Hz分别阶跃至46.45Hz、46.55Hz、47.00Hz、48.45Hz，每个频率控制点持续运行至少1min后恢复到50Hz，记录储能系统模型交流侧频率和功率的波形；

e)调节频率适应性模拟模型参数，模拟电网电压频率变化，输出频率从50Hz分别阶跃至48.55Hz、50.05Hz、50.45Hz，每个频率控制点持续运行至少1min后恢复到50Hz，记录储能系统模型交流侧频率和功率的波形；

f)调节频率适应性模拟模型参数，模拟电网电压频率变化，输出频率从50Hz分别阶跃至50.55Hz、51.00Hz、51.45Hz、51.55Hz，每个频率控制点持续运行至少1min后恢复到50Hz，记录储能系统模型交流侧频率和功率的波形；

g)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在20%充电工况，重复步骤d) ~ f)；

h)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在80%放电工况，重复步骤d) ~ f)；

i)调节仿真模型中电池仿真模块参数，使储能变流器模型运行在80%充电工况，重复步骤d) ~ f)。

表4 电压适应性测试工况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 储能系统运行状态 | 设定电压幅值  p.u. | 持续时间  min | 备注 |
| 1 | 充电  20%、80% | 91% | 1 | 以下各工况至少记录1次 |
| 2 | 95% | 1 |  |
| 3 | 99% | 1 |  |
| 4 | 101% | 1 |  |
| 5 | 105% | 1 |  |
| 6 | 109% | 1 |  |
| 7 | 放电  20%、80% | 91% | 1 | 以下各工况至少记录1次 |
| 8 | 95% | 1 |  |
| 9 | 99% | 1 |  |
| 10 | 101% | 1 |  |
| 11 | 105% | 1 |  |
| 12 | 109% | 1 |  |

表5 频率适应性测试工况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 储能系统运行状态 | 设定频率  Hz | 持续时间  min | 备注 |
| 1 | 充电  20%、80% | 46.45 | 1 | 以下各工况至少记录1次 |
| 2 | 46.55 | 1 |  |
| 3 | 47.00 | 1 |  |
| 4 | 48.45 | 1 |  |
| 5 | 48.55 | 1 |  |
| 6 | 50.05 | 1 |  |
| 7 | 50.45 | 1 |  |
| 8 | 50.55 | 1 |  |
| 9 | 51.00 | 1 |  |
| 10 | 51.45 | 1 |  |
| 11 | 51.55 | 1 |  |
| 18 | 放电  20%、80% | 46.45 | 1 | 以下各工况至少记录1次 |
| 19 | 46.55 | 1 |  |
| 20 | 47.00 | 1 |  |
| 21 | 48.45 | 1 |  |
| 22 | 48.55 | 1 |  |
| 23 | 50.05 | 1 |  |
| 24 | 50.45 | 1 |  |
| 25 | 50.55 | 1 |  |
| 26 | 51.00 | 1 |  |
| 27 | 51.45 | 1 |  |
| 28 | 51.55 | 1 |  |

7.2.3 适应性参数

电化学储能系统实测建模的适应性参数应包括电化学储能系统脱网的过电压值、欠电压值、过频率值、欠频率值。

8 模型结果验证

8.1 储能电站模型验证包括电压、电流、有功功率、无功功率,储能变流器模型验证包括电压和基波正序分量的有功功率、无功功率、有功电流、无功电流；

8.2 模型验证中网侧扰动试验验证过程时间包含扰动发生前2s到扰动消除后有功功率恢复到稳定运行后2s；

8.3 模型验证中控制指令试验验证过程时间包含控制指令下达前2s到功率达到稳定运行后10s；

8.4 仿真数据与试验数据采用相同的量纲、时标，时间序列需同步。

8.5 机电暂态仿真模型仿真测试结果应与数模混合仿真模型测试数据或现场试验数据进行对比，故障穿越响应误差满足附录A的要求。

9 建模报告

电化学储能硬件在环的实测建模报告宜包括以下内容：

a) 储能变流器厂家、型号、结构及参数等；

b) 测试时间、测试单位、测试人员；

c) 测试平台设备计量校准结果；

d) 测试条件与场景；

e) 测试工况与内容；

f) 仿真模型与测试模型测试波形、数据分析结果；

g) 实测模型结论。

附 录 A

A.1 数据处理

A.1.1 通过计算，提取模型仿真数据与试验数据的电压、电流基波正序分量和无功电流分量、有功功率和无功功率。

A.1.2所有数据应采用相同的量纲、时标、分辨率。

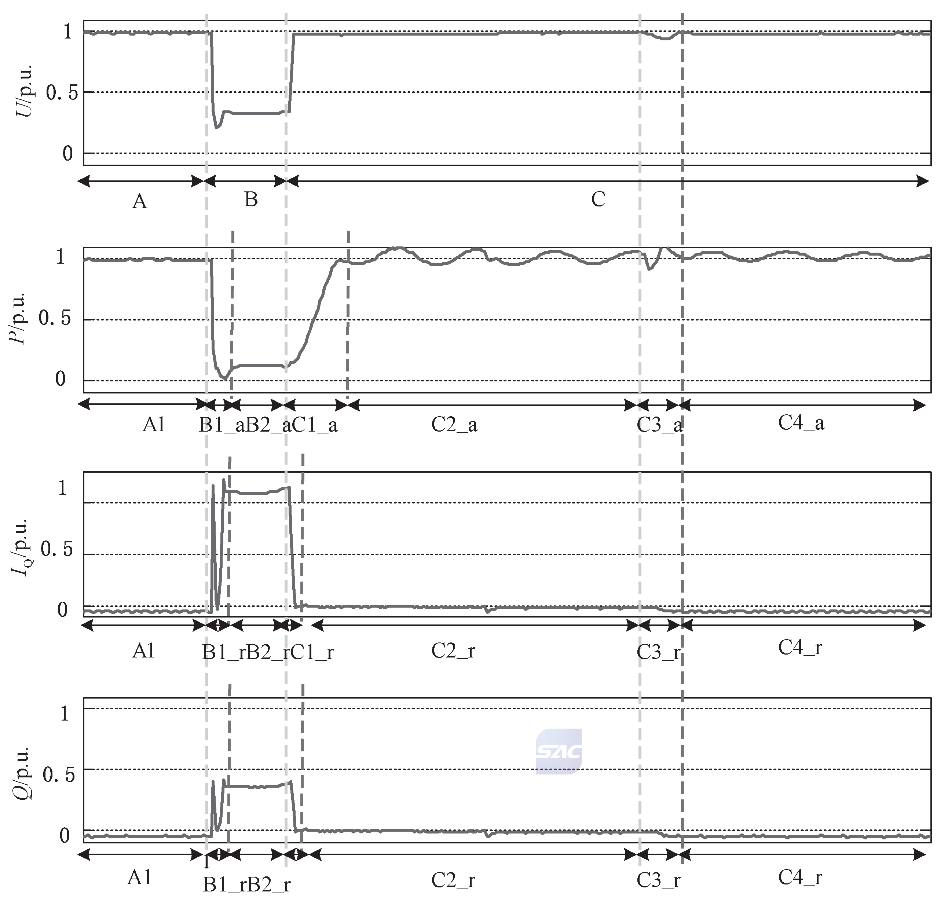
A.1.3 模型仿真数据与试验数据的时间序列应同步。

A.2 扰动过程区段划分

a）以测试电压数据为依据，将试验与仿真的数据序列分为A(扰动前)、B(扰动期间)、C(扰动后)三个时段；

b）电压跌落前1s为A时段开始；电压跌落至0.9*U*n时刻为A时段结束，B时段开始；故障清除的开始时刻为B时段结束、C时段开始；故障清除后，有功功率开始稳定输出后的1s为C时段结束；

c）根据有功功率和无功功率的响应特性，将B、C时段分为暂态区间和稳态区间，其中B时段分为(暂态)和(稳态)区间，C时段分为(暂态)和(稳态)区间，见图A.1。



图A.1 验证过程分区

A.3 偏差计算

A.3.1 通过计算模型仿真数据与试验数据之间的偏差，考核模型的准确程度。仿真与试验偏差计算的电气量包括：电压，电流*I*，无功电流，有功功率P，无功功率Q。

A.3.2 数据区段划分后，应分别计算每个时段暂态和稳态区间的偏差；各时段暂态区间仅计算平均偏差，稳态区间分别计算平均偏差和最大偏差:计算模型仿真与试验数据的加权平均总偏差。

A.3.3 平均偏差与最大偏差计算方法：

a）稳态区间的平均偏差--模型仿真与试验数据在稳态区间内偏差的算术平均值，见式（A.1）。

 （A.1）

式中：

--待考核电气量的模型仿真数据标么值；

--待考核电气量的试验数据的标么值；

、--计算误差区间内模型仿真数据的第一个和最后一个序号；

、--计算误差区间内试验数据的第一个和最后一个号。

b）暂态区间的平均偏差--模型仿真与试验数据在暂态区间内偏差的算术平均值，见式(A.2)。

 （A.2）

c）稳态区间的最大偏差--模型仿真与试验数据在稳态区间的偏差的最大值，见式(A.3)。

 （A.3）

A.3.4将各时段的平均偏差进行加权平均计算，各时段权值：

A(扰动前)：10%；

B(扰动期间) ：60%:

C(扰动后) ：30%。

A.4 验证结果评价

a）所有工况的储能系统升压变高压侧电压各偏差不大于表A.1中的电压偏差最大允许值；

b）所有工况稳态和暂态区间的电流、无功电流、有功功率和无功功率的平均偏差、稳态区间的最b)大偏差以及加权平均总偏差不大于表A.1中的偏差最大允许值；

c）对于两相不对称扰动工况下的模型仿真验证,基波正序分量的最大允许偏差值为表A.1数值的 1.5 倍。

表A.1 允许最大偏差值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 电气参数 | 稳态区间平均偏差允许值（） | 暂态区间平均偏差允许值（） | 稳态区间最大偏差允许值（） | 所有区间加权平均总偏差允许值（） |
| 电压偏差（） | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 电流（） | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.15 |
| 无功电流（） | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.15 |
| 有功功率（） | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.15 |
| 无功电流（） | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.15 |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_