

中华人民共和国国家标准

GB/T 32892—2016



光伏发电系统模型及参数测试规程

Model and parameter test regulation for photovoltaic power system

2016-08-29 发布

2017-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
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 测试条件与资料准备	2
6 模型参数测试	3
7 模型验证试验与仿真	6
8 模型验证结果评价	8
9 模型验证及参数测试报告	9
附录 A (资料性附录) 光伏发电系统模型参数测试用数据格式	11
附录 B (规范性附录) 电网扰动过程区段划分方法	12
附录 C (规范性附录) 有功、无功控制过程区段划分方法	14
附录 D (资料性附录) 模型验证结果	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院。

本标准主要起草人：吴福保、朱凌志、曲立楠、葛路明、陈宁、施涛、赵亮、姜达军、迟永宁、马珂、李琰、张磊、王湘艳、赵大伟、罗芳。



光伏发电系统模型及参数测试规程

1 范围



本标准规定了光伏发电系统机电暂态模型验证及参数测试的技术要求。

本标准适用于通过 10(6)kV 及以上电压等级与公共电网连接的光伏发电系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1207 电磁式电压互感器

GB/T 1208 电流互感器

GB/T 32826 光伏发电系统建模导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏发电系统 photovoltaic(PV) power system

利用光伏电池的光生伏特效应,将太阳辐射能直接转换成电能的发电系统,一般包含变压器、逆变器和光伏方阵,以及相关辅助设施等。

3.2

并网点 point of interconnection

对于有升压站的光伏发电站,指升压站高压侧母线或节点,对于无升压站的光伏发电站,指光伏电站的输出汇总点。

3.3

光伏发电单元 photovoltaic(PV) power unit

光伏发电系统中,一定数量的光伏组件以串并联的方式连接,通过直流汇流箱和直流配电柜多级汇集,经光伏逆变器逆变与隔离升压变压器升压成符合电网频率和电压要求的电源。

3.4

故障穿越 fault ride through

当电力系统事故或扰动引起光伏发电系统并网点电压或频率变化时,在一定的电压、频率变化范围和时间间隔内,光伏电站能够保证不脱网连续运行。

3.5

基波正序分量 positive sequence component of the fundamental

三相系统的基波分量中,三个对称相序分量之一,它存在于对称的和不称的正弦量三相系统中。

注:基波正序分量的复数表达式定义: $\underline{X}_1 = \frac{1}{3}(\underline{X}_{L1} + \alpha \underline{X}_{L2} + \alpha^2 \underline{X}_{L3})$,其中, α 是 120° 运算因子,而 $\underline{X}_{L1}$ 、 $\underline{X}_{L2}$ 和 $\underline{X}_{L3}$

是有关相量的复数表达式,其中 $\underline{X}$ 表示系统电流或电压的相矢量。

3.6

平均偏差 mean deviation

模型验证中,仿真数据与对应试验数据之差算术平均值的绝对值。

3.7

最大偏差 maximum deviation

模型验证中,仿真数据与对应试验数据之差绝对值的最大值。

4 总则

- 4.1 对于不具有模型及参数的光伏发电系统,应首先进行模型参数测试,确定光伏发电系统的模型结构及参数取值。
- 4.2 对于已具有模型及参数的光伏发电系统,应开展模型验证,校核光伏发电系统机电暂态模型的准确性。
- 4.3 光伏发电系统包含多种不同型号逆变器时,应对各种型号逆变器所组成的光伏发电单元分别进行参数测试及模型验证。
- 4.4 光伏发电系统宜具备供第三方进行参数测试及模型验证的设备接口。

5 测试条件与资料准备

- 5.1 光伏发电系统模型参数测试和验证的环境温度应在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度应不超过90%。
- 5.2 光伏发电系统按照有关规定完成安装和并网调试,并提供调试报告。
- 5.3 测量设备包括电压互感器、电流互感器和数据采集装置等。测量设备准确度应至少满足表1的要求,电压互感器应满足GB 1207的要求,电流互感器应满足GB 1208的要求,数据采集装置带宽不应小于100 kHz。

表 1 测量设备准确度要求

设备类型	准确度要求
电压互感器	0.5 级
电流互感器	0.5 级
数据采集装置	0.5 级

- 5.4 测试前,应收集以下资料:
- a) 光伏发电系统一次、二次系统设计报告及图纸;
 - b) 光伏组件、逆变器产品型式试验报告;
 - c) 光伏组件数据:标准测试环境(辐照度 $1\,000\text{ W}/\text{m}^2$,环境温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)下的光伏组件 I - V 特性曲线及其电气性能参数:开路电压、短路电流、最大功率、最大功率点电压、最大功率点电流等,参考附录A;
 - d) 逆变器数据:满载MPPT直流电压范围、最佳MPPT工作点直流电压、直流母线电容、最大直流侧允许电压阶跃量、额定输出功率、网侧额定电压、网侧电压允许范围、功率因数范围、保护参数、桥臂输出滤波等效感抗、逆变器的机电暂态模型及参数。

6 模型参数测试

6.1 一般原则

6.1.1 光伏发电系统模型参数测试包括光伏方阵和逆变器的模型参数测试。

6.1.2 光伏方阵的模型参数测试应在现场开展。

6.1.3 逆变器的模型参数测试应在现场或实验室开展。

6.2 光伏方阵模型参数测试

6.2.1 模型结构

待测试的光伏方阵模型及参数参照 GB/T 32826 的光伏方阵工程应用模型。

6.2.2 测试系统

光伏方阵模型参数测试系统如图 1 所示,光伏方阵通过逆变器连接至电网。

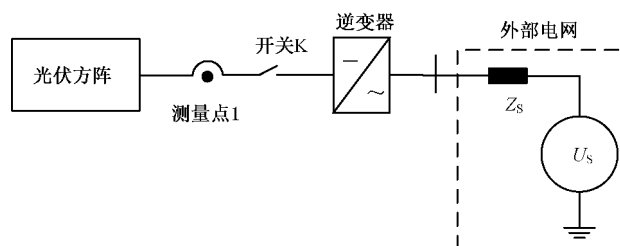


图 1 光伏方阵模型参数测试示意图

6.2.3 测试步骤

光伏方阵模型参数测试步骤如下：

- 测试过程中,太阳辐照度大于 700 W/m^2 ,并记录整个试验过程的太阳辐照度;
- 断开开关 K,监测测量点 1 的电压;
- 闭合开关 K,设定逆变器运行在最大功率跟踪状态,监测测量点 1 的电压、电流;
- 调节逆变器运行在给定有功功率指令工作模式,有功功率控制指令 $P_{\text{ord}} = 0.2 \text{ p.u.}$,至逆变器跟踪有功控制指令稳定后,监测测量点 1 的电压、电流;
- 重复步骤 b)~d), P_{ord} 以 0.1 p.u. 增加至最大功率点功率。

6.2.4 参数拟合

利用 6.2.3 的试验数据,选择合适的拟合方法,对光伏方阵模型的 $I-V$ 特性进行拟合。

6.3 逆变器模型参数测试

6.3.1 测试内容

逆变器模型参数测试包括测试试验和参数辨识两个部分。

6.3.2 模型结构

待测试的逆变器模型结构应满足 GB/T 32826 要求,具体结构可选取 I 型、II 型或 III 型逆变器机电

暂态模型,或由逆变器厂家提供。

6.3.3 测试系统

6.3.3.1 逆变器模型参数测试系统如图 2 所示,逆变器直流侧输入应采用光伏方阵或可控直流电源,逆变器交流侧应与电网扰动装置连接。

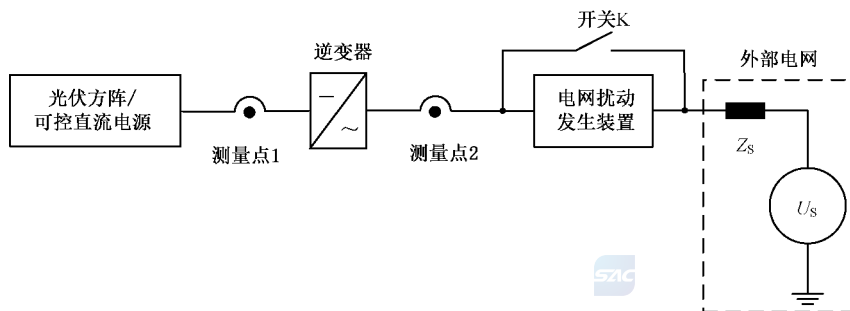


图 2 逆变器模型参数测试示意图

6.3.3.2 可控直流电源应满足下列要求：

- 可控直流电源应能模拟光伏方阵 $I-V$ 特性,且可调整 $I-V$ 特性曲线参数；
- 可控直流电源模拟光伏方阵 $I-V$ 特性曲线,切换时间应小于 20 ms。

6.3.3.3 电网扰动发生装置应满足下列要求：

- 电网扰动发生装置三相短路容量应为被测逆变器额定功率 3 倍以上；
- 电网扰动发生装置应能模拟三相对称电压跌落和两相不对称电压跌落；
- 电网扰动发生装置电压跌落时间与恢复时间均应小于 20 ms。

6.3.4 测试步骤

6.3.4.1 测试试验应包括交流侧小扰动试验、有功控制试验、无功控制试验以及交流侧大扰动试验；当逆变器直流输入采用可控直流电源时,还应进行直流侧扰动试验。

6.3.4.2 交流侧小扰动试验：

- 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$ (P_n 为逆变器额定功率),无功功率 $Q_c \leq 0.1Q_{max}$ 且 $Q_l \leq 0.1Q_{max}$ (Q_{max} 为逆变器最大输出无功功率)；
- 打开开关 K,设置逆变器正常运行交流侧电压为 0.98 p.u.~1.02 p.u.,调节逆变器侧电压跌落至 0.90 p.u.~0.93 p.u.,至逆变器稳定运行后 2 s,恢复逆变器交流侧电压至扰动前电压值,至逆变器稳定运行后 2 s；
- 记录整个试验过程中测量点 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值；
- 保持逆变器正常运行,重复步骤 b)~c),使得扰动期间逆变器交流侧电压范围分别为 0.95 p.u.~0.98 p.u.,1.02 p.u.~1.05 p.u.,1.07 p.u.~1.10 p.u.；
- 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$,容性无功功率 $Q_c \geq 0.5Q_{max}$,重复步骤 b)~d)；
- 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$,感性无功功率 $Q_l \geq 0.5Q_{max}$,重复步骤 b)~d)；
- 保持逆变器正常运行,且输出有功功率范围分别是 $0.5P_n \leq P < 0.7P_n$ 和 $0.1P_n \leq P \leq 0.3P_n$,重复步骤 b)~f)。

6.3.4.3 直流侧扰动试验：

- 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$ ；
- 设置逆变器工作在有功功率控制模式,有功功率控制指令 $P_{ord} = 0.7$ p.u.,重新设置逆变器的

控制方式为最大功率跟踪方式；

- c) 记录整个试验过程中测量点 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值；
- d) 重复步骤 b)~c), $P_{ord}=0.3 \text{ p.u.}$ 。

6.3.4.4 有功控制试验：

- a) 闭合开关 K, 设定逆变器输出无功功率 $Q_C < 0.1Q_{max}$ 且 $Q_L < 0.1Q_{max}$ ；
- b) 按照图 3 的设定曲线控制逆变器有功功率参考值；
- c) 记录整个试验过程中测量点 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值。

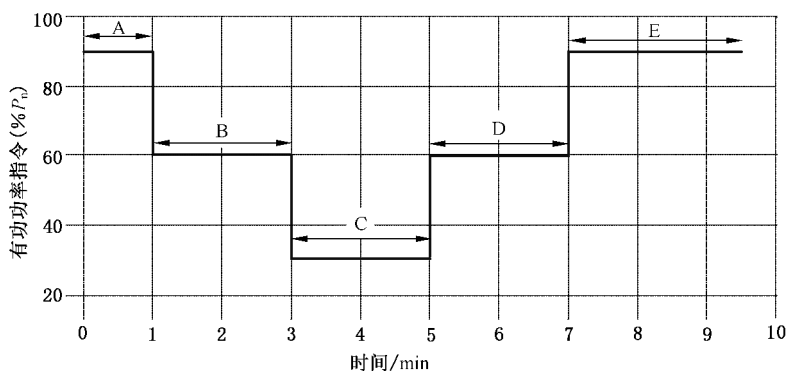


图 3 有功功率控制曲线

6.3.4.5 无功控制试验：

- a) 闭合开关 K, 设定逆变器输出有功功率 $0.5P_n$ ；
- b) 按照图 4 的设定曲线控制逆变器无功功率参考值；
- c) 记录整个试验过程中测量点 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值。

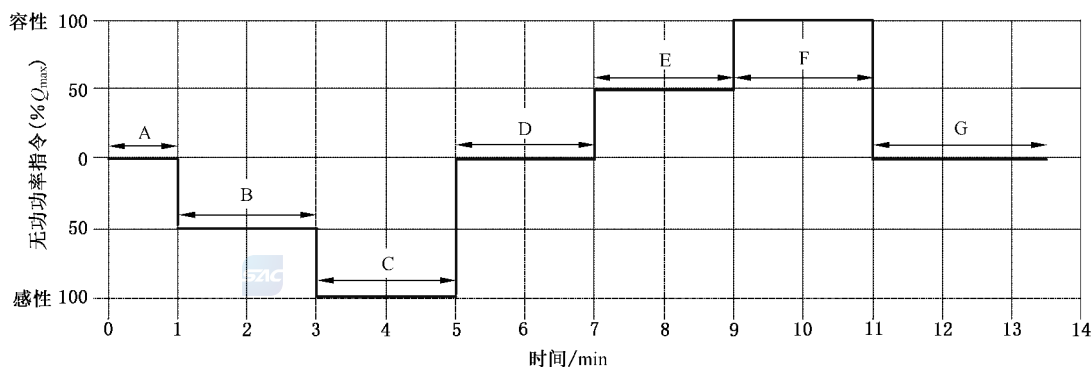


图 4 无功功率控制曲线

6.3.4.6 交流侧大扰动试验：

- a) 保持逆变器正常运行, 且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$, 无功功率 $Q_C \leq 0.1Q_{max}$ 且 $Q_L \leq 0.1Q_{max}$ ；
- b) 设置逆变器正常运行交流侧电压为 $0.98 \text{ p.u.} \sim 1.02 \text{ p.u.}$, 调节逆变器侧电压跌落至 $0 \text{ p.u.} \sim 0.10 \text{ p.u.}$, 持续 0.15 s , 恢复逆变器交流侧电压至扰动前电压值, 至逆变器稳定运行后 2 s ；
- c) 记录整个过程中测量点 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值；
- d) 保持逆变器正常运行, 重复步骤 b)~c), 使得扰动期间逆变器交流侧电压范围分别为 $0.20 \text{ p.u.} \sim 0.30 \text{ p.u.}$, $0.50 \text{ p.u.} \sim 0.60 \text{ p.u.}$, $0.80 \text{ p.u.} \sim 0.90 \text{ p.u.}$, $1.10 \text{ p.u.} \sim 1.15 \text{ p.u.}$ 和 $1.25 \text{ p.u.} \sim 1.30 \text{ p.u.}$, 持续时间分别为 0.6 s , 1.4 s , 1.8 s , 3 s 和 0.5 s ；

- e) 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$,容性无功功率 $Q_C \geq 0.5Q_{\max}$,重复步骤 b)~d);
- f) 保持逆变器正常运行,且输出有功功率 $P \geq 0.7P_n$,感性无功功率 $Q_L \geq 0.5Q_{\max}$,重复步骤 b)~d);
- g) 保持逆变器正常运行,且输出有功功率范围分别是 $0.5P_n \leq P < 0.7P_n$ 和 $0.1P_n \leq P \leq 0.3P_n$,重复步骤 b)~f)。

6.3.5 参数辨识

光伏逆变器模型参数辨识步骤:

- a) I 型逆变器机电暂态模型的电流控制环节参数可按照经验值给出,推荐值:两倍仿真步长;
- b) 选择合适的辨识方法,如最小二乘法,对 I 型、II 型或 III 型逆变器机电暂态模型的控制参数进行辨识,利用 6.3.4.2 的试验数据辨识有功、无功控制环节参数,利用 6.3.4.3 的试验数据辨识最大功率跟踪等效惯性环节参数,利用 6.3.4.4 的试验数据辨识有功控制环节指令等效惯性环节参数,利用 6.3.4.5 的试验数据辨识无功控制环节指令等效惯性环节参数,利用 6.3.4.6 的试验数据拟合故障穿越控制环节参数;
- c) 对于需要辨识的参数,应选取多组合适的试验数据进行辨识,对多组辨识结果加权平均,确定合适的参数值。

7 模型验证试验与仿真

7.1 一般规定

- 7.1.1 光伏发电单元/系统模型验证的考核内容包括电压、电流、无功电流分量、有功功率和无功功率。
- 7.1.2 模型验证试验方法包括网侧扰动试验和有功、无功控制试验。
- 7.1.3 网侧扰动试验的模型验证时间段为:扰动发生前 2 s 到扰动消除后有功功率恢复到稳定运行后 2 s。
- 7.1.4 有功、无功控制试验的模型验证时间段为:控制指令下达前 2 s 到功率达到稳定运行后 10 s。
- 7.1.5 光伏逆变器的模型验证宜参考光伏发电单元的模型验证。

7.2 试验系统

- 7.2.1 模型验证系统应按照图 5 要求进行,试验系统应满足的要求参照 6.3.3 对于电网扰动发生装置的要求。
- 7.2.2 宜通过至少一组电网电压扰动空载试验数据校核电网参数,用于建立试验系统模型。

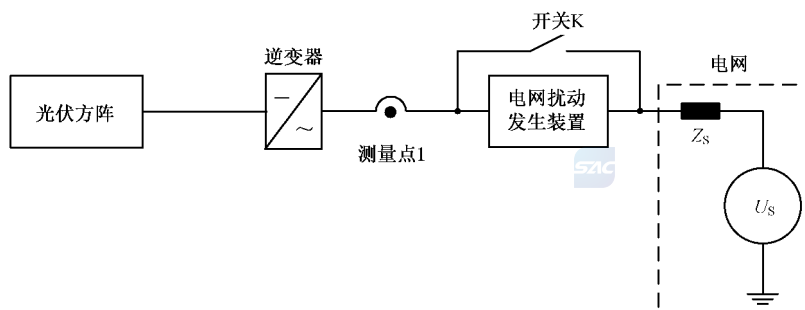


图 5 模型验证试验示意图

7.3 网侧扰动试验

7.3.1 验证工况

7.3.1.1 网侧扰动试验应在以下 3 种有功功率范围内进行：

- a) 大功率输出范围： $P \geq 0.7P_n$ ；
- b) 中间功率输出范围： $0.5P_n \leq P < 0.7P_n$ ；
- c) 小功率输出范围： $0.1P_n \leq P \leq 0.3P_n$ 。

7.3.1.2 网侧扰动试验应在以下三种无功功率范围内进行：

- a) 容性无功输出范围： $Q_c > 0.5Q_{\max}$ ；
- b) 感性无功输出范围： $Q_L > 0.5Q_{\max}$ ；
- c) 无功功率输出小范围： $Q_c < 0.1Q_{\max}$ 且 $Q_L < 0.1Q_{\max}$ 。

7.3.2 试验步骤

模型验证测试步骤如下：

- a) 通过试验系统模拟不同扰动类型(三相对称和两相不对称),使光伏发电单元/系统端电压幅值跌落至 0 p.u.~0.10 p.u.,持续时间为 0.15 s,记录整个过程中测量点 1 的电压、电流瞬时值；
- b) 恢复光伏发电单元电压为扰动前电压值,至光伏发电单元稳定运行 2 s 以上；
- c) 分别设置光伏发电单元电压幅值跌落至 0.20 p.u.~0.30 p.u.,0.50 p.u.~0.60 p.u.和 0.90 p.u.~0.95 p.u.,电压跌落持续时间分别为 0.6 s,1.4 s 和 1.8 s,重复步骤 a)、b)；
- d) 如有其他需要,可增加其他跌落深度的试验和验证。

7.4 有功、无功控制试验

7.4.1 验证工况



7.4.1.1 有功控制试验应在以下 3 种无功功率范围内进行：

- a) 容性无功输出范围： $Q_c > 0.5Q_{\max}$ ；
- b) 感性无功输出范围： $Q_L > 0.5Q_{\max}$ ；
- c) 无功功率输出小范围： $Q_c < 0.1Q_{\max}$ 且 $Q_L < 0.1Q_{\max}$ 。

7.4.1.2 无功控制试验应在以下两种有功功率范围内进行：

- a) 大功率输出范围： $P \geq 0.7P_n$ ；
- b) 中间功率输出范围： $0.5P_n \leq P < 0.7P_n$ 。

7.4.2 试验步骤

7.4.2.1 有功控制：

- a) 闭合开关 K,设定逆变器输出无功功率范围满足 7.4.1.1；
- b) 按照图 3 的设定曲线控制逆变器有功功率参考值；
- c) 记录整个试验过程中 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值。

7.4.2.2 无功控制：

- a) 闭合开关 K,设定逆变器输出有功功率范围满足 7.4.1.2；
- b) 按照图 4 的设定曲线控制逆变器无功功率参考值；
- c) 记录整个试验过程中 1 和测量点 2 的电压、电流瞬时值。

7.5 模型验证仿真

7.5.1 模型验证仿真应采用广泛使用的电力系统分析软件。

7.5.2 模型验证前校核并调整仿真电网参数,包括电压、等效阻抗、短路容量。

7.5.3 依据光伏发电单元实际试验工况,设置模型为本标准规定的验证工况,进行模型仿真,记录光伏发电单元升压变高压侧电压、电流和功率仿真数据。

8 模型验证结果评价

8.1 数据处理

8.1.1 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。

8.1.2 所有数据应采用相同的量纲、时标、分辨率。

8.1.3 模型仿真数据与试验数据的时间序列应同步。

8.2 扰动过程区段划分

8.2.1 网侧电压扰动过程区段划分:

- 根据试验电压数据,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;
- 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 B_1 (暂态)和 B_2 (稳态)区间,C 时段分为 C_1 (暂态)和 C_2 (稳态)区间;
- 数据区段划分方法见附录 B。

8.2.2 有功、无功控制试验扰动过程区段划分:

- 有功、无功控制过程区段划分以控制指令阶跃为划分依据,每个指令应单独进行模型仿真与试验数据对比验证,将试验与仿真的数据序列分为 A(指令阶跃前)、B(指令阶跃后);
- 根据有功、无功功率的响应特性,将 B 时段分为暂态区间 B_1 和稳态区间 B_2 ;
- 数据区段划分方法见附录 C。

8.3 偏差计算

8.3.1 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 U_s ,电流 I ,无功电流 I_Q ,有功功率 P ,无功功率 Q 。

8.3.2 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。

8.3.3 平均偏差与最大偏差计算方法:

- 稳态区间的平均偏差 F_1 ——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(1)。

$$F_1 = \left| \frac{1}{K_{S_End} - K_{S_Start} + 1} \sum_{i=K_{S_Start}}^{K_{S_End}} X_S(i) - \frac{1}{K_{M_End} - K_{M_Start} + 1} \sum_{i=K_{M_Start}}^{K_{M_End}} X_M(i) \right| \cdots \cdots (1)$$

式中:

X_S ——待考核电气量的模型仿真数据标么值;

X_M ——待考核电气量的试验数据的标么值;

K_{S_Start}, K_{S_End} ——计算误差区间内模型仿真数据的第一个和最后一个序号;

K_{M_Start}, K_{M_End} ——计算误差区间内试验数据的第一个和最后一个序号。

- 暂态区间的平均偏差 F_2 ——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(2)。

$$F_2 = \left| \frac{1}{K_{S_End} - K_{S_Start} + 1} \sum_{i=K_{S_Start}}^{K_{S_End}} X_S(i) - \frac{1}{K_{M_End} - K_{M_Start} + 1} \sum_{i=K_{M_Start}}^{K_{M_End}} X_M(i) \right| \cdots \cdots (2)$$

- c) 稳态区间的最大偏差 F_3 ——模型仿真与试验数据在稳态区间的偏差的最大值,见式(3)。

$$F_3 = \max_{i=K_{M_Start} \dots K_{M_End}} (|X_S(i) - X_M(i)|) \dots\dots\dots (3)$$

8.3.4 将各时段的平均偏差进行加权平均计算。

- a) 网侧扰动试验各时段权值:
 A(扰动前):10%;
 B(扰动期间):60%;
 C(扰动后):30%。
 b) 有功、无功控制试验各时段权值:
 A(指令阶跃前):30%;
 B(指令阶跃后):70%。

8.3.5 每个验证工况按照附录 D 的格式记录验证结果。

8.4 验证结果评价

8.4.1 网侧扰动试验,偏差计算结果应满足以下条件:

- a) 所有工况的光伏发电单元升压变高压侧电压各偏差应不大于表 2 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、稳态区间的最大偏差以及加权平均总偏差应不大于表 2 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 2 数值的 1.5 倍。

表 2 允许最大偏差值

电气参数	$F_{1,max}$	$F_{2,max}$	$F_{3,max}$	$F_{G,max}$
电压偏差, $\Delta U_S/U_n$	0.02	0.05	0.05	0.05
电流, $\Delta I/I_n$	0.10	0.20	0.15	0.15
无功电流, $\Delta I_q/I_n$	0.10	0.20	0.15	0.15
有功功率, $\Delta P/P_n$	0.10	0.20	0.15	0.15
无功功率, $\Delta Q/P_n$	0.10	0.20	0.15	0.15
$F_{1,max}$: 稳态区间平均偏差允许值。 $F_{2,max}$: 暂态区间平均偏差允许值。 $F_{3,max}$: 稳态区间最大偏差允许值。 $F_{G,max}$: 所有区间加权平均总偏差允许值。				

8.4.2 有功控制试验,有功功率和电流各项偏差应不大于表 2 中的最大允许偏差。无功控制试验,无功功率和电流各项偏差应不大于表 2 中的最大允许偏差。

9 模型验证及参数测试报告

光伏发电系统模型验证及参数测试报告应包括但不限于以下内容:

- a) 光伏发电系统概况,地理位置,名称,结构,光伏方阵厂家、型号、参数、组装方式,逆变器厂家、型号、结构及参数等。
 b) 测试时间、测试单位。
 c) 测试条件。

- d) 光伏发电系统模型描述。
- e) 光伏发电系统参数测试信息。
- f) 光伏发电系统模型参数辨识。
- g) 光伏发电系统模型验证结果。
- h) 存在问题及处理建议。



附 录 A
(资料性附录)

光伏发电系统模型参数测试用数据格式

测试前,收集资料见表 A.1。

表 A.1 光伏发电单元模型参数测试基本信息

1. 光伏发电单元详细信息																	
光伏方阵制造商																	
光伏方阵型号																	
逆变器制造商																	
逆变器型号																	
单元升压变压器制造商																	
单元升压变压器型号																	
额定功率, P_n/kW																	
额定电压, U_n/V																	
测试光伏发电单元所在地点																	
其他设备(测试附加设备)型号																	
2. 电网信息																	
额定电压, U_n/V																	
短路容量 S_k/MVA																	
阻抗角/阻抗比, $\Psi/(^{\circ})/X/R$																	
3. 测试信息																	
测试序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
测试文件号																	
扰动类型(对称/不对称)																	
跌落持续时间, t/ms																	
电压跌落幅值, U/U_n																	
Z_1 阻抗 (限流阻抗)	R_L/Ω																
	X_L/Ω																
Z_2 阻抗 (短路阻抗)	R_K/Ω																
	X_K/Ω																

附录 B
(规范性附录)
电网扰动过程区段划分方法

B.1 一般规定

在进行偏差计算前,应根据测试数据对扰动前后及扰动期间进行区段划分,以实现对各时段、区间分别计算测试数据与仿真数据的偏差。

B.2 A、B、C 时段判定

B.2.1 以测试电压数据为依据,将测试与仿真的数据序列分为 3 个时段:

- a) A——扰动前;
- b) B——扰动期间;
- c) C——扰动后。

B.2.2 各时段针对有功功率和无功功率测试数据在电压跌落过程中的特性,分为暂态区间和稳态区间,如图 B.1 所示。

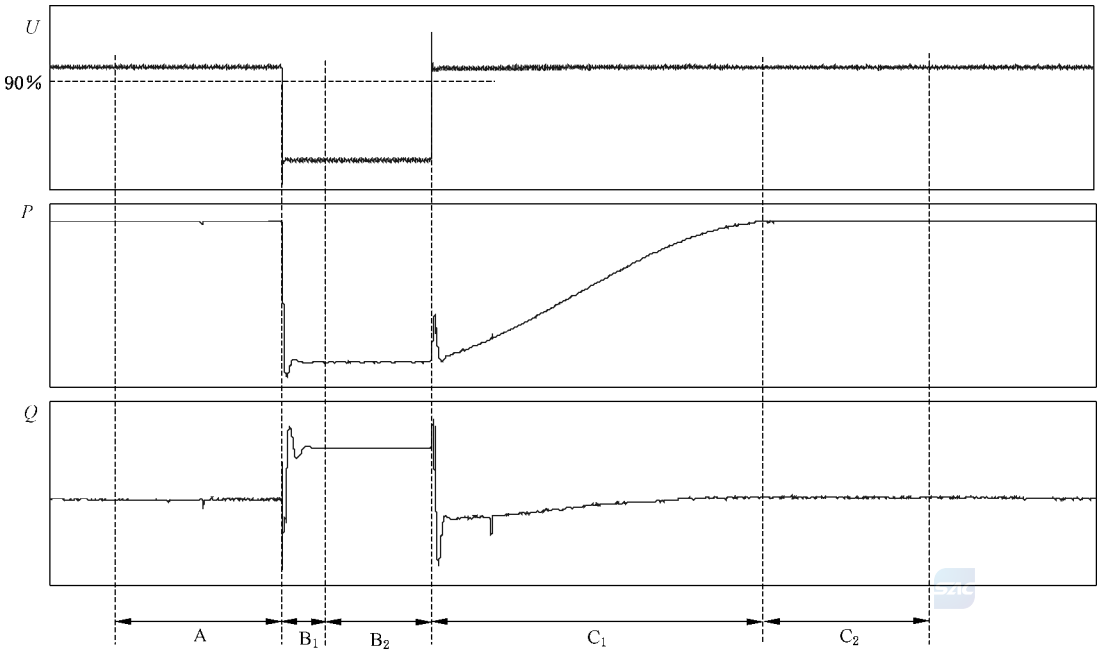


图 B.1 扰动过程区段划分

B.2.3 判定 A、B、C 时段的开始和结束时刻方法如下:

- a) 电压跌落前 2 s 为 A 时段开始;
- b) 电压跌落至 0.9 p.u.时刻的前 20 ms 为 A 时段结束,B 时段开始;
- c) 扰动清除开始时刻的前 20 ms 为 B 时段结束,C 时段开始;
- d) 扰动清除后,光伏发电单元/系统有功功率开始稳定输出后的 2 s 为 C 时段结束。

B.3 暂态和稳态区间判定

B.3.1 A 时段

A 时段为扰动前的时间区间,此时段均为稳态区间,如图 B.1 所示的 A 区间。

B.3.2 B 时段

B 时段分为暂态区间和稳态区间。电压瞬时跌落,功率调节阶段为暂态区间,如图 B.1 中的 B_1 时段;电压跌落后稳定运行为稳态区间,如图 B.1 所示的 B_2 时段。

B.3.3 C 时段

C 时段分为暂态区间和稳态区间。电压瞬时恢复,功率调节阶段为暂态区间,如图 B.1 中的 C_1 时段;恢复后的稳定运行阶段为稳态区间,如图 B.1 所示的 C_2 时段。

B.3.4 B、C 时段暂态区间和稳态区间判定

B、C 时段根据电流、有功功率和无功功率的响应特性,分为暂态区间和稳态区间。暂态区间为电压瞬时大幅波动引起的电流、有功功率和无功功率的波动区间。稳态区间为正常运行和电压波动后稳定运行的区间。暂态开始时刻即为上一稳态结束时刻,暂态结束时刻即为下一稳态开始时刻。对电压波动引起的暂态区间,功率和电流的波动进入该时段平均值的 $\pm 10\%$ 范围内的后 20 ms 为暂态过程的结束。



附 录 C
(规范性附录)
有功、无功控制过程区段划分方法

C.1 一般规定

在进行偏差计算前,应根据测试数据对有功、无功控制过程进行区段划分,以实现对各时段分别计算测试数据与仿真数据的偏差。

C.2 A、B 时段判定

C.2.1 以测试的有功、无功控制指令为依据,将测试与仿真的数据序列分为两个时段:

- a) A——指令阶跃前;
- b) B——指令阶跃后。

C.2.2 各时段针对有功、无功功率测试数据在有功、无功控制过程中的特性,分为暂态和稳态区间,如图 C.1 所示。

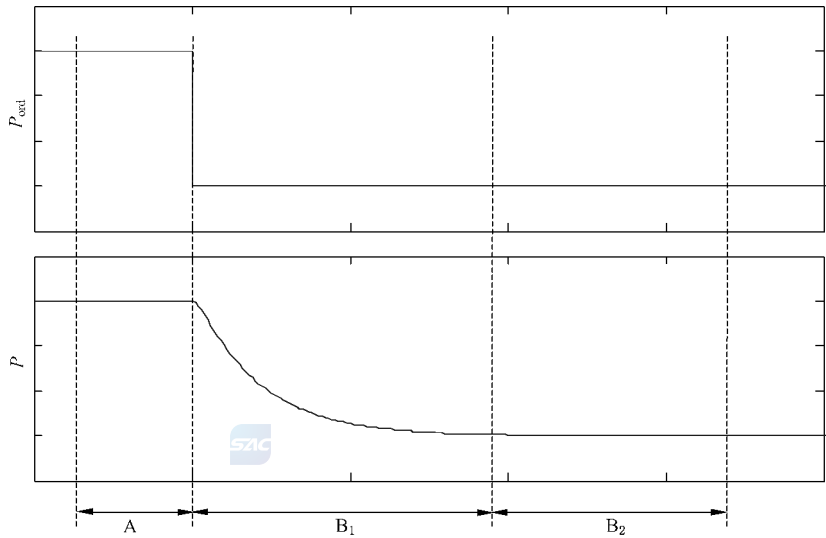


图 C.1 控制过程区段划分

C.2.3 判定 A、B 时段的开始和结束时刻方法如下:

- a) 控制指令阶跃前 2 s 为 A 时段开始;
- b) 控制指令阶跃开始时刻为 A 时段结束,B 时段开始;
- c) 控制指令变化后,光伏发电单元/系统有功、无功功率开始稳定输出后的 10 s 为 B 时段结束。

C.3 暂态区间和稳态区间判定

C.3.1 A 时段

A 时段为控制指令阶跃前的时间区间,此时段均为稳态区间,如图 C.1 中的 A 区间。

C.3.2 B 时段

B 时段分为暂态区间和稳态区间。控制指令阶跃,功率调节阶段为暂态区间,如图 C.1 所示的 B_1 时段;控制调整完成后稳定运行为稳态区间,如图 C.1 所示的 B_2 时段。

C.3.3 B 时段暂态区间和稳态区间判定

B 时段根据电流、有功功率和无功功率的响应特性,分为暂态区间和稳态区间。暂态区间为控制指令阶跃引起的电流、有功功率和无功功率的波动区间。稳态区间为根据控制指令调整完成后稳定运行的区间。暂态开始时刻即为上一稳态结束时刻,暂态结束时刻即为下一稳态开始时刻。对有功、无功控制引起的暂态区间,功率和电流的波动进入该时段平均值的 $\pm 10\%$ 范围内的后 20 ms 为暂态过程的结束。



附录 D
(资料性附录)
模型验证结果

测试数据记录如表 D.1 和表 D.2 所示。

表 D.1 模型验证数据表

区间		测试数据 (p.u.)						仿真数据 (p.u.)						平均偏差						时段平均						权值	稳态最大偏差					
区间名	描述	U	I	I _q	P	Q	U	I	I _q	P	Q	ΔU _{mean}	ΔI _{mean}	ΔI _{q,mean}	ΔP _{mean}	ΔQ _{mean}	F _{U,mean}	F _{I,mean}	F _{Iq,mean}	F _{P,mean}	F _{Q,mean}							ΔU _{max}	ΔI _{max}	ΔI _{q,max}	ΔP _{max}	ΔQ _{max}
A	A ₁																															
	稳态																															
B	B ₁																															
	暂态																															
	B ₂																															
	稳态																															
C	C ₁																															
	暂态																															
	C ₂																															
	稳态																															

表 D.2 模型验证各区间加权偏差值

(A,B,C)区域各变量加权偏差			
$F_{G,U}$		$F_{G,I}$	$F_{G,Iq}$
			$F_{G,P}$
			$F_{G,Q}$