

ICS 29.240

备案号:

Q/GDW

国家电网公司企业标准

Q / GDW 1993 — 2013

光伏发电站模型验证及参数测试规程

Model validation and parameter test regulation for
photovoltaic power station

2014-05-01 发布

2014-05-01 实施

国家电网公司 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	3
5 测试条件与资料准备	3
5.1 测试气象条件	3
5.2 被测光伏电站条件	3
5.3 资料和数据收集	3
6 模型验证原则	3
6.1 基本原则	3
6.2 验证工况	3
7 参数测试方法	4
7.1 参数测试原理图	4
7.2 测试步骤	4
7.3 测试数据	4
7.4 相关数据需求	4
8 模型验证步骤	5
8.1 模型仿真	5
8.2 数据处理	5
8.3 扰动过程分段	5
8.4 偏差计算	5
8.5 验证结果评价	6
9 模型验证及参数测试报告	7
附录 A (资料性附录) 光伏电站模型验证用测试数据格式	8
附录 B (资料性附录) 故障过程分段方法	9
附录 C (资料性附录) 模型验证结果	11
编制说明	13

前 言

本标准用于指导光伏电站机电暂态模型的验证及参数测试，需在广泛使用的电力系统稳定计算程序中进行模型实现与校核。

本标准由国家电网公司国家电力调度控制中心提出并解释。

本标准由国家电网公司科技部归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、浙江省电力公司。

本标准主要起草人：迟永宁、曲立楠、马珂、李琰、陈宁、孙维真、裴哲义、刘纯、施涛、朱凌志、李文峰、倪秋龙、吕宏水、钱敏慧、何国庆、王超、汤海雁、姜达军、葛路明、韩志勇、孙蔚、王真、张占奎、魏林君、张小瑜。

本标准首次发布。

光伏电站模型验证及参数测试规程

1 范围

本标准规定了光伏电站机电暂态模型验证及参数测试的技术要求。

本标准适用于国家电网公司调度管辖范围内的通过 10（6）kV 及以上电压等级与公共电网连接的光伏发电站。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 19964 光伏电站接入电力系统技术规定

Q/GDW 617 光伏电站接入电网技术规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏发电站 photovoltaic (PV) power station

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 (POI)

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 PV generation unit

光伏电站中，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

低电压穿越 low voltage ride through

当电力系统事故或扰动引起光伏发电站并网点电压跌落时，在一定的电压跌落范围和时间间隔内，光伏发电站能够保证不脱网连续运行。

3.5

电压跌落幅值 depth of voltage dip

电压跌落期间线电压最小值与额定值的比值，以标么值或百分比表示。

3.6

稳态区间 steady-state range

光伏发电单元并网运行时，光伏发电单元升压变低压侧（或高压侧）电压不发生瞬时突变，保持稳定运行的过程区间。

3.7

暂态区间 transient-state range

光伏发电单元并网运行时，光伏发电单元升压变低压侧（或高压侧）电压发生瞬时突变，光伏发电单元由一个稳定状态过渡到另一稳定状态的过渡过程区间。

3.8

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对称的正弦量三相系统中，由下列复数表达式定义：

$$\underline{X}_1 = \frac{1}{3}(\underline{X}_{L1} + \alpha \underline{X}_{L2} + \alpha^2 \underline{X}_{L3})$$

式中： 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。

3.9

基波负序分量 negative 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，它仅存在于一个不对称的正弦量三相系统中，由下列复数表达式定义：

$$\underline{X}_2 = \frac{1}{3}(\underline{X}_{L1} + \alpha^2 \underline{X}_{L2} + \alpha \underline{X}_{L3})$$

式中： 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。

3.10

平均偏差 mean deviation

在电气模型验证中，各个仿真数据与测试数据之差的算术平均值。

3.11

最大偏差 maximum deviation

在电气模型验证中，各个仿真数据与测试数据之差的绝对值的最大值。

4 总则

4.1 光伏电站模型验证及参数测试应通过现场实测开展；对于不同类型、不同容量的光伏方阵、逆变器构成的光伏发电单元应分别进行模型验证与参数测试。

4.2 光伏电站应具有供第三方进行模型验证及参数测试的接口，测试时被测光伏电站应安排相关工作人员配合测试实施，当地电网企业、启动调试委员会或业主以及并网主体设备制造商应根据实际情况安排相关工作人员协调配合测试实施。

4.3 光伏逆变器和控制器设置值应以十进制表示，时间常数以秒表示，放大倍数以标么值表示，并说明标么值的基准值确定方法。

5 测试条件与资料准备

5.1 测试气象条件

测试环境：

- a) 环境温度： $-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ；
- b) 环境湿度：不超过 90%。

5.2 被测光伏电站条件

被测光伏电站在进行模型验证及参数测试时，应具备：

- a) 光伏电站硬件和软件按照制造商的说明书和有关标准完成安装和调试;
- b) 光伏电站设计、安装和调试的资料齐全, 具备分项调试合格报告;
- c) 光伏电站各设备调试完成, 能够提交总体调试方案, 并具备总体调试合格报告。

5.3 资料和数据收集

主要包括:

- a) 光伏电站一次、二次系统设计报告;
- b) 光伏方阵、逆变器产品技术鉴定报告。

6 模型验证原则

6.1 基本原则

6.1.1 光伏电站机电暂态模型验证的主要内容为电网电压扰动工况下的模型仿真与测试数据的对比。

6.1.2 光伏电站模型验证的考核量包括电压、电流、无功电流、有功功率和无功功率, 并选取光伏发电单元升压变低压侧(或高压侧)数据开展模型验证。

6.1.3 模型验证时间段为: 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。

6.1.4 基波正序分量的验证应满足本标准要求, 对于不对称故障情况下的基波负序分量的验证可参考本标准。

6.2 验证工况

6.2.1 功率范围

依照光伏电站实际测试的功率范围, 模型验证应分别在以下三种有功功率输出状态下进行。

- a) 大功率输出状态, $P \geq 0.8P_p$, P 为光伏电站的输出有功功率, P_p 为光伏电站峰值功率;
- b) 中间功率等级输出状态, $0.5P_p \leq P \leq 0.7P_p$;
- c) 小功率输出状态, $0.1P_p \leq P \leq 0.3P_p$ 。

6.2.2 故障类型

光伏电站的机电暂态模型验证的工况包括三相对称故障和两相不对称故障。

6.2.3 电压跌落

模型验证中电网电压跌落幅值为 $0+0.05$ 、 0.2 ± 0.05 、 0.6 ± 0.05 、 0.8 ± 0.05 、 $0.95-0.05$ 五种。

6.2.4 其他工况

除 6.2.1、6.2.2 和 6.2.3 条中规定的验证工况外, 为验证光伏电站模型保护模块等仿真功能, 可由模型验证方与模型提交方协商确定其他验证工况。

7 参数测试方法

7.1 参数测试原理图

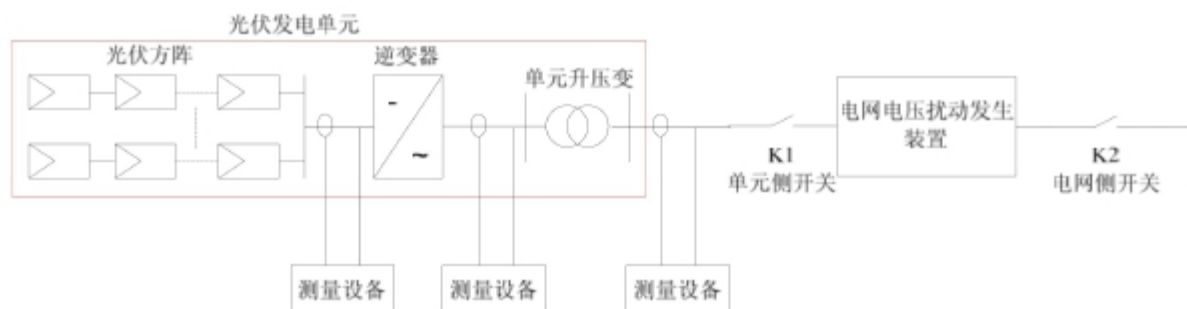


图 1 参数测试测试示意图

7.2 测试步骤

依照 6.2 规定的验证工况设置：

- a) 模型验证测试应选择光伏发电单元出力达到本标准 6.2.1 规定的功率输出范围内进行；
- b) 通过电网电压扰动发生装置模拟不同故障类型（三相对称和两相不对称），并分别设置光伏发电单元升压变低压侧电压幅值为额定电压的 $0+5\%$ 、 $20\%\pm 5\%$ 、 $60\%\pm 5\%$ 、 $80\%\pm 5\%$ 和 $95\%-5\%$ ，电压跌落时间分别为 0.15s、1s、2.14s、2.71s、3s。
- c) 如有其它需要，可增加其它跌落深度的测试和验证。

7.3 测试数据

模型验证应采用按 7.2 的要求进行测试时的测试数据，包括：

- a) 光伏发电单元升压变低压侧（高压侧）有功功率、无功功率、电压、电流；
- b) 测试期间辐照度、温度。

其他附加测试数据，包括光伏阵列直流侧工作电压、电流以及逆变器交流侧桥臂输出电压，可根据对实际测试情况合理验证及调整的需求选取。

7.4 相关数据需求

用于仿真建模的数据包括：

- a) 电网模型数据：电网电压 U_G ；电网等效阻抗 Z_G （包括等效电阻和等效电抗）。建议通过至少一组电网电压扰动空载测试数据校核电网参数。
- b) 光伏方阵数据：标准测试环境（辐照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ ，环境温度 25°C ）下的光伏方阵 IV 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。
- c) 逆变器数据：直流母线启动电压、最低直流母线电压、最高直流母线电压、满载 MPPT 电压范围、最佳 MPPT 工作点电压、最大输入电流、直流母线电容、最大直流侧允许电压阶跃量、额定输出功率、最大输出功率、交流侧额定电压、交流侧电压允许范围、电网额定频率、功率因数范围、保护参数、桥臂输出滤波等效感抗等。

模型验证中需要的测试信息按照附录 A 的格式提供。

8 模型验证步骤

8.1 模型仿真

8.1.1 模型验证前校核并调整电网参数，包括电压、等效阻抗、短路容量。

8.1.2 依据光伏发电单元实际测试工况，设置模型为本标准 6.2 规定的验证工况，进行模型仿真，得到光伏发电单元升压变低压侧（或高压侧）电压、电流和功率仿真结果。

8.2 数据处理

8.2.1 计算测试与仿真数据的线电压、电流、无功电流、有功功率和无功功率的基波正序分量。

8.2.2 为保证测试数据与仿真数据对比的有效性，所有数据应采用相同的量纲，时标，分辨率格式。

8.2.3 测试与仿真数据的时间序列应同步。故障过程分段以测试数据为依据进行。

8.3 扰动过程分段

扰动过程分段以实测电压为依据，将测试与仿真的数据序列分为三个时段，分区方法见附录 B，即：

- a) 根据测试电压数据，将测试与仿真的数据序列分为 A（故障前）、B（故障期间）、C（故障后）三个时段；
- b) 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 B1（暂态）和 B2（稳态）区间，C 时段分为 C1（暂态）、C2（稳态）区间。

8.4 偏差计算

通过计算测试与仿真数据之间的偏差，考核模型的准确程度。测试与仿真偏差计算的电气量包括电压 U 、电流 I 、无功电流 I_Q 、有功功率 P 、无功功率 Q 。

用 X_M 和 X_S 分别表示以上电气量的测试和仿真数据的标么值。相应区间的仿真和测试第一个和最后一个数据的序号分别由 K_{M_Start} 、 K_{S_Start} 和 K_{M_End} 、 K_{S_End} 表示。

扰动过程分段后，对每个时段暂态和稳态区间的偏差分别计算。计算电压、电流、无功电流、有功功率和无功功率的测试与仿真数据偏差，包括平均偏差和最大偏差。其中，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。计算电压仿真数据与测试数据的稳态区间平均绝对偏差。偏差计算方法如下：

a) 稳态区间的平均偏差 F_1

测试数据与仿真数据在稳态区间内平均值的差值见公式 (1)。

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

b) 暂态区间的平均偏差 F_2

测试数据与仿真数据在暂态区间内平均值的差值见公式 (2)。

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

c) 稳态区间的最大偏差 F_3

测试数据与仿真数据在稳态区间的偏差的最大值计算见公式 (3)。

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

d) 加权平均总偏差 F_G

在计算出各区间平均偏差的基础上，计算 A、B、C 各时段总的平均偏差，分别是电压、电流、无功电流、有功功率、无功功率在三个时段平均偏差，以 F_{AV} 、 F_{BV} 、 F_{CV} 、 F_{AI} 、 F_{BI} 、 F_{CI} 、 F_{AIQ} 、 F_{BIQ} 、 F_{CIQ} 、 F_{AP} 、 F_{BP} 、 F_{CP} 、 F_{AQ} 、 F_{BQ} 、 F_{CQ} 表示。

以 B 时段有功功率的偏差 F_{BP} 计算为例，按照公式 (4) 计算如下：

$$F_{BP} = \left| \frac{1}{K_{M_End} - K_{M_Start} + 1} \sum_{i=K_{M_Start}}^{K_{M_End}} P_M(i) - \frac{1}{K_{S_End} - K_{S_Start} + 1} \sum_{i=K_{S_Start}}^{K_{S_End}} P_S(i) \right| \quad (4)$$

将各时段的平均偏差进行加权平均计算，得到电流、无功电流、有功功率和无功功率在整个电网电压扰动验证过程的加权平均总偏差。三个区间的权值分别是：

- 1) A (故障前): 10%
- 2) B (故障期间): 60%
- 3) C (故障后): 30%

以有功功率为例计算加权平均总偏差方法见公式 (5)：

$$F_{PG} = 0.1F_{AP} + 0.6F_{BP} + 0.3F_{CP} \quad (5)$$

每个验证工况按照附录 C 表 C.1 的格式记录验证结果。全部工况验证完成后，按照附录 C 表 C.2 的格式记录验证结果，表中电压跌落幅值根据实际开展模型验证工况选择的电压跌落幅值填写。

8.5 验证结果评价

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低压侧（或高压侧）线电压各偏差不大于表 1 中的电压偏差最

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/247133126024006104>