



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 36994—2018

---

## 风力发电机组 电网适应性测试规程

Wind turbines—Test procedure of grid adaptability

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局  
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 符号 ..... 2

5 基本要求 ..... 2

6 测试内容 ..... 2

    6.1 电压偏差适应性 ..... 2

    6.2 频率偏差适应性 ..... 3

    6.3 三相电压不平衡适应性 ..... 4

    6.4 闪变适应性 ..... 5

    6.5 谐波电压适应性 ..... 5

7 测试设备 ..... 5

    7.1 测试装置 ..... 5

    7.2 测量设备 ..... 6

8 测试程序 ..... 7

    8.1 基本条件 ..... 7

    8.2 空载测试 ..... 7

    8.3 负载测试 ..... 8

9 测试报告内容 ..... 9

    9.1 测试记录数据 ..... 9

    9.2 计算参数指标 ..... 10

    9.3 不确定度 ..... 10

附录 A（资料性附录） 响应时间判定与计算 ..... 11

附录 B（资料性附录） 报告格式样本 ..... 12

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会(SAC/TC 50)归口。

本标准起草单位:中国电力科学研究院有限公司、国家电网公司、浙江运达风电股份有限公司、山东中车风电有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、新疆金风科技股份有限公司、科诺伟业风电设备(北京)有限公司、深圳市禾望电气股份有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部、国网山东省电力公司电力科学研究院、阳光电源股份有限公司。

本标准主要起草人:秦世耀、王瑞明、和青、李少林、许国东、马珂、陈晨、赵磊、梁志峰、韩花丽、乔元、孙树敏、李广磊、李海东、周党生、高首聪、代林旺、于雪松、黄远彦、唐彬伟、徐婷、毕然、杨靖、刘一星、张雷、吴玉杨、赵奉斌、李东坡、黄成彦、臧晓笛、周俭节。

# 风力发电机组 电网适应性测试规程

## 1 范围

本标准规定了风力发电机组(以下简称风电机组)电网适应性测试的测试内容、测试设备、测试程序和测试报告内容。

本标准适用于并网型风电机组。

## 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 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 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 19963 风电场接入电力系统技术规定
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**风电机组电网适应性** **grid adaptability of wind turbine**

风电机组在电网电压偏差、频率偏差、三相电压不平衡、电压波动和闪变、谐波电压情况下的响应特性。

### 3.2

**并网点/测试点** **point of connection of wind turbine/point of test of wind turbine**

电压或频率变化的产生点,为电网扰动发生装置与风电机组升压变压器高压侧的连接点。

### 3.3

**空载测试** **no-load testing**

风电机组与电网断开的情况下,测试装置在测试点产生电压或频率变化的测试。

### 3.4

**负载测试** **on-load testing**

风电机组并网运行的情况下,测试装置在测试点产生电压或频率变化的测试。

### 3.5

**风电机组惯量响应** **inertia response of wind turbine**

电网频率突变后,风电机组有功出力随时间变化的特性,简称惯量响应。

## 3.6

有功调频系数 active power-frequency regulation coefficient

 $K_f$ 

系统频率波动时,风电机组有功功率变化量标么值(以风电机组额定功率为基准值)与系统频率变化量标么值(以系统额定频率为基准值)的比值。计算方法如式(1)所示。

$$K_f = -\frac{\Delta P / P_n}{\Delta f / f_n} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\Delta P$ ——风电机组输出有功功率的变化量,单位为千瓦(kW);

$P_n$ ——风电机组额定功率,单位为千瓦(kW);

$\Delta f$ ——系统频率的变化量,单位为赫兹(Hz);

$f_n$ ——系统额定频率,单位为赫兹(Hz)。

## 4 符号

下列符号适用于本文件。

$K_f$ :有功调频系数。

$K_{f1}$ :有功上调系数。

$K_{f2}$ :有功下调系数。

$\Delta f$ :系统频率的变化量。

$F$ :风电机组并网点实际频率。

$f_n$ :系统额定频率。

$\Delta P$ :风电机组输出有功功率的变化量。

$P$ :风电机组实际出力。

$P_n$ :风电机组额定功率。

$P_{lt}$ :长时间闪变系数。

$P_{st}$ :短时间闪变系数。

## 5 基本要求

5.1 风电机组电网适应性依据 GB/T 19963 的规定,包括:电压偏差适应性、频率偏差适应性、三相电压不平衡适应性、闪变适应性和谐波电压适应性。

5.2 测试结果仅对特定配置的被测风电机组有效。其他机组配置,包括改变控制参数会导致测试结果发生变化,需要另行评估。

## 6 测试内容

## 6.1 电压偏差适应性

利用测试装置在测试点产生要求的电压偏差,当测试点的供电电压偏差在 GB/T 12325 规定的限值范围内时,风电机组应能正常运行。风电机组电压偏差适应性测试内容如表 1 所示。

表 1 风电机组电压偏差适应性测试内容

电压设定值/p.u.	持续时间/min
0.90	30
1.10	30

6.2 频率偏差适应性

6.2.1 风电机组正常运行且不参与系统调频时,利用测试装置在测试点产生要求的频率偏差,当测试点的频率在 48.0 Hz~51.5 Hz 范围内,风电机组应能正常运行。风电机组频率耐受能力测试内容如表 2 所示。

表 2 风电机组频率耐受能力测试内容

频率范围/Hz	频率设定值/Hz	持续时间/min
48~51.5	48	30
	51.5	30

6.2.2 风电机组正常运行且有功出力大于 20% $P_n$ 时,当测试点频率变化率超过阈值(推荐 0.3 Hz/s),风电机组应能响应于系统的频率变化率。风电机组有功出力分别在  $0.2P_n \leq P \leq 0.5P_n$  和  $P > 0.9P_n$  范围内时,测试风电机组对系统频率快速变化的响应特性,测试内容见表 3。惯量响应测试中,风电机组应满足以下要求:

- a) 有功响应时间应不大于 500 ms(响应时间的判定与计算参见附录 A),最大可用有功调节量不宜小于 10% $P_n$ ;
- b) 功率恢复过程中,有功功率最小值(或最大值)与频率变化前有功功率之差不宜大于 5% $P_n$ ;
- c) 功率控制误差不应超过  $\pm 2\%P_n$ ,频率变化时惯量响应示意图如图 1 所示。

表 3 风电机组惯量响应特性测试内容

序号	频率设定值 /Hz	频率变化率 /(Hz/s)	频率变化波形
1	48	0.1	
2		0.5	
3	51.5	0.1	
4		0.5	

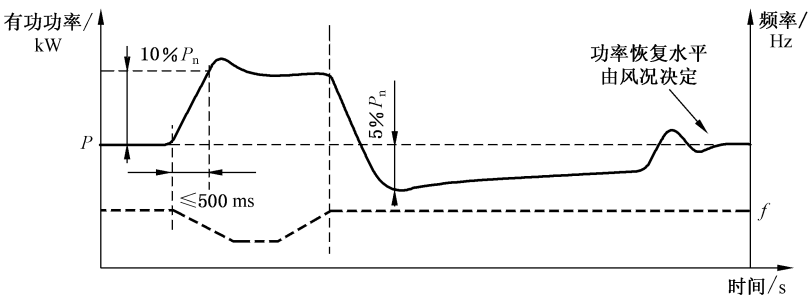


图 1 惯量响应示意图

6.2.3 风电机组运行在限功率调频工况且有功出力大于 20% $P_n$ 时,当测试点的频率偏差超过阈值(推

荐±0.2 Hz),风电机组应能参与系统调频,支撑系统频率恢复:

- a) 当系统频率下降时,风电机组应根据调频曲线快速增加有功输出,增加至目标值或有功上限(最大技术出力);
- b) 当系统频率上升时,风电机组应根据调频曲线快速减小有功输出,减小至目标值或有功下限(最小技术出力);
- c) 系统频率恢复后,风电机组有功输出不应低于故障前的出力水平;
- d) 机组有功功率调节控制误差不应超过±2% $P_n$ ,响应时间不应大于5 s;
- e)  $K_f$ 宜在5~20 范围内,推荐  $K_{f1}$  为 10, $K_{f2}$  为 20,风电机组调频示例曲线如图 2 所示,其中  $f$ 、 $K_{f1}$ 、 $K_{f2}$  均可设置,调频特性测试内容见表 4。

6.2.4 风电机组惯量响应和调频应能远程与就地的使能、关闭,风电场调频指令优先级高于机组级频率调节指令。

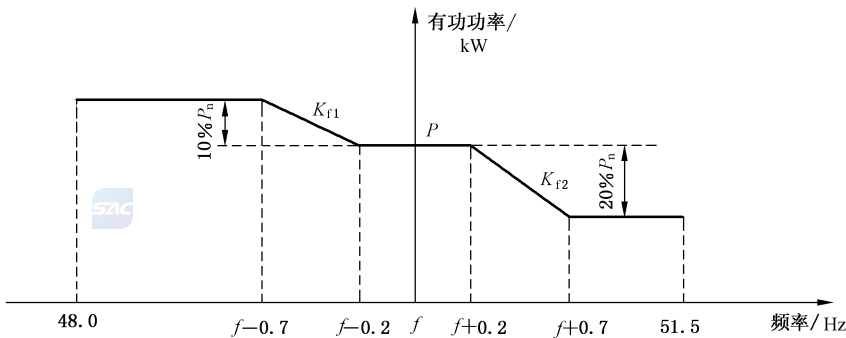


图 2 风电机组调频示例曲线

表 4 风电机组调频特性测试内容

序号	频率设定值 /Hz	持续时间 /s	频率变化波形
1	48.0	30	
2	48.5	30	
3	49.5	30	
4	49.9	30	
5	50.1	30	
6	50.5	30	
7	51.5	30	

6.3 三相电压不平衡适应性

6.3.1 本标准规定的三相电压不平衡为负序电压不平衡。

6.3.2 利用测试装置在测试点产生要求的三相电压不平衡,当测试点的三相电压不平衡度在 GB/T 15543

规定的限值范围内时,风电机组应能正常运行。风电机组三相电压不平衡适应性测试内容如表 5 所示。

6.3.3 风电机组出力大于 50% $P_n$ 时,测试过程中电流不平衡度应小于 5%。

表 5 风电机组三相电压不平衡适应性测试内容

三相电压不平衡度设定值/%	持续时间/min
2.0	30
4.0	1

6.4 闪变适应性

6.4.1 利用测试装置在测试点产生要求的电压波动和闪变,当测试点的闪变值在 GB/T 12326 规定的限值范围内时,风电机组应能正常运行。

6.4.2 风电机组闪变适应性测试内容应符合 GB/T 12326 的规定,当测试点标称电压不大于 110 kV 时,确保测试点长时间闪变值  $P_{lt}$  不小于 1;当测试点标称电压大于 110 kV 时,确保测试点长时间闪变值  $P_{lt}$  不小于 0.8。风电机组闪变适应性测试内容如表 6 所示。

表 6 风电机组闪变适应性测试内容

电压等级/kV	长时间闪变值 $P_{lt}$	持续时间/min
$\leq 110$	1.0	10
$> 110$	0.8	10

6.5 谐波电压适应性

6.5.1 利用测试装置在测试点产生要求的间谐波、谐波,当测试点的间谐波、谐波电压分别在 GB/T 24337 和 GB/T 14549 规定的限值范围内时,风电机组应能正常运行。

6.5.2 风电机组间谐波电压适应性测试内容应符合 GB/T 24337 的规定,以各间谐波电压含有率进行考核:分别以频率为  $5n$  Hz( $n$  为整数且  $1 \leq n \leq 19$ )的间谐波电压含有率考核,利用测试装置设置各间谐波电压含有率,各间谐波电压下测试时间至少持续 2 min。

6.5.3 风电机组谐波电压适应性测试内容应符合 GB/T 14549 的规定,以各次谐波电压含有率进行考核:

- a) 利用测试装置设置奇次谐波含有率,各次谐波下测试时间至少持续 2 min;
- b) 利用测试装置设置偶次谐波含有率,各次谐波下测试时间至少持续 2 min。

7 测试设备

7.1 测试装置

7.1.1 利用测试装置产生电压偏差、频率偏差、频率变化率、三相电压不平衡、电压波动和闪变、谐波电压,为电网适应性测试提供条件,风电机组电网适应性测试的测试点位于风电机组升压变压器的高压侧。测试时推荐采用如图 3 所示的测试装置,该装置主要由低频扰动装置和高频扰动装置组成,其中低频扰动装置可产生测试要求的电压偏差、频率偏差、频率变化率、三相电压不平衡、电压波动和闪变,高频扰动装置可产生测试要求的间谐波、谐波电压。

7.1.2 测试报告中应有关于测试装置的详细说明。



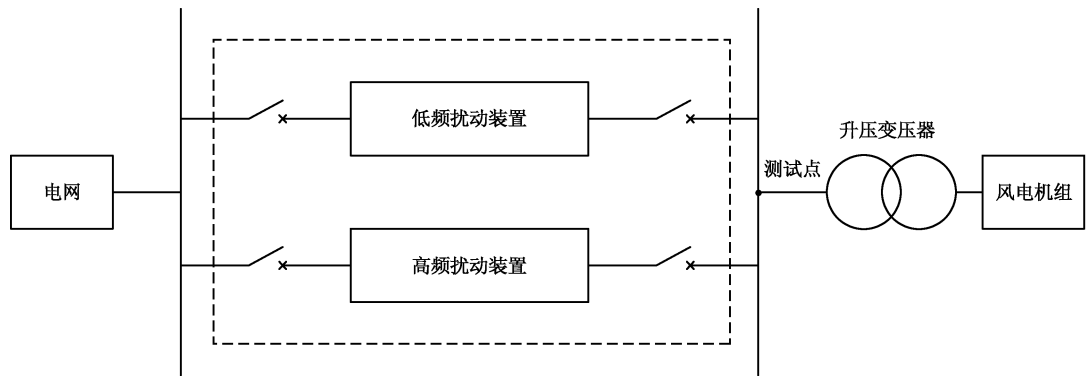


图 3 推荐测试装置示意图

7.1.3 测试装置的运行条件和主要技术指标应满足：

- a) 测试装置的额定容量不小于被测风电机组的额定容量；
- b) 测试装置接入电网产生的影响应在 GB/T 12325、GB/T 12326、GB/T 14549、GB/T 15543 与 GB/T 24337 允许的范围内；
- c) 测试装置空载测试时输出的电压偏差、频率偏差、三相电压不平衡、电压波动和闪变及谐波电压等性能指标与负载测试时的最大允许偏差见表 7；
- d) 电压偏差调节范围不小于 6.1 规定的电压偏差范围，电压输出步长不大于  $1\%U_n$ ；
- e) 频率偏差及变化率调节范围不小于 6.2 规定的变化范围，频率输出步长不大于 0.1 Hz，频率变化率输出步长不大于 0.1 Hz/s；
- f) 三相电压不平衡度不小于 6.3 规定的三相电压不平衡度范围，且幅值或相位可调，三相电压不平衡度输出步长不大于 0.1%；
- g) 电压闪变输出能力应覆盖 6.4 规定的测试内容；
- h) 谐波电压输出能力应覆盖 6.5 规定的测试内容。

表 7 风电机组电网适应性测试装置性能指标与负载测试输出性能指标最大允许偏差

序号	测试内容	性能指标	最大允许偏差
1	电压偏差适应性	线电压有效值	$\pm 1\% U_n$
2	频率偏差适应性	频率偏差	$\pm 0.1 \text{ Hz}$
		频率变化率	$\pm 0.1 \text{ Hz/s}$
3	三相电压不平衡适应性	三相电压不平衡度	$\pm 0.5\%$
4	闪变适应性	短时间闪变值 $P_{st}$	$\pm 0.5$
5	谐波电压适应性	电压谐波畸变率	$\pm 0.5\%$

7.2 测量设备

- 7.2.1 测量设备包括电压互感器、电流互感器、数据采集系统等设备。
- 7.2.2 数据采集系统用于测试数据的记录、计算及保存。测量设备每个通道采样率最小为 6.4 kHz，分辨率至少为 16 bit。表 8 为测量设备精度的最低要求。
- 7.2.3 风速信号可从风电机组实时获取，更新频率应不小于 1 Hz。

表 8 风电机组电网适应性测试中测量设备精度要求

测量设备	准确度等级
电压互感器	0.2 级
电流互感器	0.5 级
数据采集系统	0.2 级

8 测试程序

8.1 基本条件

风电机组电网适应性测试开始前,需对测试设备进行空载测试,若测试设备满足性能指标要求,则可开展负载测试。

8.2 空载测试

8.2.1 电压偏差适应性

在风电机组与电网断开的情况下,调节测试装置输出电压从 0.9 p.u.至 1.1 p.u.,电压调整的步长为额定电压的 1%,每个步长应至少持续 5 s,记录每次调整时电压实测值和对应的调整参数。

8.2.2 频率偏差适应性

在风电机组与电网断开的情况下:

- a) 调节测试装置输出频率从 48 Hz 至 51.5 Hz,频率调整的步长为 0.1 Hz,每个步长应至少持续 5 s,记录每次调整时频率实测值和对应的调整参数。
- b) 调节测试装置输出频率从 50 Hz 开始,按表 3 中的内容,分别以 0.1 Hz/s、0.5 Hz/s 的变化率变化至 51.5 Hz,频率稳定后保持时间不小于 10 s,然后以相同的变化率恢复至 50 Hz;重复上述过程,将频率从 50 Hz 调整至 48 Hz,然后恢复至 50 Hz,记录每次调整时频率实测值和对应的调整参数。
- c) 调节测试装置输出频率从额定频率开始阶跃至表 4 中规定的频率值,每个频率设定值应至少持续 5 s,记录每次调整时频率实测值和对应的调整参数。

8.2.3 三相电压不平衡适应性

在风电机组与电网断开的情况下,通过调整电压幅值或相位使三相电压不平衡度至指定值,符合 6.3 三相电压不平衡适应性测试内容要求,记录每次调整时三相电压不平衡度实测值和对应的调整参数。

8.2.4 闪变适应性

在风电机组与电网断开的情况下,调节测试装置输出闪变值至指定值,符合 6.4 闪变适应性测试内容要求,记录每次调整时短时间闪变值  $P_{st}$  的实测值和对应的调整参数。

8.2.5 谐波电压适应性

在风电机组与电网断开的情况下,调节测试装置输出各间谐波电压含有率、各次谐波电压含有率至指定值,符合 6.5 谐波电压适应性测试内容要求,分别记录每次调整时各间谐波电压含有率、各次谐波电压含有率实测值和对应的调整参数。

### 8.3 负载测试

#### 8.3.1 电压偏差适应性

测试时各电压设定值对应的调整参数应与空载测试时保持一致。风电机组设定为单位功率因数控制,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 10% 以上。测试时采用以下步骤:

- a) 在额定频率条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置从额定电压开始以额定电压的 1% 为步长逐步升高电压,每个步长应至少持续 20 s,当电压升至 1.10 p.u.时,该点测试持续时间应不小于 30 min。测试过程中,若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- b) 在额定频率条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置从额定电压开始以额定电压的 1% 为步长逐步降低电压,每个步长应至少持续 20 s,当电压降至 0.90 p.u.时,该点测试持续时间应不小于 30 min。测试过程中,若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- c) 参照表 B.5 记录测试结果。

#### 8.3.2 频率偏差适应性

测试时各频率设定值对应的调整参数应与空载测试时保持一致,风电机组应设定为单位功率因数控制。测试分以下 3 部分进行:

- a) 风电机组正常运行且不参与系统调频,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 10% 以上,测试采用以下步骤:
  - 1) 在额定电压条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置从额定频率开始以 0.1 Hz 为步长逐步升高频率,每个步长应至少持续 20 s,当频率升至 51.5 Hz 时,该点测试持续时间应不小于 30 min。测试过程中,若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
  - 2) 在额定电压条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置从额定频率开始以 0.1 Hz 为步长逐步降低频率,每个步长应至少持续 20 s,当频率降至 48 Hz 时,该点测试持续时间应不小于 30 min。测试过程中,若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
  - 3) 参照表 B.6 记录测试结果。
- b) 风电机组正常运行,有功出力分别在  $0.2P_n \leq P \leq 0.5P_n$  和  $P > 0.9P_n$  范围内时,测试风电机组惯量响应特性,测试采用以下步骤:
  - 1) 在额定电压条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置输出频率从 50 Hz 开始,按表 3 中的内容,分别以 0.1 Hz/s、0.5 Hz/s 的变化率变化至 51.5 Hz,频率稳定后保持测试时间不小于 10 s,以相同频率变化率恢复至额定值后,保持测试时间不小于 10 s。测试过程中,记录风电机组是否脱网。
  - 2) 在额定电压条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置输出频率从 50 Hz 开始,按表 3 中的内容,分别以 0.1 Hz/s、0.5 Hz/s 的变化率变化至 48 Hz,频率稳定后保持测试时间不小于 10 s,以相同频率变化率恢复至额定值后,保持测试时间不小于 10 s。测试过程中,记录风电机组是否脱网。
  - 3) 参照表 B.7 记录测试结果。
- c) 风电机组运行在限功率调频工况,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 20% 以上,测试采用以下步骤:
  - 1) 在额定电压条件下,调节测试装置输出频率由额定值阶跃至表 4 中频率值,频率保持时间应不小于 30 s,频率恢复至额定值后,保持测试时间不小于 10 s。测试过程中,记录风电机组是否脱网。

- 2) 在额定电压条件下,按照表 4 中频率点,逐个设置测试装置输出频率,重复过程 a)。
- 3) 参照表 B.8 记录测试结果。

### 8.3.3 三相电压不平衡适应性

测试时三相电压不平衡度设定值对应的调整参数应与空载测试时保持一致。风电机组设定为单位功率因数控制,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 50% 以上。测试时采用以下步骤:

- a) 在额定电压和额定频率条件下保持风电机组正常运行,调节测试装置使其输出负序电压不平衡度为 2.0%,该点测试持续时间不小于 30 min;继续调节测试装置使其输出负序电压不平衡度为 4.0%,该点测试持续时间不小于 1 min。测试过程中,若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- b) 参照表 B.9 记录测试结果。

### 8.3.4 闪变适应性

测试时闪变设定值对应的调整参数应与空载测试时保持一致。风电机组设定为单位功率因数控制,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 30% 以上。测试时采用以下步骤:

- a) 在额定电压和额定频率条件下保持机组正常运行,设定与空载测试时相同的调整参数,持续 10 min 后若风电机组未脱网则停止测试;若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- b) 参照表 B.10 记录测试结果。

### 8.3.5 谐波电压适应性

测试时各间谐波电压含有率、各次谐波电压含有率对应的调整参数应与空载测试时保持一致。风电机组设定为单位功率因数控制,测试过程中风电机组有功功率输出应在额定功率的 30% 以上。测试时采用以下步骤:

- a) 在额定电压和额定频率条件下保持机组正常运行。
- b) 设定调整参数为空载测试时 5 Hz 间谐波电压含有率设定值所对应的调整参数,持续 2 min 后若风电机组未脱网则停止测试;若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- c) 间谐波电压适应性测试方法与 b) 相同。
- d) 恢复电压和频率为额定条件并保持机组正常运行,设置调整参数为空载测试时第 3 次谐波含有率设定值所对应的调整参数,持续 2 min 后若风电机组未脱网则停止测试;若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- e) 奇次谐波电压适应性测试方法与 d) 相同。
- f) 恢复电压和频率为额定条件并保持机组正常运行,设置调整参数为空载测试时第 2 次谐波含有率设定值所对应的调整参数,持续 2 min 后若风电机组未脱网则停止测试;若风电机组脱网,记录测试持续时间和风电机组脱网时间。
- g) 偶次谐波电压适应性测试方法与 f) 相同;
- h) 参照表 B.11、表 B.12、表 B.13 记录测试结果。

## 9 测试报告内容

### 9.1 测试记录数据

在开展各项测试前,应确保风电机组处于正常运行状态。测试过程中应采集并记录风电机组连续

运行状态下的数据,至少包括以下基本测试数据[其中 f) 为参考信息]:

- a) 风电机组升压变压器高压侧三相电压、电流、频率;
- b) 风电机组升压变压器低压侧三相电压、电流、频率;
- c) 测试时间及风电机组的运行状态;
- d) 发电机转速;
- e) 桨距角;
- f) 风速。

## 9.2 计算参数指标

9.2.1 对应不同的测试内容,根据基础测试数据至少计算得到以下参数指标:

- a) 电压偏差适应性测试,计算线电压有效值;
- b) 频率偏差适应性测试,计算频率、频率变化率、有功功率及有功调节的响应时间;
- c) 三相电压不平衡适应性测试,计算三相电压不平衡度、电流不平衡度;
- d) 闪变适应性测试,计算相电压短时间闪变值  $P_{st}$ ;
- e) 谐波电压适应性,计算相各间谐波电压含有率、各次谐波电压含有率。

9.2.2 以上计算参数指标内容应由图表方式给出,测试报告中应给出测试结果汇总信息,测试报告格式参见附录 B。

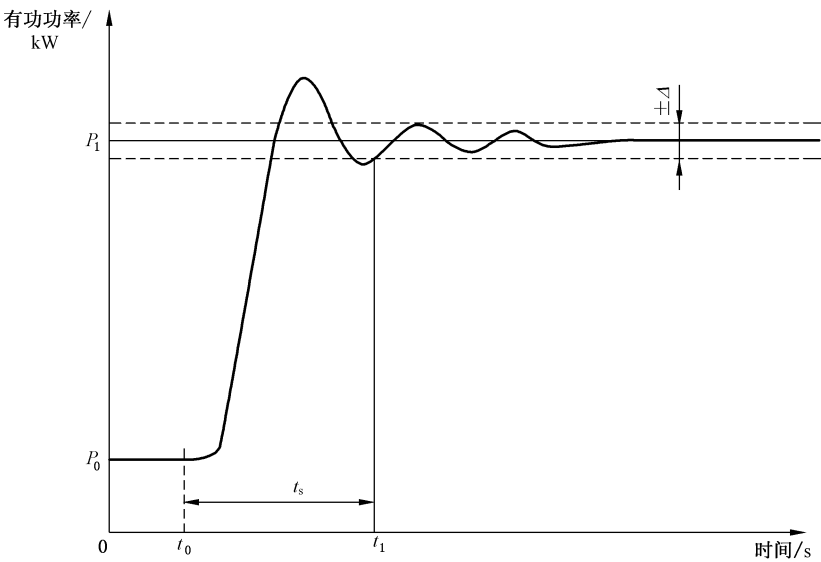
## 9.3 不确定度

按照 JJF 1059.1 分别对测试点和风电机组升压变压器低压侧的测试数据进行不确定度评估,得到综合标准不确定度。

附录 A  
(资料性附录)  
响应时间判定与计算

风电机组频率偏差适应性试验中响应时间的判定与计算方法见图 A.1。

响应时间  $t_s$  为从频率变化起始时刻  $t_0$  到实测有功功率达到有功目标值的 90% 且进入误差带  $\Delta$  的时刻  $t_1$  的时间, 即  $t_s = t_1 - t_0$ 。



说明:

$P_0$ ——有功初始值;

$P_1$ ——有功目标值;

$t_0$ ——频率变化起始时刻;

$t_1$ ——实测有功功率不再超出误差带的时刻;

$t_s$ ——响应时间,  $t_s = t_1 - t_0$ ;

$\Delta$ ——误差带,  $\pm 2\% P_n$ 。

图 A.1 响应时间判定曲线



附 录 B  
(资料性附录)  
报告格式样本

B.1 测试项目基本信息

测试项目基本信息见表 B.1。

表 B.1 测试项目基本信息

风电机组制造商名称	
风电机组型号	
风电机组序列号	
风电场名称	
测试机构名称	
测试地点	
测试周期	
测试标准	
报告编号	

B.2 风电机组基本信息

风电机组基本信息见表 B.2。

表 B.2 风电机组基本信息

风电机组类型	
叶片数目	
风轮直径/m	
轮毂高度/m	
叶片控制/(变桨/失速)	
速度控制/(定速/变速)	
额定功率/kW	
额定风速/(m/s)	
额定视在功率/kVA	
额定电流/A	
额定电压/V	
额定频率/Hz	

B.3 风电机组主要零部件信息

风电机组主要零部件信息见表 B.3。

表 B.3 风电机组主要零部件信息

部件名称	制造商	类型	型号	序列号	软件版本号
发电机					
变流器					
主控系统					
变桨系统					
叶片					
与电网适应性相关的其他部件					

B.4 风电机组升压变压器信息

风电机组升压变压器信息见表 B.4。

表 B.4 风电机组升压变压器信息

制造商	
型号	
额定视在功率/MVA	
额定电压(高压侧)/ kV	
额定电压(低压侧)/ kV	
短路阻抗/%	
负载损耗/kW	
实际变比	
联结组别	

B.5 测试结果

B.5.1 电压偏差适应性

电压偏差适应性考核见表 B.5。

表 B.5 电压偏差适应性测试结果汇总表

电压幅值设定值 p.u.	电压幅值测量值 p.u.	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 连续并网运行
0.90				
1.10				



B.5.2 频率偏差适应性

B.5.2.1 频率耐受考核见表 B.6。

表 B.6 频率耐受性测试结果汇总表

频率设定值 Hz	频率测量值 Hz	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 连续并网运行
48				
51.5				

B.5.2.2 惯量响应特性考核见表 B.7。

表 B.7 惯量响应特性测试结果汇总表

频率变化过程 Hz	频率变化 率设定值 Hz/s	频率变化率 实测值 Hz/s	扰动前 有功值 kW	有功调节量 实测值 kW	恢复过程与 扰动前最大 有功差值 kW	响应时间 s	风电机组 是否连续 并网运行
50→48							
50→51.5							

B.5.2.3 调频特性考核见表 B.8。

表 B.8 调频特性测试结果汇总表

频率设定值 Hz	频率测量值 Hz	扰动前 有功值 kW	扰动后有 功理论值 kW	扰动后有 功实测值 kW	恢复后有 功实测值 kW	响应时间 s	风电机组 是否连续 并网运行

B.5.3 三相电压不平衡适应性

三相电压不平衡适应性考核见表 B.9。

表 B.9 三相电压不平衡适应性测试结果汇总表

三相负序电压不平衡度设定值 %	三相负序电压不平衡度测量值 %	实际运行时间 min	要求运行时间 min	三相负序电流不平衡度测量 %	风电机组是否 连续并网运行
2.0					
4.0					

B.5.4 闪变适应性

闪变适应性考核见表 B.10。

表 B.10 闪变适应性测试结果汇总表

长时间闪变值 $P_{lt}$ 设定值	短时间闪变值 $P_{st}$ 测量值	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 连续并网运行

B.5.5 谐波适应性

B.5.5.1 以各间谐波电压含有率考核见表 B.11。

表 B.11 间谐波适应性测试结果汇总表

间谐波频率 Hz	间谐波电压含有率设定值 %	间谐波电压含有率测量值 %	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 正常并网运行
5					
10					
15					
...					
85					
90					
95					
测试时,分别设置各间谐波电压含有率,其他各间谐波电压含有率均设置为零;设置间谐波电压含有率 1 kV 以上为 0.16%,1 kV 以下为 0.2%。					

B.5.5.2 以奇次谐波电压含有率考核见表 B.12。

表 B.12 奇次谐波适应性测试结果汇总表

谐波 次数	谐波含有率 设定值 %	谐波含有率 测量值 %	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 正常并网运行
3					
5					
7					
9					
11					
13					
15					
17					
19					
21					
23					
25					
测试时,分别设置各次谐波电压含有率,其他各次谐波电压含有率均设置为零。					

B.5.5.3 以偶次谐波电压含有率考核见表 B.13。

表 B.13 偶次谐波适应性测试结果汇总表

谐波 次数	谐波含有率 设定值 %	 谐波含有率 测量值 %	实际运行时间 min	要求运行时间 min	风电机组是否 正常并网运行
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					
16					
18					
20					
22					
24					
测试时,分别设置各次谐波电压含有率,其他各次谐波电压含有率均设置为零。					