



中华人民共和国国家标准

GB/T 20320—2023/IEC 61400-21-1:2019

代替 GB/T 20320—2013

风能发电系统 风力发电机组电气特性 测量和评估方法

Wind energy generation systems—Electrical characteristics measurement and
assessment of wind turbines

(IEC 61400-21-1:2019, Wind energy generation systems—
Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics—
Wind turbines, IDT)

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	IX
引言	XI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号与单位	10
5 缩略语	11
6 风力发电机组规格	12
7 测试条件和测试系统	12
7.1 总则	12
7.2 测试等级概述	12
7.3 测试有效性	13
7.4 测试条件	14
7.5 测试设备	14
8 电气特性测量及测试程序	15
8.1 总则	15
8.2 电能质量测试	16
8.3 稳态运行	21
8.4 控制特性	27
8.5 动态性能	36
8.6 脱网测试	42
附录 A (资料性) 报告格式样本	47
A.1 概述	47
A.2 测试项目基本信息	47
A.3 电能质量测试	48
A.4 稳态运行	58
A.5 动态性能(参见 8.5)	73
A.6 脱网保护(参见 8.6)	78
附录 B (资料性) 电压波动及闪变	82
B.1 连续运行	82
B.2 切换操作	82
B.3 闪变测量程序的验证性测试	83
B.4 定义详解	86
附录 C (规范性) 有功功率、无功功率和电压测量	88
C.1 通则	88

C.2 参考方向按照发电机惯例	88
C.3 正序、负序和零序分量计算	89
附录 D (资料性) 谐波评估	94
D.1 通则	94
D.2 通用分析方法	94
D.3 确定 DFAG 系统中受空间谐波影响的谐波幅值	101
附录 E (资料性) 风力发电机组和风力发电场电能质量评估	102
E.1 总则	102
E.2 电压波动	102
E.3 电流谐波、间谐波和高频分量	104
附录 F (资料性) 同一产品平台不同风力发电机组测试结果引用指南	105
参考文献	108
图 1 阶跃响应示例	8
图 2 测量系统主要部分	15
图 3 用于虚拟电压仿真的虚拟电网示意图	16
图 4 有功功率与风速对应曲线(示例)	22
图 5 每个风速区间内测量数据个数(示例)	23
图 6 每个功率区间内测量数据个数(示例)	23
图 7 不同电压水平下风力发电机组的 PQ 曲线示例	26
图 8 有功功率参考值调整示意图	28
图 9 有功功率阶跃响应示例	28
图 10 斜坡速率限制模式下可用有功功率与实测有功功率曲线示例	30
图 11 按照不同的测量点和参考频率步长值的有功功率控制功能示例	31
图 12 综合惯量-定义	34
图 13 静态误差测试	35
图 14 动态响应测试(示例)	35
图 15 低电压穿越测试设备示例	37
图 16 风力发电机组空载时低电压扰动的正序电压误差带	38
图 17 高电压扰动正序电压的误差带	38
图 18 阻容式高电压穿越测试单元示例	39
图 19 低电压穿越测试图示例	40
图 20 高电压穿越测试图示例	41
图 21 过电压或过频率阶梯斜坡测试示例	44
图 22 过电压或过频率脉冲斜坡测试示例	44
图 23 释放时间测试示例	45
图 A.1 电压短时间闪变值随有功功率变化图	49
图 A.2 电网阻抗相角为 30°时闪变系数随有功功率变化图	49

图 A.3	电网阻抗相角为 50°时闪变系数随有功功率变化图	49
图 A.4	电网阻抗相角为 70°时闪变系数随有功功率变化图	49
图 A.5	电网阻抗相角为 85°时闪变系数随有功功率变化图	49
图 A.6	($\times\times$ m/s)风速时启动三相电压有效值时间序列图	50
图 A.7	($\times\times$ m/s)风速时启动三相电流有效值时间序列图	50
图 A.8	($\times\times$ m/s)风速时启动有功功率与无功功率时间序列图	50
图 A.9	额定有功功率时启动三相电压有效值时间序列图	51
图 A.10	额定有功功率时启动三相电流有效值时间序列图	51
图 A.11	额定有功功率时启动有功功率和无功功率时间序列图	51
图 A.12	发电机 1 切换至 2 时三相电压有效值时间序列图	52
图 A.13	发电机 1 切换至 2 时三相电流有效值时间序列图	52
图 A.14	发电机 1 切换至 2 时有功功率与无功功率时间序列图	52
图 A.15	发电机 2 切换至 1 时三相电压时间序列图	52
图 A.16	发电机 2 切换至 1 时三相电流时间序列图	53
图 A.17	发电机 2 切换至 1 时有功功率与无功功率时间序列图	53
图 A.18	各次谐波电流 95%分位数的最大值	58
图 A.19	各频率间谐波电流 95%分位数的最大值	58
图 A.20	各频率电流高频分量 95%分位数的最大值	58
图 A.21	功率曲线	59
图 A.22	无功功率与有功功率	60
图 A.23	PQ 曲线	60
图 A.24	最大电压时的 PQ 曲线	61
图 A.25	最小电压时的 PQ 曲线	62
图 A.26	1 min 平均电流不平衡度随有功功率变化图	62
图 A.27	有功功率控制模式下,静态误差评估测试期间有功功率参考值、可用功率和实测功率时间序列	63
图 A.28	有功功率控制模式下,静态误差评估测试期间风速时间序列	63
图 A.29	有功功率控制模式下,稳定时间测试期间有功功率参考值、可用功率和实测功率时间序列	63
图 A.30	有功斜坡速率限制测试期间,可用有功功率和实测有功功率时间序列	64
图 A.31	有功斜坡速率限制测试期间,风速时间序列	64
图 A.32	斜坡速率限制测试期间,可用有功功率和实测有功功率时间序列	65
图 A.33	斜坡速率限制测试期间,风速时间序列	65
图 A.34	斜坡速率限制测试期间,可用有功功率和实测有功功率时间序列	66
图 A.35	斜坡速率限制测试期间,风速时间序列	66
图 A.36	斜坡速率限制测试期间,可用有功功率和实测有功功率时间序列	66
图 A.37	斜坡速率限制测试期间,风速时间序列	67

图 A.38	电网频率变化期间,可用有功功率、实测有功功率和参考有功功率时间序列	67
图 A.39	风速时间序列	68
图 A.40	有功功率随频率变化实测值	68
图 A.41	电网频率变化期间,可用有功功率、实测有功功率和参考有功功率时间序列	68
图 A.42	风速时间序列	68
图 A.43	有功功率随频率变化实测值	69
图 A.44	测试 1: $0.25P_n < P < 0.5P_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	69
图 A.45	测试 1: $0.25P_n < P < 0.5P_n$ 时,风速时间序列	70
图 A.46	测试 2: $0.25P_n < P < 0.5P_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	70
图 A.47	测试 2: $0.25P_n < P < 0.5P_n$ 时,风速时间序列	70
图 A.48	测试 3: $P > 0.8P_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	70
图 A.49	测试 3: $P > 0.8P_n$ 时,风速时间序列	70
图 A.50	测试 4: $P > 0.8P_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	70
图 A.51	测试 4: $P > 0.8P_n$ 时,风速时间序列	71
图 A.52	测试 5: $v > v_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	71
图 A.53	测试 5: $v > v_n$ 时,风速时间序列	71
图 A.54	测试 6: $v > v_n$ 时,可用有功功率、实测有功功率、电网频率参考值时间序列	71
图 A.55	测试 6: $v > v_n$ 时,风速时间序列	71
图 A.56	无功功率控制测试期间,无功功率参考值和实测值时间序列图	72
图 A.57	无功功率控制测试期间,有功功率时间序列图	72
图 A.58	无功功率动态响应测试期间,无功功率参考值和实测值时间序列图	73
图 A.59	无功功率动态响应测试期间,有功功率时间序列图	73
图 A.60	被测风力发电机组未并网时,电压跌落/上升期间三相电压波形	74
图 A.61	被测风力发电机组未并网时,电压跌落/上升后恢复期间三相电压波形	74
图 A.62	被测风力发电机组未并网时,测试期间三相电压有效值(一个周波)	74
图 A.63	被测风力发电机组未并网时,测试期间电压正序分量	75
图 A.64	被测风力发电机组并网时,电压跌落/上升期间三相电压波形	76
图 A.65	被测风力发电机组并网时,电压跌落/上升后恢复期间三相电压波形	76
图 A.66	被测风力发电机组并网时,测试期间三相电压有效值(一个周波)	76
图 A.67	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序和负序电压	77
图 A.68	被测风力发电机组并网时,测试期间三相电流有效值(一个周波)	77
图 A.69	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序和负序电流	77
图 A.70	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序有功功率	77
图 A.71	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序无功功率	77
图 A.72	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序有功电流	77

图 A.73	被测风力发电机组并网时,测试期间基波正序无功电流	78
图 A.74	被测风力发电机组并网时,测试期间风速或可用功率	78
图 A.75	10 s 故障重并网测试期间电压时间序列	80
图 A.76	10 s 故障重并网测试期间(包含恢复阶段)有功功率时间序列	80
图 A.77	10 s 故障重并网测试期间风速时间序列	80
图 A.78	60 s 故障重并网测试期间电压时间序列	80
图 A.79	60 s 故障重并网测试期间(包含恢复阶段)有功功率时间序列	80
图 A.80	60 s 故障重并网测试期间风速时间序列	80
图 A.81	600 s 故障重并网测试期间电压时间序列	81
图 A.82	600 s 故障重并网测试期间(包含恢复阶段)有功功率时间序列	81
图 A.83	600 s 故障重并网测试期间风速时间序列	81
图 B.1	连续运行期间风力发电机组闪变的测量程序	82
图 B.2	切换操作期间风力发电机组电压变动和闪变的测量程序	83
图 C.1	采用发电机惯例时,有功功率、无功功率、瞬时相电压的瞬时相电流的正方向	88
图 C.2	采用发电机惯例时,与瞬时相电压和电流对应的各象限功率相量示例	89
图 D.1	发电机惯例下的谱线相位角定义(以 5 次谐波 $\alpha_{15} = +120^\circ$ 和 $\alpha_{U5} = +170^\circ$ 为例,因此 5 次谐波相位角为 $\varphi_5 = +170^\circ - 120^\circ = +50^\circ$)	95
图 D.2	10 s 区间内聚合谐波幅值(虚线)与直接由 DFT 10 周期窗口无聚合计算得到的幅值(点线)比较	96
图 D.3	主导相位角比值(PAR)比较	97
图 F.1	通用型风力发电机的框图(来源 IEC 61400-27-1)	106
表 1	测试等级	12
表 2	测量设备的要求	15
表 3	每个风速区间内 10 min 测量数据个数统计	22
表 4	每个功率区间内测量数据个数统计(10 min 平均值)	23
表 5	最大测量有功功率值	24
表 6	有功功率控制准确度测试结果	29
表 7	有功功率参考值测试结果	29
表 8	有功功率斜坡速率计算	31
表 9	频率相关的有功功率调节功能设置示例	33
表 10	静态误差测试	36
表 11	动态响应测试	36
表 12	电压跌落示例	40
表 13	电压升高示例	41
表 14	电网保护测试	43
表 A.1	报告基本信息	47

表 A.2	主要数据	47
表 A.3	额定参数	48
表 A.4	测试条件	48
表 A.5	各功率区间闪变系数(95%百分位数)	48
表 A.6	切入风速时启动	50
表 A.7	额定有功功率时启动	51
表 A.8	发电机切换时最恶劣工况时启动	52
表 A.9	基本测试信息	53
表 A.10	各功率区间 10 min 谐波分量(95%百分位数)	53
表 A.11	各功率区间 10 min 间谐波分量(95%百分位数)	55
表 A.12	各功率区间 10 min 高频分量(95%百分位数)	56
表 A.13	有功功率随风速变化情况	58
表 A.14	测试数据功率区间分布	58
表 A.15	最大有功功率	59
表 A.16	无功功率特性	59
表 A.17	PQ 曲线	60
表 A.18	最大电压时的 PQ 曲线	61
表 A.19	最小电压时的 PQ 曲线	61
表 A.20	P-IUF ₁	62
表 A.21	基本测试信息	63
表 A.22	静态误差	63
表 A.23	动态响应	63
表 A.24	基本测试信息	64
表 A.25	启动时有功功率斜坡速率计算值	64
表 A.26	基本测试信息	64
表 A.27	启动时,有功功率斜坡速率限制	65
表 A.28	基本测试信息	65
表 A.29	正常停机时,有功功率斜坡速率限制	65
表 A.30	基本测试信息	66
表 A.31	正常运行时,有功斜坡速率限制	66
表 A.32	基本测试信息	67
表 A.33	0.25P _n < P < 0.5P _n 时,测试	67
表 A.34	P > 0.8P _n 时,测试	68
表 A.35	综合惯量测试结果	69
表 A.36	基本测试信息	72
表 A.37	静态误差	72
表 A.38	动态响应	73

表 A.39	风力发电机组未并网时测试结果	73
表 A.40	风力发电机组并网时测试结果	75
表 A.41	电压保护测试结果	78
表 A.42	频率保护测试结果	78
表 A.43	完整保护回路测试结果	79
表 A.44	频率变化率(RoCoF)测试结果	79
表 A.45	频率变化率(RoCoF)测试信息	79
表 A.46	重并网测试结果	79
表 B.1	验证性测试时风力发电机组的额定值	83
表 B.2	$S_{k, \text{fic}} = 20S_n$ 时对应闪变系数 $c(\psi_k) = 200 \times (1 \pm 5\%)$ 的相对电流波动输入值	84
表 B.3	$S_{k, \text{fic}} = 50S_n$ 时对应闪变系数 $c(\psi_k) = 200 \times (1 \pm 5\%)$ 的相对电流变动输入值	84
表 B.4	对有多个过零点的畸变电压的测试规格	85
表 D.1	测量结果示例	100
表 E.1	指数参数(IEC TR 61000-3-6)	104
表 F.1	影响风力发电机组电气性能的主要部件	106

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—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》的规定起草。

本文件代替 GB/T 20320—2013《风力发电机组 电能质量测量和评估方法》，与 GB/T 20320—2013 相比，除结构性调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“脱网时间”“额定有功功率”“无功功率能力”“短路比”“电压跌落”“电压升高”“故障穿越”“低电压穿越”“高电压穿越”“相量”“基波正序分量”“基波负序分量”“基波零序分量”“不平衡度”“控制接口”“风力发电场”“评审员”“时间序列”“短路容量”“百分位数”“综合惯量”“静态误差”“响应时间”“稳定时间”“上升时间”“超调量”“反应时间”“下降时间”“恢复时间”“稳态”“误差带”“事件开始时刻”“风力发电机组产品平台”“部件测试”“子系统”“子系统测试”“可用有功功率”“功率因数”“斜坡速率”“参考值”“有功功率区间”“虚拟电网”“现场测量”“现场测试”“风速区间”术语和定义(见 3.3、3.15、3.16、3.20、3.26、3.27、3.28、3.29、3.30、3.31、3.32、3.33、3.34、3.35、3.36、3.37、3.38、3.39、3.40、3.41、3.42、3.43、3.44、3.45、3.46、3.47、3.48、3.49、3.50、3.51、3.52、3.53、3.54、3.55、3.56、3.57、3.58、3.59、3.60、3.61、3.62、3.63、3.64、3.65、3.66)；
- b) 更改了“公共连接点”“电力汇集系统”“额定电流”“额定风速”“切换操作”术语和定义(见 3.11、3.12、3.14、3.17、3.21, 2013 年版的 3.10、3.11、3.13、3.15、3.18)；
- c) 删除了“额定功率”术语(见 2013 年版的 3.14)；
- d) 增加了“ $f_{inertia, recovery}$ ”“ $f_{inertia, trigger}$ ”“ f_{sim} ”“HW”“IUF”“PF”“SW”“ U_{min} ”“ U_{max} ”“ U_{UVRC} ”“ U_{OVRC} ”“ U_{pre} ”符号(见第 4 章)；
- e) 删除了“ $f_{m, i}$ ”“ $f_{y, i}$ ”“ N_{bin} ”“ $N_{m, i}$ ”“ $N_{m, i, c < x}$ ”“ v_a ”“ v_i ”“ ω_i ”符号(见 2013 年版的第 4 章)；
- f) 增加了“DFAG”“RoCoF”缩略语(见第 5 章)；
- g) 删除了“PCC”缩略语(见 2013 年版的第 5 章)；
- h) 增加了“测试等级”的要求(见 7.2)；
- i) 增加了与电压相关的 PQ 曲线图和不平衡度的测试要求和测试方法(见 8.3.6、8.3.7)；
- j) 增加了频率控制和综合惯量的测试要求和测试方法(见 8.4.4、8.4.5)；
- k) 增加了高电压穿越的测试要求和测试方法(见 8.5.2)；
- l) 增加了频率变化率保护的测试要求和测试方法(见 8.6.3)。

本文件等同采用 IEC 61400-21-1:2019《风能发电系统 第 21-1 部分：电气特性测量和评估 风力发电机组》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《风能发电系统 风力发电机组电气特性测量和评估方法》。请注意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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会(SAC/TC 50)归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、中车山东风电有限公司、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、浙江运达风电股份有限公司、西门子歌美飒可再生能源科技(中国)有限公司、维斯塔斯技术研发(北京)有限公司、远景能源有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、哈电风能有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、重庆大学、国电联合动力技术有限公司、龙源电力集团股份有限公司、北京汇智天华

新能源科技有限公司、国家电力投资集团有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、国网宁夏电力有限公司电力科学研究院、深圳市禾望电气股份有限公司、东方电气风电股份有限公司、三一重能股份有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、中国质量认证中心、浙江大学、阳光电源股份有限公司、上海能源科技发展有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部。

本文件主要起草人：秦世耀、徐婷、赵磊、吕项羽、许国东、李跃、陈强、赵冰洁、黄远彦、焦冲、朱志权、齐琛、王瑞明、陈晨、李德鑫、张海锋、余清清、宋晓萍、杨静、郑杰、陈文超、刘峻岐、陈党慧、张冲、史俊伟、唐彬伟、郭江涛、李钢强、孙大伟、梁剑、张爽、王文玥、闫嘉鸣、王素飞、吕一航、强喜臣、袁旭、曾兴国、魏茹、赵玉、吴立建、孟祥志、邓屹、唐建平、吴让慧、代林旺、张利。

本文件于 2006 年首次发布，2013 年第一次修订，本次为第二次修订。

引 言

本文件提供一种统一的方法,以保证并网型风力发电机组电气特性报告、测试和评估的一致性和准确性。本文件将适用于以下风电行业各方主体:

- 风力发电机组制造商,提供满足电气特性要求的风力发电机组;
- 风力发电机组业主,明确风力发电机组电气特性要求;
- 风力发电机组运营商,确认风力发电机组规格或电气特性合规性;
- 风力发电机组规划监管部门,准确、公正判定风力发电机组安装过程符合设计要求,电压质量达到预期;
- 风力发电机组认证测试机构,评估该型号风力发电机组电气特性;
- 电网规划与调度部门,有权决定风力发电机组是否可以并网。

本文件提供了并网型风力发电机组电气特性的测量和评估方法,将有利于风力发电机组生产、安装规划、许可获得、运营、使用、测试和调试。风电行业各方主体宜使用本文件中介绍的测量与分析技术,以确保风力发电机组的持续开发和运行具备一致性与准确性。

本文件的测量与分析步骤可确保测试结果的一致性。任意部分的测试内容均可单独开展并出具报告。

风能发电系统 风力发电机组电气特性 测量和评估方法

1 范围

本文件规定了风力发电机组电气特性参数的定义、测量程序和评估方法。内容包括：

- 对并网型风力发电机组电气特性参数的定义和定量描述；
- 量化电气特性参数的测量程序；
- 并网标准符合性评估程序，比如评估安装在特定场地的某型风力发电机组的电能质量。

本文件中的测量程序适用于与电网三相连接的单台风力发电机组。本文件只要求对并网型风力发电机组进行测试与评估，但测量程序适用于任何容量的风力发电机组。

测量得到的特性参数仅对特定配置与运行模式的被评估风力发电机组产品平台有效。若某项被测特性是由控制参数决定，并能影响风力发电机组运行状态，应在测试报告中标注。比如：电网保护的脱网水平与机组参数有关，测试结果只用于证实电网保护功能是否正常，无需测得具体保护值。

设计的测量程序尽可能与测量场地无关，以确保在某一测试场地测量得到的电气特性参数结论不受场地限制。

本文件适用于通过公共连接点并入频率稳定电网的风力发电机组。

注：本文件中系统电压等级采用以下术语。

- 低压 (LV), $U_n \leq 1 \text{ kV}$;
- 中压 (MV), $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$;
- 高压 (HV), $35 \text{ kV} < U_n \leq 220 \text{ kV}$;
- 特高压 (EHV), $U_n > 220 \text{ kV}$ 。

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（包括所有修改单）适用于本文件。

IEC TR 61000-3-7 电磁兼容性(EMC) 第 3-7 部分：限值 中压、高压以及特高压电力系统中装置变动连接对发射限值的评估 [Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 3-7: Limits—Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems]

IEC 61000-4-7:2002/AMD1:2008 电磁兼容性(EMC) 第 4-7 部分：试验和测量技术 供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则 [Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-7: Testing and measurement techniques—General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto]

注：GB/T 17626.7—2017 电磁兼容 试验和测量技术 供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则(IEC 61000-4-7:2009, IDT)

IEC 61000-4-15:2010 电磁兼容性(EMC) 第 4-15 部分：试验和测量技术 闪变仪 功能和设计规范 [Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-15: Testing and measurement techniques—Flickermeter—Functional and design specifications]