



中华人民共和国国家标准

GB/T 36237—2023/IEC 61400-27-1:2020

代替 GB/T 36237—2018

风能发电系统 通用电气仿真模型

Wind energy generation systems—Generic electrical simulation models

(IEC 61400-27-1:2020, Wind energy generation systems—
Part 27-1: Electrical simulation models—Generic models, IDT)

2023-05-23 发布

2023-05-23 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	VII
引言	VIII
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语、下标	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语和下标	4
4 符号和单位	6
4.1 概述	6
4.2 符号(单位)	7
5 模型功能规范	9
5.1 总体要求	9
5.2 风力发电机组模型	10
5.3 风电场模型	10
6 模型整体结构	11
6.1 总则	11
6.2 风力发电机组模型	11
6.3 辅助设备模型	21
6.4 风电场模型	22
7 子模块结构	25
7.1 总则	25
7.2 气动模块	26
7.3 机械系统模块	28
7.4 发电机和变流器系统模块	29
7.5 电气设备模块	33
7.6 变桨控制模块	34
7.7 发电机和变流器控制模块	36
7.8 电网接口模块	46
7.9 风电场控制模块	48
7.10 通信模块	51
7.11 电气部件模块	52
附录 A (资料性) 功率汇集系统模型参数计算	53
A.1 概述	53
A.2 实现方法	53

A.3 示例	54
附录 B (资料性) 二维气动模型	57
B.1 概述	57
B.2 风速输入模型	57
B.3 功率输入模块参数	58
附录 C (资料性) 基于外部阻抗的发电系统模型	59
附录 D (规范性) 模块符号库	62
D.1 概述	62
D.2 开关	62
D.3 时间步长延迟	62
D.4 限速率	62
D.5 一阶滤波器	63
D.6 查找表	64
D.7 比较器	64
D.8 计时器	64
D.9 抗饱和积分器	65
D.10 带复位功能的积分器	66
D.11 限幅检测一阶滤波器	66
D.12 上升沿检测	66
D.13 下降沿检测	67
D.14 延时标志位	67
D.15 可变延迟标志位	68
D.16 死区	69
D.17 断路器	69
参考文献	70
图 1 IEEE/CIGRE 稳定性术语和定义联合工作组关于电力系统稳定性的分类	Ⅷ
图 2 风力发电机组模型通用架构	11
图 3 1A 型风力发电机组模型结构	12
图 4 1B 型风力发电机组模型结构	13
图 5 2 型风力发电机组模型结构	14
图 6 3A 和 3B 型风力发电机组模型结构	15
图 7 3A 和 3B 型模型发电机控制模块结构	16
图 8 4A 型风力发电机组模型结构	18
图 9 4A 型模型发电机控制模块结构	18
图 10 4B 型风力发电机组模型结构	19
图 11 4B 型模型发电机控制模块结构	20
图 12 静止无功发生器模型结构	21
图 13 静止无功发生器变流器控制模块结构	21
图 14 风电场模型通用结构	22

图 15	风电场控制和通信模型通用架构	23
图 16	简化的风电场聚合模型单线图	24
图 17	具有无功功率补偿的风电场模型单线图	25
图 18	恒定气动转矩模型框图	27
图 19	一维气动模型框图	27
图 20	二维气动模型框图	28
图 21	双质量块模型框图	29
图 22	3A 型发电系统模型框图	30
图 23	3B 型发电系统模型框图	31
图 24	4 型发电系统模型框图	32
图 25	坐标变换模型框图	33
图 26	电气设备 γ 等效模型单线图	33
图 27	变桨控制功率模型框图	34
图 28	桨距角控制模型框图	35
图 29	转子电阻控制模型框图	36
图 30	3 型有功功率控制模型框图	38
图 31	3 型转矩 PI 控制模型框图	39
图 32	4A 型有功功率控制模型框图	40
图 33	4B 型有功功率控制模型框图	41
图 34	无功功率控制模型框图	43
图 35	电流限幅模型框图	45
图 36	恒定无功功率限幅模型框图	45
图 37	QP 和 QU 限幅模型框图	46
图 38	电网保护模型框图	47
图 39	u-f 测量模型框图	48
图 40	风电场有功功率/频率控制模型框图	49
图 41	风电场无功电压控制模型框图	51
图 42	通信延迟模型框图	51
图 43	具有 N 个通信变量的线性通信模型框图	52
图 A.1	风电场功率汇集系统示例	55
图 B.1	参考文献[21]提出的风机气动模型	57
图 C.1	含并联阻抗的 3A 型发电系统模型框图	59
图 C.2	含并联阻抗的 3B 型发电系统模型框图	60
图 C.3	含并联阻抗的 4 型发电系统模型框图	61
图 D.1	开关符号	62
图 D.2	单积分时间步长延迟符号	62
图 D.3	限速率模块符号	62
图 D.4	限速率模块实现框图	63
图 D.5	具有限幅、限速率、冻结标志位的一阶滤波器符号	63
图 D.6	具有限幅、限速率、冻结标志位的一阶滤波器实现框图	63
图 D.7	无滤波功能($T=0$)的冻结状态执行框图	64
图 D.8	查找表符号	64
图 D.9	比较器符号	64

图 D.10	计时器符号	64
图 D.11	计时器函数	65
图 D.12	抗饱和积分器符号	65
图 D.13	抗积分饱和器实现框图	65
图 D.14	带复位功能的积分器符号	66
图 D.15	限幅检测一阶滤波器符号	66
图 D.16	限幅检测一阶滤波器实现框图	66
图 D.17	上升沿检测符号	67
图 D.18	上升沿检测框图	67
图 D.19	下降沿检测符号	67
图 D.20	下降沿检测框图	67
图 D.21	延时标志位符号	67
图 D.22	延迟标志位实现框图	68
图 D.23	可变延时标志位符号	68
图 D.24	可变延迟标志位实现框图	68
图 D.25	死区符号	69
图 D.26	断路器符号	69
表 1	1A 型模型子模块	13
表 2	1B 型模型子模块	13
表 3	2 型模型子模块	15
表 4	3A 型模型子模块	16
表 5	3B 型模型子模块	17
表 6	4A 型模型子模块	19
表 7	4B 型模型子模块	20
表 8	静止无功发生器模型子模块	22
表 9	风电场控制和通信模型子模块	23
表 10	风电场基本模型子模块	24
表 11	具有无功功率补偿的风电场模型子模块	25
表 12	全局参数	26
表 13	模块框图中的初始化变量	26
表 14	一维气动模型参数表	27
表 15	二维气动模型参数表	27
表 16	双质量块模型参数表	28
表 17	3A 型发电系统模型参数表	29
表 18	3B 型发电系统模型参数表	30
表 19	4 型发电系统模型参数表	32
表 20	参考坐标系变换模型参数表	32
表 21	电气设备模型参数表	33
表 22	变桨控制功率模型参数表	34
表 23	桨距角控制模型参数表	35
表 24	转子电阻控制模型参数表	36
表 25	3 型有功功率控制模型参数表	36

表 26	4A 型有功功率控制模型参数表	39
表 27	4B 型有功功率控制模型参数表	40
表 28	常规无功功率控制模式 M_{qG}	41
表 29	低电压穿越无功控制模式 M_{qFRT}	41
表 30	无功功率控制模型参数表	42
表 31	F_{FRT} 标志位描述	44
表 32	电流限幅模型参数表	44
表 33	恒定无功功率限幅模型参数表	45
表 34	QP 和 QU 限幅模型参数表	46
表 35	电网保护模型参数表	46
表 36	电网测量模型参数表	48
表 37	有功/频率控制模型的参数列表	49
表 38	无功电压控制模型参数表	50
表 39	通信延迟模型参数表	51
表 40	线性通信模型参数列表	52
表 A.1	线路参数及聚合计算(数据标幺值使用风电场级基准值)	55
表 A.2	变压器模型参数	55
表 A.3	汇集系统模型参数	56
表 B.1	函数 $\partial p_{\omega}(\nu_0)$ 计算表	58
表 B.2	风速输入模块的参数列表	58

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 36237—2018《风力发电机组 电气仿真模型》，与 GB/T 36237—2018 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 删除了“系统的准稳态”“反应时间”“响应时间”“稳定时间”“暂态区间”“不平衡度”的术语和定义(见 2018 年版的 3.1)；
- b) 增加了“电力设备”“电网变量”“发电机符号惯例”“辅助设备”“高电压穿越”“故障穿越”“基本单位”“可扩展接口”“接入点”“模块”的术语和定义(见 3.1)；
- c) 增加了风电场模型的功能性规范(见 5.3)；
- d) 增加了辅助设备模型和风电场模型结构的规范(见 6.3、6.4)；
- e) 增加了电网接口模块、风电场控制模块、通信模块和电气部件模块的规范(见 7.8~7.11)。

本文件等同采用 IEC 61400-27-1:2020《风能发电系统 第 27-1 部分：电气仿真模型 通用模型》。

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 通用电气仿真模型》。

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、国家电网公司东北分部、上海电气风电集团股份有限公司、浙江运达风电股份有限公司、国网辽宁省电力有限公司、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、中车山东风电有限公司、西门子歌美飒可再生能源科技(中国)有限公司、国电联合动力技术有限公司、龙源电力集团股份有限公司、东方电气风电股份有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、阳光电源股份有限公司、中国质量认证中心、明阳智慧能源集团股份公司、国网四川综合能源服务有限公司、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、中车株洲电力机车研究所有限公司、远景能源有限公司、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、浙江大学、深圳市禾望电气股份有限公司、会泽云能投新能源开发有限公司。

本文件主要起草人：秦世耀、李少林、贺敬、张弘鹏、朱志权、杨靖、孙明一、杜炜、闫虹、田家彬、李跃、王帅杰、刘峻岐、刘世洪、张敏、杨朋威、马骏超、李德鑫、梁信信、康巍、唐彬伟、郭江涛、苗风麟、黄睿、邓俊、赵伟、曲春辉、臧晓笛、张梅、杨彦霞、张松涛、史俊伟、刘一星、安少茹、赵冰洁、闫立莹、张冲、吴立建、李东坡、朱琳、刘厦、花斌、赵登利、魏校煜。

本文件于 2018 年首次发布，本次为第一次修订。

引 言

本文件规定了风力发电机组和风电场的标准动态电气仿真模型。风力发电机组模型能够用于风电场或独立的分布式风力发电机组。除了风力发电机组模型，风电场模型可能包含风电场常用的辅助设备模型，例如静止无功发生器。

随着风力发电在电力系统中渗透率的不断增长，输电系统运营商(TSO)和配电系统运营商(DSO)需使用风电系统动态模型进行电力系统稳定性分析。风力发电机组制造商搭建的模型能够模拟发电设备的详细特性，但并不适用于大规模风电接入电力系统的稳定性分析。因为详细的制造商专有模型不仅会导致系统复杂性增加、仿真时间剧增，同时需要大量的输入数据。

本文件规定了能用于电力系统稳定性分析的风力发电系统通用动态模型。美国电气与电子工程师协会与国际大电网组织(IEEE/CIGRE)稳定性术语和定义^{[11]1)}联合工作组将电力系统稳定性进行了分类，如图1所示。

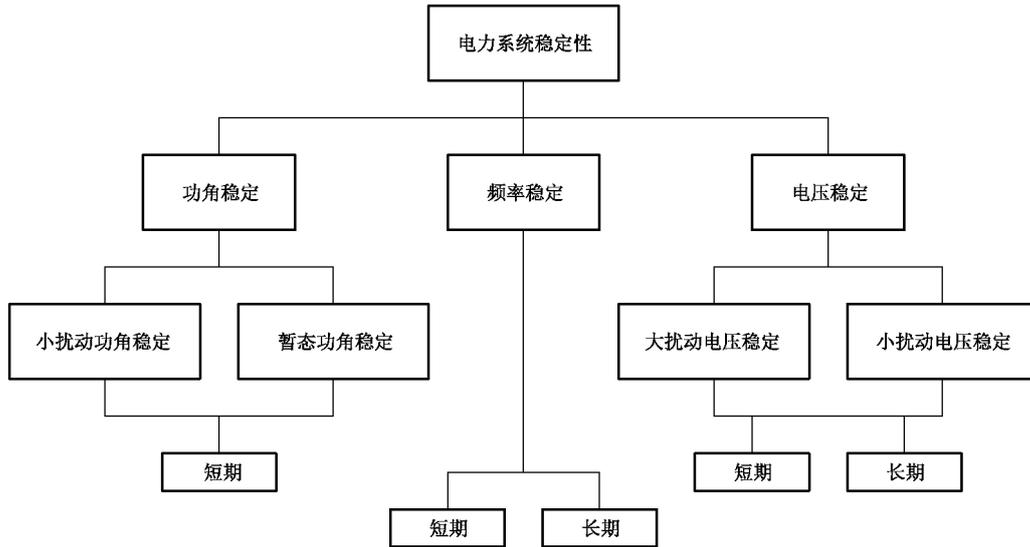


图1 IEEE/CIGRE 稳定性术语和定义联合工作组关于电力系统稳定性的分类^[11]

基于上述分类，模型适用于风力发电大扰动短时稳定问题的研究，例如短时电压稳定、短时频率稳定以及图1中的短时暂态功角稳定。因此，模型适用于电力系统事件的动态仿真，例如短路(低电压穿越)、脱机或甩负荷^[12]、系统解列等。

通用电气仿真模型应能表征风电场接入点(以下称“并网点”)和风力发电机组输出端的动态特性，同时适用于大电网的仿真研究。因此，简化模型应能表征现有技术的典型响应。

注：风电场接入点也称风电场并网点。

本文件规定的电气仿真模型主要针对风力发电机组基频正序²⁾模型，有下列局限性。

- 模型不适用于长期稳定性分析。
- 模型不适用于研究次同步问题。
- 模型不适用于研究由风速在时间和空间上的变化引起的波动，即模型不涵盖湍流、塔影、风切

1) 方括号中的数字引用参考文献。

2) 本文件涵盖对称和非对称故障，但是对于非对称故障只规定基频正序分量。

变、尾流。

- 模型不适用于研究谐波、闪变或其他 IEC 61400 系列标准中电磁兼容(EMC)扰动的问题。
- 风力发电系统是高度非线性系统,该系统在本文件中的简化模型不适用于模型小信号稳定性分析的特征值计算。
- 本文件不涉及短路计算特性。
- 模型不适用于研究无同步发电机的风力发电机组孤岛运行。
- 模型不适用于短路比小于 3 的场景。短路电流限制取决于风力发电机组类型、控制模式以及其他设置。当风力发电机组制造商可指定更低的短路比应用场景,该应用场景应依据 IEC 61400-27-2 进行验证。
- 模型受限于第 5 章中的功能性规范。

下述利益相关方是本文件模型的潜在用户:

- 输电系统运营商和配电系统运营商是模型的最终用户,用以进行规划和调度运行中的电力系统稳定分析;
- 风电场开发商在风电场并网试运行前一般有义务向电网公司提供风电场的仿真模型;
- 风力发电机组制造商一般向风电场开发商提供风力发电机组模型;
- 电力系统仿真工具软件的开发单位使用本文件在软件库中建立标准风力发电机组仿真模型;
- 独立开展风力发电机组模型验证的认证机构;
- 咨询机构代表电网公司和/或风电场开发商使用模型;
- 由于制造商专有模型对外保密,教育和研究团体可使用本文件建模。

风能发电系统 通用电气仿真模型

1 范围

本文件规定了风力发电机组和风电场的标准电气仿真模型。所涉及模型是应用于电力系统稳定性分析的时域正序仿真模型,适用于电力系统短时稳定性的动态仿真。

本文件定义了电气仿真模型的通用术语和参数。

本文件规定了风电场通用拓扑/配置的电气仿真模型。风电场模型主要包括风力发电机组、风电场控制和辅助设备。风电场模型以模块化方式描述,能应用于风电场和不同类型的风力发电机组。

本文件规定了风力发电机组通用拓扑/设计/配置的电气仿真模型。模型的目的是表征风力发电机组机端电气特性。风力发电机组模型以模块化方式描述,能应用于不同类型风力发电机组。风力发电机组模型能用于风电场建模或独立的分布式风力发电机组。

本文件规定的电气仿真模型独立于任何软件仿真工具。

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。

IEC 60050-415 国际电工术语 第 415 部分:风力发电机组[International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 415:Wind turbine generator systems]

注:GB/T 2900.53—2001 电工术语 风力发电机组(idt IEC 60050-415:1999)。

3 术语和定义、缩略语、下标

3.1 术语和定义

IEC 60050-415 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

辅助设备 auxiliary equipment

静止无功发生器或其他在风电场中辅助风力发电机组的设备。

3.1.2

可用功率 available power

计及风速、功率等级、转子速度限制、桨距角约束的最大可用功率。

注:气动功率不能大于可用功率。

3.1.3

基本单位 base unit

参数值的单位,标么值的单位为 p.u.,有名值的单位为物理单位。

3.1.4

故障穿越 fault ride through

当电网故障或扰动引起电压跌落或升高时,在一定的电压跌落或升高范围和时间间隔内,风力发电