

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

含构网型新能源接入的配电网孤岛保护
性能评估导则
征求意见稿

Guidelines for Performance Evaluation of Anti-Islanding Protection in
Distribution Networks with Grid-Forming Renewable Energy Integration

目 次

前 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则	2
5 评估内容	2
6 评估方法	2
7 评估报告	4
附 录 A 孤岛检测理论评估方法	5

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。

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会分布式电源运行与控制工作组归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

含构网型新能源接入的配电网孤岛保护性能评估导则

1 范围

本文件规定了含构网型新能源接入的配电网孤岛保护性能评估的基本原则、评估内容、评估方法与评估报告的要求。

本文件适用于变流器型分布式电源以场站级形式接入的6kV~35kV配电网孤岛保护性能包括可靠性、灵敏性的评估。

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。

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB/T 19964-2024 光伏电站接入电力系统技术规定

GB/T 20046-2016 并网系统技术规范

GB/T 29319 光伏发电系统接入配电网技术规定

DL/T 584 3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程

T/CSEE 0027 配电系统继电保护及自动化产品动模试验技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构网型新能源 Grid-forming renewable energy

通过构网型变流器并网的新能源，变流器具备自主构建并维持内电势幅值和频率功能，以电压源特性运行。

3.2

孤岛 Islanding

包含负荷和电源的部分电网，从主网脱离后继续孤立运行的状态。孤岛可分为计划性孤岛和非计划性孤岛。

3.3

并网点 Point of common coupling

对于有升压站的电源，指升压站高压侧母线或节点，对于无升压站的电源，指电源的输出汇总点。

3.4

真型控制器 Real controller

搭载了与现场分布式电源变流器完全一致的控制逻辑的一组硬件，能够接收仿真模型的输入信号，经运算后输出控制信号给仿真模型中的变流器。

3.5

数学模型控制器 Mathematical model controller

在仿真软件中搭建的包含变流器控制逻辑的一组模型或代码。

4 基本原则

4.1 当配电网中有变流器型新能源接入，宜评估在不同接入容量时，并网点电压和频率波动范围能否满足孤岛保护相关规范要求。

4.2 孤岛保护性能评估宜充分考虑构网型新能源与跟网型新能源的接入比例。

4.3 对于理论上可明确推导的孤岛保护动作边界，宜采用理论评估方法。

4.4 对于理论上不能明确推导的孤岛保护动作边界，宜采用离线仿真或实时仿真手段进行评估。

5 评估内容

5.1 评估范围

构网型新能源接入的配电网是否满足孤岛保护标准要求，包括保护动作的可靠性和灵敏性。

5.2 孤岛保护原理适应性

5.2.1 当跟网型与构网型新能源混合接入系统孤岛运行时，应充分考虑并网点电压、频率波动是否满足 GB/T 12325、GB/T 19964-2024 的要求。

5.2.2 当跟网型新能源接入系统孤岛运行时，应充分考虑并网点电压、频率波动是否满足 GB/T 12325、GB/T 19964-2024 的要求。

5.2.3 当构网型新能源接入系统孤岛运行时，应充分考虑并网点电压、频率波动是否满足 GB/T 12325、GB/T 19964-2024 的要求。

6 评估方法

6.1 一般要求

6.1.1 孤岛保护性能评估方法可采用理论评估方法、仿真评估方法。

6.1.1.1 理论评估方法：根据分布式电源接入容量，通过理论分析和公式推导，得出孤岛运行时的电压和频率，如果不满足系统安全稳定运行要求，可判断孤岛检测性能不受影响；如果在系统安全运行范围内，则孤岛检测具有失效风险，需采用仿真评估方法进一步评估。

6.1.1.2 仿真评估方法：采用离线电磁暂态仿真或者实时电磁暂态仿真方法，搭建电网仿真模型，设置大于边界值的分布式电源接入容量，对孤岛保护性能进行全面的考察。

6.1.2 采用仿真评估方法时，应搭建与实际电网结构、参数一致的仿真模型，其中被评估孤岛保护所在配电网的分布式电源应采用详细模型，其余部分可酌情采用等值建模方法。

6.1.3 仿真建模所用模拟元件要求参照 T/CSEE 0027。

6.1.4 采用变流器并网的分布式电源建模参照本导则 6.2 节要求。

6.2 分布式电源建模要求

6.2.1 基本要求

6.2.1.1 分布式电源详细建模应包含发电单元、变流器、控制器等部分。

6.2.1.2 分布式电源等值建模可采用按场站单机倍乘等值建模方法。

6.2.2 模拟发电单元

6.2.2.1 发电单元应具备出力大小调节能力，实现对分布式电源不同出力的调整。

6.2.2.2 发电单元应具备额定容量大小调节能力，实现与不同额定容量的变流器相适应。

6.2.2.3 发电单元的直流输出电压应可调节，实现与不同直流侧额定电压的变流器相适应。

6.2.3 模拟变流器

6.2.3.1 模拟变流器应采用两电平、三电平或模块化多电平变流器模型，且模拟变流器选型应与变流器原型相一致。

6.2.3.2 模拟变流器的电力电子开关元件应可设置导通或关断阻抗，且取值与原型实际值相一致。

6.2.3.3 对于封装的模拟变流器，直流侧电容器取值应可设置，且取值与原型实际值相一致。

6.2.4 并网控制器

6.2.4.1 并网控制器类型

并网控制器根据仿真系统规模可选择真型控制器或数学模型控制器。

6.2.4.2 真型控制器

真型控制器应满足以下要求：

- a) 如果原型系统分布式电源并网点不超过5个，且具备搭建真型控制器硬件在环试验系统的条件，则可选用真型控制器。
- b) 真型控制器所需的电压信号及电流信号取自一次电路模型的仿真值，真型控制器生成触发脉冲信号并发送给变流器模型中的电力电子开关器件。
- c) 真型控制器的控制策略（包括低电压穿越期间的控制策略）应与原型系统相一致。
- d) 真型控制器的额定容量与原型分布式电源并网容量不同时，则需要使用倍乘元件改变真型控制器的额定容量，使两者相一致。
- e) 真型控制器所对应的变流器直流侧及交流侧电压应与原型系统相一致。

6.2.4.3 数学模型控制器

数学模型控制器应满足以下要求：

- a) 如果原型系统分布式电源并网点超过5个，或不具备搭建真型控制器硬件在环试验系统的条件，则可选用数学模型控制器。
- b) 数学模型控制器的控制策略（包括低电压穿越期间的控制策略）应与原型系统相一致。
- c) 数学模型控制器的准确性应经与实际短路试验、真型控制器硬件在环模型或其他技术手段一致性校核。
- d) 数学模型控制器的额定容量与原型分布式电源并网容量不同时，则需要使用倍乘元件改变控制器的额定容量，使两者相一致。
- e) 数学模型控制器所对应的变流器直流侧及交流侧电压应与原型系统相一致。

6.3 孤岛保护评估

6.3.1 理论评估方法

受分布式电源接入容量的影响，孤岛保护具有失效的风险，孤岛保护有效性具体评估方法见附录A。只有构网型新能源接入，根据式（A.3）（A.4）得到孤岛系统频率、电压，如果落在并网系统允许运行范围内，则孤岛保护不具备孤岛检测的灵敏性；如果落在并网系统允许运行范围外，则孤岛保护能够可靠动作；含构网型新能源与跟网型新能源接入时，根据式（A.7）（A.8）得到孤岛系统频率、电压，与并网系统允许运行值对比可评估孤岛保护的灵敏性和可靠性。

6.3.2 仿真评估方法

根据实际电网拓扑进行详细或等值建模，依照6.2节要求开展分布式电源建模，通过硬件在环仿真的方式接入孤岛保护装置，调整新能源出力与负荷相匹配，断开新能源上游开关，查看孤岛保护装置的动作情况，评估分布式电源接入对孤岛保护性能的影响。

7 评估报告

7.1 描述评估的配电网信息，包括配电网网架参数（拓扑结构、元件参数、系统等值参数等）、分布式电源接入信息（分布式电源类型、接入位置、接入容量、接入方式等）。

7.2 明确孤岛保护评估的对象及评估的范围。

7.3 明确评估采用的方法。

7.4 给出评估的详细过程，包括采用的公式及计算过程、采用的模型参数及仿真结果分析过程。

7.5 评估报告应包括但不限于以上内容，评估报告具体模板见附录 C。

附录 A 孤岛保护理论评估方法

(资料性)

本附录主要针对分布式光伏孤岛运行时检测的有效性进行理论分析。

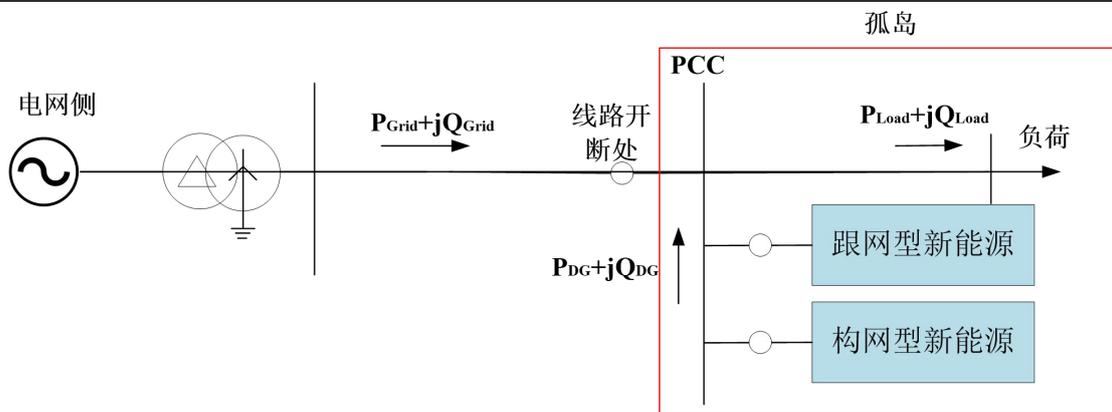
光伏并网逆变器要求必须具备基本的欠/过压、欠/过频孤岛保护的能力。并在孤岛发生后 2s 内将光伏系统从电网中切除。

对于过/欠电压法判断，参考标准 GB/T 12325，对于 20kV 及以下三相供电电压偏差为超出标称电压的 $\pm 7\%$ 。

对于过/欠频率法判断，参考标准 GB/T 29319—2024，具体内容如表 A.1 所示：

表 A.1 电力系统不同频率范围内的光伏发电系统运行要求

电力系统频率(f)范围	运行要求
$f < 46.5 \text{ Hz}$	根据光伏发电系统和无功补偿装置允许运行的最低频率而定
$46.5 \text{ Hz} \leq f < 47 \text{ Hz}$	频率每次低于 47.0Hz 高于 46.5Hz，光伏发电系统至少能运行 5s
$47.0 \text{ Hz} \leq f < 47.5 \text{ Hz}$	频率每次低于 47.5Hz 高于 47Hz 时，光伏发电系统至少能运行 20s
$47.5 \text{ Hz} \leq f < 48.0 \text{ Hz}$	频率每次低于 48Hz 高于 47.5Hz，光伏发电系统至少能运行 60s
$48.0 \text{ Hz} \leq f < 48.5 \text{ Hz}$	频率每次低于 48.5Hz，光伏发电系统至少能运行 5min
$48.5 \text{ Hz} \leq f \leq 50.5 \text{ Hz}$	连续运行
$50.5 \text{ Hz} < f \leq 51.0 \text{ Hz}$	频率每次高于 50.5Hz 低于 51Hz 时，光伏发电系统至少能运行 3min；通过 10(6)kV 电压等级并网的光伏发电系统能执行电力系统调度机构下达的降低功率指令，不允许停运状态的光伏发电系统并网
$51.0 \text{ Hz} < f \leq 51.5 \text{ Hz}$	频率每次高于 51.0Hz 低于 51.5Hz 时，光伏发电系统至少能运行 30s；通过 10(6)kV 电压等级并网的光伏发电系统能执行电力系统调度机构下达的降低功率指令，不允许停运状态的光伏发电系统并网
$f > 51.5 \text{ Hz}$	根据光伏发电系统内光伏逆变器和无功补偿装置允许运行的最高频率而定



图A.1 跟、构网型新能源混合并网系统拓扑图

图A.1为含跟网型和构网型新能源接入的配电网典型拓扑结构，其中 P_{Grid} 、 Q_{Grid} 为系统提供的有功功率和无功功率， P_{DG} 、 Q_{DG} 为新能源提供的有功功率和无功功率， P_{Load} 、 Q_{Load} 为负荷消耗的有功功率和无功功率，PCC为新能源并网点。

下面以图A.1为例，通过理论分析的方法评估孤岛检测性能。

跟网型新能源采用PQ控制策略，恒功率输出，负荷采用RLC负载。在未接入构网型新能源，当跟网型新能源处于并网状态时，其与电网共同为负荷供电。

构网型新能源采取虚拟同步机（Virtual Synchronous Generator, VSG）控制策略，其频率/相位控制方程与电压控制方程如式（A.1）、（A.2）所示：

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{\omega^*} (P_{\text{set}} - P_{\text{Load}}) + D_p (\omega^* - \omega) \quad (\text{A.1})$$

$$\frac{1}{K_i} \frac{dU_f}{dt} = Q_{\text{set}} - Q_{\text{Load}} + \frac{1}{K_q} (U^* - U_f) \quad (\text{A.2})$$

式 (A.1) ~ 式 (A.2) 中:

J -虚拟转动惯量, 由设备制造商给出, 单位为千克·平方米 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

ω -并网点角频率, 单位为标么值 (p.u.);

ω^* -并网点额定角频率, 50Hz系统为314rad/s, 单位为标么值 (p.u.);

P_{set} -逆变电源输出有功功率给定值, 单位为标么值 (p.u.);

P_{Load} -负载有功功率, 单位为标么值 (p.u.);

D_p -阻尼系数, 由设备制造商给出;

K_i -积分常数, 由设备制造商给出;

U_f -并网点电压, 单位为标么值 (p.u.);

U^* -并网点额定电压, 单位为标么值 (p.u.);

Q_{set} -逆变电源输出无功功率给定值, 单位为标么值 (p.u.);

Q_{Load} -负载无功功率值, 单位为标么值 (p.u.);

K_q -下垂系数, 由设备制造商给出。

根据 (A.1), 可得构网型新能源并网点频率如式 (A.3) 所示:

$$f_{\text{PCC}} = f_n + \frac{P_{\text{set}} - P_{\text{Load}}}{2\pi\omega^* D_p} (1 - e^{-\frac{D_p t}{J}}) \quad (\text{A.3})$$

式中:

f_n -额定频率, 为50Hz, 单位为标么值 (p.u.)。

根据 (A.2), 可得构网型新能源接入电网并网点电压如式 (A.4) 所示:

$$U_{\text{PCC}} = U_n + K_q (Q_{\text{set}} - Q_{\text{Load}}) (1 - e^{-\frac{K_i t}{K_q}}) \quad (\text{A.4})$$

式中:

U_n -额定电压, 单位为标么值 (p.u.)。

考虑跟网型与构网型新能源同时接入时, 令构网型与跟网型接入容量比例为 k , 即 $\frac{S_{\text{GFM}}}{S_{\text{GFL}}} = k$, 其

频率/相位控制方程与电压控制方程如式 (A.5)、(A.6) 所示。

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{\omega^*} (P_{\text{set}} - \frac{k}{k+1} P_{\text{Load}}) + D_p (\omega^* - \omega) \quad (\text{A.5})$$

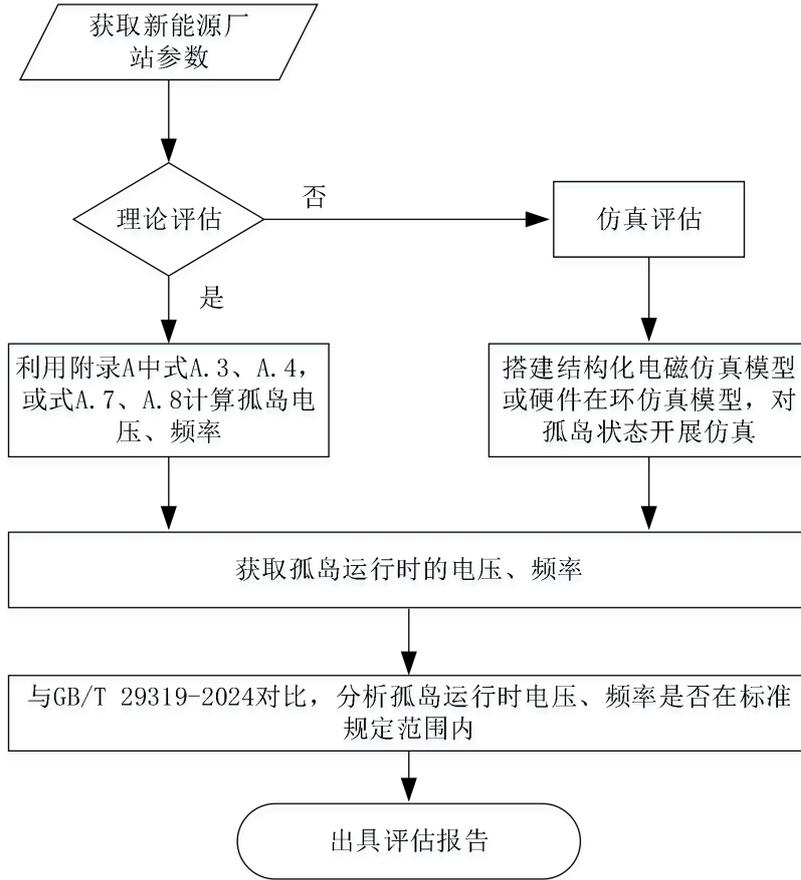
$$\frac{1}{K_i} \frac{dU_f}{dt} = Q_{\text{set}} - \frac{k}{k+1} Q_{\text{Load}} + \frac{1}{K_q} (U^* - U_f) \quad (\text{A.6})$$

则此时混联系统频率和并网点电压计算公式为:

$$f_{\text{PCC}} = f_n + \frac{P_{\text{set}} - \frac{k}{k+1} P_{\text{Load}}}{2\pi\omega^* D_p} (1 - e^{-\frac{D_p t}{J}}) \quad (\text{A.7})$$

$$U_{\text{PCC}} = U_{\text{set}} + K_q (Q_{\text{set}} - \frac{k}{k+1} Q_{\text{Load}}) (1 - e^{-\frac{K_i t}{K_q}}) \quad (\text{A.8})$$

附录 B 孤岛保护评估总体流程图



图B.1 孤岛保护评估总体流程图

附录 C 含构网型新能源接入的配电网孤岛保护性能评估报告

1 概述

评估任务的来源、依据，评估对象、评估内容，评估目的、必要性等。

2 基本情况

2.1 电网拓扑结构

描述待评估配电网的基本情况，明确待评估的电网边界，给出拓扑图。

2.2 分布式电源接入情况

描述待评估的配电网范围内分布式电源的接入情况，包括接入位置、接入方式、接入容量、跟网及构网型新能源接入比例等。

2.3 电网参数及保护配置情况

列出电网各线路、变压器、等值系统详细参数，介绍防孤岛保护配置情况及定值情况。

3 评估过程

3.1 理论评估

采用理论评估方法对XX孤岛保护性能进行评估，列出详细的评估步骤。

3.2 仿真评估

3.2.1 仿真模型概述

介绍所采用的仿真平台、仿真模型搭建的规模、各元件模型的构建方法、对原型电网的等值过程。

3.2.2 分布式电源建模方法

介绍分布式电源所采用的建模方法、各模块之间的连接关系、与原型控制器的一致性。

3.2.3 仿真测试方案

仿真所采用的所有测试案例，包括故障类型、故障点位置、分布式电源出力情况、系统运行方式等。

3.2.4 仿真评估结果

利用仿真数据分析待评估孤岛保护的性能，列出详细的评估过程。

4 评估结论及建议

4.1 分析与结论

结合理论评估和仿真评估，列出待评估孤岛保护的性能评估结果，给出评估结论，包括原理是否适应、定值是否合理等。

4.2 措施与建议

当孤岛保护性能不满足相关规范要求时，应提出相应的应对措施或建议。

5 附件

评估过程涉及到的孤岛保护定值单、仿真模型、计算推导过程、仿真数据等。