

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

分布式光伏电压暂降监测系统技术规范
(征求意见稿)

Technical specification for distributed
photovoltaic voltage sag monitoring system

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会发布

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 缩略语	3
5 分布式光伏发电系统	4
5.1 参考架构	4
5.2 并网接入	5
6 分布式光伏发电暂降检测系统	8
6.1 系统架构	8
6.2 综合评价指标体系	10
6.3 主要功能模块	11

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标准工作委员会能源智慧化工作组提出并归口。

本文件起草单位：国网信息通信产业集团有限公司、北京国网信通埃森哲信息技术有限公司、国网思极数字科技(北京)有限公司、东南大学、浙江华巽科技有限公司、南京优慧信安科技有限公司

本文件主要起草人：李强、赵峰、许中平、谢可、郭翔、李炳森、李守超、刘亚庆、常天渤、杨鹏、吴耀军、吕建兵、孟德建、张韬、陈颖、张钊源、许乐乐、李祺豪、刘家豪、陈维威、张凌云、李文军。

本文件为首次发布。

分布式光伏电压暂降监测系统技术规范

1 范围

本文件规定了分布式光伏发电系统的参考架构、并网接入方案和分布式光伏电压暂降监测系统的系统架构、综合评价指标体系和主要功能模块等内容。

本文件适用于分布式光伏发电和电压暂降监测系统的方案设计、系统实现、检测、验收以及与之相关的设备装置研发、生产等。

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 30137—2013 电能质量 电压暂降与短时中断

GB/T 34932—2017 分布式光伏发电系统远程监控技术规范

GB/T 39270—2020 电压暂降指标与严重程度评估方法

GB 55015—2021 建筑节能与可再生能源利用通用规范

NB/T 32004—2018 光伏并网逆变器技术规范

Q/GDW 1480—2015 分布式电源接入电网技术规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 分布式光伏发电系统 distributed photovoltaic power generation system

通过构建分布式光伏组件，利用光生伏特效应将太阳辐射能直接转换成电能的分布式发电系统。

3.2 光伏组件 photovoltaic module

具有封装及内部联接的、能够单独提供直流电输出的、最小不可分割的太阳能光伏电池组合装置。

3.3 光伏阵列 photovoltaic array

由若干个光伏组件在机械和电气上按一定方式组装在一起，并通过固定的支撑结构而构成的直流发电光伏阵列。

3.4 额定容量 rated capacity

光伏发电站中安装的逆变器的额定功率之和。

3.5 逆变器 inverter

把直流电能转变成定频定压或调频调压交流电的转换器。

3.6 系统能效 system performance ratio

光伏发电站某时段内等效利用小时数与光伏组件倾斜面峰值日照小时数的比值。....

3.7 安装容量 capacity of installation

光伏发电站中安装的光伏组件的标称功率之和。

3.8 系统效率 system efficiency

光伏发电站某时段内输出的总发电量与光伏组件倾斜面吸收的总辐射量的比值。

3.9 光伏发电并网 grid connection for photovoltaic power generation

将光伏组件产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电电网要求的交流电之后，直接接入公共电网的过程。

3.10 可逆并网 reversible grid connection

允许分布式光伏发电系统的多余电能向电网输送的并网方式。

3.11 主站 master station

分布式光伏发电系统的监控与管理中心，实现分布式光伏发电数据采集与监测、监控与调度管理、并网控制与分析、系统保护（含电压暂降监测保护）等功能。

3.12 电压暂降 voltage dip (sag)

电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至0.1标幺值~ 0.9标幺值，并在短暂持续10 ms~ 1 min后恢复正常的现象。

3.13 电压暂降阈值 threshold of voltage dip

用于判断电压暂降开始和结束而设定的电压门槛值。

3.14 电压暂降发生频率 frequency of voltage dip

一定时间内电压暂降发生的次数。

3.15 残余电压 residual voltage

电压暂降过程中记录的电压方均根值的最小值。

3.16 电压暂降能量损失 energy loss of voltage dip

表征电压暂降事件造成损失的定量指标。

3.17 电压暂降严重程度 severity of voltage dip

电压暂降对敏感设备、生产过程或供电电源等的影响程度。

3.18 电压暂降单次事件指标 single-event index of voltage dip

表征某一特定节点单次电压暂降事件特性的指标。

3.19 电压暂降单个节点指标 single site index of voltage dip

表征一定时间内某一特定节点电压暂降事件的总体特性的指标。

3.20 电压暂降多个节点指标 multiple sites index of voltage dip

表征一定时间内多个节点构成的电网的电压暂降事件总体特性的指标。

3.21 电压暂降综合评价指标 comprehensive evaluation indexes of voltage dip

从分布式光伏发电系统的电压暂降能量损失、电压暂降严重程度、电压暂降发生频率等多个方面，考虑分布式光伏发电系统的电压暂降单次事件、分布式光伏单个节点和分布式光伏多个节点等情况，表征分布式光伏发电系统宏观电压暂降的综合评价指标。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AC: 交流电 (alternating current)

AI: 人工智能 (artificial intelligence)

COMTRADE: 电力系统瞬态数据交换的通用格式 (common format for transient data exchange for power systems)

DC: 直流电 (direct current)

EPRI: 美国电力研究协会 (Electric Power Research Institute)

IEEE: 电气电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

LCD: 液晶显示屏 (liquid crystal display)

PLC: 可编程逻辑控制器 (programmable logic controller)

5 分布式光伏发电系统

5.1 参考架构

随着太阳能光伏电池板成本的快速下降、光伏电池板使用寿命的不断延长, 以及由新材料和新技术带来的光电转化效率的持续提升, 为推动太阳能光伏发电全产业链的发展、改善能源结构、带动新兴就业及促进经济发展和社会转型带来新的动力。GB 55015—2021 是我国首个建筑碳排放强制性规范, 对新建建筑的太阳能系统安装要求和工程规范进行了详细规约, 规定太阳能光伏发电系统中的光伏组件设计使用寿命应高于 25 年。分布式光伏发电与集中式光伏发电的区别在于, 前者通常是基于建筑物表面构建的光伏建筑一体化发电系统, 就近解决用户的用电问题, 通过并网实现供电差额的补偿与外送, 该方式存在配电网中逆潮流容易导致额外损耗、电压和无功调节的困难等难题; 后者是利用荒漠等集中建设大型光伏电站, 发电直接并入公共电网, 接入高压输电系统供给远距离负荷, 一般投资大、建设周期长、占地面积大。

大规模广泛的分布式光伏规模化建设, 应充分发掘和利用本地区光伏立体空间 (屋顶、地面等), 因地取能、分布建设、灵活消纳。光伏发电系统一般分为离网光伏发电系统和并网光伏发电系统, 前者是不依赖电网而独立运行的发电系统, 后者必须连接到公共电网。本文件主要关注分布式并网光伏发电系统, 可有效减少改造电网的投资, 通过合理选择分布式光伏发电的并网接入方式, 有助于实现分布式光伏发电的就近并网、就近消纳。

分布式光伏发电系统的参考架构见图 1, 其基本组成应包括光伏组件、光伏阵列、直流汇流箱、直流配电柜、逆变器、变压器、配电箱、并网装置等设备, 此外还应有气象数据、环境监测、数据采集、网络传输等模块, 以及支撑整个分布式光伏发电系统的运维与监控平台, 分布式光伏电压暂降监测是其重要功能之一。分布式光伏发电系统的工作原理是利用太阳能辐射, 由光伏发电系统的太阳能电池光伏组件或光伏阵列, 将太阳能转换输出为电能, 再经过直流汇流箱集中送入直流配电柜, 由逆变器逆变成为交流电供给本地负载, 多余或者不足的电力则通过联接的电网来进行调节。

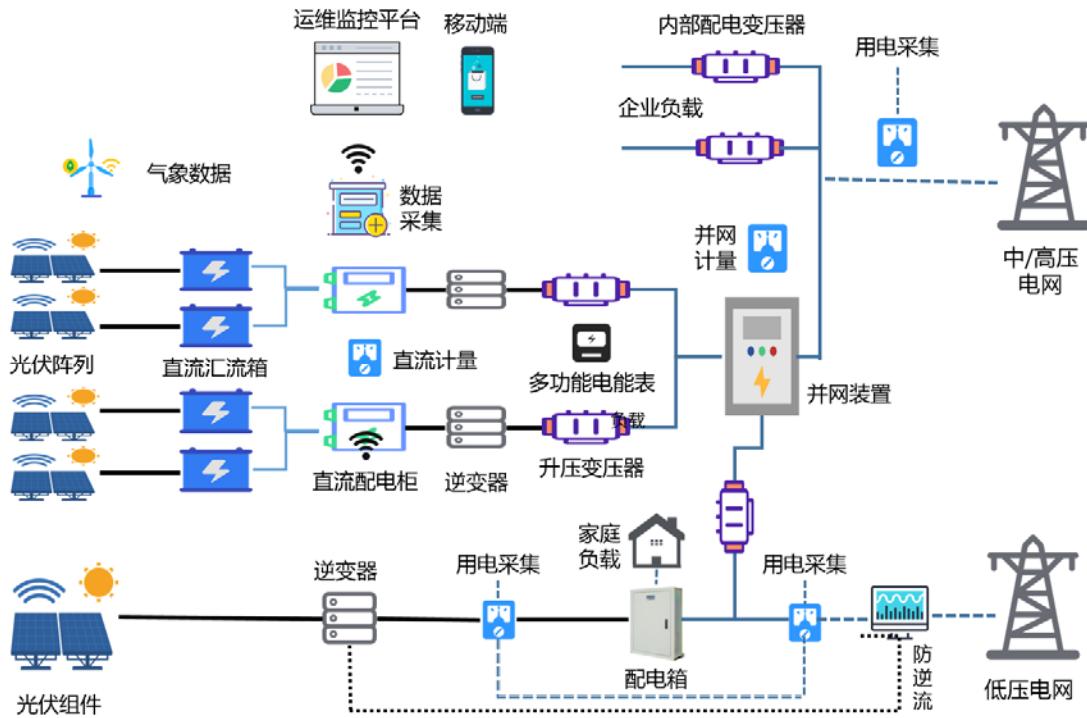


图 1 分布式光伏发电系统参考架构

5.2 并网接入

5.2.1 分布式光伏并网接入要求

分布式光伏发电系统并网接入可能引起配电网的潮流变化,应根据影响程度进行适当改造,而且用户侧的电气设备必须符合国家或行业的制造,电能质量和功率因数应符合配电网的规定。分布式光伏发电系统并网接入的要求如下:

- 分布式光伏发电系统的并网接入应符合 Q/GDW 1480—2015 和 NB/T 32004—2018 的要求。
- 对于离负荷点比较远的大型光伏电站,可采用集中式并网接入方式将所发电能被直接输送到大电网,再由大电网统一调配和向用户供电。
- 对于与区域和建筑等结合的小规模光伏发电系统,可采用分布式并网接入方式实现就近消纳、就近并网,多余或不足电力通过联结电网来调节。
- 分布式光伏并网电压的等级,应根据电网条件通过技术经济论证择优选定;如果高电压和低电压同时具备接入条件,应优先选用低电压等级进行接入。

5.2.2 分布式光伏并网接入方案

分布式光伏发电系统并网接入应采用可逆并网方式,并网接入的太阳能光伏安装容量不应大于供电线缆允许的输送容量,并网逆变器的输出电压应为逆变后(经过变压器或不经过

变压器)的输出电压,并且等于并网点母线电压,并网逆变器的输出频率应与接入电网的频率保持一致。分布式光伏发电系统的并网接入方案如下:

- a) 分布式光伏发电系统的并网接入方案,应根据 Q/GDW 1480—2015 和各并网点的装机容量选择适宜的并网接入电压等级。
- b) 单一用户分布式光伏发电可采用自然人备案的方式,自行建设、自发自用、余电上网,具体的并网接入方案见图 2。
- c) 分布式光伏发电系统当并网容量小于台区配电变压器容量时,可接入 380V 配电网,或通过直流汇集和逆变为交流后,升压并网接入中压或高压电网。
- d) 8kW 及以下可并网接入 220V,交流 220V 并网的分布式光伏发电系统宜用于小范围及居民屋顶的光伏发电。

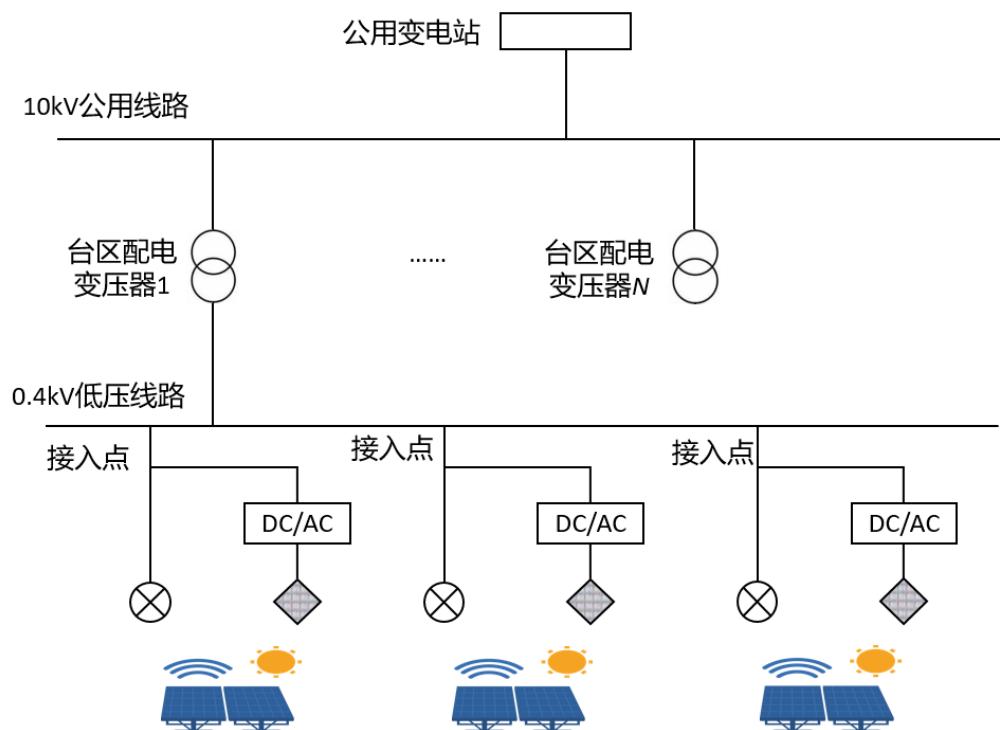


图 2 单一用户分布式光伏发电并网接入

- e) 8kW 至 400kW 可并网接入 380V,光伏阵列接入组串式逆变器,或者通过汇流箱接入逆变器,然后接入 380V 电网,实现自发自用、余电上网。
- f) 400kW 至 10MW 可并网接入 10kV,通过直流汇集和逆变为交流后,再通过升压就近接入 10 kV 线路,并实现“光伏+储能”一体化,见图 3。

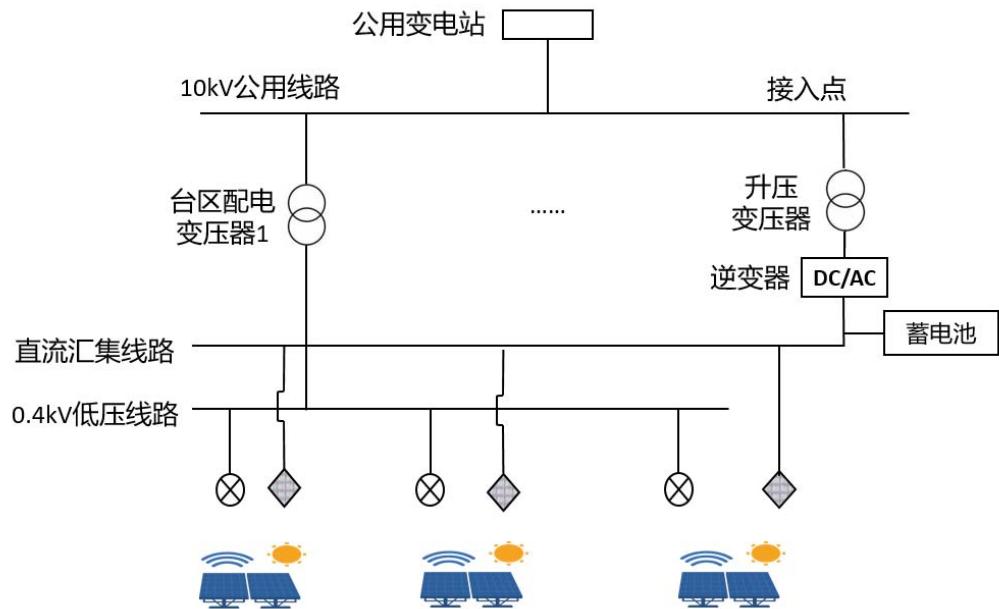


图 3 单一用户分布式光伏发电并网接入

g) 10MW 以上的分布式光伏发电系统, 由于装机容量比较大, 应通过升压变压器升压后以专线接入电网, 确保其电站稳控系统、电能质量等符合要求。10MW 至 40MW 以上可并网接入 35kV, 40MW 至 100MW 可并网接入 110kV, 100MW 及以上可并网接入 220kV。专线并网接入方案见图 4。

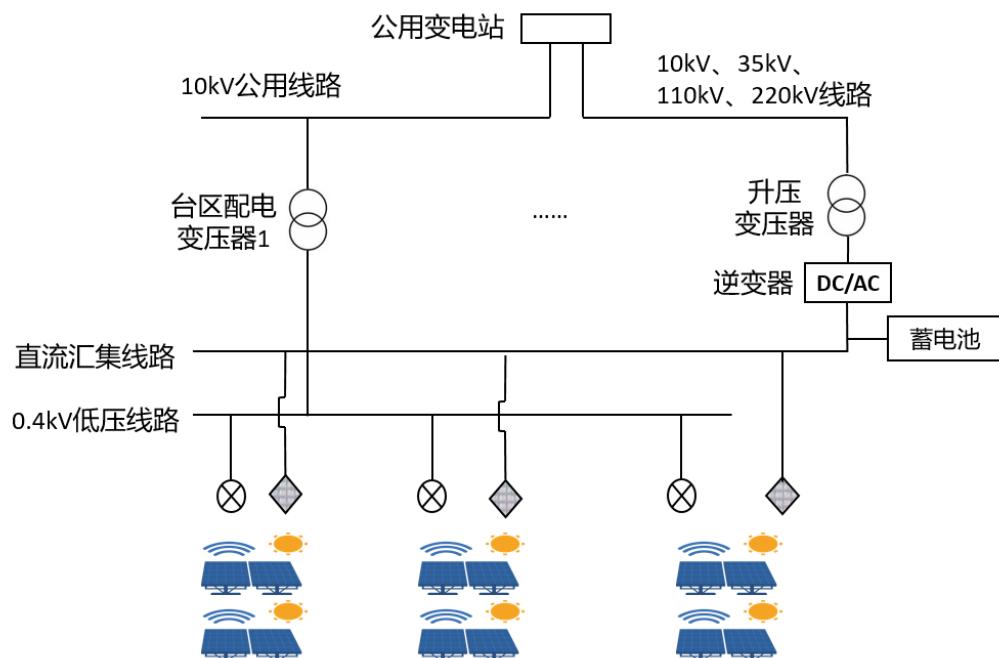


图 4 分布式光伏发电专线并网接入

6 分布式光伏电压暂降监测系统

6.1 系统架构

导致电压暂降的原因通常是由于输配电系统中发生短路故障、大容量感应电机启动、开关操作和变压器与电容器组投切等事件引起功率（尤其是无功功率）的大幅度变化，因而电压暂降的影响范围通常较大，其影响程度取决于电压暂降的幅值和持续时间。电压暂降与电压过低有显著的区别，电压暂降是在极短的时间内电压发生大幅度的降低，有时暂降后的电压仅为正常电压的 10%，甚至更低。电压暂降可能直接或间接地引起多种事故，包括生产线上的电机停机、变频器出现失压保护、PLC 工作失灵、计算机存储的数据丢失等。在分布式光伏发电系统中，由于大量户用光伏发电系统以分散方式接入配电网，电压暂降事件会引起光伏逆变器端口电压跌落，从而导致逆变器注入电网电流激增，进而引发电网波动出现故障，给电网的正常运行管理带来风险。所以，必须高度重视分布式光伏电压暂降的监测。

分布式光伏电压暂降监测是分布式光伏发电监控系统的主要功能之一。在大规模广泛的分布式光伏发电系统中，由于分布式光伏安装位置分散、分布地域广泛，因此必须构建功能齐备的分布式光伏发电监控系统来支撑整个分布式光伏发电系统的正常运维和管理。分布式光伏发电监控系统应符合 GB/T 34932—2017 的要求，主要功能包括数据监测管理、调度管理和系统保护等，其系统架构见图 5。

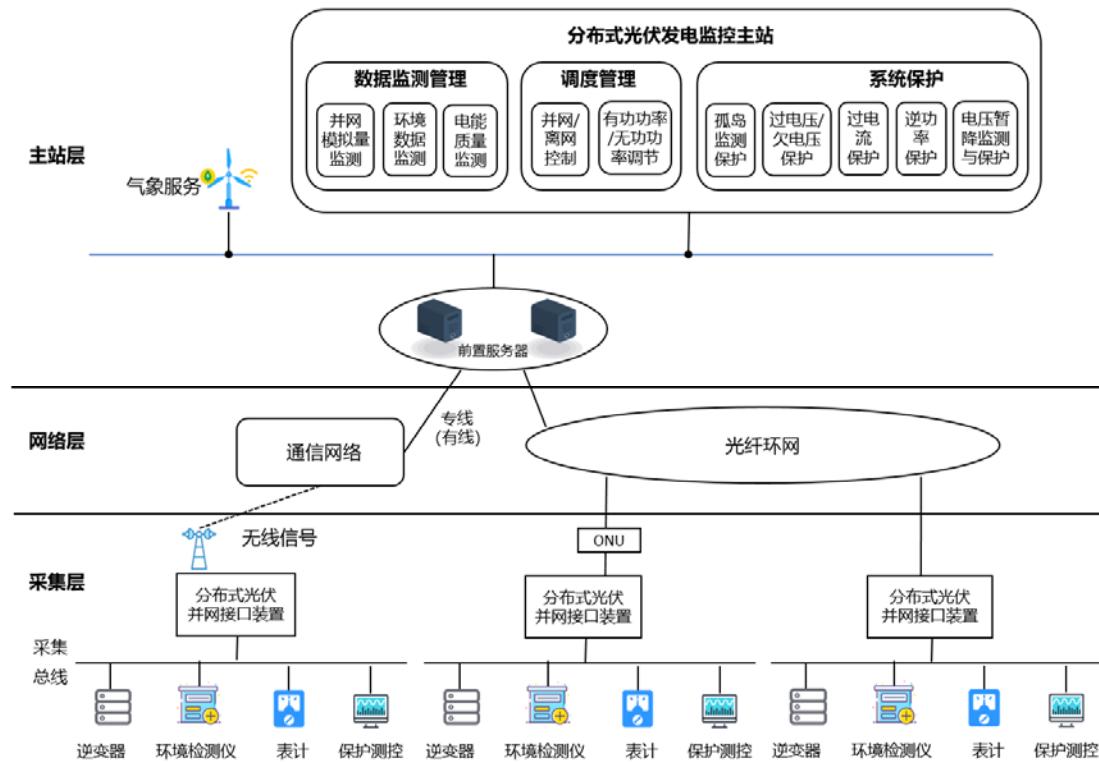


图 5 分布式光伏发电监控系统架构

分布式光伏发电监控系统采用分层体系结构设计，自底向上主要分为三层，包括采集层、网络层和主站层，各层的功能如下：

- a) 采集层：该层主要通过采集总线对分布式光伏发电系统的逆变器、电能表、保护测控、环境等信息进行采集，包括连接点有功功率、无功功率、电压、电流、频率、电能质量等，以及各种开关量信号和状态信号等，经网络层传送至主站层。
- b) 网络层：该层通过无线（3G、4G、LTE、ZigBee 等）、有线和光纤混合通信等提供采集层和主站层之间的网络通信，容量较大的分布式光伏发电系统内部宜采用光纤专网、载波通信或无线专网，并考虑网络安全措施确保数据传输的安全。
- c) 主站层：该层应包括前置机、应用服务器、工作站、时钟校准装置、防火墙等设备，功能包括数据监测管理（包含并网模拟量监测、环境数据监测、电量质量监测等）、调度管理（包含并网/离网控制、有功功率/无功功率调节等）和系统保护（包含孤岛监测保护、过电压/欠电压保护、过电流保护、逆功率保护、电压暂降监测保护等）。

在分布式光伏发电监控系统中，电压暂降监测一般作为一个子系统进行开发和实现。考虑到大规模广泛的分布式光伏发电系统中大量户用光伏发电系统以分散方式并网接入，因此分布式光伏电压暂降监测系统应以分层、分布式架构开发，其系统架构见图 6。

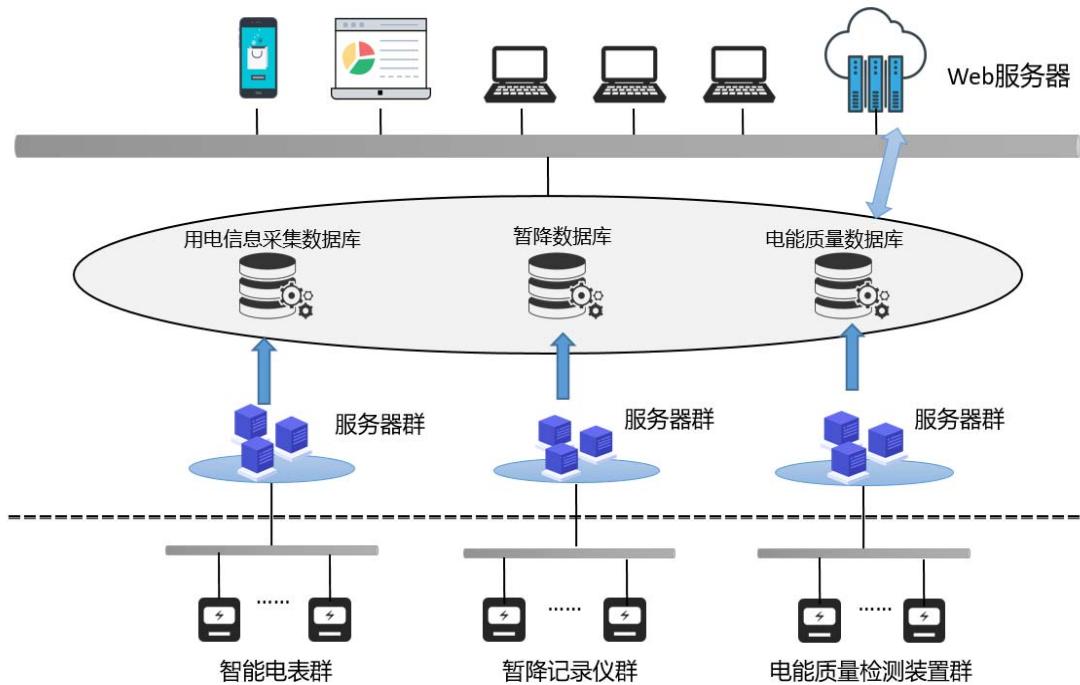


图 6 分布式光伏电压暂降监测系统架构

分布式光伏电压暂降监测系统包括设备层、服务层和客户层，各层功能如下：

- a) 设备层：该层包含各类电压暂降监测专业仪器和设备、以及具有电压暂降监测功能的终端等，分布式光伏电压暂降数据的记录应遵循标准化的专业格式，推荐采用由

IEEE 定义的电力系统瞬态数据交换的通用格式 COMTRADE。

- b) 服务层: 该层是设备层与客户层之间数据交互的桥梁, 向下连接各种电压暂降监测设备和终端, 向上为客户提供监测数据采集与分析、系统维护和权限管理等服务。该层应包括数据库服务器、应用服务器、Web 服务器、网络服务器、管理工作站以及数据通信必须的网络设备等。
- c) 客户层: 该层向用户提供分布式光伏电压暂降监测系统的登录、浏览、查询、统计分析、可视化呈现、报表等功能, 可基于 Web、App 或微信等开发实现。

6.2 综合评价指标体系

电能质量是指电力系统中电能的质量, 电压暂降是各类暂态电能质量问题中发生频度最高的事件之一。据 EPRI 的统计数据, 约 92% 的电能质量事件为电压暂降, 其中电压暂降幅度在 10%~30% 的约占 70%, 持续时间不超过 1 s 的约占 90%, 不超过 0.1 s 的约占 60%。电压暂降指标对于电压暂降的检测、判断、分析、保护等至关重要, 分布式光伏发电系统的电压暂降监测系统应符合 GB/T 30137—2013 和 GB/T 39270—2020 的要求。

在上述国家标准的基础上, 从分布式光伏发电系统的电压暂降能量损失、电压暂降严重程度、电压暂降发生频率等方面, 考虑分布式光伏发电系统的电压暂降单次事件、分布式光伏单个节点和分布式光伏多个节点, 计算电压暂降单次事件指标、分布式光伏单个节点指标和分布式光伏多个节点指标, 形成分布式光伏电压暂降监测综合评价指标, 见表 1:

表 1 分布式光伏电压暂降监测综合评价指标

指标 范围	电压暂降能量损失	电压暂降严重程度	电压暂降发生频率
电压暂降 单次事件	$E_{Vs} = \int_0^T \left[1 - \left(\frac{U(t)}{U_n} \right)^2 \right] dt$	$S_e = \frac{1 - U_{res}^*}{1 - U_{curve}(T)}$	--
分布式光伏 单个节点	总暂降能量 SEI $SEI = \sum_{i=1}^n E_{Vs,i}$ 平均暂降能量 ASEI $ASEI = \frac{1}{n} SEI$	总暂降严重性 S_{site} $S_{site} = \sum_{i=1}^n S_{e-i}$ 平均暂降严重性 $S_{average}$ $S_{average} = \frac{S_{site}}{n}$	SARFI _X 和 SARFI _{COURVE}
分布式光伏 多个节点	一定时间内所有节点的能量指标的平均值或 95% 概率大值进行计算而得	一定时间内所有节点的暂降严重性指标的平均值或 95% 概率大值进行计算而得	一定时间内所有节点的 SARFI 的平均值或 95% 概率大值进行计算而得

表 1 中电压暂降单次事件电压暂降能量损失指标 E_{vs} 计算公式中, $U(t)$ 为暂降过程中电压均根值曲线, 单位为伏 (V); U_n 为标称电压, 单位为伏 (V); T 为暂降持续时间, 单位为毫秒 (ms)。电压暂降单次事件电压暂降严重程度指标 S_e 计算公式中, U_{res}^* 为参与电压标幺值, $U_{curve}(T)$ 为设备耐受曲线上对应持续时间 T 的暂降事件残余电压标幺值。分布式光伏单个节点指标中的 n 为一定时间内分布式光伏单个节点电压暂降事件的数量。表 1 中各指标定义及其参数说明参见 GB/T 30137—2013 和 GB/T 39270—2020。

在分布式光伏电压暂降监测中, 电压暂降单次事件、分布式光伏单个节点、分布式光伏多个节点之间的关系是: 单次电压暂降事件是分布式光伏电压暂降检测的基础, 分布式光伏单个节点电压暂降检测需要考虑一定时间内所有单次电压暂降事件指标, 而分布式光伏多个节点电压暂降检测则需考虑一定时间内所有单个节点电压暂降指标。

6.3 主要功能模块

6.3.1 光伏电力信号采集模块

分布式光伏电力信号采集模块是电压暂降监测系统的基础, 该模块的主要功能包括:

- a) 对分布式光伏电力信号进行转换, 使之适合于电力信号采集的信号输入量程范围;
- b) 通过波形整形电路、锁相环电路、AD 转换电路等, 将电压互感器电路和电流互感器电路输出的模拟信号(包括电压有效值、电流有效值、频率等)转换成数字信号等。

6.3.2 光伏电压暂降检测模块

分布式光伏电压暂降检测模块是电压暂降监测系统的核心, 该模块的主要功能包括:

- a) 对经 AD 转换之后的分布式光伏电力信号数据, 通过微处理器运行分布式光伏电压暂降检测算法, 计算分布式光伏电压暂降的特征量(包括有功功率、无功功率、电能质量等)和关键电压暂降指标取值;
- b) 检测电压暂降事件并存储电压暂降波形数据等。

6.3.3 交互与控制接口模块

交互与控制接口模块的主要功能包括:

- a) 通过 LCD 接口电路、按键电路和蜂鸣器电路等, 帮助分布式光伏电压暂降监测系统实现与监测终端的交互、远程参数设置等;
- b) 交互和设置的参数包括监测点变电站名称、监测对象、监测点名称、授权访问信息、设备的电压互感器电压比, 以及远程主站与电压暂降监测终端和对象的通信方式、传输通道、交互内容和实时性要求等。

6.3.4 网络与数据传输模块

网络与数据传输模块的主要功能包括：

- a) 将光伏电力信号采集模块和光伏电压暂降检测模块的数据传输到主站层；
- b) 实现主站层和交互与控制接口模块、远程监控与保护模块之间的数据传输；
- c) 通过必要的网络安全措施以确保数据传输的安全；
- d) 容量较大的分布式光伏发电系统内部宜采用光纤专网、载波通信或无线专网等通信网络。

6.3.5 基于 AI 的分析模块

基于 AI 的分析模块对维持分布式光伏发电系统的正常运营、消减电压暂降对分布式光伏发电系统的影响至关重要，该模块的主要功能包括：

- a) 对分布式光伏电压暂降数据的累积、统计、挖掘和关联分析等；
- b) 以大数据和 AI 技术为基础，通过知识图谱、知识挖掘等，基于 AI 的分析模块可提供电压暂降多维统计（包括影响范围与严重程度等）、归因与定位、风险预测与告警、辅助决策和经济性评估等功能。

6.3.6 可视化人机界面模块

可视化人机界面模块的主要功能包括：

- a) 负责分布式光伏电压暂降检测系统与系统管理人员及用户之间的交互；
- b) 通过 Web、App 或微信等开发方式为用户提供人机友好界面；
- c) 提供分布式光伏电压暂降监测系统的登录、浏览、查询、统计、报表等功能；
- d) 以可视化方式显示基本电力参数、暂降特征参数、监测点地理视图、显示和设置装置参数等。