

T/SDPEA

山东省电力行业协会团体标准

T/SDPEA XXXX—XXXX

光伏无功功率倒送情况下的配网无功补偿 控制技术规范

Technical specification for reactive power compensation control of distribution
networks under photovoltaic reverse reactive power flow conditions

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

山东省电力行业协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 2

 4.1 功率因数 2

 4.2 电压控制 2

 4.3 并网要求 2

5 设备要求 2

 5.1 基本要求 2

 5.2 数据采集模块 2

 5.3 处理模块 2

 5.4 负荷电流正反向控制器 2

6 控制流程 3

 6.1 数据采集 3

 6.2 数据处理 3

 6.3 测量方法 3

 6.4 供电模式测量方法 3

 6.5 发电模式测量方法 3

 6.6 注意事项 4

7 试验方法 4

 7.1 试验条件 4

 7.2 数据采集模块 4

 7.3 处理模块 4

 7.4 感性负荷电流正反向控制器测试 5

 7.5 容性负荷电流正反向控制器测试 5

附录 A（规范性） 控制策略 6

 A.1 感性负荷电流正反向控制器 6

 A.2 容性负荷电流正反向控制器 6

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。

本文件由山东省电力行业协会提出。

本文件由山东省电力行业协会归口。

本文件起草单位：国网山东省电力公司济南市长清区供电公司、山东海冠电气有限公司、山东福瑞电工有限公司。

本文件主要起草人：贾承悦、孙彬、刘超、石成柱、高加海、李岩、韩伟、王莹、孙乃东、吴少勳、刘子昂、黄晓莉、贾晨阳、孟祥峰。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，文件中的“6.1 控制流程”、“6.2 控制策略”、“7.1 供电模式”、“7.2 发电模式”可能涉及“基于光伏无功功率倒送情况下的无功补偿控制方法及系统”（专利号：ZL 2024 1 0669338.X）相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人：国网山东省电力公司济南市长清区供电公司

地址：山东省济南市长清区经十西路15508号

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

光伏无功功率倒送情况下的配网无功补偿技术规范

1 范围

本文件规定了基于光伏无功倒送情况下的配网无功补偿控制中的技术要求、设备要求、控制策略、测量方法、试验方法等。

本文件适用于存在光伏无功功率倒送情况的配网无功补偿场景，可应用于变电站10kV母线及配电变压器的无功补偿控制，其他形式下的无功功率倒送情况可参照使用。

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 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 17215.23 电测量设备（交流）通用要求、试验和试验条件 第31部分：产品安全要求和试验
- GB/T 17626.30 电磁兼容 试验和测量技术 第30部分：电能质量测量方法
- GB/T 19964 光伏发电站接入电力系统技术规定
- GB/T 20840.2 互感器 第2部分：电流互感器的补充技术要求
- GB/T 20840.3 互感器 第3部分：电磁式电压互感器的补充技术要求
- GB/T 29321 光伏发电站无功补偿技术规范
- GB/T 33593 分布式电源并网技术要求
- GB/T 34931 光伏发电站无功补偿装置检测技术规程
- GB/T 35003 非易失性存储器耐久和数据保持试验方法
- GB/T 40095 智能变电站测控装置技术规范
- DL/T 842 低压并联电容器装置使用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

供电模式 power supply mode

电流正向流动，即从变电站母线向用户输送电能的模式。

3.2

发电模式 power generation mode

电流反向流动，即光伏发电系统向变电站母线输送电能的模式。

3.3

光伏无功功率倒送 photovoltaic reverse reactive power

光伏发电系统向电网注入的无功功率方向与电网正常运行时无功流动方向相反的现象。

3.4

负荷电流正反向控制器 load current forward and reverse controller

能够对负荷电流的正向和反向进行测量，并基于测量结果实现相应控制策略的装置，包括感性负荷电流正反向控制器和容性负荷电流正反向控制器。

注：正向为供电模式，反向为发电模式

3.5

分组电容容量 capacitance of grouped capacitors

为实现阶梯式无功补偿，将电容器按预设容量划分的组段容量值。

3.6

无功补偿控制 reactive power compensation control

通过对相关设备和装置的控制，在光伏无功功率倒送情况下实现无功功率的合理调节，以提高电网功率因数、维持电压稳定的过程。
[来源：DL/T 2071-2019, 3.19, 有改动。]

4 技术要求

4.1 功率因数

在光伏无功功率倒送情况下，经补偿控制后，并网点功率因数应不低于 0.95（滞后至超前范围），且满足 GB/T 29321 的相关要求。

4.2 电压控制

- 4.2.1 并网点电压偏差应符合 GB/T 12325 的规定，额定电压的偏差在±5%之间。
- 4.2.2 电压波动和闪变应符合 GB/T 12326 的规定，短时闪变值（Pst）≤1.0，长时闪变值（Pit）≤0.8。

4.3 并网要求

光伏电站应符合 GB/T 19964、GB/T 33593 中关于光伏电站并网的技术要求，包括频率适应范围、谐波限值等。

5 设备要求

5.1 基本要求

- 5.1.1 无功补偿装置的接入不应影响电网继电保护及自动装置的正常运行。
- 5.1.2 无功补偿装置应具备与电网调度系统的数据交互能力，实时上传无功补偿状态信息。

5.2 数据采集模块

- 5.2.1 采集模块包括电压互感器、电流互感器等。
- 5.2.2 电压互感器应满足 GB/T 20840.3 的要求，电流互感器应满足 GB/T 20840.2 的要求。
- 5.2.3 数据采集模块采样频率应≥10 kHz。

5.3 处理模块

电子设备构成及要求见表1：

表 1 电子设备要求表

设备名称	要求
处理器	主频≥1 GHz，支持多任务并行处理，响应时间≤10 ms
存储器	容量≥1 GB，支持数据存储时间≥1 年。
总线	采用CAN、EtherCAT等工业级通信总线，通信速率≥1 Mbps，传输延迟≤1 ms。
注：存储器只保存动作信息，不保存数据信息。	

5.4 负荷电流正反向控制器

5.4.1 通用要求

- 负荷电流正反向控制器的通用要求如下：
- a) 工作环境温度：-25℃～+70℃；
 - b) 相对湿度：5%～95%；
 - c) 防护等级：室外安装达到 IP54、室内安装达到 IP20；
 - d) 具备过电压、过电流、过热保护功能；

- e) 具备无功功率极性识别功能，可区分容性/感性无功状态。

5.4.2 感性负荷电流控制要求

感性负荷电流正反向控制器要求如下：

- 功率因数测量范围：0.8（滞后） $\sim$ 1.0 $\sim$ 0.8（超前），测量误差处于 ± 0.01 范围内；
- 从检测到潮流方向变化至执行控制策略的响应时间 ≤ 50 ms；
- 具备功率因数阈值自适应修正功能，可根据电网负载变化动态调整阈值。

5.4.3 容性负荷电流控制要求

容性负荷电流正反向控制器要求如下：

- 无功功率测量误差处于 $\pm 2\%$ 范围内；
- 电容切除响应时间 ≤ 50 ms，抑制容性无功过剩。

6 控制流程

6.1 数据采集

实时检测电流方向，基于电压电流相位角判定运行模式，并获取相关电流、电压、无功功率数据。

6.2 数据处理

6.2.1 供电模式感/容性负荷依据 7.2 及图 2 中方法识别，发电模式感/容性负荷依据 7.3 及图 3 中方法识别。

6.2.2 根据供电/发电运行模式及负荷类型，调用对应的控制策略，控制策略见附录 A。

6.3 测量方法

6.4 供电模式测量方法

图 2 中对感性负荷电流正反向控制器的测量，电流正向供电模式时，测量角度 θ 为A相电流和BC相线电压的相位角， $\theta = 0^\circ \sim 90^\circ$ ；功率因数角 ϕ 为A相电流滞后A相电压的角度， $\phi = 90^\circ - \theta = 0 \sim 90^\circ$ ；功率因数 $\cos \phi$ 在此区间为正值，功率因数角正弦值 $\sin \phi$ 为正值；有功功率 $P = \sqrt{3}UI \cos \phi$ 为正值；无功功率 $Q = \sqrt{3}UI \sin \phi$ 为正值。

图 3 中对容性负荷电流正反向控制器的测量，电流正向供电模式时，测量角度 θ 为A相电流和BC相线电压的相位角， $\theta = 90^\circ \sim 180^\circ$ ；功率因数角 ϕ 为A相电流滞后A相电压的角度， $\phi = 90^\circ - \theta = 0 \sim -90^\circ$ ；功率因数 $\cos \phi$ 在此区间为正值，功率因数角正弦值 $\sin \phi$ 为负值；有功功率 $P = \sqrt{3}UI \cos \phi$ 为正值；无功功率 $Q = \sqrt{3}UI \sin \phi$ 为负值。

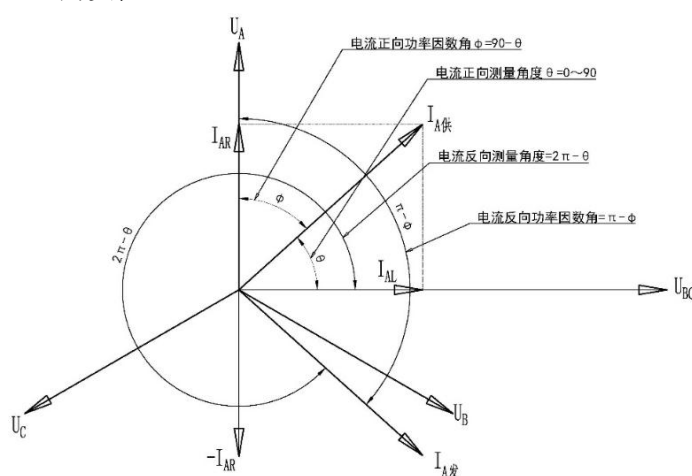


图 1 感性负荷电流正反向测量电压电流相位角示意图

6.5 发电模式测量方法

图 2 中对感性负荷电流正反向控制器的测量，电流反向发电模式时，测量角度为A相电流和BC相线电压的相位角 $=2\pi - \theta$ ；功率因数角为A相电流滞后A相电压的角度 $=\pi - \phi$ ；功率因数在此区间为负值，功率因数角正弦值为正值；有功功率 $P=\sqrt{3}UI \cos(\pi - \phi)$ 为负值；无功功率 $Q=\sqrt{3}UI \sin(\pi - \phi)$ 为正值。

图 3 中对容性负荷电流正反向控制器的测量，电流反向发电模式时，测量角度为A相电流和BC相线电压的相位角 $=2\pi - \theta$ ；功率因数角为A相电流滞后A相电压的角度 $=\pi + \phi$ ；功率因数在此区间为负值，功率因数角正弦值为负值；有功功率 $P=\sqrt{3}UI \cos(\pi + \phi)$ 为负值；无功功率 $Q=\sqrt{3}UI \sin(\pi + \phi)$ 为负值。

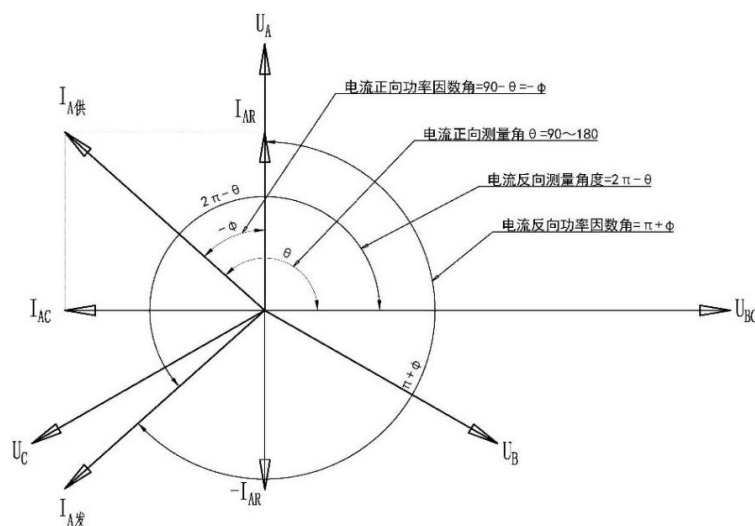


图 2 容性负荷电流正反向测量电压电流相位角示意图

6.6 注意事项

按照 DL/T 842 中规定设置投切动作最小时间间隔 ≥ 5 分钟，避免频繁动作。

7 试验方法

7.1 试验条件

试验条件应符合 GB/T 17215.231 中的要求。

7.2 数据采集模块

7.2.1 电压互感器

电压互感器试验方法按照 GB/T 20840.3 中要求进行，试验结果应符合 5.2 中的要求。

7.2.2 电流互感器

电流互感器试验方法按照 GB/T 20840.2 中要求进行，试验结果应符合 5.2 中的要求。

7.3 处理模块

7.3.1 处理器性能

通过工业控制软件模拟 1000 点/秒的数据处理任务，记录处理延迟，平均延迟应符合 GB/T 40095 中的规定 ≤ 10 ms。

7.3.2 存储器可靠性

存储器耐久试验、数据保持试验、电测试按照 GB/T 35003 中要求进行，试验结果应符合 5.2 中的要求。

7.4 感性负荷电流正反向控制器测试

7.4.1 功率因数控制精度

模拟供电/发电模式，设置6 kV标准电压、100 A电流。输入0.85~0.95的功率因数信号，记录控制器投切指令及实际功率因数变化，计算与设定阈值的偏差。实际功率因数与设定阈值的偏差应处于 ± 0.02 范围内。

7.4.2 响应时间

模拟潮流方向从正向切换至反向时，记录从电流反向检测到控制器输出指令的时间，响应时间应 ≤ 50 ms。

7.5 容性负荷电流正反向控制器测试

7.5.1 无功功率极性识别

输入容性无功和感性无功信号，验证控制器对无功功率极性的识别准确性，识别准确率100 %视为合格。

7.5.2 电容切除响应

模拟无功功率从-500 kvar 变为0 kvar，记录从信号输入到电容切除完成的时间，响应时间应 ≤ 30 ms。

附 录 A
(规范性)
控制策略

A.1 感性负荷电流正反向控制器

感性负荷电流正反向控制器供/发电模式控制策略如下：

- a) 设定功率因数阈值：下限值滞后 0.90，上限值滞后 0.95；
- b) 投条件：当前功率因数 $<$ 下限值，且投入分组电容容量后功率因数 $\leq$ 上限值；
- c) 切条件：当前功率因数 $>$ 上限值；
- d) 投切优先级：按分组电容容量从小到大依次投切。

A.2 容性负荷电流正反向控制器

容性负荷电流正反向控制器供/发电模式控制策略如下：

- a) 切条件：当无功功率 ≥ 0 时，立即切除对应电容组。
 - b) 切除顺序：按电容组容量从大到小依次切除，优先削减过剩容性无功。
-