

[变电设备]

变电设备试验过程中的电流、电压波动测试与分析

文/刘同
国网徐州供电公司

在变电设备试验过程中，电流与电压波动是影响设备运行性能和电力系统稳定性的重要因素。围绕电流与电压波动的特性，重点分析瞬时波动与持续波动的产生原因及其对系统的潜在影响。通过对波形幅值、频率及形状变化的监测，揭示瞬时波动通常由负载快速变化、电磁干扰或设备切换引发，而持续波动多与电源调节不稳定、负载变化或设备老化相关。研究表明，瞬时波动可能对设备产生短时冲击，而持续波动则会对系统长期运行带来效率损失和潜在隐患。

变电设备是电力系统中不可或缺的核心组成部分，其运行状态对电力供应的安全性、稳定性和可靠性具有重要影响。在变电设备的运行和试验过程中，电流和电压波动是一个值得关注的突出问题^[1]。这些波动通常受到设备内部状态、电网质量以及外部负荷变化等多重因素的影响，可能表现为幅值、频率或波形的短时或长期变化。若未能及时有效地监测和分析这些波动，可能会导致设备过载、元器件损坏甚至保护装置的误触发，从而引发严重的系统安全问题和经济损失^[2]。

近年来，随着电力系统规模的扩大和运行复杂性的提高，变电设备的运行环境和负荷特性愈加多样化，这对电流、电压波动的监测技术和分析手段提出更高的要求。传统的测试方法在准确度、实时性和全面性上存在一定的局限性，因此，探索更加精准、高效的测试技术，结合先进的数据分析手段，对波动特征进行深入研究和风险评估，已成为当前电力工程领域的研究热点。

本文以变电设备试验过程中的电流、电压波动为研究对象，从测试设备与仪器的选择、测试流

程的规范化入手，详细介绍电流、电压波动的测试方法。通过对波动特征和影响因素的分析，结合实验研究，评估波动对设备运行的潜在风险及影响，旨在为提高变电设备的运行稳定性和电力系统的可靠性提供理论依据和技术支持。同时，本研究期望为设备运行状态监测、故障诊断与优化设计提供参考，为电力系统的安全性和经济性提升做出贡献。

变电设备试验过程中的电流、电压波动测试方法

1. 测试设备与仪器选择

1.1 电流、电压传感器

电流和电压传感器是测试过程中不可或缺的设备，它们用于将电力系统中的电流和电压信号转换为可供测量与分析的电气信号。选择合适的传感器对测试的准确性和信号的质量至关重要。

本文使用的电流传感器见表1。

电压传感器见表2。

表1 电流传感器

传感器类型	测量内容
霍尔效应传感器	用于高压和高频环境下的电流测量，具有高精度和良好的线性度
电流互感器	适用于变电设备中的大电流测量，可以在不直接接触高压设备的情况下，安全地测量电流
电流探头	需要测量高频和瞬时波动的测试场景，选择带有快速响应时间的电流探头非常重要

表2 电压传感器

传感器类型	测量内容
电压互感器	通过电磁感应原理将高电压信号转化为低电压信号，便于测量和监控
电压探头	在选择电压传感器时，除了考虑准确度和响应时间外，还需要关注其频率响应范围，通过电压探头捕捉电网中由于负荷波动或设备故障引起的电压波动

根据变电设备的工作电压、电流范围、频率响应以及实际试验环境来综合考虑传感器的选择。

1.2 数据采集与分析系统

数据采集系统由数据采集卡、信号调理模块和接口设备组成。数据采集卡负责从传感器获取电流、电压信号，并将其转换为数字信号以供处理。信号调理模块则用于对原始信号进行放大、滤波和校正，确保信号质量符合测试要求。数据采集卡和信号调理模块的选择需要根据测试的频率范围、采样准确度和实时性要求来确定。尤其是在高频、高准确度要求的试验中，系统的响应速度和噪声抑制能力尤为重要。

数据分析系统用于处理从数据采集系统中获得的数据，提取电流、电压波动的特征信息。首先进行时域分析，研究电流、电压波动的瞬时变化趋势；然后进行频域分析，识别波动中的高频成分，评估电力系统中的谐波污染情况；最后进行波形分析，捕捉波形的变化和失真情况，帮助判断是否存在设备故障或电网异常。此外，现代的数据分析系统还可以结合机器学习和人工智能技术，对电流、电压波动进行预测和诊断，提高测试结果的准确性和系统的智能化水平。

2. 测试过程与步骤

2.1 安装与调试

在电流、电压波动测试之前，首先需要对测试设备进行安装与调试。安装过程涉及到电流和电压传感器的合理布置、数据采集系统的配置和信号调理设备的安装。正确的安装是确保数据准确的基础，任何安装不当都可能导致测量误差或设备

故障。

电流和电压传感器的安装根据变电设备的具体工作环境和测量要求来进行。电流传感器需要串联在测量回路中，而电压传感器则须并联安装。安装时，确保传感器与设备接触良好，避免因接触不良或电气噪声引起的不稳定测量。

数据采集系统的调试主要涉及信号传输、数据采集卡的安装和信号调理模块的连接等环节。调试过程中，应先确保信号传输路径无误，检查数据采集卡是否能够正常识别传感器输出的信号。信号调理模块的设置也非常重要，它需要对传感器输出的模拟信号进行适当的放大、滤波，以确保信号质量达到测试标准。在调试阶段，还应进行初步的信号采集和预处理，检查是否存在信号失真或干扰。

安装与调试过程中，必须对所有测试仪器进行校准，确保它们的测量准确度符合标准要求。校准工作通常采用已知标准的参考信号源，通过比较仪器输出与标准信号的差异，调整仪器的零点和增益设置。只有经过准确校准的设备才能确保测试结果的可靠性。

2.2 数据采集

数据采集是电流、电压波动测试的核心步骤。该过程的主要任务是从传感器获取电流、电压的实时数据，并通过数据采集系统进行存储与处理。数据采集的质量直接决定了后续波动分析的准确性，因此这一阶段需要特别注意采样频率、准确度和实时性。

采样频率决定了数据的时效性和细节捕捉能力。在高频波动和瞬态波动的测试中，采样频率需要较高，以便准确捕捉到电流电压的变化。而在较为平稳的测试环境中，较低的采样频率也可以满足需求。通常情况下，采样频率至少应为波动频率的2倍以上，以满足奈奎斯特采样定理的要求。

在数据采集过程中，数据量通常非常庞大，因此需要有足够容量的存储设备进行实时存储。同时，数据采集系统应能够实现高效的数据处理和预处理，包括滤波、去噪和校正等，以确保获取的原始数据不受外界干扰的影响。在数据存储过程中，应定期对数据进行备份，以防丢失或损坏。

在采集过程中，实时监控系统需要对数据进行持续监测，特别是在电流、电压波动达到一定阈

值时，系统应自动发出报警。这有助于在设备出现异常时及时采取应对措施，避免设备损坏或系统故障。

2.3 试验条件设置

测试时应考虑到变电设备的实际负载状态。不同负载下，电流和电压波动的特征可能会有所不同。为了模拟设备在不同工况下的运行情况，选择多个负载工况进行测试。测试过程中，负载应保持稳定，避免因负载波动引起额外的误差。对于特殊的试验条件，例如设备的过载情况，也需要在设定的安全范围内进行测试，以评估设备在极端条件下的运行能力。

电网质量对电流、电压波动的影响不可忽视。测试过程中，尽可能确保电网的稳定性，避免外部电网波动对测试结果产生干扰。在一些特殊情况下，需要对电网进行短时间的扰动，例如模拟谐波、闪变等，以观察变电设备在不同电网质量下的表现。

不同的时间段，电网负荷和波动特征可能有所不同。选择合适的测试时段可以确保测试结果具有代表性。测试覆盖电力系统的高负荷时段和低负荷时段，以全面评估设备的运行状态。

电流、电压波动的分析与评估

1. 幅值、频率、波形变化

电压波动情况如图1所示。

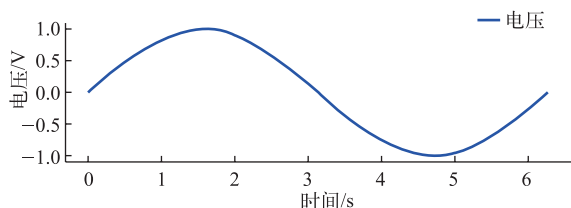


图1 电压波动情况

电流波动情况如图2所示。

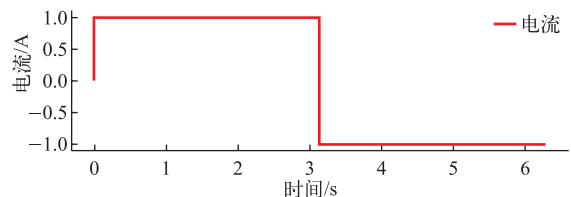


图2 电流波动情况

在电压波形中，幅值呈现规律性的正弦波变

化，最大值为1（单位：V），最小值为-1。这表明电压信号在一个稳定的范围内波动，反映了理想电源的输出特性。而电流波形以方波形式呈现，幅值在+1和-1之间切换，代表电流信号的开关特性。幅值的恒定性表明系统负载运行的基本稳定性，但若实验中幅值出现突变或偏离规律范围（如电压瞬间上升到1.5 V或下降到-1.5 V），可能提示设备故障或过载。

电压波形的正弦周期性和电流波形的方波周期性是一致的，显示两者频率稳定。从图1和图2中可以观察到，每个波形的周期为 2π 单位时间，频率保持恒定。电流和电压频率的同步性说明系统信号协调良好。但如果实验数据中发现频率偏移（例如周期变长或变短），可能由电源不稳定或电气干扰引起。此外，频率的不匹配也可能是设备间谐振现象的表现，需进一步检查谐波影响。

电压波形表现为理想的正弦波，波形圆滑且无失真，说明信号质量较高。然而，电流波形为理想方波，具有明显的高低切换边界，且在零点附近无明显毛刺或噪声，表明系统内的功率开关或负载调节良好。实际实验中，电压波形可能出现失真（如尖峰、毛刺）或波形畸变（如平顶、谐波），反映出系统负载非线性或干扰源的存在；而电流波形可能因负载突变产生过冲或下降，尤其在开关频率较高的情况下，波形变化会更加剧烈。

2. 瞬时波动与持续波动

瞬时波动实验结果如图3所示。

观察图3可知，电压波形是以正弦波为基础，并叠加高频尖峰干扰。这些尖峰主要出现在波形的上升或下降沿，表现为瞬时的波动。这种现象通常由短时外部干扰引起，例如电磁干扰（EMI）、负载快速切换或者功率器件的非线性特性。尖峰的幅值相对于波形的正常范围较小，但如果尖峰频率较高或者幅值过大，可能会导致设备运行不稳定，甚至损坏敏感的电子元件。

电流波形为理想的方波，瞬时波动集中在方波的边界切换处（如从正值跳变到负值时的零点附近），表现为信号的快速变化。这是方波信号固有的特征，但在实际系统中，开关器件切换时可能会引发尖峰电流或高频噪声。这种瞬时波动通常通过滤波电路或缓启动机制来抑制。

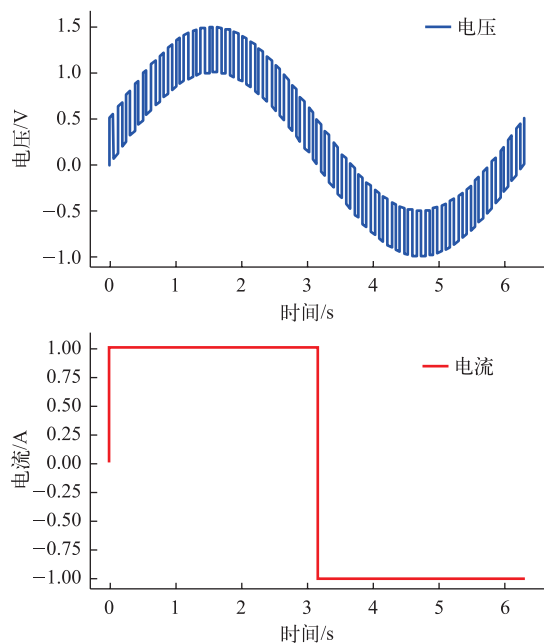


图3 瞬时波动实验结果

持续波动实验结果如图4所示。

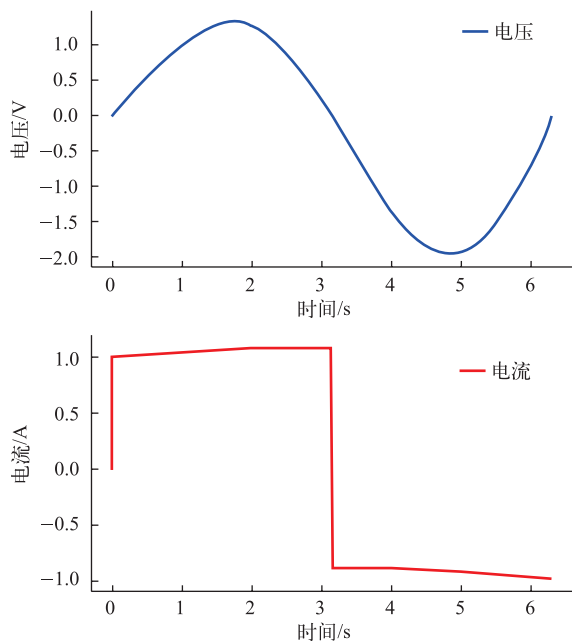


图4 持续波动实验结果

根据图4可知，电压波形随着时间推移，幅值逐渐增大。这种缓慢的幅值变化是持续波动的典型特征，可能由电源调节不稳定或负载逐步增加引起。例如，当系统中某些设备逐渐增加功率消耗时，电压波形会呈现持续漂移。持续波动的出现可能会对系统运行带来长期的压力，如引起电路过热或负载不平衡，需要进行监测和调整。

电流波形则在方波的基础上叠加了低频的波动（轻微的正弦波形漂移），反映出电流信号的持续变化。这种现象可能由负载缓慢调整引起，例如感性或容性负载在电源变化时的响应迟滞效应。如果电流的持续波动幅值过大，会对系统效率产生负面影响，同时增加设备的运行损耗。

这两种波动类型对系统稳定性的影响不同，需要采取针对性措施。例如瞬时波动应增加滤波器，而持续波动则需要改进电源调节器或优化负载分配。

结束语

通过对变电设备试验过程中电流与电压波动的测试与分析，本次研究深入揭示设备运行过程中波动的主要特征及其可能的影响。瞬时波动的出现通常由负载快速变化、开关器件切换或电磁干扰引发，表现为幅值的突变或波形的尖峰，会对设备的正常运行产生短期冲击。而持续波动则反映了设备长期运行过程中由于电源调节不稳定、负载变化或设备老化引起的幅值或频率漂移，这种波动若得不到有效控制，会导致系统效率降低、设备损耗增加甚至故障隐患。

通过对幅值、频率和波形变化的分析，能够精准识别电流与电压波动的来源，进一步掌握设备在运行中的动态性能，为制定设备维护与优化策略提供科学依据。本次研究不仅验证常规变电设备的运行稳定性，也为未来引入更高效的控制手段提供基础参考。下一步工作中，应结合先进的数字化监控技术，加强对波动信号的实时采集与分析，同时优化滤波器设计、提升电源调节器性能，从而更有效地抑制瞬时波动、降低持续波动对系统的影响，最终保障电力系统的安全性、稳定性和高效运行。EA

(收稿日期：2025-03-05)

参考文献

- [1] 石富岭，祁琪，江若嘉，等. 基于共享介质争用访问机制的电采暖设备自适应控制方法[J]. 电力系统自动化，2023，47(16): 76-84.
- [2] 徐全，雷金勇，袁智勇. 基于同步量测的配网态势感知技术在新型电力系统中应用与展望[J]. 南方电网技术，2023，17(1): 136-143.