

# 数字电能计量及其电能表检测技术

彭 飞

中电装备山东电子有限公司 山东 济南 250000

**摘要:** 数字电能计量是电力系统精准管控的核心支撑,但其技术实施与性能验证仍面临诸多挑战。传统计量方式精度受限,现有数字计量及检测技术存在理论适配不足、抗干扰性能待优化、检测体系不完善等问题。本文梳理数字电能计量基础理论与核心技术,分析数字电能表检测技术要点,提出技术应用与优化的核心方向,为提升数字电能计量精度、保障检测可靠性及推动电力计量数字化发展提供参考。

**关键词:** 数字电能计量;核心技术;电能表;检测技术

引言:随着电力系统数字化转型提速,传统模拟电能计量方式已无法满足精准化、智能化管控需求,数字电能计量技术随之兴起并成为行业主流。但复杂电力环境的干扰、计量核心技术的适配短板,以及数字电能表性能检测标准的落地差异,制约了该技术的规模化应用。精准可靠的数字电能计量与检测,是保障电网高效运行、维护供电公平的关键。因此,本文系统研究数字电能计量基础理论、核心技术及检测方法,为相关技术优化与应用提供理论支撑。

## 1 数字电能计量基础理论

### 1.1 数字电能计量核心原理

数字电能计量的核心原理是将被测的交流电压、电流等模拟电信号,通过高精度传感器和模数转换器(ADC)转换为数字信号,再借助数字信号处理算法完成电能参数的计算与累加。一是电压和电流传感器对电网中的电信号进行隔离、衰减或放大处理,确保信号处于ADC的有效测量范围;二是ADC按照设定的采样频率将模拟信号离散化为数字量,实现模拟信号到数字信号的转换;三是微处理器或专用数字信号处理芯片对采集到的数字量进行运算处理,通过积分算法计算出有功电能、无功电能等核心电能参数,完成数据的存储与传输。整个过程通过数字化处理,有效降低了传统模拟计量方式中元件误差对计量精度的影响<sup>[1]</sup>。

### 1.2 数字电能计量关键参数

数字电能计量的关键参数主要包括电能参数、采样参数和精度参数三类。电能参数是计量的核心结果,涵盖有功电能、无功电能、视在电能、功率因数、电压有效值、电流有效值、频率等,其中有功电能和无功电能是衡量电能消耗和电网运行状态的核心指标。采样参数直接影响计量精度,主要包括采样频率和采样位数,采样频率需满足奈奎斯特定理(Nyquist),确保能够准确还

原原始电信号,采样位数则决定了数字信号对模拟信号的量化精度,采样位数越高,量化误差越小。精度参数是衡量计量性能的重要指标,包括准确度等级、误差范围等,不同应用场景对数字电能计量的精度等级要求不同,通常工业级和民用级计量设备有着明确的精度划分标准。

## 2 数字电能计量核心技术

### 2.1 高精度采样技术

高精度采样技术是数字电能计量的基础,直接决定了计量结果的准确性。其核心原理是通过专用采样器件将电力系统中的模拟电压、电流信号转化为数字信号,整个过程需实现对信号的精准捕捉与量化。为达成高精度采样目标,需重点突破三个关键环节:(1)采样器件的选型,通常采用高性能模数转换器(ADC),该器件需具备高分辨率、高采样速率和低非线性误差特性,能够精准识别信号中的微小变化;(2)采样时钟的稳定性控制,时钟信号的漂移会直接导致采样时刻偏差,因此需采用恒温晶体振荡器等高精度时钟源,确保采样频率的稳定性;(3)采样电路的优化设计,通过合理布局电路、选用低噪声元器件,减少外界干扰对采样信号的影响,同时采用差分采样方式提升对共模干扰的抑制能力。高精度采样技术的应用,使得数字电能计量能够实现对宽量程、复杂波形电能信号的精准采集,为后续信号处理提供可靠的数据基础。

### 2.2 数字信号处理技术

数字信号处理技术是数字电能计量的核心环节,其作用是对采样得到的数字信号进行分析、计算,最终得出电压、电流、功率、电能等关键计量参数。该技术以数字信号处理算法为核心,结合高性能微处理器实现数据的实时处理。(1)核心算法包括离散傅里叶变换(DFT)及快速傅里叶变换(FFT),通过这些算法可将时域信号

转化为频域信号,实现对基波、谐波参数的精准提取,有效解决了传统计量方式中谐波干扰导致的计量误差问题。(2)为提升计量精度,还会采用数字滤波算法,如有限冲击响应(FIR)滤波器,对采样信号中的高频噪声进行过滤,保留有效信号成分;相位补偿算法的应用可修正采样过程中产生的相位偏差,进一步提升功率、电能计算的准确性。(3)数字信号处理技术的优势在于能够通过软件算法的优化不断提升计量性能,相较于传统硬件电路调整,具备更强的灵活性和可扩展性,可适应不同电力场景下的计量需求<sup>[2]</sup>。

### 2.3 数据传输与通信技术

数据传输与通信技术是实现数字电能计量数据共享与远程管控的关键支撑,其核心需求是保证数据传输的准确性、实时性和可靠性。数字电能计量系统的通信架构通常分为本地通信和远程通信两部分。(1)本地通信主要用于计量设备与本地终端的近距离数据交互,常用技术包括RS-485、CAN总线等,这类技术具备抗干扰能力强、传输距离适中、成本较低的特点,适用于配电房、变电站等本地场景的数据传输;(2)远程通信则主要实现计量数据向远端监控中心的传输,常用技术包括以太网、无线通信(如LoRa、NB-IoT等),其中无线通信技术凭借部署灵活、无需布线的优势,广泛应用于分布式电力计量场景。为确保数据传输安全,通常会采用数据加密技术对传输数据进行加密处理,防止数据被篡改或窃取;采用差错控制编码技术,如CRC校验,对接收数据进行校验,及时发现并纠正传输过程中产生的错误,保障计量数据的完整性与可靠性。

### 2.4 抗干扰技术在数字电能计量中的应用

电力系统运行环境复杂,存在电磁干扰、电压波动、温度变化等多种干扰因素,这些因素会严重影响数字电能计量的精度与稳定性,因此抗干扰技术在数字电能计量中具有不可或缺的作用。(1)抗干扰技术的应用贯穿于计量系统的整个设计流程,主要包括硬件抗干扰和软件抗干扰两个层面。硬件抗干扰方面,通过合理的电路布局与屏蔽设计,如采用屏蔽罩、接地铜箔等,减少电磁干扰对采样电路、信号处理电路的影响;在电源端采用滤波电路、浪涌保护器件,抑制电源噪声和瞬时过电压的干扰。软件抗干扰方面,通过采用数据冗余存储、多次采样平均、异常数据识别与剔除等算法,提升系统对干扰信号的容错能力;通过软件看门狗技术,可有效防止程序因干扰出现死循环,保障计量系统的稳定运行。(2)抗干扰技术的综合应用,显著提升了数字电能计量系统在复杂环境下的可靠性与计量精度,为电力系统的

精准计量提供了有力保障。

## 3 数字电能表检测技术基础

### 3.1 数字电能表检测的核心目的与要求

数字电能表检测核心目的是验证计量准确性、运行可靠性及功能完整性,保障复杂电力环境下精准计量。检测要求包括:计量精度符合等级,不同工况下误差控制在允许范围;具备良好稳定性与抗干扰能力,抵御电网波动、电磁干扰等,长期运行性能无明显衰减;验证数据采集、传输、存储等功能完整有效,保障数据可追溯与准确。

### 3.2 数字电能表检测的技术标准与规范

检测需遵循统一技术标准与规范,确保过程规范、结果可比。标准围绕计量性能、检测方法、环境条件、安全要求等制定,明确不同类型等级电能表的检测项目与判定依据,涵盖基本误差检测、潜动试验等关键环节要求,同时对检测设备精度、校准周期及环境温湿度、电磁屏蔽等作出具体规定,是保障检测科学公正的重要前提。

### 3.3 数字电能表检测的基本流程

数字电能表检测的基本流程涵盖检测准备、参数设定、工况模拟、数据采集、结果分析与判定五大核心环节。一是检测准备阶段需校准调试检测设备、核查检测环境,同时对被测电能表开展外观检查与通电预热,保障设备与环境满足检测要求。二是依据检测标准设定检测项目、工况条件及误差允许范围。三是通过检测系统模拟各类电网运行工况,输入标准电压、电流信号。四是检测设备实时采集电能表的计量数据与运行状态参数,并与标准信号对比。五是根据分析结果判定电能表是否达标,形成完整检测记录<sup>[3]</sup>。

## 4 数字电能表关键检测技术

### 4.1 计量精度检测技术

计量精度是数字电能表的核心性能指标,其检测技术主要围绕标准信号溯源与误差校准展开。(1)检测过程中,通过高精度标准源输出不同幅值、频率的电压和电流信号,模拟实际用电场景下的负荷变化,数字电能表接收信号后完成计量运算,将其计量结果与标准源的理论值进行比对,从而得出计量误差。(2)为保障检测精度,需严格控制检测环境的温度、湿度等参数,同时采用高精度数据采集设备,其采样分辨率不低于16位,采样频率可达10kHz,确保能精准捕捉电能表的计量数据。针对不同负荷等级的检测需求,需覆盖从空载到120%额定负荷的全范围检测,确保电能表在各类实际运行工况下均能保持计量准确性。

### 4.2 稳态与动态性能检测技术

稳态性能检测聚焦于电能表在恒定负荷条件下的运行稳定性,通过持续输出稳定的电压、电流信号,维持检测时长不低于2小时,监测电能表计量值的漂移情况,确保其计量误差在规定范围内保持稳定。(1)动态性能检测则针对实际用电场景中负荷的快速变化特性,模拟负荷突变、冲击负荷等动态工况,其中负荷突变的幅值范围可达到额定负荷的0至100%,突变时间不超过10ms。(2)检测过程中,重点监测电能表在动态负荷切换时的计量响应速度和误差波动,采用高速数据记录设备实时捕捉计量数据的变化曲线,分析电能表的动态跟踪能力,保障其在复杂用电环境下的计量可靠性<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 数据通信功能检测技术

数据通信功能检测旨在验证数字电能表与外部设备的数据交互能力,涵盖通信协议一致性、数据传输速率、传输稳定性等核心指标。(1)检测过程中,搭建标准通信测试平台,模拟主站系统与电能表的通信链路,采用符合行业规范的通信协议进行数据交互测试。针对不同通信接口类型,如RS485、以太网、无线通信等,分别检测其数据传输性能,其中RS485接口的传输速率测试范围为1200bps至9600bps,以太网接口的传输延迟不超过50ms。(2)通过连续通信测试时长不低于24小时,统计数据传输的误码率,确保误码率低于 $10^{-6}$ ,同时验证电能表在通信中断、信号干扰等异常情况下的恢复能力,保障数据传输的连续性和完整性。

#### 4.4 电磁兼容性检测技术

电磁兼容性检测是保障数字电能表在复杂电磁环境中正常运行的关键手段,主要包括电磁辐射抗扰度检测和电磁发射抑制检测两部分。(1)电磁辐射抗扰度检测采用标准辐射场发生设备,在30MHz至1GHz的频率范围内,施加场强不低于10V/m的电磁辐射,监测电能表的运行状态和计量精度变化,确保其在辐射干扰环境下不出现功能异常。(2)电磁发射抑制检测则通过电磁兼容测试暗室,测量电能表运行过程中产生的电磁辐射强度,确保其辐射值低于30dB $\mu$ V/m,避免对周边电子设备产生电磁干扰。检测过程中,采用全频段电磁信号采集设备,精准捕捉电磁信号的幅值和频率特性,为电能表的电磁兼

容性优化提供数据支撑<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 可靠性与耐久性检测技术

可靠性与耐久性检测聚焦于电能表长期运行的稳定性和使用寿命,通过加速老化试验和长期负荷运行试验实现。(1)加速老化试验将电能表置于高温、高湿的环境中,环境温度设定为60 $^{\circ}$ C,相对湿度保持在90%,持续试验时长不低于1000小时,模拟电能表长期运行后的性能衰减情况。(2)长期负荷运行试验则让电能表在额定负荷条件下持续运行,运行时长不低于5000小时,定期监测其计量精度、功能状态等指标的变化,评估其使用寿命。检测过程中,采用智能监测系统实时采集电能表的运行数据,包括内部温度、电源电压、计量误差等,分析各项参数的变化趋势,判断电能表的可靠性水平,确保其满足长期稳定运行的使用需求。

结束语:数字电能计量及检测技术的发展是电力系统数字化升级的重要基石。本文从基础理论、核心技术及检测要点多维度展开分析,明确了数字电能计量的技术逻辑与检测核心需求。解决当前技术应用中的抗干扰、精度稳定性及检测标准化等关键问题,对提升电力计量水平具有重要意义。未来,可进一步聚焦新型材料与智能算法的融合应用,推动计量与检测技术的协同优化。本研究为数字电能计量技术的完善与推广提供了思路,助力电力系统实现更高效、精准的管控目标。

#### 参考文献:

- [1]李栋.低压电能计量集抄技术应用与分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(04):167-168+224.
- [2]罗郡,陈勇,孔祥麟,等.数字电能计量及其电能表检测技术研究[J].江西电力职业技术学院学报,2024,37(4):19-21.
- [3]田园,张梅,保富,原野.基于大数据的数字化电能计量误差分析[J].电测与仪表,2021,58(11):136-141+163.
- [4]严嘉钰.电能计量误差及计量改进措施分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(12):316-317.
- [5]杨正泰,龙逸群.基于改进遗传算法的数字化电能计量误差自动检测方法[J].信息与电脑(理论版),2023,35(15):132-134.