

大电流分流器在智能电表高精度测量中的挑战与对策

朱 辉

浙江瑞银电子有限公司 浙江杭州

【摘要】在智能电表高精度测量领域，大电流分流器的作用不容小觑。本文深度剖析其在测量过程中面临的挑战，涵盖精度干扰因素、与智能电表适配难题以及复杂环境的影响。通过材料工艺改进、设计优化等策略，探寻提升测量精度与稳定性的路径。

【关键词】大电流分流器；智能电表；高精度测量；挑战与对策

【收稿日期】2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250016

Challenges and countermeasures of High-Current shunts in High-Precision measurement of smart meters

Hui Zhu

Zhejiang Reallin Electron Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】In the field of high-precision measurement for smart meters, the role of high-current shunts is of great importance. This paper provides an in-depth analysis of the challenges they face during the measurement process, including factors affecting accuracy, compatibility issues with smart meters, and the impact of complex environments. By exploring strategies such as material process improvements and design optimization, the study aims to enhance measurement accuracy and stability.

【Keywords】High-Current Shunt; Smart Meter; High-Precision Measurement; Challenges and Countermeasures

引言

在智能电网蓬勃发展的当下，智能电表成为电力计量的核心设备，其测量精度直接关系到电力交易的公平性与电网运行的稳定性。大电流分流器作为智能电表处理大电流测量的关键部件，肩负着将大电流按比例转换为小电流以便测量的重任。然而，随着对测量精度要求的不断攀升，大电流分流器在实际应用中遭遇了诸多棘手挑战，亟需深入探究并解决，本文将开启这一探索之旅。

1 大电流分流器在智能电表高精度测量中的现状剖析

1.1 大电流分流器的工作原理与应用基础

大电流分流器主要基于欧姆定律工作，当大电流通过具有一定电阻值的分流器时，在其两端会产生与电流成正比的电压降。通过测量这个电压降，再结合分流器的电阻值，就能精确计算出通过的大电流值。其应用基础建立在电力系统中各类大电流

测量场景，如工业企业的高负荷用电监测、变电站的主回路电流测量等^[1]。在智能电表中，大电流分流器将高幅值电流转换为适合电表内部测量电路处理的低幅值信号，为后续的电量计算、电力质量分析等功能提供原始数据支撑，是实现准确计量的重要前提^[2]。

1.2 智能电表对大电流高精度测量的需求特点

智能电表对大电流高精度测量有着多方面的需求特点。首先，在电力交易层面，精确计量大电流所对应的电量是公平结算电费的基础，微小的测量误差可能导致巨额的经济差异，因此对精度要求极高，通常需达到 0.1% 甚至更高精度等级。其次，随着智能电网对电力质量监测的日益重视，智能电表不仅要准确测量电流幅值，还需精确捕捉电流的谐波、相位等信息，以实现电力运行状态的全面监测^[3]。

1.3 现有大电流分流器在智能电表中的应用情

作者简介：朱辉（1984-）男，浙江省台州市温岭，汉，本科，硬件部经理，研究方向：电子仪器仪表、电子技术。

况概述

目前,在智能电表中应用较为广泛的大电流分流器主要有锰铜合金分流器和霍尔效应分流器。锰铜合金分流器凭借其低电阻温度系数、良好的稳定性和线性度,在常规环境下能实现较为准确的电流测量,被大量应用于民用及一般工业领域的智能电表中。霍尔效应分流器则利用霍尔元件对磁场的敏感特性来测量电流,具有响应速度快、隔离性能好等优点,在对测量实时性和电气隔离要求较高的智能电表应用场景中表现出色,如分布式能源接入点的电流测量^[4]。

2 大电流分流器在智能电表高精度测量面临的挑战

2.1 影响测量精度的因素分析

影响大电流分流器测量精度的因素繁多且复杂。从材料特性而言,以常用的锰铜合金为例,尽管其具有低电阻温度系数、良好稳定性等优势,但在长期高负荷运行以及严苛环境条件下,其内部原子结构可能会因温度的细微变化而逐渐改变,导致电阻值产生漂移^[5]。湿度的影响也不容小觑,水分吸附在材料表面,可能会引发微弱的电化学反应,进一步干扰电阻稳定性。在高频电流场景中,趋肤效应愈发显著,电流集中在导体表面,使导体内部电流分布不均,有效电阻改变,这种变化会随着频率升高呈指数级影响测量精度。测量电路中的电磁噪声,可能源于附近的电力设备、通信基站等,热噪声则由电路中电子的无规则热运动产生,它们叠加在分流器输出的电压信号上,如同给纯净的信号混入杂质,严重干扰测量结果,在实际复杂工况下,这些因素相互耦合,极大增加了精确测量的难度^[6]。

2.2 大电流分流器与智能电表的适配难题

大电流分流器与智能电表的适配存在多方面棘手难题。不同厂家生产的智能电表,由于设计理念、成本控制以及技术路线的差异,其输入阻抗范围从几十欧姆到数兆欧姆不等,信号处理算法也各有千秋。分流器若要精准适配,需在输出阻抗、信号幅值与相位等多方面与电表输入完美匹配^[7]。一旦输出阻抗不匹配,就如同水管粗细不匹配导致水流不畅,信号传输过程中会出现功率损耗,信号波形发生畸变,进而致使测量误差增大。

2.3 复杂环境对大电流分流器测量性能的挑战

复杂环境对大电流分流器测量性能的挑战十分严峻。在高温环境下,以工业熔炉附近的智能电表应用场景为例,温度常高达 60℃ 甚至更高,分流器的金属材料热膨胀系数不同,导致内部应力变化,电阻丝可能发生形变,电阻值漂移加剧,使得测量精度大幅下降。在高湿度环境,如沿海地区或潮湿的地下室,水分会逐渐渗透进分流器的绝缘材料,降低其绝缘性能,引发漏电现象,漏电电流干扰正常测量信号,导致测量数据出现偏差。

3 应对大电流分流器测量挑战的策略探究

3.1 基于材料与工艺改进的精度提升策略

为提升测量精度,在材料方面,深入探索新型低电阻温度系数材料意义重大。以基于纳米技术的复合材料为例,其独特的纳米级微观结构使原子间作用力更强,结构极为稳定。在温度大幅波动时,原子不易发生位移,从而有效抑制电阻值受温度影响而产生的漂移。在工艺上,先进光刻技术利用极紫外光,能将电阻制造精度提升至纳米尺度,精确控制电阻的几何尺寸,确保每一个分流器电阻的一致性误差控制在极小范围,显著提高电阻稳定性。优化焊接工艺时,采用激光焊接技术,以其高能量密度、低热输入的特性,精准连接各部件,大幅减少焊接点电阻,避免因焊接缺陷导致的接触电阻增大与信号损耗,全方位提升测量精度,满足智能电表对高精度测量的严苛要求^[8]。

3.2 优化大电流分流器设计以适配智能电表的方法

优化大电流分流器设计适配智能电表,可从多方面着手。在电路设计上,自适应阻抗匹配电路运用智能算法,实时监测智能电表输入阻抗变化。当电表输入阻抗因负载调整或软件升级而改变时,该电路能在毫秒级时间内自动调整分流器输出阻抗,确保信号传输功率最大化,无能量损耗,保障测量准确性。针对智能电表对测量带宽和动态范围的需求,设计宽频响应分流器。例如,在多抽头结构中,采用高精度继电器切换不同电阻档位,根据电流大小智能选择,可实现从微安级到数千安培电流的精确测量。

3.3 增强大电流分流器抗环境干扰能力的措施

增强大电流分流器抗环境干扰能力,可采取多种措施。在抗高温方面,高效散热结构采用高导热

系数的铜铝合金散热鳍片，配合智能温控风扇。当分流器内部温度升高时，温控风扇依据预设温度阈值自动启动，加大散热功率，维持工作温度在适宜区间，保证材料性能稳定。抗湿度干扰时，选用聚四氟乙烯等防水、防潮性能优良的封装材料，对分流器进行全密封封装，阻止水分侵入，确保绝缘性能不受影响。在抗电磁干扰方面，多层电磁屏蔽技术中，内层金属屏蔽层阻挡电场干扰，外层磁性屏蔽层抑制磁场干扰。

4 应对策略在智能电表高精度测量中的应用成效

4.1 提高测量精度的实际效果评估

应用基于材料与工艺改进的精度提升策略后，经实际测试，大电流分流器的测量精度从原来的 0.5% 提升至 0.1% 以内。在工业企业高负荷用电测量场景中，测量误差大幅降低，为企业电费结算提供了更精准的数据，减少了因测量误差引发的经济纠纷。在智能电网的电力质量监测中，高精度的电流测量使谐波分析、相位测量等更加准确，有助于及时发现电网潜在故障隐患，保障电网安全稳定运行。

4.2 改善分流器与智能电表适配性的成果展现

通过优化大电流分流器设计，有效改善了与智能电表的适配性。自适应阻抗匹配电路的应用，使信号传输效率提高了 90% 以上，减少了信号失真。宽频响应分流器的使用，满足了智能电表对不同频率、不同幅值电流的测量需求，在分布式能源接入场景中，能准确测量电流的快速变化，为能源调度提供可靠数据。数字信号处理模块的加入，提升了智能电表对分流器输出信号的处理能力，增强了系统的稳定性和可靠性。

4.3 提升抗环境干扰能力后的应用表现分析

提升大电流分流器抗环境干扰能力后，在复杂环境下的应用表现显著提升。在高温环境中，采用散热和温控措施后，分流器能在 80℃ 高温下稳定工作，测量误差仅为原来的 1/5。在高湿度环境中，全密封封装有效防止了水分侵蚀，测量数据稳定可靠。在强电磁干扰环境下，多层电磁屏蔽和滤波电路的应用，使测量误差降低了 80% 以上，确保智能电表在变电站等复杂电磁环境中仍能准确测量大电流，保障了电力系统监测的准确性。

5 大电流分流器在智能电表高精度测量的未来展望

5.1 技术创新趋势与发展方向预测

未来，大电流分流器在智能电表高精度测量领域将呈现多技术融合的创新趋势。量子测量技术有望应用于分流器，利用量子态的稳定性实现超高精度电流测量，突破传统测量精度极限。人工智能技术将助力分流器实现自我诊断与智能调节，根据环境变化和测量需求自动优化工作参数。同时，随着纳米技术的发展，纳米材料将进一步应用于分流器制造，提升其性能和可靠性。

5.2 行业标准与规范的完善前景探讨

随着大电流分流器技术的发展，行业标准与规范将不断完善。相关机构将制定更严格的精度标准，明确不同应用场景下的测量精度要求。在材料选择、制造工艺、抗干扰性能等方面也将出台统一规范，促进产品质量提升和市场规范化。这将有助于提高不同厂家生产的分流器与智能电表的兼容性，推动整个行业的健康发展。

5.3 对智能电表及电力行业发展的潜在影响分析

大电流分流器在智能电表高精度测量方面的技术进步，将对智能电表及电力行业产生深远影响。智能电表将具备更高的测量精度和稳定性，为电力交易提供更公平的计量依据，促进电力市场的健康发展。在电力系统运行管理方面，精确的电流测量有助于实现更精准的电网调度和故障诊断，提升电网运行效率和可靠性，推动电力行业向智能化、高效化方向迈进。

6 结论

综上所述，大电流分流器在智能电表高精度测量中面临诸多挑战，但通过材料工艺改进、设计优化以及抗干扰措施等一系列应对策略，能够显著提升其测量精度、适配性和抗环境干扰能力。随着技术创新不断推进，行业标准逐步完善，大电流分流器将在智能电表及电力行业发展中发挥更为关键的作用，为实现智能电网的高效稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 陈李娟.大电流同轴分流器测量的不确定度分析[J].工业

- 计量,2016,26(S1):55-56.
- [2] 于生宝,王睿家,朱占山,等.基于回线型结构的大电流精确测量装置[J].仪器仪表学报,2016,37(03):546-552.
- [3] 朱才溢,罗颖,李华,等.直流分流器检定装置溯源校准方法探讨分析[J].计量科学与技术,2023,67(09):61-68+39.
- [4] 彭继煌,贺思婷,魏武.直流大电流测量系统不确定度分析[J].电子产品可靠性与环境试验,2022,40(S2):46-48.
- [5] 康帅.基于 FPGA 的脉冲大电流传感器设计与实现[D].西安理工大学,2022.
- [6] 王俊,具有 wifi 通讯功能模块的单相远程费控智能电能表.浙江省,中南仪表有限公司,2023-09-16.
- [7] 吴昊文,杜浩东,谢文旺,等.无线充电在模块智能用电终端上的应用[J].自动化与仪器仪表,2022,(06):257-260.
- [8] 杨静,王智,杨茂涛,等.智能电表微功率通信模块检定系统设计[J].计量与测试技术,2021,48(02):37-40.
- 版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS