

电学计量检定和测量的系统误差因素探究

于前访

青海省计量检定测试院

DOI:10.12238/pe.v2i5.9905

[摘要] 电学计量检定与测量对确保设备性能及可靠性至关重要,其准确性易受多种系统误差因素影响,如仪器固有误差、温度、湿度、电源波动及电缆阻抗等。本文深入分析了这些因素的影响并提出了有效的应对措施,包括电缆选择优化、电缆长度调整、使用衰减器及匹配网络和阻抗匹配校准。这些策略显著提高了电学测量的精确度和稳定性,为电学参数测定提供了重要的技术支持。

[关键词] 电学计量检定; 系统误差; 电缆阻抗; 温度补偿; 阻抗匹配

中图分类号: TM247 文献标识码: A

Exploration of the systematic error factors of electrical metrological verification and measurement

Qianfang Yu

Qinghai Provincial Institute of Metrology Testing Institute

[Abstract] Electrical metrological verification and measurement are very important to ensure the performance and reliability of equipment, and its accuracy is susceptible to a variety of systematic error factors, such as instrument inherent error, temperature, humidity, power supply fluctuation and cable impedance, etc. This paper deeply analyzes the influence of these factors and proposes effective countermeasures, including cable selection optimization, cable length adjustment, use of attenuator and matching network and impedance matching calibration. These strategies have significantly improved the accuracy and stability of electrical measurements, providing important technical support for the determination of electrical parameters.

[Key words] electrical measurement verification; system error; cable impedance; temperature compensation; impedance matching

引言

电学计量检定和测量是确保实验室到工业生产设备性能和安全性基石,通过精确电参数测定显著提升产品可靠性和性能。电学测量的精确性常受系统误差影响,这些误差包括仪器固有误差、环境变量干扰及操作不确定性。本文深入探讨这些系统误差源,如仪器固有误差、环境温湿度波动、电源稳定性问题及电缆阻抗,并提出有效的技术和方法改进措施,包括选择合适的电缆、优化电缆长度、应用衰减器与匹配网络、以及执行阻抗匹配校准。这些策略不仅提高了电学测量的准确性,也增强了系统的稳定性和可靠性,使电学计量技术更好地适应复杂的应用需求,支持科研和技术发展。

1 系统误差因素分析

1.1 仪器固有误差

在电学计量检定和测量过程中,仪器固有误差常常成为影响数据准确性的关键因素,这些误差源自于仪器的设计及制造过程^[1]。示值误差,或称为标度误差,描述的是在理想条件下仪

器读数与真实值之间的偏差,这种误差通常是由于仪器校准不准确或长期使用导致的磨损而引起。非线性误差则反映了仪器输出与输入之间非线性关系的程度,这种误差突显了仪器在整个测量范围内的响应一致性问题。灵敏度误差,指的是仪器对输入变化的响应不符合预期标准,通常由仪器内部元件的性能限制或环境因素引起。这些固有误差的存在,不仅仅减少了测量结果的可靠性,而且还可能导致后续数据处理和分析中的错误决策。因此,理解和识别这些误差类型对于优化测量策略和提高结果准确性至关重要。为了有效地补偿这些误差,通常需要定期进行仪器校准,并在使用过程中实施严格的质量控制措施。此外,选择适合特定应用的高精度仪器也是减少固有误差影响的有效策略之一^[2]。

1.2 温度的影响

温度波动对电学组件的特性产生显著影响,尤其是电阻和电容,这些组件在不同温度下展现出不同的电性能。电阻的温度系数表明,其阻值随温度的升高而增加或减少,这取决于材料的

种类: 例如, 金属电阻器在温度升高时阻值增加, 而某些半导体材料则表现出阻值随温度升高而降低的特性。电容器也受温度影响显著, 尤其是那些介电材料依赖于温度变化的类型, 其电容值的变化可能影响电路的整体性能^[3]。为了抵消温度对电学测量的影响, 采用了多种温度补偿技术。这些技术包括使用具有较低温度系数的材料制造电子组件, 或在电路设计中引入温度补偿元件, 如负温度系数热敏电阻, 这些电阻能够在温度变化时调整其阻值, 以维持电路的稳定性。此外, 现代电子设备中常见的是利用软件算法和传感器实时监测温度并自动调整电路的输出, 以确保测量数据的精准和可靠性。实现有效的温度补偿不仅需要选择合适的技术和材料, 还要对环境条件和特定应用的需求有深入理解^[4]。

1.3 湿度的影响

湿度变化对电子设备特别是电容器和绝缘材料的性能产生显著影响。在高湿环境中, 空气中的水分会被电子设备的各种材料吸收, 这不仅可能导致材料物理性质的改变, 还可能影响其电化学稳定性, 从而对设备的整体性能造成不利影响。例如, 电容器中的介电材料吸水后, 其介电常数会发生变化, 这直接影响到电容器的容量和整个电路的功能表现。对于绝缘材料, 湿度的增加可能减少其绝缘性能, 增加短路的风险, 尤其是在高电压应用中。为了应对湿度带来的挑战, 采取了一系列湿度控制措施。环境控制技术, 如使用空调和除湿器在电子设备操作环境中维持恒定的湿度水平, 已成为常规做法。此外, 电子组件的设计和制造过程中引入了密封技术和防潮涂层, 这些技术可以有效隔离湿气, 保护敏感部件不受湿度影响。还有, 通过选择具有高抗湿性能的材料来制造电子部件, 如使用硅橡胶或环氧树脂作为绝缘体, 同样可以显著提高设备在潮湿环境中的稳定性和可靠性。

1.4 电源波动的影响

电源不稳定性对精确电学测量造成的干扰主要体现在电压波动和频率波动两个方面。电压波动, 特别是在敏感的电子测量设备中, 能够直接影响到测量仪器的输出精度。如果电压突然升高或降低, 测量设备的内部电路可能无法正常工作, 从而导致输出数据偏离真实值。类似地, 频率波动也会破坏测量精度, 尤其是那些依赖于特定频率稳定性的设备, 如频率计和同步电动机。这些设备如果暴露于频率不稳定的环境中, 其功能和性能都可能受到严重影响。为了抵御这些电源波动的不利影响, 采取了多种缓解措施。一个有效的方法是使用电源稳压器和不间断供电系统 (UPS), 这些设备可以在主电源失稳时提供稳定的电压, 保证设备连续运行而不受电源波动的影响。现代电子设备往往内置有滤波器和稳压电路, 这些电路能够减少外电源波动对设备的直接冲击。

1.5 电缆阻抗的影响

电缆阻抗不匹配是电学测量中常见的问题, 对信号传输的质量和测量的准确性有着直接的影响。当电缆的阻抗与其连接的设备阻抗不一致时, 会产生信号反射, 这种反射导致信号的干

扰和损失, 尤其是在高频信号传输中更为明显。这种影响不仅降低了信号的完整性, 还可能引起测量数据的误差, 影响最终结果的可靠性。为了减少阻抗不匹配对信号传输的影响, 精心设计和选择合适的电缆至关重要。优化电缆设计包括使用具有适当特性阻抗的电缆材料和结构, 以匹配连接设备的阻抗。例如, 同轴电缆因其优异的高频特性和较低的信号衰减, 通常用于需要精确信号传输的应用。此外, 根据传输信号的频率选择电缆长度也是减少阻抗失配的一个有效方法。电缆长度应避免接近信号波长的特定倍数, 如四分之一波长或半波长, 这些特定长度容易引起阻抗共振, 从而增加信号损失。实施这些措施不仅需要深入了解电缆的物理和电气特性, 还需要在电缆的选择和系统设计中细致的考

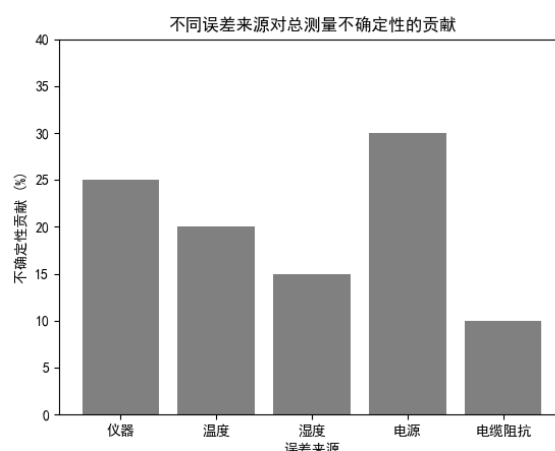


图1 不同误差来源对总测量不确定性的贡献

2 降低电缆阻抗影响的策略

2.1 电缆选择策略

选择合适的电缆类型对于确保电学测量的准确性和信号的完整性至关重要。电缆的选型主要依赖于其电气特性, 如阻抗、容量和电感, 这些特性必须与应用的具体需求相匹配, 以优化整体系统性能。在电缆的多种类型中, 同轴电缆、双绞线和光纤各自具有独特的特点和应用领域, 理解这些差异有助于作出明智的选择。同轴电缆因其优秀的高频特性而广泛用于射频传输和高速数据通信。这种电缆的中心导体和外屏蔽之间的同轴结构可有效减少电磁干扰, 保持信号的清晰度和强度。其特性阻抗通常为50或75欧姆, 选择时需考虑与系统阻抗的匹配, 以避免信号反射和传输损耗。双绞线电缆则常用于低频应用和局域网环境, 特别是在需要较长电缆距离的场合。通过将两根绝缘导线互相绞合, 双绞线可以有效抑制电磁干扰和射频干扰, 从而改善信号的抗干扰性能。其阻抗通常较高, 因此在传输高频信号时可能不如同轴电缆效果好。光纤电缆提供了另一种选择, 特别适用于需要长距离传输和绝对最小干扰的应用。光纤利用光信号传输数据, 不受电磁干扰影响, 支持极高的数据传输速率。尽管光纤的初期成本可能高于其他类型电缆, 但其长远的维护成本和卓越的性能可以为关键应用带来显著的经济效益。在选择电缆时, 除了考虑电缆的电气性能外, 还应评估安装环境、预算限制和未

来升级需求。合理的电缆选择策略不仅能够提高系统的可靠性和性能,还能避免未来可能的昂贵升级和维护问题。

2.2 调整电缆长度

电缆长度对阻抗匹配和信号完整性具有显著影响,正确调整电缆长度是优化信号传输的关键策略之一。电缆过长或过短都可能引起阻抗不匹配,导致信号反射增多,从而影响信号质量和数据传输的可靠性。在理论和实践中,确定电缆的理想长度需要综合考虑信号的频率、电缆的特性阻抗以及传输环境。电缆长度对信号的影响主要体现在两个方面:阻抗匹配和信号衰减。电缆作为传输介质,其物理长度与信号波长的关系直接影响阻抗匹配。理论上,电缆的长度应避免等于信号波长的整数倍,特别是四分之一波长或半波长,这些特定的长度容易引起阻抗共振,从而导致信号在电缆端点的反射或驻波形成。反射信号会与原信号叠加,造成干扰,影响信号的清晰度和测量的精确性。在设计电缆长度时,可以采用一些计算方法来预测和调整电缆的理想长度。例如,使用传输线理论计算电缆长度与信号波长的关系,确保电缆长度不会与信号波长的特定分数倍相匹配,从而减少信号的反射和损失。在实际应用中,这通常意味着根据信号频率和电缆特性,调整电缆长度以适应具体的应用环境和安装要求。实际操作中还可以通过增加或减少电缆的弯曲来微调长度,这种方法虽然简单但效果显著,尤其适用于调整微小的长度差异以改善阻抗匹配。此策略适用于在现场安装时的快速调整,可以有效地解决因安装环境限制而导致的小范围阻抗不匹配问题。

2.3 使用衰减器和匹配网络

衰减器和匹配网络在电信号传输中扮演着至关重要的角色,它们通过精确调整信号的强度和阻抗,有效解决阻抗不匹配问题,提升系统的整体性能。这两种设备通过不同的机制实现阻抗调整和信号完整性的保护,对于确保电子设备间信号传输的质量和可靠性极为关键。

衰减器主要用于控制信号的幅度,减少由过强信号引起的非线性失真,同时也能部分缓解由阻抗不匹配引发的反射问题。它们通过吸收部分信号能量,降低信号的功率,以适应不同电子设备间的接口标准。衰减器的选择依赖于所需的衰减量,通常以分贝(dB)为单位表示。实际应用中,需要根据系统的具体要求,如信号的频率范围和功率级别,选择合适的衰减器以达到最佳的信号调节效果。匹配网络则通过调整电路的阻抗来优化信号的传输路径,减少因阻抗不匹配而产生的能量损失和信号反射。这种设备通常包括多种电感、电容和电阻的组合,设计用来在特定的频率下提供最佳的阻抗匹配。正确配置匹配网络不仅有助于提高信号的传输效率,还能显著增强系统对外界干扰的抵抗

能力。在实际配置过程中,衰减器和匹配网络的安装位置需仔细考虑,以确保它们在电子系统中的效果最大化。安装时还需注意设备的物理兼容性和电连接的稳固性,确保在各种操作条件下都能维持稳定的性能。此外,定期对这些设备进行性能检测和维护,可以延长使用寿命,保证长期内的高效运作。

2.4 阻抗匹配的校准技术

实施阻抗匹配校准是确保测量系统精度和可靠性的关键步骤,尤其在需要高度精确测量的科技和工程领域中。阻抗匹配校准的过程包括一系列标准操作,目的是最小化系统中的信号反射和传输损耗,这对于维持整个测量系统的性能至关重要。阻抗匹配的校准首先需要确定测量系统中各组件的阻抗特性,包括信号源、传输线以及负载。校准过程通常开始于使用精确的测试设备,如网络分析仪,这种设备能够详细测量并分析信号在传输路径中的行为,识别出可能的阻抗不匹配点。通过测量反射系数和传输系数,技术人员可以获得关于系统阻抗状态的详尽信息。校准的下一步是调整或替换系统中的不匹配组件,这可能涉及更换具有不同阻抗特性的电缆,或者在系统中添加匹配网络来调整整体阻抗。匹配网络的设计通常基于所需的调整范围和频率特性,可能包括电容器、电感器或电阻的特定组合。这些组件的精确配置是基于先前通过网络分析仪获得的测量数据。实施阻抗匹配校准时,必须注意环境因素,如温度和湿度,因为这些条件可能影响组件的电气特性。因此,高质量的校准不仅仅是技术操作的集合,还需要对操作环境进行细致的控制和管理。

3 结语

通过本文的分析与讨论,我们增强了对电学计量中系统误差的理解,并成功实施了多项改进措施,显著提升了测量的精度与可靠性。这些成果不仅优化了实验室和工业应用中的电学测量技术,也为未来的科技进步铺平了道路。

[参考文献]

- [1]郭志民.电学计量检定和测量的系统误差因素分析[J].科技风,2023,(12):45-48.
- [2]段志明.电气仪表计量检定及自动化探究[J].电气技术与经济,2023,(2):33-36.
- [3]沈洋,周宇.电学计量检定及测量的误差原因探讨[J].山东工业技术,2023,(10):29-31.
- [4]韩冬,姜抒辰.对电学计量检定及测量的误差原因分析[J].科技展望,2023,(16):54-56.

作者简介:

于前访(1971--),男,汉族,河南省许昌市襄城县人,本科,职称:高级工程师,研究方向及工作领域:电学计量、化学计量、温度计量、医疗器械计量,从事上述专业计量检定校准工作。