

电能表检测中电磁干扰的影响与防护措施

雍海玉*

(兰州兰石检测技术有限公司, 兰州 730314)

摘要: 本文旨在研究电能表检测中电磁干扰的影响及防护措施。采用实验和理论分析相结合的方法, 立足电磁干扰对电能表检测精度的影响, 包括测量误差、数据不稳定性、设备损坏三个方面, 提出防护电磁干扰的措施, 包括应用物理屏蔽技术、合理设计滤波器、严控检测电能表的注意事项。结果表明, 电磁干扰会导致电能表检测误差增大, 严重时甚至会造成误操作。为减小电磁干扰的影响, 本文提出了一系列有效的防护措施, 包括合理布线、增设滤波器、使用屏蔽电缆等。这些措施在实际应用中取得了良好的效果, 显著提高了电能表检测的准确性和稳定性。

关键词: 电能表; 电磁干扰; 物理屏蔽技术; 滤波器

The influence of electromagnetic interference in the detection of electric energy meters and protective measures

YONG Hai-Yu*

(Lanzhou Lanshi Testing Technology Co., Ltd., Lanzhou 730314, China)

ABSTRACT: This article aims to study the influence of electromagnetic interference on the testing of electric energy meters and corresponding protective measures. By combining experimental and theoretical analysis, this study focuses on the impact of electromagnetic interference on the accuracy of electric energy meter testing, including measurement errors, data instability, and equipment damage. Based on these factors, this article proposes protective measures against electromagnetic interference, including the application of physical shielding technology, reasonable design of filters, and strict attention to the testing of electric energy meters. The results indicate that electromagnetic interference can lead to increased errors in electric energy meter testing, which can cause malfunctions and even incorrect operations. To minimize the impact of electromagnetic interference, this article proposes a series of effective protective measures, including reasonable wiring, installation of filters, and use of shielded cables. These measures have achieved good results in practical applications and significantly improved the accuracy and stability of electric energy meter testing.

KEY WORDS: electric energy meter; electromagnetic interference; physical shielding technology; filter

0 引言

智能电能表相较于传统电能表包含更多的电子元器件, 这使得它们对电磁干扰更加敏感。高强度的电磁干扰可能会造成智能电能表的 CPU 及芯片损坏, 导致电能表失效并使电量流失,

这种窃电行为不易被发现, 严重影响供用电秩序及安全。电磁兼容性是电气设备共存而不引起性能下降的能力, 包括承受来自其他设备的电磁干扰以及本身不对外界产生过量的电磁辐射。因此, 研究电能表检测中电磁干扰防护措施, 对保证智能电能表的正常、准确和稳定运行对于用户的经济利益至关重要。

* 通信作者: 雍海玉, 工程师, 研究方向为电流电压表, 电能表仪器仪表检测方面的工作。E-mail: 564545095@qq.com

*Corresponding author: YONG Hai-Yu, Engineer, Lanzhou Lanshi Testing Technology Co., Ltd., Lanzhou 730314, China. E-mail: 564545095@qq.com

1 电能表检定装置的结构与原理

电能表检定装置是用来对电能表进行精确测量和校正的设备。其主要目的是确保电能表的测量结果准确无误，以保证电力交易的公平公正。电能表检定装置主要由以下几个部分组成：电源模块、测量模块、控制模块、显示模块、存储模块等。电能表检定装置框图如图1所示：

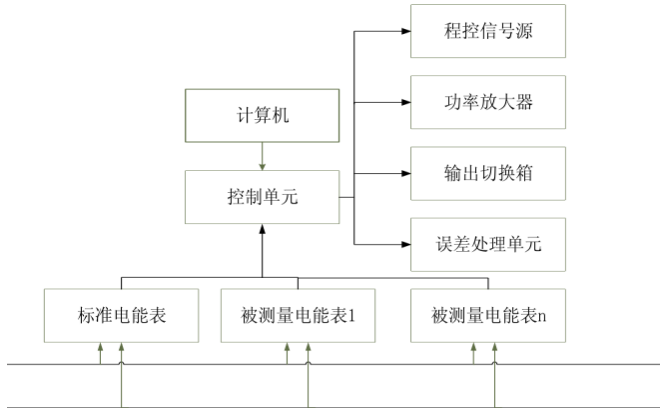


图1 电能表检定装置框图

Fig.1 Block diagram of electricity meter verification device

电能表检定装置的工作原理主要是利用电能守恒定律，通过测量电能表的电压、电流和功率，然后通过特定的算法计算出电能表的实际测量误差，最后通过控制模块对电能表进行校正，使其测量结果更加准确。在具体的操作过程中，电能表检定装置通常会将待检电能表与标准电能表串联或并联在同一测试回路中，然后施加可控的电压和电流测试信号，通过比较待检电能表和标准电能表的测量结果，得出待检电能表的测量误差，并进行相应的校正。

2 电磁干扰对电能表检测精度的影响

电磁干扰是一种由外部电磁场变化引起的电路中电压或电流的扰动现象。在电能表的检定过程中，电磁干扰可能源自多种源头，包括但不限于开关电源、通信设备以及检定装置内部的电子元件。这些干扰不仅可能降低电能表的测量准确性，尤其是在高精度测量要求的场合，还可能对设备的稳定性和寿命产生负面影响。本文将从测量误差、数据不稳定性及设备损坏三个方面，深入探讨电磁干扰对电能表检测精度的影响，并提出相应的应对策略。

2.1 测量误差

电磁干扰对电能表测量精度的影响。电磁干扰可能直接导致电能表的测量结果偏离真实值，从而产生测量误差。这种误差可能源于干扰信号与电能表输入信号的叠加，使得读数产生偏差。在计费等需要高精度测量的场合，这种误差可能导致计费的准确性和公平性受到影响。例如，在电力工业中，微小的测量误差可能导致巨大的经济损失。因此，降低电磁干扰对电能表测量精度的影响至关重要。距离一定不同磁场强度时三相三线电子式电能表计量误差曲线图如图2所示：

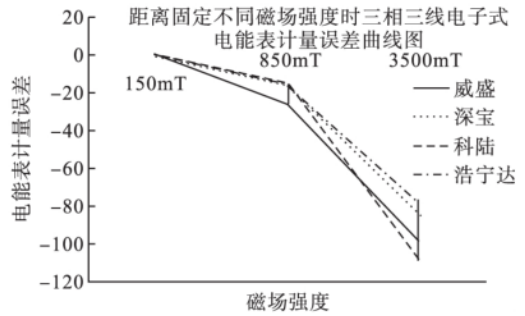


图2 距离一定不同磁场强度时三相三线电子式电能表计量误差曲线图

Fig.2 Measurement error curve of three-phase three-wire electronic energy meter at certain different magnetic field intensity

2.2 数据不稳定性

电磁干扰对电能表数据质量的影响。电磁干扰还可能引起电能表读数的波动，导致数据不稳定。这种不稳定性使得对电能使用情况的统计分析变得困难，甚至可能导致错误的结论。例如，在电力需求预测和能源管理中，稳定的数据是制定合理策略的基础。因此，保证电能表数据的稳定性对于提高电力系统的运行效率和可靠性具有重要意义。干扰脉冲群的频谱特性图如图3所示：

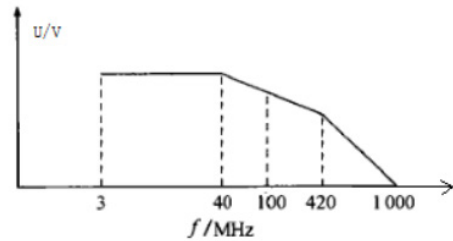


图3 干扰脉冲群的频谱特性图

Fig.3 Spectral characteristics of the interference pulse group

2.3 设备损坏

电磁干扰对电能表设备寿命的影响。长期的电磁干扰还可能对电能表内部的电子元件造成损坏，从而影响设备的正常运行和寿命。这种损坏可能表现为元件老化、性能下降甚至直接烧毁。因此，减少电磁干扰对于保护电能表设备、延长其使用寿命具有重要意义^[1]。

3 电能表检测中电磁干扰的防护措施

电磁干扰不仅影响电表的正常运行，还会增加磁干扰攻击的风险。电磁干扰对智能电能表的影响是多方面的，不仅直接影响电表的计量准确性，还可能通过增加攻击风险、导致设备损坏、干扰数据传输等方式，间接影响电网的稳定运行和管理效率。因此，采取有效的防护措施对于保障智能电能表的数据准确性和电网的安全运行至关重要。

3.1 应用物理屏蔽技术

物理屏蔽是减少电磁干扰影响的有效手段。通过合理应用抗电磁干扰器件有电容器、电感器、共模扼流线圈等物理手段，

可以有效阻止外部电磁场的干扰^[2]。实验证明，物理屏蔽可以显著降低电磁干扰的影响，提高电能表的测量准确性。

3.1.1 电容器

电容器在电能表检测中的电磁干扰防护中起着重要作用，主要用于构建低通滤波器以降低高频电磁波的干扰。电容器是一种电子元件，它可以存储和释放电能，通常在电路中用于平滑供电、滤波和耦合等目的。在电能表检测中，电容器的应用主要集中在以下几个方面：

低通滤波器：电容器常与电感器和电阻器一起使用，构成低通滤波器。这种滤波器可以有效地阻止高频电磁波的干扰，保护电能表检定装置不受快速瞬变脉冲群试验中的干扰信号影响。实际电容器在高频信号下的等效电路如图4所示：

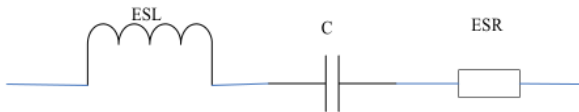


图4 实际电容器在高频信号下的等效电路图(ESL为寄生电感, ESR为电表计生电阻, C为其原来电容)

Fig.4 Equivalent circuit diagram of actual capacitor under high frequency signal (ESL is parasitic inductor, ESR is meter meter resistance and C is its original capacitor)

超级电容器：在智能电能表的应用中，超级电容器因其高储能能力和长期可靠性而被用来提高表计运行的稳定性。它们能够在电源短暂中断或波动时提供额外的电能，保证电能表的正常工作。

抗扰度提升：在电磁兼容抗扰度试验中，电容器有助于减少对电能表检定装置的电磁干扰，避免出现复位、误动作和死机等现象，确保检定过程的准确性和连续性。

3.1.2 电感器

电感器具有阻抗特性，通过电感器的频率越大，阻抗也就越大，因此，通过电感器可实现对电磁信号衰减，从而降低电磁对电能表检测造成的影响。但在实际应用中由于电感器上有寄生电容的存在，使得电感器自身也会形成电容效应^[3]。若电感器发生了串联谐振，阻抗达到最大值，超过最大的谐振点之后，阻抗特性也会随之降低。因此，利用实际电感器的阻抗频率特性，可借助不同电感量来实现对电磁信号的屏蔽和过滤，若电磁干扰信号的频率特性在100 kHz~420 MHz之间则可以选择100 μH的电感^[4]。实际电感器在高频信号下的等效电路如图5所示：

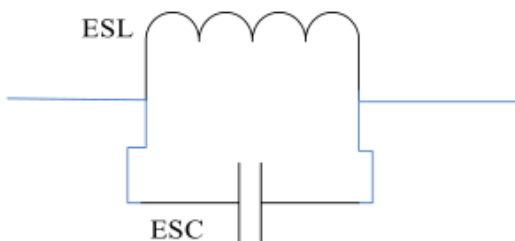


图5 实际电感器在高频信号下的等效电路图

Fig.5 Equivalent circuit diagram of the actual inductor under the high-frequency signal

3.1.3 共模扼流线圈

影响电能表检测准确性的电磁干扰，按照传导方式对不可分为两种，一种是共模干扰，另一种的差模干扰。在电能表检测中，主要为共模干扰。而相比于差模干扰，共模干扰是一种可以被消除的电磁干扰^[5]。因此，在进行电磁兼容设计时，可采用共模流线圈来消除共模电磁干扰信号，共模扼流线圈结构如图6所示：

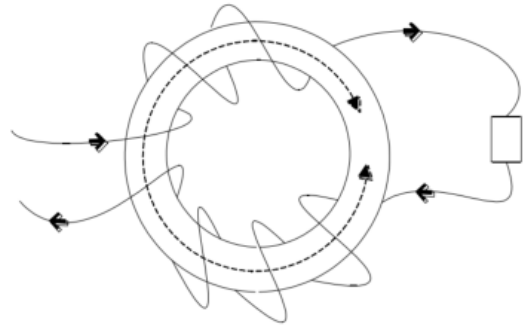


图6 共模扼流线圈结构图

Fig.6 Common-mode choke coil structure diagram

3.2 合理设计滤波器

滤波器设计是电能表检测中电磁干扰防护的关键环节。滤波器的主要作用是滤除特定频率范围内的电磁干扰，从而提高电能表的测量精度和稳定性，滤波器设计的基本原理是通过选择适当的滤波器类型和参数，来实现对特定频率信号的筛选^[6]。常见的滤波器类型包括高通滤波器、低通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。在电能表检测中，通常使用低通滤波器来滤除高频电磁干扰^[7]，滤波器设计的一般步骤包括：

第一步，确定滤波器的截止频率：根据电能表的工作特性和电磁干扰的频率范围，确定滤波器的截止频率。

第二步，选择滤波器的类型：根据实际需求，选择适合的滤波器类型，如巴特沃斯滤波器、切比雪夫滤波器等。

第三步，计算滤波器的参数：根据滤波器的类型和截止频率，计算滤波器的参数，如电阻、电感和电容的值^[8]。

第四步，实施滤波器设计：根据计算出的参数，制作滤波器实物或者在电路仿真软件中实现滤波器^[9]。

电能表检测电磁干扰防护通过合理设计滤波器可以有效滤除电磁干扰，从而提高电能表的测量精度。滤波器可以稳定电能表的输出，使其在电磁干扰的环境下也能保持稳定的性能。电能表长期暴露于电磁干扰环境中，可能会加速电能表内部元件的老化，而滤波器可以减少这种影响，从而延长设备的使用寿命^[10]。

3.3 检测电能表的注意事项

在电能表的检测过程中，电磁干扰是一个不可忽视的因素，它可能对检测过程和结果产生不良影响。为了确保电能表的准确性和可靠性，需要严格控制以下几个关键方面，以最大限度地降低电磁干扰的影响。

3.3.1 有效实施屏蔽和接地措施

有效实施屏蔽和接地措施以减少电磁干扰，首先需要理解

这两种措施的基本原理和应用场景。对于屏蔽措施,可以通过使用金属板、金属网或金属盒等材料将产生电磁波的区域与需防止侵入的区域隔开,从而限制电磁场在一定范围内传播或削弱其强度。这种方法适用于防止外部电磁波对敏感设备的影响,或者减少设备自身产生的电磁波对外部环境的影响。为了提高屏蔽效果,可以采用导电或导磁材料来屏蔽变化的干扰磁通。此外,静电屏蔽层接地可以抑制变化电场的干扰,但需要注意的是,不接地的屏蔽导体可能会增强静电耦合而产生“负静电屏蔽”效应,因此通常建议进行接地处理^[11]。对于接地措施,通过适当的方式降低地线阻抗是关键。并联单点接地是一种有效地避免公共阻抗接地方法,可以减少地线造成的电磁干扰。接地不仅可以防止电磁干扰信号的传递,还是降低干扰的最常用方法之一。在实际应用中,机电缆的地线应直接接地或连接到变频器的接地端子(PE),并且上述接地电阻值应符合相关标准要求^[12]。有效实施屏蔽和接地措施以减少电磁干扰的方法包括:

(1) 使用金属板、金属网或金属盒等材料进行物理屏蔽,必要时采用导电或导磁材料。

(2) 对于屏蔽层,考虑进行接地处理以抑制静电耦合效应。

(3) 实施并联单点接地或其他适当的接地方式,以降低地线阻抗,减少电磁干扰。

3.3.2 正确的接线方式

电能表的接线应该严格按照说明书或专业人员的指导进行,避免因接线错误导致的电能表损坏或检测结果的不准确。错误的接线可能会导致电流或电压的不稳定,进而干扰电能表的正常工作^[13]。因此,在进行电能表检测之前,检测人员应该仔细核对接线方式,确保每一根线都连接到正确的位置。

3.3.3 规范的检测步骤

电能表的检测通常包括多个步骤,如预热、零点校准、基本误差测定、负载效应测定等。每个步骤都需要仔细操作,以确保检测结果的准确性。例如,在预热阶段,电能表需要稳定地工作一段时间,以达到稳定的工作状态。在零点校准阶段,需要调整电能表的零点,以确保其在无负载时的输出为零^[14]。在基本误差测定和负载效应测定阶段,需要施加不同的负载,以测试电能表的准确性和稳定性。如果跳过任何一个步骤或操作不当,都可能导致检测结果的偏差。

3.3.4 翔实松动数据记录与分析

在检测过程中,需要详细记录每一个数据,包括电压、电流、功率等关键参数。通过对这些数据的分析,检测人员可以充分了解电能表的工作状态和性能,也可以判断电能表是否存在故障或误差^[15]。例如,如果发现电能表的误差超过了允许范围,就需要进一步检查其原因,可能是电能表本身的问题,也可能是接线或检测步骤的问题。

4 结束语

综上所述,结合理论实践,分析了电能表检测中电磁干扰

的影响与防护措施,分析结果表明,电磁干扰(EMI)是指任何可能对电子设备产生不良影响的电磁现象。在电能表的应用场景中,电磁干扰可以来自多种内外源,包括电网本身的电能质量问题、设备自身的高频脉冲、静电放电以及自然现象如雷电等。这些干扰因素可能会造成以下问题:电压波动和闪变、谐波含量增加、三相电压不平衡等。通过综合运用多种防护技术,可以有效降低电磁干扰对电能表检测的影响。建议在未来的电能表设计中,应考虑电磁兼容性,采取相应的防护措施,以确保其在复杂的电磁环境中仍能保持高精度和可靠性。同时,相关标准的制定和完善也是保障电能表抗干扰能力的关键。

参考文献

- [1] 张嘉岷,李显忠,张福州,等.基于模糊综合评价模型的电能表运维技术研究[J].自动化仪表,2023,44(09):65-70.
- [2] 杨仕元.一种典型的水电站电能表通信接入实例分析[J].云南水力发电,2023,39(06):191-194.
- [3] 文萍芳.基于数据挖掘的电能表云端数据自适应聚类方法[J].九江学院学报(自然科学版),2023,38(01):76-80.
- [4] 石乐贤.三相智能电能表反向有功走字原因分析[J].农村电工,2023,31(01):49-50.
- [5] 张森,吕国丽,李琳,等.电能表带载电磁兼容抗扰度试验系统设计[J].环境技术,2022,40(06):31-34,45.
- [6] 黄洪,徐睿,黄成刚.智能电能表提升EMC能力的设计策略[J].上海计量测试,2022,49(03):45-48,51.
- [7] 祝毛宁,张蓬鹤,王璧成,等.磁场影响电能表计量的分析与研究[J].中国质量与标准导报,2022,(03):95-97,102.
- [8] 郑小平,韩潇俊,徐勇,等.基于运行电能表误差自监测技术研究[J].电测与仪表,2022,59(08):187-195.
- [9] 蔡圣,詹思敏.电能表外置断路器低频传导抗扰度试验方法探讨[J].光源与照明,2022,(05):176-179.
- [10] 马志鹏,杨建树.电能计量装置的安装、竣工验收及运维管理要点分析[J].光源与照明,2022,(03):159-161.
- [11] 王睿,赵长枢,许文刚,等.智能电能表的开盖异常分析及优化[J].上海计量测试,2021,48(06):33-36.
- [12] 张卫华,孙华,陈庆雄,等.电能表传导差模电流干扰试验[J].计量与测试技术,2021,48(10):38-41.
- [13] 刘型志,魏长明,田娟,等.基于碳化硅电源的双芯智能电能表的可靠性测试研究[J].电测与仪表,2024,61(01):207-212.
- [14] 张松,靳涛,刘凤莲.PCB集成化RFID电子标签电磁干扰的试验与研究[J].工业控制计算机,2021,34(03):99-102.
- [15] 张理放,白露薇,董永乐,等.智能电能表EMC试验分析及判别措施探究[J].自动化与仪表,2020,35(11):79-82,102.

作者简介

雍海玉,工程师,研究方向为电流电压表,电能表仪器仪表检测方面的工作。