

智能电表现场诊断的进展

Cosimo Carriero, 现场应用工程师

简介

一百多年来, 能源输送在技术方面变化很小, 但近年来, 配电网络发生了巨大变化。在一个由技术演进主导的世界中, 能源部门已经发展到包括风能和太阳能等可再生能源。我们面临着新的挑战, 例如电能的双向流动、可再生能源发电的间歇性、电力分配、电力线上的噪声等, 这些可能导致电网稳定性问题。为了保证向最终客户提供持续和优质的服务, 配电公司开始采用智能电表, 以便能对电网进行实时诊断并即时检测故障。这项技术为电力公司和最终用户带来了诸多好处。本文介绍智能电表的基础知识和现场诊断方面的进展。

智能电表

智能电表是配电网络的基本组成部分。除了监测能耗外, 智能电表还能收集有关供电质量的数据。例如, 它能测量无功电能、总谐波失真、谐波成分、电压浪涌和瞬变是否存在以及频率的变化, 所有这些都是电网状态的指标。但是, 电表如何工作呢?

图1中的框图显示了单相系统和三相系统电表的主要组成部分。

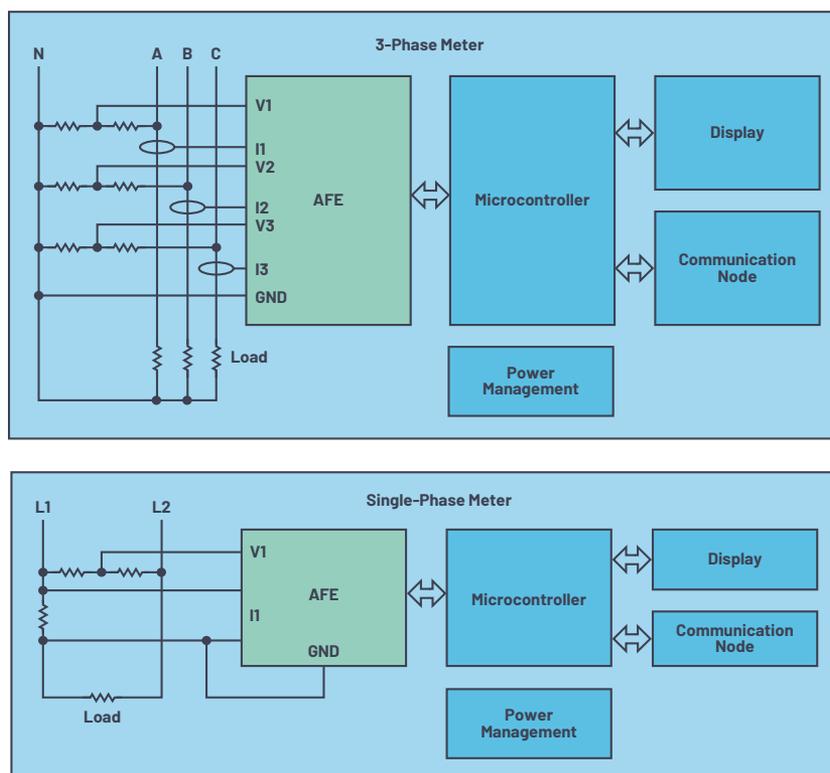


图1. 单相和三相智能电表框图

在智能电表中，基本电力质量是从电压和电流测量获得的。这些测量结果由一个特殊的模拟前端(AFE)处理并提供给微控制器，微控制器显示结果或将其提供给通信节点以进行远程传输。完整结构还包括一个电源管理单元。

测量电压和电流的传感器

电表的一个关键方面是电流测量。在电压测量中，测量结果与标称值可能只有很小的偏差，但电流测量不同，电流具有非常宽的动态范围，从几毫安到数百安，整个范围内都必须以尽可能高的精度进行测量。使用简单的电阻分压器（较少情况下使用变压器）就可以进行电压测量，但用于读取电流的传感器则有很多种类。一般使用以下四种传感器：分流器、电流互感器(CT)、罗氏线圈和霍尔效应传感器。这些传感器各有其优缺点。例如，分流器广泛用于家用电表，具有经济优势和实用性。分流器的最大缺点是焦耳热效应，这限制了它在大电流下的使用。

相比之下，电流互感器在最大电流方面消除了分流器的限制，并且其本质上是隔离的，这非常有利。CT以环形形式提供，其初级绕组由导体表示，要测量的电流流过环路。次级绕组缠绕在铁磁材料上，匝数决定互感器匝数比。与分流器相比，CT成本更高，尺寸更大。电流互感器的一个重大限制是其铁磁芯，如果饱和，智能电表的运行会受到严重影响。饱和可能由交流中的直流偏置、高电流峰值或外部磁场（例如永磁体产生的磁场）引起。由于此限制，使用电流互感器的系统必须提供屏蔽或其他保护机制以避免被篡改。

霍尔效应传感器具有出色的频率响应，可以测量高强度电流。然而，这些优势会因高温漂移而减弱；为了获得所需的精度，必须在多个点进行系统校准。

与电流互感器和霍尔效应传感器一样，罗氏线圈本质上也是隔离的。罗氏线圈是一个与导体互耦的电感器，待测电流流经该导体。磁耦合通过空气芯发生，因此不会引入铁磁材料常见的饱和问题。罗氏线圈的特点是传感器产生的信号与电流的导数成正比，因此需要积分器来重建原始信号。

为了实现宽动态范围和高线性度，以及能够测量非常高的电流，使用罗氏线圈进行电流检测需要使用稳定的积分器。此外，罗氏线圈特别容易受到外部场的影响，最终用户可以藉此操纵功率测量。

为下一代智能电表引入mSure技术

智能电表必须能够在相对较长的时间内（可能超过10年）准确执行其功能。良好的设计和硅电子器件的稳定性使其可以多年保持高精度水平。然而，闪电、电流尖峰或电压瞬变等环境事件会永久性地改变传感器的性能。如果没有先进的诊断系统，则很难检测到这种影响。mSure[®]是ADI公司开发的一种新型电表诊断技术，可以实时检查测量链的状态，防止传感器受到环境影响。mSure技术不受环境影响，可以通过诊断检测有无人操纵。

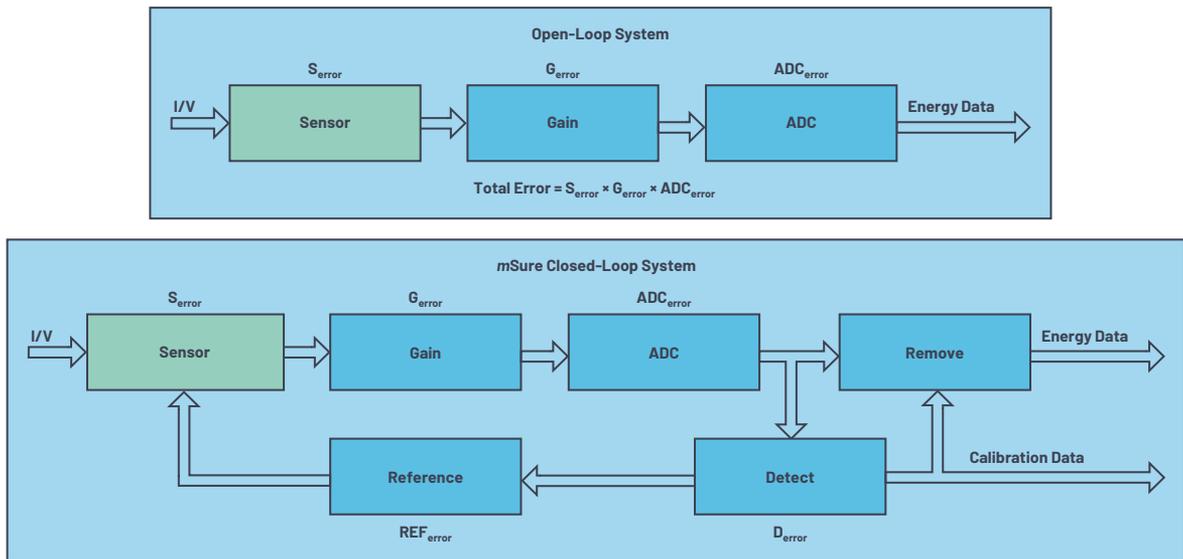


图2. 采用mSure技术的开环系统和闭环系统的比较

mSure技术的工作原理如图2所示。标准电表在没有反馈路径的情况下以开环方式工作。电流和电压由传感器转换，有一个处理链会增加增益，最后是模数转换，以便直接在数字域中提取数据。每个器件都对总误差有贡献；下线校准用于补偿初始误差，并确保电表精度保持在特定等级的规格范围内。

标准电表一旦安装到现场，要测试其精度就只剩下一种办法，那就是将其物理移除并送到实验室测试。一种侵入性较小的替代方法是验证生产批次的性能，但这种方法成本很高。与标准电表相比，采用mSure技术的电表可以在现场通过更复杂的闭环系统实时验证精度，如图2所示。闭环系统包括添加一个基准电压模块，其生成一个稳定且非常精确的信号以注入传感器。该信号穿过整个测量链，由检测模块拾取。整个信号链受到实时监控，任何误差（如增益、漂移等）都会被捕获，支持连续校准以调整这些误差。此外，mSure技术的最大优势之一是欺诈检测。大多数篡改都涉及到改变测量链的增益，因此与开环系统不同，mSure能够立即检测到这种变化。

mSure是非侵入式的，可以在电表运行时激活。为确保读数准确，一个适当的模块会检测并扣除mSure器件对最终电能测量的贡献。因此，电表的精度取决于基准电压模块的精度。根据定义，基准电压模块的精度优于系统所用传感器的精度。

自动校准功能可以随时激活。校准数据由电流和电压测量链的增益组成。mSure技术可以高精度地提取这些数据，而无需求助于昂贵的校准工作台。要执行自校准，首先应将电表连接到一个电压源。是否加负载是可选的。

一旦将具备mSure技术的智能电表安装到现场，您就可以连续或以预定时间间隔检查电表的精度。如果电表存在精度漂移，可以校正校准数据，使电能计数准确。迄今为止，政府法规不允许在现场更改标准电表的校准数据。借助mSure技术，电力公司将能在需要时及时进行干预；如果干预时间较长，对电能差异将有一个准确估计。

ADE9153B和ADE9322B是内嵌mSure®的电能计量IC，具有传感器监控和自校准功能，适用于ADI公司的下一代智能电表。

Energy Analytics Studio

mSure产品组合包括Energy Analytics Studio (EAS)。EAS是一种支持mSure技术的云分析服务，可验证每只电表的健康状况（健康监测），最终保护电力公司的收入。mSure Manager软件在系统微控制器上运行，可报告与电表参数相关的数据。报告频率可由运营商确定。mSure Manager允许您检查单只电表的状态，某个地理区域的所有电表（例如，那些受到某些异常天气事件影响的电表）的状态，或者某个生产批次的所有电表的状态。

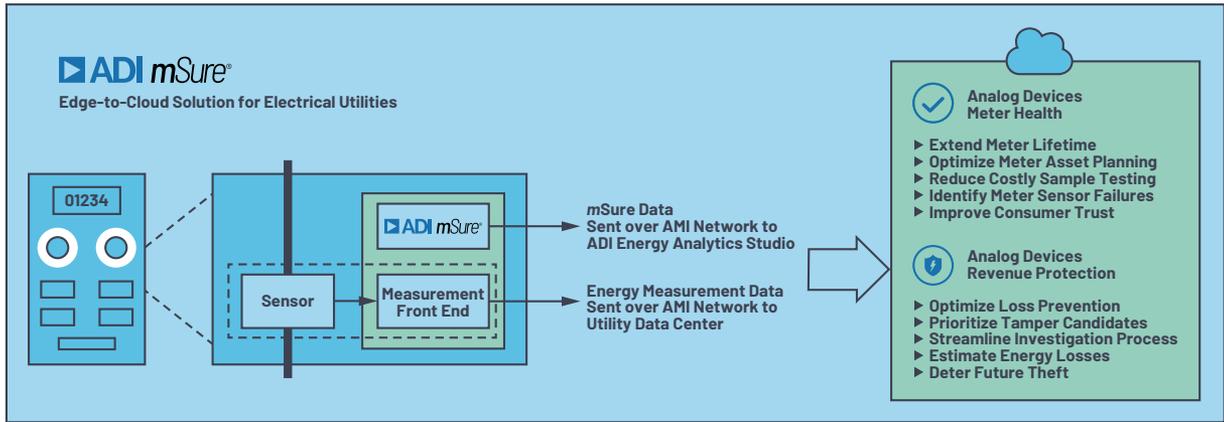


图3. 适用于电力公司的边缘到云解决方案

结论

创新的mSure技术支持对现场电表进行实时诊断。结合Energy Analytics Studio，它能监控电表健康状况，发生实际故障时也无需干预，并能防止欺诈。这给电力公司带来的好处是优化电表管理，减少损失，节省成本，同时延长电表的平均使用寿命。

作者简介

Cosimo Carriero于2006年加入ADI公司，担任现场应用工程师，为战略和关键客户提供技术支持。他拥有意大利米兰Università degli Studi的物理学硕士学位。他过去的经历包括：在意大利核物理研究所(INFN)定义和开发核物理实验仪器，与小公司合作开发工厂自动化传感器和系统，以及在Thales Alenia Space担任卫星电源管理系统高级设计工程师。联系方式：cosimo.carriero@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn



超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和
技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解
答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。
请访问ez.analog.com/cn。

©2021 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA23231sc-10/21



请访问analog.com/cn