

电能质量监测第1部分： 符合标准的电能质量 测量的重要性

Jose Mendia，产品应用高级工程师

摘要

本文讨论了电能质量(PQ)测量在当今电力基础设施中的重要性，并回顾了PQ监测的应用领域。本文将介绍IEC电能质量标准及其参数。最后，本文总结了A类和S类电能质量仪表的主要区别。后续文章将阐述关于“如何设计符合标准的电能质量仪表”的推荐解决方案。

当今电力基础设施对电能质量测量的需求

由于发电模式以及能源消费结构不断变化，电能质量重新受到关注。不同电压水平的可再生能源实现了前所未有的增长，导致PQ相关的问题增多。由于在电网的多个入口点增加了多种电压水平的不同步负载，消费模式也发生了广泛的变化。例如，电动汽车(EV)充电桩可能需要数百千瓦功率和大量数据中心及其相关设备，如供暖、通风和空调。在工业应用中，由变频驱动器运行的电弧炉、开关变压器等不仅会给电网增加许多不良谐波，而且会导致电压突降、突升、瞬时掉电和闪烁。

电力领域的电能质量是指输送给消费者的电压质量。关于幅度、相位和频率的一系列规定决定了这种服务质量。然而，根据定义，它表示电压和电流两者。电压很容易由发电方控制，但电流在很大程度上取决于消费者的使用情况。根据最终用户的不同，PQ问题的概念和含义相当广泛。

过去几年里，人们对不良PQ的经济影响进行了广泛的研究和调查。据估计，其在全球范围内造成的经济影响约为数十亿美元¹。所有这些研究的结论是，监测电能质量对许多商业部门的经济效益有直接影响。尽管不良PQ对商业经济的负面影响显而易见，但有效且高效地大规模监测PQ并非易事。监测设施中的PQ需要训练有素的人员和昂贵的设备，这些设备长时间或无限期地安装在电力系统的多个节点上。

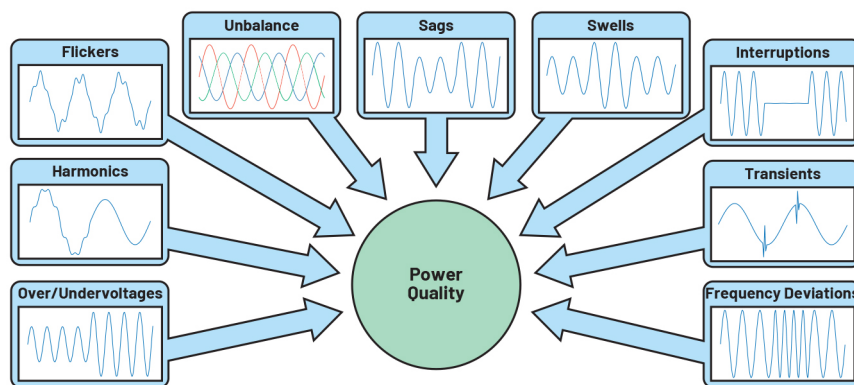


图1. 电能质量问题

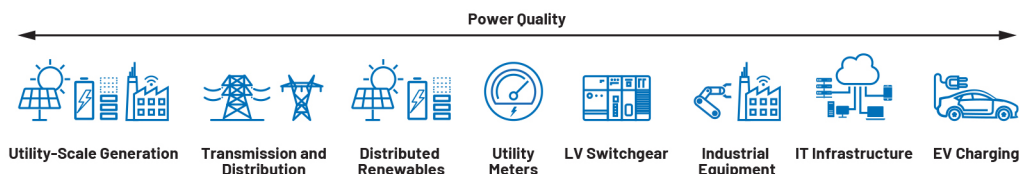


图2. 发电和用电的动态变化可能导致各种电力基础设施出现电能质量问题

电能质量监测应用领域

电能质量监测常被一些商业部门视为成本节约策略，而对另一些商业部门来说，它是一项关键活动。如图2所示，电能质量问题可能出现在各种电力基础设施中。正如我们将在后面所讨论的，电能质量监测在发电和配电、电动汽车充电、工厂、数据中心等商业领域变得越来越重要。

电力公司和输配电

电力公司通过输配电系统为消费者服务，输配电系统包括变电站，变电站经由输电线路供应电力。通过这些输电线路提供的电压由变电站变压器降压到较低电平，变压器会向系统注入一些谐波或间谐波。配电系统中的谐波电流可能导致谐波失真、低功率因数、额外损耗以及电气设备过热²，进而造成设备寿命缩短和散热成本增加。由这些变电站变压器供电的非线性单相负载会使电流波形变形。非线性负载的不平衡会导致电力变压器的额外损耗、额外中性负载、低功率断路器的意外操作以及用电量的不正确测量³。图3显示了此类非线性负载的影响。

风力和光伏(PV)太阳能系统产生的电力注入电网后，也会导致一些电能质量问题。在风力发电方面，风的间歇性会产生谐波和短期电压变化⁴。光伏太阳能系统中的逆变器会产生噪声，这些噪声可能引起电压瞬变、失真谐波和射频噪声，因为逆变器通常使用高速开关来提高能量手机的效率。

电动汽车充电桩

电动汽车充电桩可能面临多种电能质量挑战，既有送至电网的电力方面的，又有来自电网的电力方面的（见图4）。从配电公司的角度来看，电动汽车充电桩中使用的基于电力电子的转换器会注入谐波和间谐波。电源转换器设计不当的充电桩可能会注入直流电(DC)。此外，快速电动汽车充电桩会将快速电压变化和电压闪烁引入电网。从电动汽车充电桩方面来看，输电或配电系统中的故障会导致电压突降或充电桩电源电压中断。电动汽车充电桩的电压容限降低会导致欠压保护激活和与电网断开（这会造成非常糟糕的用户体验）⁵。

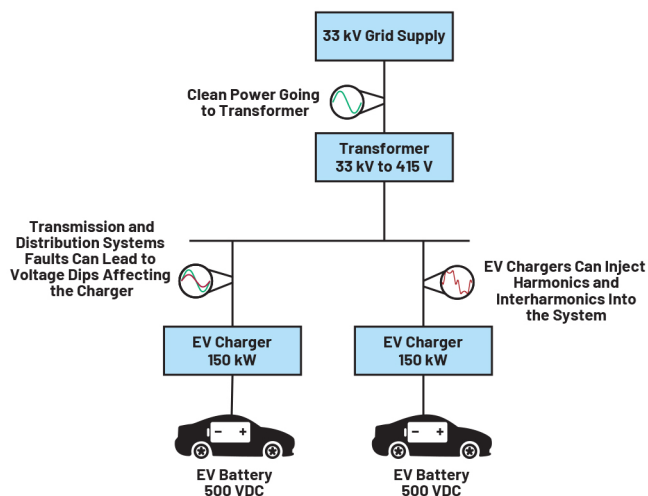


图4. 电动汽车充电桩面临的电能质量问题

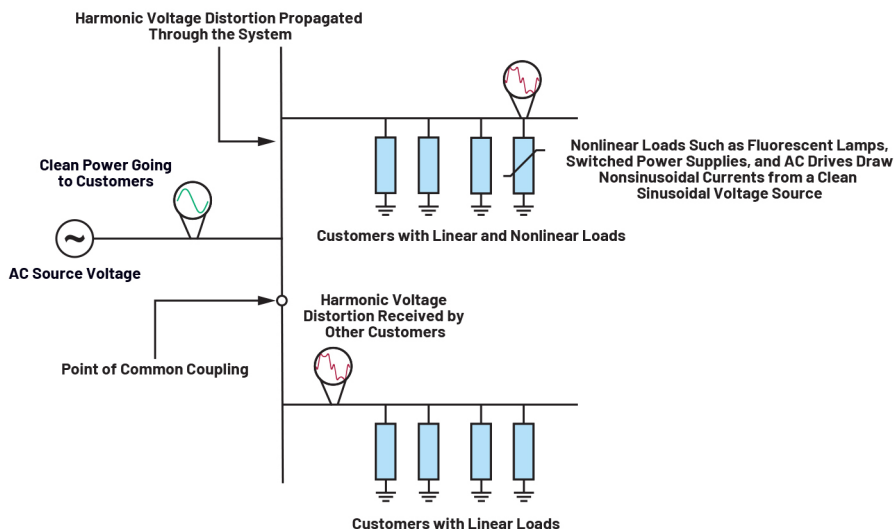


图3. 非线性负载产生的电流谐波的影响

工厂

根据美国电力研究所(EPRI)的报告, 美国工业设施每年因为电源变化和电压扰动引起的电能质量问题而蒙受的损失约为1190亿美元⁶。此外, 根据欧洲铜业研究所的数据, 25个欧盟国家每年因为不同的PQ问题而遭受相当于1600亿美元的财务损失⁷。这些数字与后续的停工和生产损失以及知识生产力的折算损失直接相关⁸。

电能质量的下降通常是由电弧炉和工业电机的间歇性负载和负载变化引起的。此类干扰会引起浪涌、突降、谐波失真、中断、闪烁和信令电压⁹。为了在工厂设施内部检测和记录这些干扰, 有必要在整个电气设施中的多个节点上使用电能质量监测设备, 或在负载级使用电能质量监测设备会更好。随着新的工业4.0技术的到来, 负载处的电能质量监测可以通过工业面板仪表或子仪表来解决, 以全面了解输送到每个负载的电能质量。

数据中心

目前, 大多数商业活动都以这样或那样的方式依赖数据中心来提供电子邮件、数据存储、云服务等。数据中心需要高水平、清洁、可靠、不间断的电力供应。出色的PQ监测有助于管理人员预防代价高昂的停电, 并帮助管理因电源单元(PSU)问题而需要进行的设备维护或更换。不间断电源(UPS)系统集成到机架配电单元(PDU)中, 是需要向数据中心内的IT机架添加PQ监测的另一个原因。这种集成可以提供电源插座级别的电源问题可见性。

根据Emerson Network Power的一份报告, UPS系统故障(包括UPS和电池)是数据中心意外停电的首要原因¹⁰。在所有报告的停电事件中, 约有三分之一给公司造成了接近25万美元的损失¹¹。每个数据中心都会使用UPS系统, 以确保清洁和不间断的电力供应。这些系统隔离并减轻了电力公司方面的大部分电力问题, 但它们不能防范IT设备本身的PSU产生的问题。IT设备PSU是非线性负载, 此类负载可能引入谐波失真和其它由设备造成的问题, 有些问题可能导致需要使用带有变频调速风扇的高密度散热系统。除了这些问题, PSU还面临多种形式的干扰, 如电压瞬变和浪涌、电压突升、下降和尖峰、不平衡或波动、频率变化、设备接地不良。

电能质量标准说明

电能质量标准规定了电力幅度的可测量限值, 即它们可以偏离标称额定值多远。不同的标准适用于电力系统的不同组成部分。具体来说, 国际电工委员会(IEC)在IEC 61000-4-30标准中定义了交流(AC)电力系统PQ参数的测量方法和结果解释。PQ参数是针对50 Hz和60 Hz的基频声明的。此标准还规定了两类测量设备: A类和S类。

- ▶ A类定义了PQ参数测量的最高准确度和精确度, 用于合同事务和争议解决中需要非常精密测量的仪器。它也适用于需要验证标准合规性的设备。
- ▶ S类用于电能质量评估、统计分析应用和低不确定度的电能质量问题诊断。此类仪器可以报告标准定义的参数的一个有限子集。使用S类仪器进行的测量可以在网络上的多个站点、在全部位置、甚至在单台设备上进行。

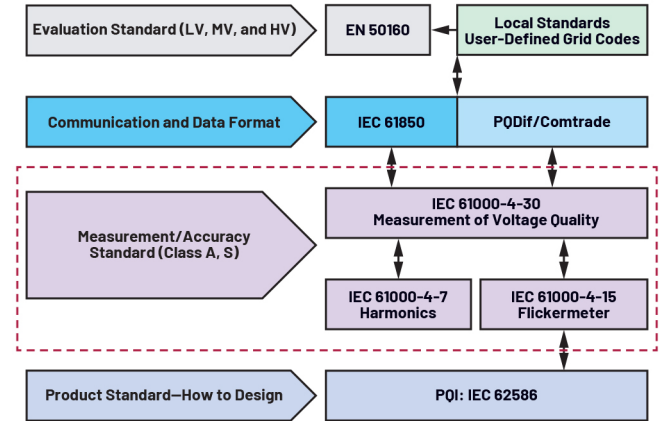


图5. IEC电能质量标准

需要注意的是, 该标准定义了测量方法, 说明了解释结果的指南, 并规定了电能质量仪表的性能。它没有给出仪器本身的设计指南。

IEC 61000-4-30标准为A类和S类测量设备定义了如下PQ参数¹²。

- ▶ 工频
- ▶ 电源电压和电流的幅度
- ▶ 闪烁
- ▶ 电源电压突降和突升
- ▶ 电压中断
- ▶ 电源电压不平衡
- ▶ 电压和电流谐波和间谐波
- ▶ 快速电压变化
- ▶ 欠偏差和过偏差
- ▶ 电源电压上的交流电源信令电压

IEC 61000-4-30标准定义的A类和S类的主要区别

尽管A类定义了比S类更高的准确度和精确度, 但差异不仅仅是精度水平。仪器必须符合时间同步、探头质量、校准周期、温度范围等要求。表1列出了仪器要获得某类认证所应当满足的要求。

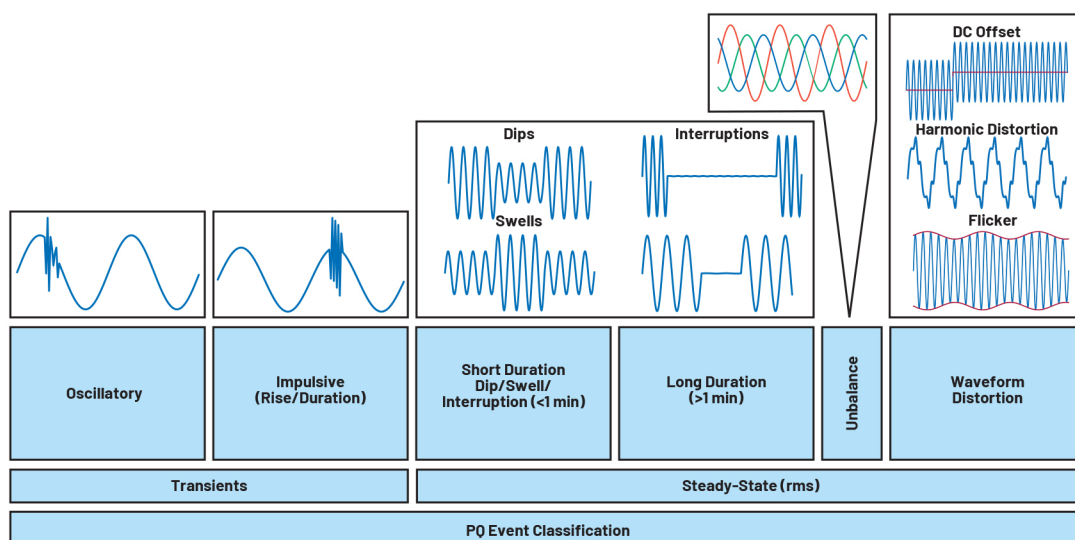


图6. 电能质量参数在时间尺度上的分类

表1. IEC 61000-4-30 A类和S类的主要区别

	A类	A类
电压测量精度	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$
电流测量精度	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$
电压和电流有效值计算	半周期步进	单周期步进
频率测量精度	± 10 mHz	± 50 mHz
150/180周期聚合	不允许间隙， 每10分钟与UTC同步	聚合之间 允许存在间隙
谐波测量最高次数	50th	40th
每24小时时钟不确定度	± 1 秒	± 5 秒
时间同步	GPS接收机、 无线电定时信号或 网络定时信号	不需要
工作温度范围	0°C至45°C	由制造商指定

结语

电能质量问题存在于整个电力基础设施中。拥有监测这些PQ问题的设备有助于改善性能、服务质量和设备寿命，同时减少经济损失。在后续文章“如何设计符合标准的电能质量仪表”中，我们将介绍一种集成解决方案和一个即用型平台，它们能够显著加快开发速度并降低PQ监测产品的开发成本。

参考资料

¹ Panuwat Teansri、Worapong Pairindra、Narongkorn Uthathip Pornraepapat Bhasaputra和Woraratana Pattaraprakorn。“泰国金属、机械和设备制造相关行业的电能质量扰动的成本”。GMSARN国际杂志，第6卷，2012年。

² Sai Kiran Kumar Sivakoti、Y. Naveen Kumar和D. Archana。“传输线路中使用D-Statcom给配电系统带来的电能质量改进”。国际工程研究与应用杂志(IJERA)，第1卷第3期。

³ Gabriel N. Popa、Angela Lagar和Corina M. Dinis。“住宅和教育建筑中的变电站的一些电能质量问题”。第10届电气工程高级主题(ATEE)国际研讨会，IEEE，2017年。

⁴ Sulaiman A. Almohaimeed和Mamdouh Abdel-Akher。“风电穿透功率给电网带来的电能质量问题和缓解措施”。应用科学，2020年10月。

⁵ George G. Karady、Shahin H. Berisha、Tracy Blake和Ray Hobbs。“电动汽车充电站的电能质量问题”。SAE会议论文，1994年。

⁶ David Lineweber和Shawn McNulty。“工业和数字经济公司的电能扰动的成本”。Electric Power Research Institute, Inc.，2001年6月。

⁷ Roman Targosz和Jonathan Manson。“泛欧电能质量调查”。第9届电能质量和利用国际会议，IEEE，2007年。

⁸ Subrat Sahoo。“电能质量的近期趋势和进步”。现代电力系统的电能质量，2020年。

⁹ A. El Mofly和K. Youssef。“工业电能质量问题”。第16届国际配电会议与展览会，2001年。第一部分：征稿。CIREN (IEE会议出版号482)，IEEE，2001年6月。

¹⁰ “数据中心断电的成本”。Ponemon Institute，2016年1月。

¹¹ “数据中心断电是常见事故，成本高昂，但可预防”。Uptime Institute。

¹² “IEC 61000-4-30:2015：电磁兼容性(EMC)第4部分-30：测试测量技术-电能质量测量方法”。国际电工委员会，2015年2月。



作者简介

Jose Mendia拥有电子和计算机科学工程学士学位，于2016年加入ADI公司的能源和工业系统部。目前，他是爱丁堡英国设计中心的产品应用高级工程师。

