

# 现代电能质量测量技术

何学农 著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 简 介

本书通过介绍测量仪器的计算原理及测量实例，阐述了新一代电能质量测量技术。全书共分6部分：第一部分为电能质量测量方法，介绍了电能质量的定义及电能质量参数的测量方法，并对相关国际、国家标准进行了详细解读；第二部分给出了目前主要的电能质量评估标准，对电能质量测量的国际标准、电能质量仪器的检验与认证、欧洲电网供电电压特性及分布式电源、风力发电机组、舰船电力系统的电能质量等内容进行了介绍；第三部分为电能质量故障诊断，给出了电能质量故障诊断的目的与要求，以及谐波、三相不平衡、电压暂降、瞬态过电压、噪声等故障现象及诊断方法，并以具体实例说明了故障诊断的操作方法；第四部分为宽带不平衡电参数，介绍了非正弦、不平衡状况下的几种典型功率理论，如IEEE 100传统功率定义、DIN 40110-2以及IEEE 1459等；第五部分为波形数据采集分析，介绍了数字测量仪表对实时数据的处理与分析方法；第六部分为电气测量基础知识，介绍了测量不确定度的含义以及电气测量安全性等内容。

本书采用PPT格式，用精炼的语言和丰富的图表，介绍了现代电能质量测量仪器及测量方法，可供电力公司、高等学校、用电企业的电能质量测量及研究人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代电能质量测量技术 / 何学农著. -- 北京: 中国电力出版社, 2014.11

ISBN 978-7-5123-6691-6

I. ①现… II. ①何… III. ①电能—质量检验—技术  
IV. ①TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 249899 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2014年11月第一版 2014年11月北京第一次印刷

889毫米×1194毫米 16开本 24.75印张 750千字

印数0001—4000册 定价98.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

电压、电流、频率、功率等电参数的测量及电力系统谐波分析研究已有多年的历史。随着非线性负载的增加、新能源的发展,电压、电流波形普遍出现畸变现象,谐波、不平衡等电能质量问题日趋严重,电力公司、用电企业也更加重视电能质量测量、分析与评估工作。近年来,以 IEC 61000-4-30、IEC 62586-1/-2、DIN 40110-2 及 IEEE 1459 等国际及地区性标准的颁布为标志,电能质量测量技术进入了全新的时代。

## 1. 电能质量测量方面目前存在的主要问题

(1) 电能质量参数测量结果一致性差。20 世纪 90 年代末,中国学者进行电弧炉谐波测量时发现,经计量检定合格、准确度非常高的某两款仪器测量同一负荷时,二者的测量结果差异巨大。这是由于受电负载随时间连续变化,其电压、电流可能随机变化,而对于波动、时变的非正弦信号,测量仪表因观测时间窗及测量带宽的局限,对电参数计算及谐波分析结果的可靠性、不同仪表之间的测量结果一致性,会存在很大的问题。同时传统的仪表计量与检定方法通常仅考虑了参考工作条件下(如工作温度为 23℃、满量程等)的性能与不确定度,其检定结果不一定能准确反映电能质量仪器在工业现场实际工作环境及测量条件下的性能指标。

(2) 采用不同功率理论的仪器,测量结果不同。对于非正弦、不平衡三相系统的无功功率、视在功率及功率因数的定义,目前存在多种功率理论。不同测量仪表由于所采用功率算法的原理不同,也可能出现完全不同的无功功率、功率因数评估结果。

(3) 基于电磁兼容原则、以设置限值的方式来监管电力用户的电流质量,目前尚缺少权威性的国际标准。电网的供电电压质量,欧洲早在 1994 年即出现了欧盟强制执行标准 EN 50160《公共电网供电电压特性》。该标准是国际上第一个关于供电产品的质量,通过电压质量参数限值对电力公司予以约束。电力公司应负责在正常运行条件下完全控制干扰水平,保证所有接入系统的用户都有合格的供电电压质量。然而,谐波等电能质量问题的主要根源是负载,非线性负载的畸变电流可能给电网造成谐波污染,用户的冲击电流也可能导致配电网电压出现暂降。电力用户的用电质量如谐波电流、不平衡电流等,不仅影响电网的供电电压质量,而且增大了线路的功率损失。电力公司为了保证电压质量、降低电能输送损耗,既要加大电网建设的投资成本,也必须限制用户端产生的谐波电流以及三相负载的不平衡现象。通常,电力公司按相关标准规定的发射限值规划水平对非线性、波动或不平衡负载的电流质量进行评估、对用户进行接入管理。国际电工委员会(IEC)基于电磁兼容原则,对于低压、小容量用电设备的电流质量限值,自 1995 年开始颁布了一系列标准,如 IEC 61000-3-2、-3、-4、-5、-11、-12。该系列标准以欧盟 CE、中国 3C 等强制认证方式在世界各国广泛执行。但是,对于中、高压电力系统的负荷发射限值,如电流畸变、负荷不平衡及负荷波动,由国际大电网会议(CIGRE)与国际供电会议(CIRED)专家组成工作组,负责起草了 IEC 的

系列文件，如 IEC 61000-3-6、-7、-13、-14，自 1996 年迄今仅作为技术报告发表。

(4) 电流质量的评估与监管也可以通过经济方法来实现，电力公司可以将谐波电流、不平衡电流的污染影响包含在电费计量中。众所周知，各国电力公司历来采用功率因数指标奖惩电费的方法来评估、考核与管理电力用户的无功功率。传统无功功率表征了线性负载在正弦供电电压下的用电质量，传统功率因数表征了正弦的用电电流波形与正弦的供电电压波形之间不同相（滞后或超前）的程度。电力用户的无功电流降低了供电设施的利用率、增大了线损。从经济的角度看，谐波电流、不平衡电流的影响与无功电流相同。因此，可以采用功率因数指标综合监管电力用户的电流质量。

功率因数评估的关键是视在功率的定义与算法。对于单相非线性用电设备，IEC 61000-3-2:1995 由电压有效值和电流有效值的乘积计算视在功率，功率因数已经包含了谐波的影响。对于三相系统，德国于 2002 年颁布了 DIN 40110-2《交流电理论数值——第二部分：多线电路》，该标准定义了多相系统“集总视在功率”，用于非正弦、不平衡负载的功率因数评估，并指导用户进行稳态状况下功率因数补偿装置的设计。美国电气与电子工程师协会（IEEE）也于 2010 年颁布了 IEEE 1459 标准的修订版《正弦、非正弦、平衡或不平衡状况下电参数测量的定义》，该标准定义了三相系统“等效视在功率”，并将非正弦、不平衡系统的非有功功率进一步分解为基波正序无功功率、谐波畸变功率、不平衡功率，代表了无功、谐波与不平衡补偿的容量，用于指导用户实现单位功率因数的补偿。

DIN 40110-2、IEEE 1459 用功率因数指标监管电力用户的用电质量，包括无功、谐波、不平衡，反映了国际电能质量方面的发展趋势，代表了电力用户电流质量监管与治理的另一种发展方向。

## 2. 本书主要内容

(1) 电能质量测量方法。电能质量参数的测量与评估，关系到供用电双方对电能质量问题的责任认定。供电电压的谐波水平、用电电流的谐波污染程度的评估，要求所采用测量仪器的谐波测量与评估结果必须满足一致性、重复性。电压暂降是电能质量的主要指标，因电压暂降造成敏感设备停工、重启等事故及经济损失，设备制造商、电力用户、电力公司通常按电压暂降事件的严重度区分责任。并网运行的新能源设备如风能、光伏，对规定严重度区间的电压暂降事件必须具备抗扰动能力，保持不脱网连续运行，不允许从电网切出。电压暂降事件的严重度由特征参数即暂降深度、持续时间来描述，监测仪器可能采用不同的方法从三相电压波形计算事件的特征参数，对同一电压暂降事件将会得出不同的严重度评估结果。因此，必须规定暂降事件特征参数的具体测量方法。

1996 年，由多国电能质量专家建议的“电能质量测量方法”项目获得 IEC 执行委员会的批准。2003 年，国际标准 IEC 61000-4-30《电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法》首次颁布。该标准从电能质量参数的基本测量原理上规定了新一代电能质量仪器的测量方法，目前已逐步被世界各国采纳为国家标准。该标准的颁布也推动了电能质量仪器的更新换代，不符合该标准测量算法的仪器为 B 级，即将被废弃。

基于电磁兼容水平（发射水平、抗扰水平）评估误差对测量仪器的最低要求、不同仪器对同一电能质量现象评估结果的可重复性与一致性要求，IEC 61000-4-30 规定 50Hz 准稳态系统电能质量参数的观测时间窗为 10 周期（约 200ms），以无间隔、非重叠的连续 10 周期值为基础按方均根法进行 150 周期（约 3s）、10min、2h 的“集合值”计算。电压暂降等电能质量事件的基础参数为半周期刷新的一周期方均根值。IEC 61000-4-30 所定义的“10 周期值”、“集合值”、“半周期值”

测量原理与方法也开始影响与扩展至普通监测仪器，如电压、电流、功率、电能等基本的电参数测量仪表。另外，仪器厂家也将 IEC 61000-4-30 测量原则扩展至 400Hz 系统，如稳态参数的观测时间窗设置为 80 周期（约 200ms），瞬态参数为半周期更新的一周期值。

IEC 61000-4-30 作为基础 EMC 出版物定义了电能质量参数的测量方法，但该标准并不涉及仪器生产厂家对 IEC 61000-4-30 A 级或 S 级测量方法的具体实现手段。为设计、试验以及选择电能质量测量仪器，IEC 于 2013 年颁布了电能质量仪器的产品标准，即 IEC 62586-1《供电系统的电能质量测量 第一部分：电能质量仪器（PQI）》，以及 IEC 62586-2《供电系统的电能质量测量 第二部分：功能测试与不确定度要求》，该标准规范了电能质量测量仪器的环境、安全及性能要求，性能验证方法及不确定度要求。例如，电能质量参数的整个量程范围内仪器不确定度均应满足规定要求，如 A 级仪器电压幅值，须按额定电压的 10%、45%、80%、115%、150% 分别检定仪器的不确定度。例如，应用于室外的固定安装在线式电能质量监测仪器，在  $-25 \sim 55^{\circ}\text{C}$  的额定工作气温范围内，仪器的不确定指标应满足“温度漂移限值”，检定环境温度对仪器测量结果的影响时，应将仪器置于相应的测试状态至少 1h， $-25^{\circ}\text{C}$  低温及  $55^{\circ}\text{C}$  高温环境下仪器的最大偏差不应超过参考条件下 ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) 测量不确定度的 2 倍。例如，某些电能质量参数的变化可能对其他参数的测量结果产生影响。如电压波形含有谐波，可能会影响仪器的频率测量结果。IEC 62586-1、-2 规定了电能质量仪器进行型式试验时的测量条件，模拟工业现场的各种测量状况，包括可能出现的最严重的工作状况，检验仪器的准确测量能力。仪器在额定工作条件范围内必须满足规定的 uncertainty 要求。在极限工作条件范围内，仪器应能正常工作、不致损坏，且当恢复额定运行条件时不降低其测量性能。

(2) 电能质量评估标准。根据扰动信号的频率范围，主要的电能质量现象可以归类为电磁兼容的低频部分。目前，大多数电能质量限值的标准与规范，均以电磁兼容原则为基础。电能质量监测与评估一般在公共连接点（PCC）以概率大值或事件统计的方法进行，目的是根据相关标准与规范评估电力公司的供电电压质量、监管电力用户的电流质量。

美国在舰船电磁兼容试验、测试与评估方面处于世界领先地位，“电能质量”术语最早就是由美国海军提出的。1978 年，美国海军颁布了舰船电力系统的电能质量限值标准——美国军用标准《交流电接口标准》，该标准经多次更新修订，最新版本为 2008 年 Mil-Std-1399-300B。舰船电力系统包括电站、配电、电网、负载，其电站容量有限，负载包括大量敏感设备，其电能质量评估点为用电设备的电源输入端。该标准通过定义界面特性、接口参数，给出了供电系统的电压质量限值及用电设备的电流质量限值。例如，该标准对供电特性规定了电压波形畸变程度的限制：单次谐波含量限值为 3%，总谐波畸变限值为 5%。该标准更严格限制了用电设备的谐波电流。为了将电源、配电母线的电压波形畸变维持在给定的限值内，要求用电设备的工作对电气系统应产生最小的波形畸变效应。如额定容量在 1kVA 以上的用电设备，单次谐波电流含量不应大于设备满载时基波电流的 3%；并要求在额定电压、设备的所有运行模式下，基波以上频率的电流含量不得超标。电能质量评估时，对谐波超标设备的处理原则是：以技术审查方式确定停运该设备可能造成的影响。可以采用三项措施：第一项，无视检测评估结果，直接接入；第二项，视为特殊情况而放宽限值，允许接入；第三项，电气隔离。

(3) 电能质量故障诊断。目前的电压质量标准如 EN 50160 对供电电压的暂降、暂升、瞬变及高阶次谐波等指标并没有规定限值，企业的用电设备对各种电能质量现象的抗扰能力也存在不同标准。电力用户还必须负责承担与处理一定严重度区域的电压暂降、过电压事件，以及高阶次谐波的谐波

问题。大多数电能质量扰动现象源于用电企业内部，严重的电能质量问题可能导致设备不能正常工作或损坏。而作为故障诊断、责任区分的基础，测量仪器应提供准确详尽的监测数据。

(4) 宽带不平衡电参数计算。宽频带（简称宽带）有功功率的准确测量，对仪表的高频相位准确度有较高要求。测量仪器对各次谐波有功功率大小、流向以及各次谐波相角的监测结果，可能有助于谐波源定位研究。通常，谐波有功功率在总有功功率中所占比例非常小。

无功功率的补偿、监测与管理，必须以无功功率参数的准确测量为基础。现有的基于正弦、平衡系统概念设计的无功功率、无功电表计，在非正弦、不平衡状况下无法准确测量。目前，谐波状况下无功测量表计的设计原理主要基于 Budeanu 定义的频域法及 Fryze 定义的时域法，三相无功功率的测量为各相无功功率的算术和两类。Budeanu 无功功率定义在物理意义上即存在错误，对于非线性负载的测量结果通常小于基波无功功率；Fryze 无功功率本质上是包含谐波畸变的非有功功率，其测量结果通常远大于基波无功功率。IEEE 1459 定义三相系统的无功功率为基波正序无功功率，该定义的物理意义非常清晰，而且没有争议。基波正序无功功率代表了经典的无功功率概念，即因电流与电压的相位差而导致的电源与负载之间往返振荡功率的量值。

三相视在功率的传统计算方法为 1941 年 IEEE 100 所定义的“矢量视在功率”、“算术视在功率”。三相负载不平衡时，即使正弦情形下，矢量法、算术法两者的视在功率测量结果可能也完全不同。由三相有功表计、三相无功表计得出三相视在功率的“矢量法”，近年已逐步被多数测量仪器弃用。目前最前沿的标准 DIN 40110-2、IEEE 1459 所定义的视在功率考虑了非正弦、不平衡的影响，其计算方法源自 1922 年德国 Buchholz 的“集总视在功率”，并对 Buchholz 三相四线制视在功率表达式进行了不同程度的修正与完善。新标准的基本原则是：视在功率是保持线损不变的情形下，系统可以传输的最大有功功率。德国、美国标准对三相视在功率重新定义的目的是准确描述能源消耗、指导功率因数补偿、促进节能、改善能源管理。按 DIN 40110-2 “集总视在功率”补偿多相负载至单位功率因数，负载各相电流的波形将与线—虚拟中性点电压的波形一致；按 IEEE 1459 “等效视在功率”补偿三相负载至单位功率因数，负载运行工况将为工频正序电流、零无功功率。根据该两项标准来补偿为所有负载供电的变电站功率因数，终极结果相同：完美的正序正弦电流，对称、正弦的系统电压。

电能质量问题会对电力公司及用电企业造成经济损失。电压暂降、瞬态过电压等偶发事件的影响可以根据生产损失及电气设备损坏引起的停机时间来量化，谐波和不平衡等连续型电能质量问题可能引发设备故障、缩短设备的预期寿命并导致电能损失。现代电能质量测量仪器可以监测负载的谐波有功功率、不平衡有功功率等不需要的、无用的功率，并将负载电流实时分解为每相基波正序有功电流、基波正序无功电流、基波不平衡电流、谐波电流；通过给定线路阻值，可以对波动负载的有功电流、无功电流、谐波电流、不平衡电流及零线电流造成的线损实时量化与累计，分析电能质量问题造成的电能浪费；通过设置费率累计电能费用，可以对负载的功率损耗现象以货币化方式直接给出无功、谐波、不平衡等因素造成电能浪费的经济损失。

### 3. 说明与致谢

《现代电能质量测量技术》原稿以幻灯片模式撰写，用于技术讲座及培训。作为 Fluke 公司内部使用资料，本书已于 2007 ~ 2013 年印刷多次，印数共 43500 册。其中，2007 版由 Fluke 维也纳研发中心翻译为英文版本，2009 版由 Fluke 美国总部翻译为英文版本并印刷。本书部分内容已翻译

为多种语言，由 Fluke 各地办事处在相关国家与地区使用。感谢 Fluke 美国总部、维也纳研发中心，及英国、德国、瑞士、西班牙、荷兰、新加坡、日本、韩国、印度与台湾等地办事处的支持与合作。

本书的正式出版获得了 Fluke 公司的大力支持。中国电力出版社王娟女士为本书的出版做了大量细致的工作，并允许我最终决定本书的内容及版式。在此表示诚挚的谢意。

本书旨在介绍电能质量测量技术及有关电能质量标准，错误与不妥之处敬请广大读者批评指正！意见和建议请发往作者邮箱：[xuenong.he@fluke.com](mailto:xuenong.he@fluke.com)，欢迎来函探讨。

作者

2014 年 11 月



# 目 录

前言

导言

电能质量测量方法

- 电能质量测量：面临的问题 ..... 6
- 电能质量定义 ..... 13
- 频率 ..... 17
- 电压幅值 ..... 21
- 谐波、间谐波、次谐波、高频谐波 ..... 30
- 供电电压不平衡 ..... 55
- 闪变 ..... 64
- 电压快速变动 ..... 76
- 电压暂降：监测、统计与评估 ..... 83
- 供电电压短时中断 ..... 93
- 电压暂升：暂时工频过电压 ..... 95
- 测量仪器时钟同步 ..... 105
- 电压事件标记 ..... 110
- 电压瞬态变化 ..... 113
- 电网信号电压 ..... 120
- 供电电压偏差 ..... 123
- 冲击电流：记录与测量 ..... 126
- 中、高压电网的电能质量测量：互感器 ..... 128

电能质量评估标准

133

• 国际标准：电能质量测量方法 .....	134
• 电能质量仪器：检验与认证 .....	137
• 电压质量、电流质量、电磁兼容 .....	143
• 公共电网供电电压特性 .....	145
• 美国电网谐波规划水平 .....	151
• 电能质量、电磁兼容 .....	153
• 电压暂降：设备抗扰能力 .....	157
• 分布式电源：电能质量 .....	161
• 直流偏移、直流注入 .....	163
• 网络阻抗法 .....	167
• 风力发电机组：电能质量测量与评估 .....	168
• 舰船电力系统：电能质量 .....	173
• 直流系统：电能质量 .....	186
• 飞机供电特性：交流电压波形 .....	190

## **电能质量故障诊断 .....** 191

• 电能质量故障诊断：目的与要求 .....	192
• 功率因数 .....	194
• 谐波：产生原因与危害 .....	197
• 用电设备：供电电压骚扰现象的耐受能力 .....	202
• 谐波问题的解决方法 .....	205
• 谐波的危害：谐波共振 .....	210
• 三相不平衡 .....	217
• 电压暂降：最普遍的电能质量事件 .....	222
• 瞬态过电压 .....	228
• 绝缘测试与电能质量 .....	233
• 噪声 .....	234
• 电能质量故障：参数超限报警 .....	236
• 故障诊断：示例 .....	237
• 电能质量问题：可靠性与经济性 .....	242
• 电能质量测量仪器：特点与指标 .....	243

## **宽带不平衡电参数 .....** 245

• 非正弦、不平衡电参数：测量问题 .....	246
• 有功功率：三相三线制，两瓦特计法 .....	249
• 谐波环境：电能计量 .....	252
• 有功功率：数值计算方法 .....	255
• 非正弦：无功功率 .....	265
• 非正弦、不平衡：视在功率与功率因数 .....	275
• 非正弦、不平衡：功率分解 .....	297
• <b>F430II</b> : 功率测量、线损分析 .....	310
• 宽频带电流测量 .....	321
• 波形参数 .....	326
• 功率分析仪：基础知识 .....	328
• 功率分析仪：应用特点 .....	330
<b>波形数据采集分析 .....</b>	<b>333</b>
• 工业现场的波形观测 .....	334
• 数字测量仪表：真实带宽 .....	337
• 频谱分析：快速傅里叶变换 .....	339
• DFT：问题 .....	342
• DFT 问题：频率混叠现象 .....	343
• DFT 问题：时间窗截断误差 .....	346
• “谐波”，源于声学 .....	350
• 声级计 .....	254
<b>电气测量基础知识 .....</b>	<b>355</b>
• 不确定度 .....	356
• 精、准的内涵 .....	362
• 电能节约：检测与监测 .....	366
• 变频调速系统：测量、故障诊断 .....	370
• 现场总线：物理层健康检查 .....	377
• 测量仪器：防尘、防水等级 .....	383
• 电气测量的安全性 .....	384
• 附录：与国际标准等同的有关中国标准 .....	386

# 导言

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

老同洲知已感明 克暑辭 卷五

# 现代电能质量测量技术

## 福禄克，助您与时代同步

**FLUKE®**

## 福禄克，助您与时代同步

### ● 测量的意义

古埃及：公元前3000年，建造金字塔的长度标准。

中 国：秦始皇，商鞅变法，统一了的中国的度量衡。

开尔文：“无法测量，则无法改善”。<sup>1</sup>

### ● Fluke：测量仪器及工具的领导者。

在所涉足的领域内都保持着第一或第二的领导地位。

1949年：Fluke推出第一个产品，101型台式功率计，通用电气公司是首家用户。

1994年：F40/41，世界首款便携式谐波分析仪。

成功降低了专业谐波仪器的门槛，供用电部门谐波普查基础工具。

1999年：F43，测量谐波、瞬态现象的电能质量分析仪。

2003年：6100A，世界第一台电功率与电能质量标准源。

2005年：F1760，世界首款完全符合IEC 61000-4-30 A级标准的便携式分析仪器。

F430，世界首款完全符合IEC 61000-4-30 A级标准的手持式测量仪器。

2009年：6100B，电功率与电能质量标准源。

6105A，电能质量及相关专业，世界顶级标准源。

电能质量测量仪器生产厂家、计量检验机构必备的校准与验证工具。

2013年：F437 II，50、60、400Hz系统的电能质量分析、监测与记录。

非正弦、不平衡系统电参数分析；舰船电能质量评估。



度



量 衡



F41

F1760



F6105A/80A

**Fluke — 电能质量测量、分析与评估，专业领域的先锋和标准！**

<sup>1</sup> Lord Kelvin, IEC第一任总裁，1906年。英国物理学家，热力学奠基人，建立电磁量的精确单位标准，设计各种精密的电测量仪器。

# 电能质量测量与评估：重要的国际标准

## ● 几个重要的标准正在影响国际电能质量监测与评估领域

IEC 61000-4-30: 电磁兼容 试验和测量技术—电能质量测量方法 (2008)

IEC 61000-4-7: 谐波和间谐波测量的通用指导 (2009)

IEC 61000-4-15: 闪变仪功能和设计指标 (2010)

IEC 61557-12: 电能质量测量的影响量与不确定度 (2007)

IEC 62586-1,-2: 电能质量测量仪器的产品标准 (2013)

EN 50160: 公共电网供电电压特性 (2010)

欧洲国家强制执行的电网电压质量评估标准。

国际第一个关于供电产品的质量评估标准。

IEEE 1459: 正弦、非正弦、平衡、不平衡状况下电参数测量 (2010)

DIN 40110-2: 交流电理论数值—第2部分: 多线电路 (2002)

## ● IEC 61000-4-30定义了下述电能质量参数的测量方法

频率	电压幅值	电压偏差
电压谐波	电压间谐波	电网信号电压
闪变	电压快速变动	供电电压不平衡
瞬态电压	电压暂时中断	电压暂降和暂升
电流		

## ● 三相平衡、不平衡、正弦或非正弦下电参数测量

▶ IEEE 1459定义了等效视在功率、等效功率因数测量方法。

▶ IEEE 1459定义了功率等电参数的组成与分解，给出了反映谐波污染、负载不平衡的评估指标。



# 现代电能质量测量仪器：断代的标准

## ● 问题

F1760、F430 II为全新一代电能质量 (Power Quality) 仪器，即“现代”电能质量测量仪器。如何判断电能质量测量仪器的代差？断代的标准是什么？

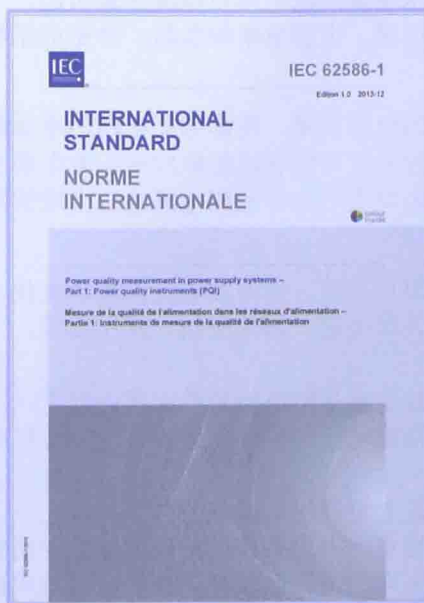
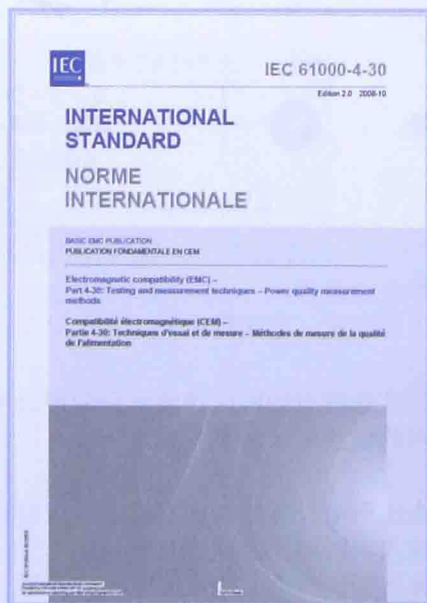
## ● 断代标准

仪器测量原理，是否符合“电能质量测量方法”国际标准的要求：IEC 61000-4-30。

测量仪器产品，是否符合“电能质量仪器”国际标准的要求：IEC 62586-1/-2。



Lord Kelvin  
(1824-1907)



# F1760: 世界首款IEC 61000-4-30 A级仪器

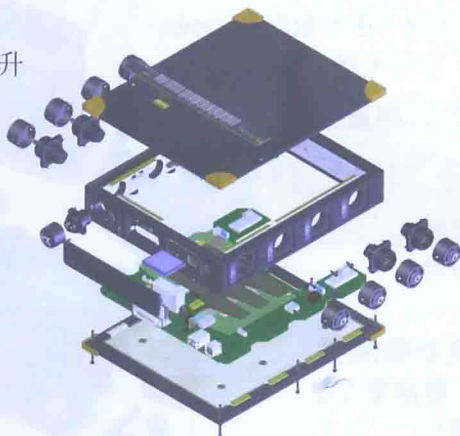
- F1760, 全球第一款完全符合IEC 61000-4-30 A级标准的便携式三相电能质量分析仪。
- 检测报告



F1760: 带Garmin GPS18 LVC GPS接收器  
仪器序列号: S/N V7-59941-IC  
(2010年10月29日)

▶ 第三方鉴定机构检测结果 (美国电力标准实验室, PSL)  
下述电能质量参数的测量方法与指标, 符合A级标准。

- 5.1 频率
- 5.2 电压幅值
- 5.3 闪变
- 5.4 电压暂降与暂升
- 5.5 电压中断
- 5.7 电压不平衡
- 5.8 电压谐波
- 5.9 电压间谐波
- 5.10 电网信号电压
- 5.12 电压偏差
- 4.4 测量累计间隔
- 4.6 时钟不确定度
- 4.7 标记功能
- 6.1 瞬态影响量



▶ F1760: 完全符合IEC 61000-4-30 Ed.2 A级标准。

Power Standards Lab  
1201 Marina Village Parkway #101  
Alameda, CA 94501 USA  
TEL: +1-510-522-4400  
FAX: +1-510-522-4433  
[www.PowerStandards.com](http://www.PowerStandards.com)

### Certificate of Conformity

IEC 61000-4-30 Ed. 2 Class A

**Fluke 1760**  
equipped with Voltage Probes 620V and  
Garmin GPS18 LVC GPS Receiver  
(or other GPS receiver with equivalent accuracy and functionality)

IEC 61000-4-30 Ed. 2  
230V, 50/60 Hz, L-N U<sub>0</sub>

61000-4-30 Section	Power Quality Parameter	Class A Compliance	Class B Compliance	Class C Compliance	Remarks
5.1	Power frequency	Yes	Yes	Yes	
5.2	Magnitude of the supply voltage	Yes	Yes	Yes	
5.3	Flicker	Yes	Yes	Yes	
5.4	Supply voltage dips and swells	Yes	Yes	Yes	
5.5	Voltage interruptions	Yes	Yes	Yes	
5.7	Supply voltage unbalance	Yes	Yes	Yes	
5.8	Voltage harmonics	Yes	Yes	Yes	
5.9	Voltage interharmonics	Yes	Yes	Yes	
5.10	Mains signalling voltage	Yes	Yes	Yes	
5.12	Under-voltage and over-voltage	Yes	(N/A)	(N/A)	
4.4	Measurement repeatability intervals	Yes	Yes	Yes	
4.6	Time-clock uncertainty	Yes	Yes	Yes	
4.7	Flagging	Yes	Yes	Yes	
6.1	Transient influence quantities	Yes	(N/A)	(N/A)	

This certificate summarizes the results of the PSL IEC 61000-4-30 Power Quality Measurement Methods Compliance Report, document # PSL-FLUKE-003-30a, dated 17 May 2007 and Addendum 1 for Ed. 2 Update, dated 29 October 2010. PSL tested one sample, S/N V7-59941-IC at 230VAC, 50/60 Hz. Manufacturer states that this sample is representative of the FLUKE 1760 series.

FLUKE 1760

Alex McEachem  
29 October 2010  
[Alex@PowerStandards.com](mailto:Alex@PowerStandards.com)

## 电能质量问题的根本原因: 电流与阻抗

● 电能质量问题的原因: 电力用户? 供电公司?

- ▶ 电力用户  
用电设备因供电电源问题停机、误动作或损坏等, 原因是供电电压的幅值或波形不合格。
- ▶ 供电公司  
电网主要电源侧为近乎完美的三相对称、纯正弦电压波形。配电网主要电压质量问题由用户电流质量引起, 如设备的谐波电流、大容量单相负荷、冲击电流等。

● 根本原因

流过系统阻抗的电流质量, 将影响配电网的电压质量。  
例: 用户侧谐波电流可能导致配电网电压发生畸变。  
用户侧冲击电流可能导致配电网电压出现暂降。

● 解决原则

电流: 由电力用户决定, 如谐波电流、波动负载、冲击电流等。  
阻抗: 由电力公司决定, 如架空线、变压器等。(供电容量、电压等级)

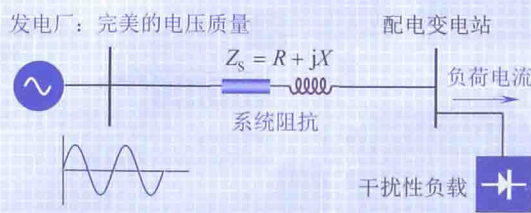
例: 谐波电压

供电电压的谐波含量是供电质量的主要内容之一。公共连接点的电压谐波水平应符合电磁兼容标准。电力公司监测谐波电压的目的: 保证各电压等级电网的谐波电压满足规划水平。

例: 谐波电流

用电电流的谐波含量是用电质量的主要内容之一。低压用电设备的谐波电流水平应符合电磁兼容标准。连接至公共连接点的电力负荷, 按相关标准评估其注入电网的谐波电流水平, 电力公司依据电网的谐波电流规划水平, 对造成谐波污染的电力负荷实施限制性管理。

先有鸡, 还是先有蛋?







## 电能质量测量：面临的问题



## 电能质量测量：A级一致性意味着什么？

### ● IEC 61000-4-30标准对于A级电能质量测量仪器的要求：一致性

#### ▶ IEC 61000-4-30标准的原则

两台A级测量仪器，对于同一电能质量现象，评估结果一致。

谐波测量部分引用IEC 61000-4-7标准，

该标准严格规定了谐波计算方法，如时间窗、同步、窗函数等。

例：50Hz系统，FFT时间窗必须为10个周波（约200ms）。



### ● 旧标准的问题：不同厂家的谐波测量仪器，测量结果差异很大。

旧的标准允许FFT时间窗为400ms、320ms或1个周波等。

例：对波动或快速变化谐波的分析<sup>1</sup>

基于1个周期窗口（20ms）采样的谐波分析仪器，与20个周期窗口（400ms）测量仪器结果对比：  
一台90t交流电弧炉，用不同窗口宽度（矩形窗）测得的35kV谐波电流值。

（英国PA4400高精度电力谐波分析仪，现场实测记录）

宽窗口测得的谐波含量明显减小，特别是偶次谐波。

90t交流电弧炉35kV谐波电流值 (A)							
谐波次数	1	2	3	4	5	7	11
1个周期窗口	1224.2	65.38	79.55	30.17	62.91	24.86	10.52
400ms窗口	1175.6	30.22	68.25	10.8	54.29	16.49	4.98



某型仪器测量结果

PA4400测量结果

对用户的意义：谐波治理的投资额度  
谐波评估结果的准确性、一致性、权威性

<sup>1</sup> 林海雪：从IEC电磁兼容标准看电网谐波国家标准，电网技术，1999。

<sup>2</sup> IEC, International Electrotechnical Commission, 国际电工委员会，成立于1906年。