

# 智能化的电能质量监测

陈芳  
NI 信号处理软件工程师

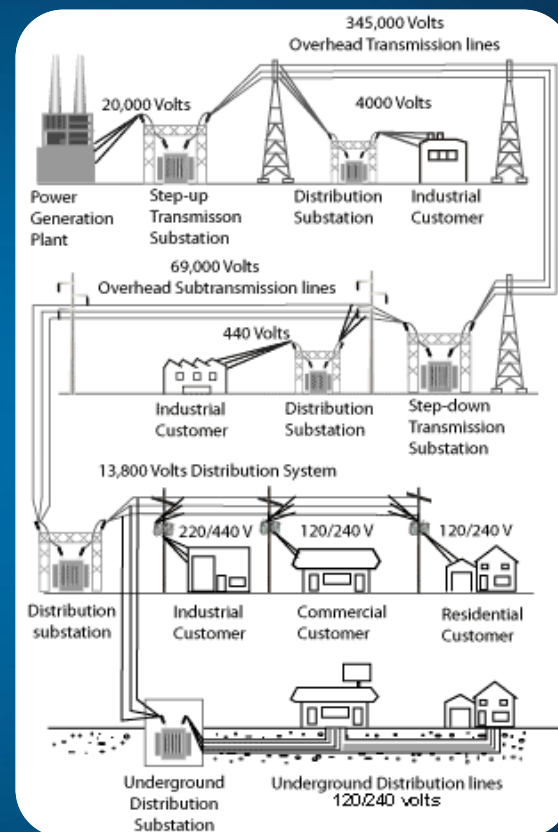
**NI Days**  
WORLDWIDE GRAPHICAL SYSTEM DESIGN  
CONFERENCE  
全球图形化系统设计盛会·中国站

融汇  
启迪

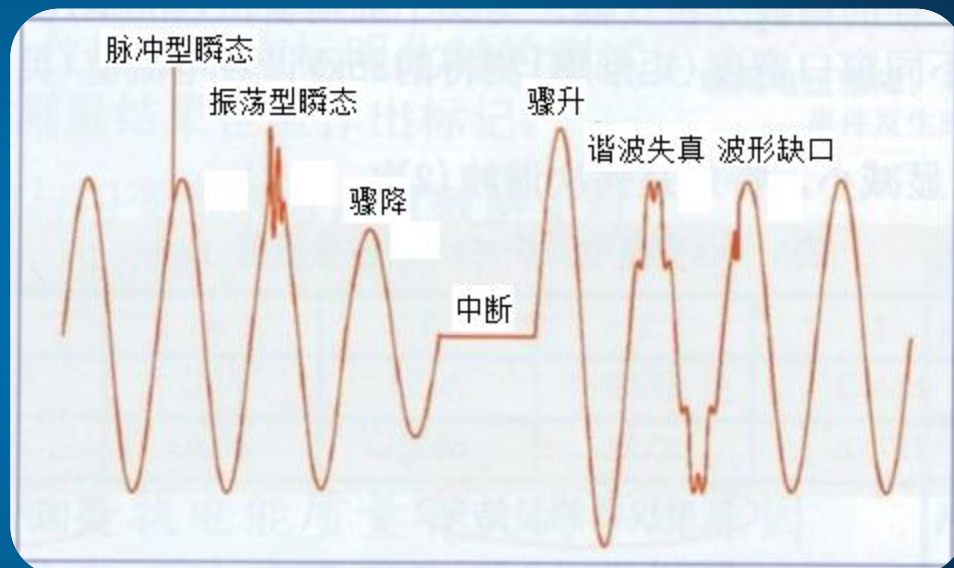
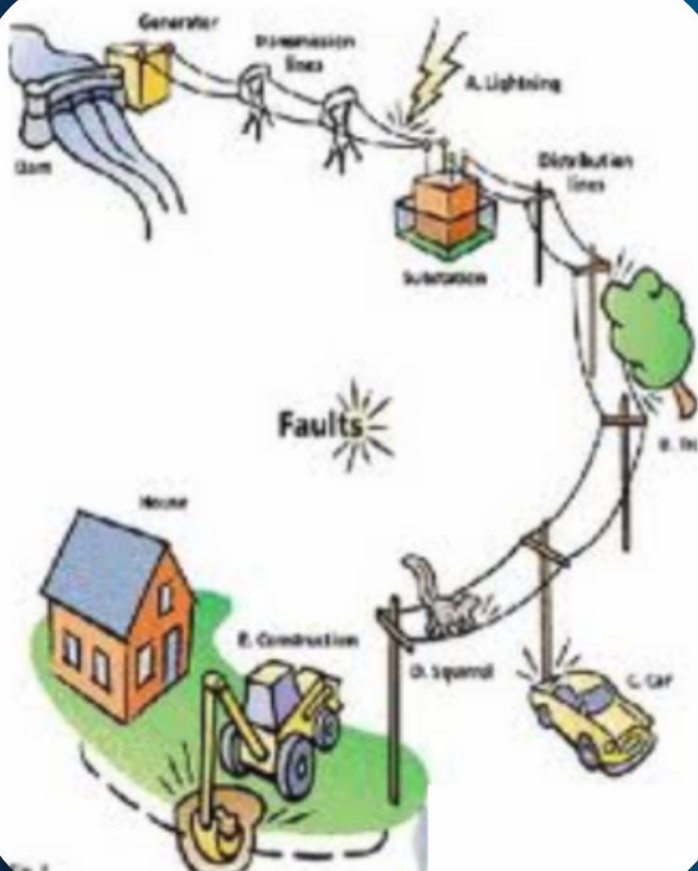


# 主要内容

- 电能质量
- 电能质量监测的挑战
- 如何应对技术要求？
- 应用案例



# 电能质量 (Power Quality)





# 电能质量导致的典型问题

- 用电效率低下，浪费电能
- 缩短设备使用寿命，甚至损坏用电设备
- 电磁兼容性问题
- 系统过热
- 计算机锁定
- 闪变
- ...



# 电能质量相关国际标准

- 电能质量:
  - IEC 61000-4-7, 2002
  - IEC 61000-4-15, 2010
  - IEC 61000-4-30, 2008
  - EN 50160
- 文件格式
  - COMTRADE IEEE C37.111

Power Quality Parameter 电能质量参数	
Power frequency	频率
Magnitude of supply voltage	输入电压幅值
Flicker	闪变
Supply voltage dips and swells	输入电压骤降骤升
Voltage interruption	电压中断
Supply voltage unbalance	输入电压不平衡
Voltage harmonics	电压谐波
Voltage interharmonics	电压间谐波
Mains signaling voltage	附加传输信号电压
Underdeviation and overdeviation	下偏差和上偏差
Measurement aggregation intervals	测量集合间隔
Time-clock uncertainty	时钟不确定度
Flagging	标记功能
Transient influence quantities	瞬态影响量

# 电能质量监测的挑战

一致性：

- 在任何环境条件下，均可获得可靠、可重复的测量结果

A级不确定度：

- 用于精确测量，应用于合同、解决纠纷等

标记：

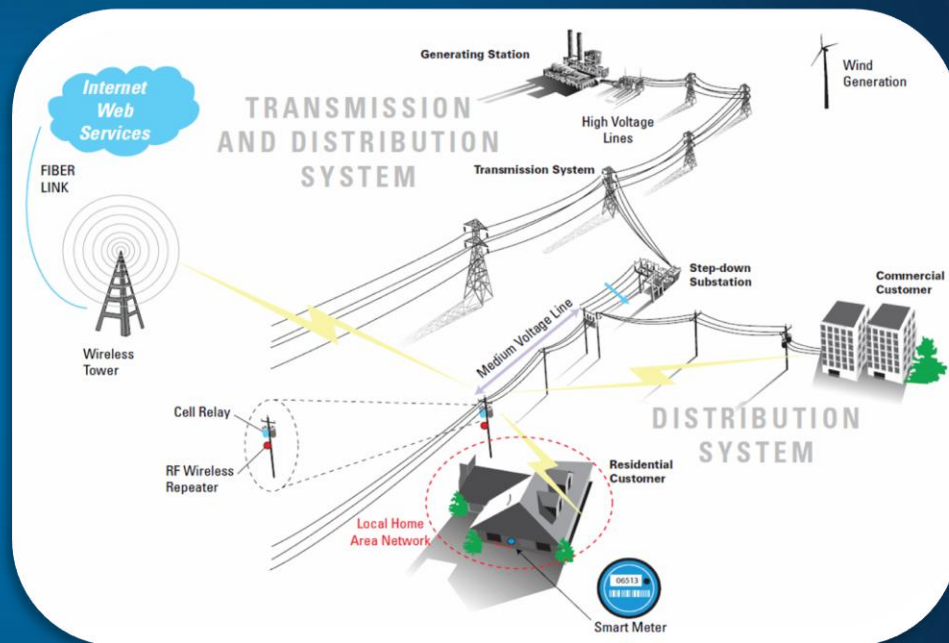
- 避免重复计算某一电压事件

...



# 智能化电能质量监测的技术要求

- 高可靠性
- 实时性
- 扩展性连接性
- 降低成本
- 功能强



# CompactRIO的高可靠性

高可靠性

## CompactRIO的相关认证:

- 电磁兼容性
    - 辐射, 抗辐射, EMC/EMI
  - 平均无故障时间 (MTBF)
  - 产品安全性
  - 危险场所防爆等级
    - Class I, Division 2
  - 振动与冲击
  - 劳埃德船级社 (Lloyd 's Register) 认证
- [ni.com/certifications](http://ni.com/certifications)

### 坚固可靠

- -40~70 ° C温度范围
- 抗50g冲击, 5g振动

### 低功耗

- 9~35V DC供电, 7-10W典型值





# CompactRIO实时嵌入式平台

实时性



## 实时处理器

CPU

可靠的嵌入式控制,  
分析以及记录

## FPGA硬件信号处理

自定制I/O定时和控制  
ns级精度

# 模块化I/O连接任意现场信号

超过100种可选的I/O模块，适合各种测控应用

扩展性  
连接性

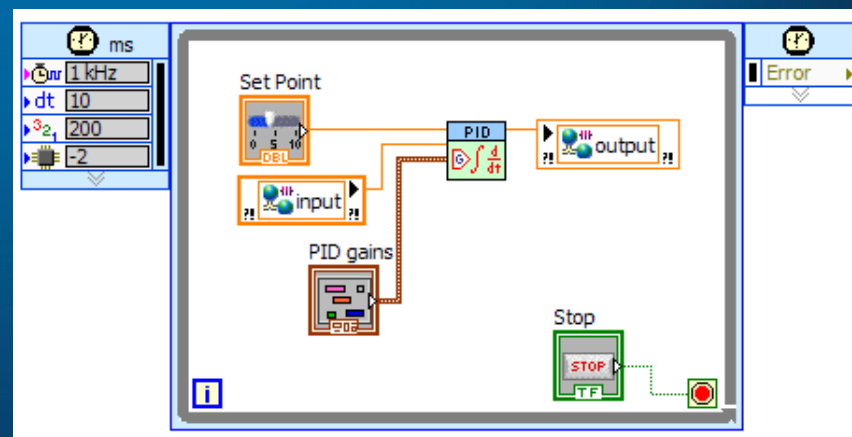
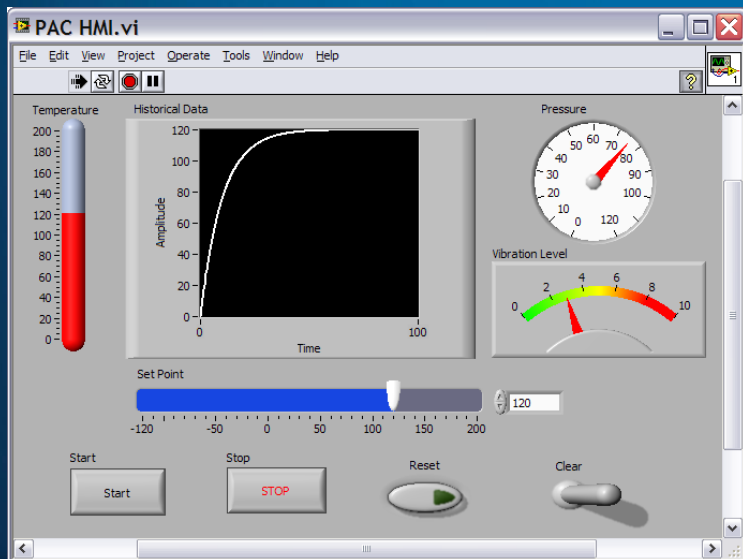
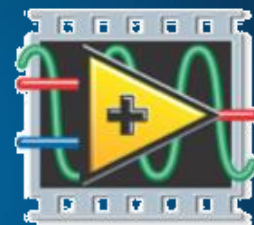


- 高电压及电流测量模块
  - NI 9225, NI 9227
- 模拟输入
- 模拟输出
- 数字输入
- 数字输出
- DNP3,61850协议支持
- 总线接口
- 运动控制/驱动
- 相机接口模块
- GPS
- 第三方定制模块

# 开发成本：LabVIEW

降低成本

- LabVIEW图形化设计平台+RT/FPGA模块
  - 减少开发时间，节约开发成本
  - 自定义用户接口



# 部署成本：Single-Board RIO

降低成本

- 低成本，适合大规模部署
- 单一的图形化系统设计平台同时用于原型和部署

## 网络与通讯

10/100 以太网端口  
RS232 串口 USB

## 小尺寸，低功耗

10.3 x 9.65 cm  
19-30 VDC

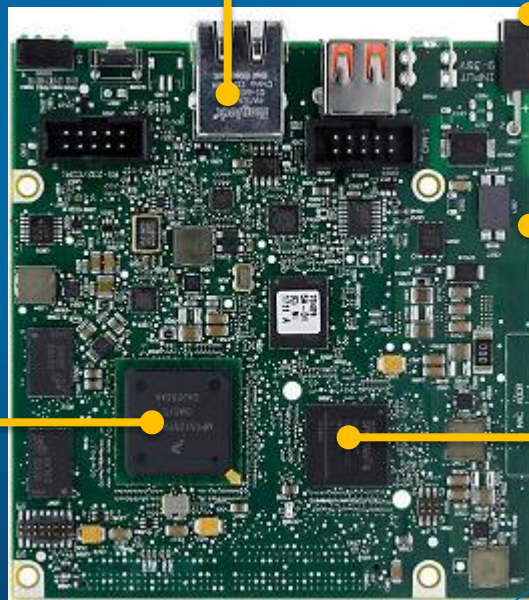
## 可扩展I/O

## 实时处理器

400 MHz处理器用于浮点控制、分析与数据记录

## 可重复配置FPGA

可自定义I/O的定时和处理，  
紧凑FPGA平台实现复杂功能



小块头，大智慧



# 电能质量测量工具包

功能强

- 专用于电能质量参数的测量、分析，显示及数据记录
- 应用场合
  - 电能质量分析仪
  - 数字故障录波仪
  - 智能电表

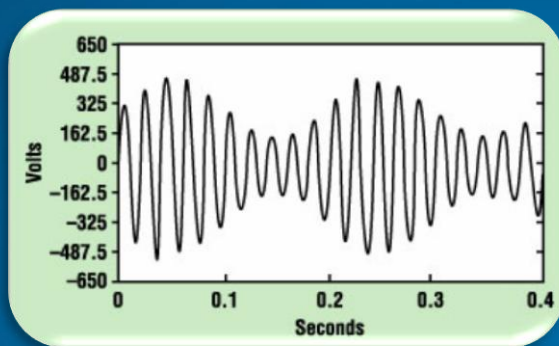


# 电能质量测量工具包

- 提供所有电能质量参数的计算VI
  - 包括基波有效值，相角，频率，闪变，不平衡度，有功/无功/视在功率，信号电压，正/负/零序分量，电压骤升/骤降/中断等
- 符合IEC 61000-4-30 A级精度
- COMTRADE标准文件的记录与回放
- 针对 NI RIO硬件平台

# 特性举例： 闪变 Flicker (IEC 61000-4-15,2010)

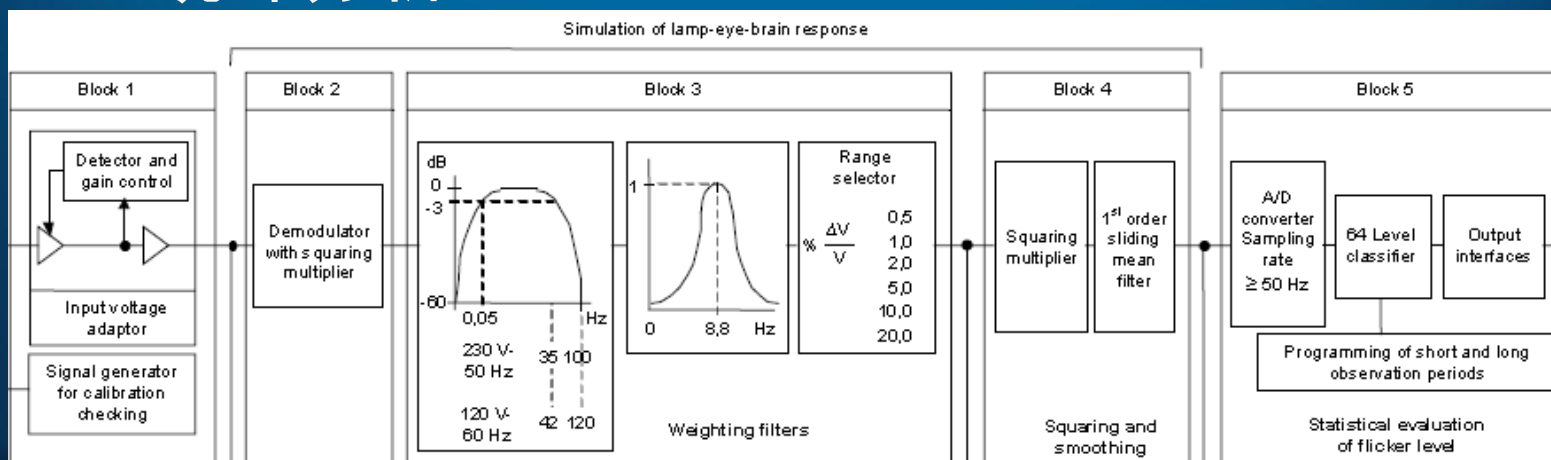
- 人眼对电压波动引起的灯光亮度变化的不适感



- $P_{inst}$ ,  $P_{st}$ ,  $P_{lt}$  – 基于lamp-eye-brain系统的响应特性计算的闪变值

# 闪变测量的技术挑战

- 挑战：
  - 建立等效模型模拟人眼对白炽灯闪的主观感觉
- NI公司的解决方案：
  - 设计数字滤波器组
  - 统计分析





# IEC 61000-4-15 2010 闪变标准的修订

- 新规定了闪变仪的三个等级及其遵从性测试
  - F1, F2, F3

Test voltage characteristics	Intention	Value used for test	Flickermeter classes		
Sinusoidal / rectangular voltage changes, Tables 1, 2	Tests the response characteristic of the filters and scaling parameters	$P_{inst}$	F1	F2	F3
<i>Rectangular voltage changes and performance testing, Table 5</i>	<i>Tests the classifier and statistical evaluation algorithms</i>	$P_{st}$	F1	F2	F3
Frequency changes, Table 6	Tests the measuring circuit (hardware)	$P_{inst}$	F1		
Distorted voltage with multiple zero crossings, Table 8	Tests the stability of the input control circuit	$P_{inst}$	F1		
<i>Harmonics with side band, Table 9</i>	<i>Tests the input bandwidth</i>	$P_{inst}$	F1		
Phase jumps, Table 10	Tests the stability of the input control circuit, the input bandwidth and the classifier	$P_{st}$	F1		
Rectangular voltage changes with duty ratio, Table 11	Tests the classifier and statistical evaluation algorithms	$P_{st}$	F1	F2	
$d_c, d_{max}, d(t)$	Test performance per IEC 61000-3-3		F1 <sup>a</sup>	F2	

- NI电能质量工具包满足最新F1级要求

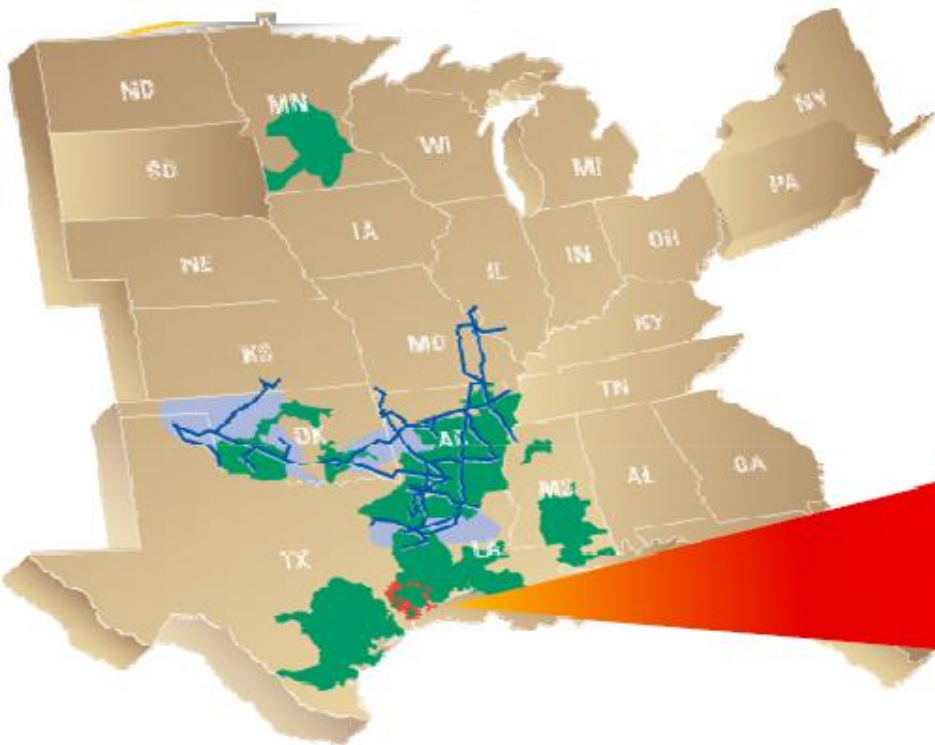
# 其他相关处理软件

## ——LabVIEW 同步相位测量软件(PMU)

- 提供同步相位测量，通信组帧、解析等VI
- 输出速率可配置
- 测量精度满足IEEE C37.118 2005
- 通信协议满足IEEE C37.118 2005，支持与第三方功角数据集中器 (Phasor Data Concentrator) 之间的通信

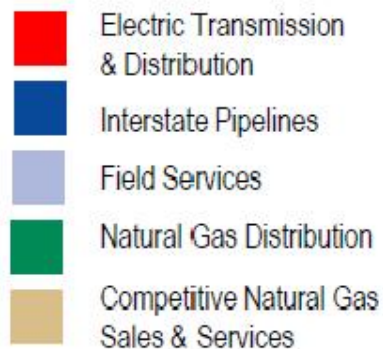
# 应用案例（1）

## CenterPoint 配电开关的远程智能终端



- 美国第三大的电力和天然气生产和配送公司
- 美国最大的公用事业公司之一
- 业务涉及天然气营销，发电和配电，天然气运营和管道

在休斯顿地区拥有超过200万电表  
16.4GW峰值需求



- 用户达500万户
- 服务区域达5000平方英里
- 线路总长度可以绕地球两圈

# 配电开关的远程智能终端



- 用于分布式自动化的高级分析仪
- 引进、开发智能化的开关特性
- 嵌入式电能测量与在线监测
- 无线通信用于配置与文件传输
- 远程更新、配置与固件升级



## 西门子配电开关

- 额定38kV
- 真空灭弧技术
- 集成的电流互感器与电压传感器
- 可选升级选项
  - ANSI / IEEE C37.60
  - 三相保护

## 智能分析设备 (NI 智能电网分析仪)

- 833 采样/周期, 24-bit 分辨率
- 高级嵌入式分析仪
- 数据存储, 1000+ 事件捕捉
- 远程升级
- 支持多种通信协议





CompactRIO封装在系统内



将系统接入  
电网



# Elcom Network Analyzer

- [illegible]

# 电能质量监测小结

- NI平台的优势：
  - 工业级应用设计，高可靠性
  - 广域网部署，在线实时监测控制
  - 便于扩展，连接现场信号或第三方设备
  - 强大信号处理能力，支持最新标准
  - 低成本，适合大规模部署



# 实时监测 ➡ 电能优化控制

## 高压静态无功补偿控制

- 电网传输线的供电质量收到负载影响
- 无功补偿装置由晶闸管控制电抗器(TCR)和高压无源滤波器(FC)构成
- 控制算法在NI CompactRIO上实现
  - 利用数字锁相环技术取得频率、相位
  - 根据特定算法得出晶闸管控制信号
  - us级的闭环控制