

电力助力智能制造与安全运行的新举措

Manufacturing and new measures for the safe operation of electric power intelligent

鲁思慧

摘要: 本文从源头上为智能电网的安全运行提供重要保障作引领,对多种新型电能质量监测&分析仪与电力智能巡检机器人带上“热眼”的设计方案及安全运行保障的应用作分析说明。

关键词: 智能电力, 检测与分析, 嵌入式系统, 红外热像

Abstract: this article from the source to provide important guarantee for leading to the safe operation of the smart grid, for a variety of new type of power quality monitoring & analyzer and power intelligent inspection robot take "hot eye" design and safe operation of the security analysis of the application.

Keywords: Smart power, Detection and analysis, embedded system, Infrared thermal image

中图分类号: TN86 文献标识码: A 文章编号: 1606-7517(2016)09-9-145

众所周知,智能制造的电力供应是属制造业发展的主攻方向。电力供应作为制造业的能量供应站,所提供的电力质量直接影响整个生产环节,轻者产品质量受损,重者生产设备损坏,所以电力供应是制造业的“国之重器”,但凡“国之重器”必有护从者,而电能质量检测技术与电力智能巡检机器人带上的“热眼”均是需护从的二个重要支柱。前者是助力智能制造,而后者可代替人工视并有效补充遥信遥视的工作,从而保证变电站的安全运行。这也是从源头上为智能电网的安全提供了重要保障。这是因为它们为用户提供了专业的检测和分析工具,帮助用户获知自身用电的电能质量真实情况。其检测和分析后给出的报

告、图表均直观易懂,可用于电力和电气工程师的设备维护计划和故障排查的依据。据此,本文从源头上为智能电网的安全运行提供重要保障作引领,对多种新型电能质量监测 & 分析仪与电力智能巡检机器人带上“热眼”的设计方案及安全运行保障的应用作分析说明。为叙述有清晰思路,首先对电能质量监测仪理念作说明。

1 电能质量监测 / 分析仪理念

* 电能是一种产品,和任何其他产品一样,并且它或许是目前工商业所需要的最必不可少的原材料。它的不同寻常之处在于它必须连续不断被接收和使用,人们无法方

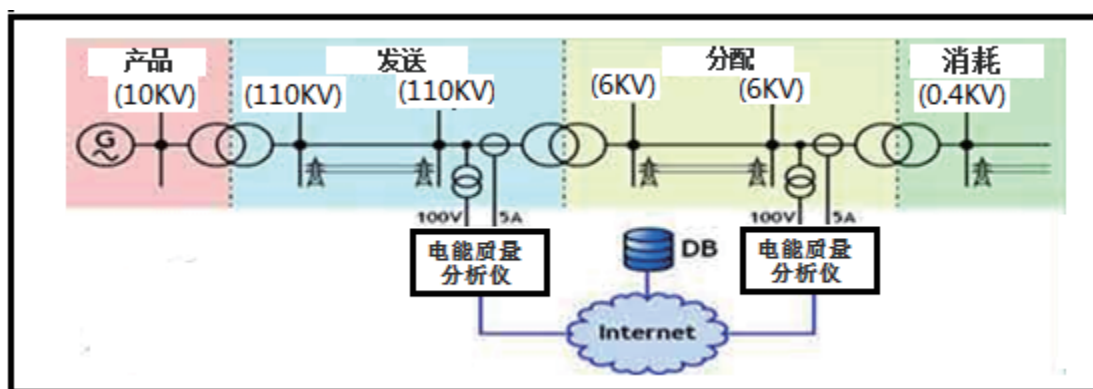


图 1 为带有电能质量监控功能的电能传输示意图

便地大量储存电能，并且在使用前无法方便地对它进行质量检验。若电能质量较差，则有可能对生产线造成重大损伤。因此，通过监测电能质量，我们就能够在系统遭到损伤找到潜在的问题。此时进行预防工作的成本相对而言是较低的，并且可以进行一系列的改善工作，从优化系统运行流程到监测与控制设备的整体安装等。

* 那什么是需要测量的量？典型的电能质量分析仪采集并分析电网中的三路电压，并根据国际标准的规定计算电压质量。电压质量由以下参数进行定义：频率、电压电平变化、闪变、三相系统不平衡、谐波光谱、总谐波失真和信号电压电平等。在某些情况下，也需要将电流信号和电压一起分析。这样就可以分析电流相关的参数，并能够计算一些间接参量。例如有功功率、无功功率、电能等。图1就是典型带有电能质量监控功能的电能传输示意图。

2 多种新技术在电能质量监测 / 分析仪中的应用

2.1 基于嵌入式处理器的电能质量监测 / 分析仪

* 设计思想

当今作为电能质量监测仪常用于许多工业环境中。其功能是使操作人员既能够监视电力线的扰动，还能

监控某个建筑、机器或设备的用电情况。在某些情况下，可通过调制解调器或高速通信线对设备功能进行远程监视和控制。为此，则应用各种传感器来负责收集重要电站设备的性能和状况信息，例如变压器和电路断路器，并负责存储数据以供将来参考使用。这些分时数据以用于执行特定功能并为操作员、维护计划员和工程师提供决策指导。要实现这些功能，则引入嵌入式处理器将成为电能质量监测仪设计的核心部件。

* 方案设计与分析 图1为基于嵌入式处理器的电能质量监测 / 分析仪设计方案框图。

信号链技术的应用 在电流与电压监视通道设计中应用了可提供多种用于采样和测量高电压功率数据的信号链方法。在电流监视通道（可为3相5通道或单相3通道）中使用ADC（单极模数转换器，如ADS8364型）的输入的分压电阻和电平转换器使其能够实现高输入阻抗。该电路中的VREF（电压基准）通常为2.5V。差分放大器仅使用一个单极电源（如INA159）的器件，也可尝试使用外部组件构建相同的电路，但将花费更多成本并且会降低性能。在电压监视通道（可为3相5通道或单相3通道）中方案设计中的双极输入模数转换器（如ADS8556或

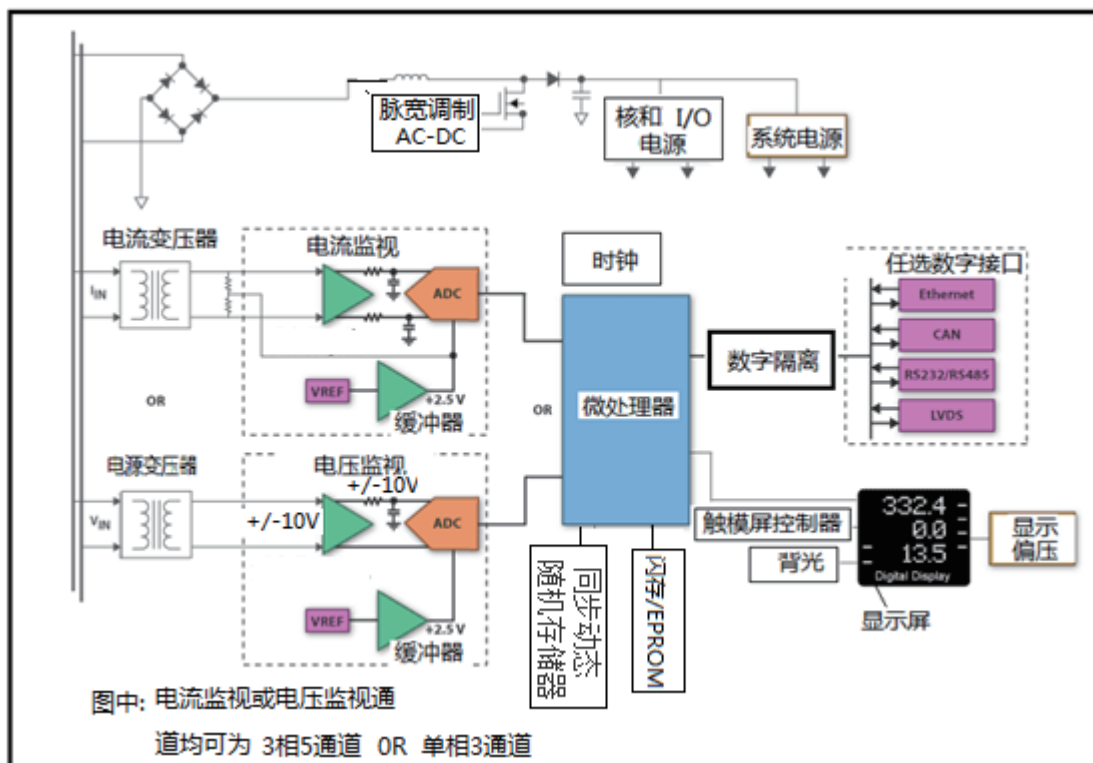


图1 为基于嵌入式处理器的电能质量监测 / 分析仪设计方案框图

ADS8557 型)具有 $\pm 10\text{V}$ 输入和高阻抗,可与放大器(如 OPA2211、OPA827 或 OPA4277)一起使用,用于调节信号和驱动 ADC(模数转换器)。该方法减少了对电平转换电路的需求,由此可简化了设计。

系统电源中可以通过用很好的电源管理芯片(如 TPS65130 型)替换电源模块来达到节约成本的目的。因该 DC/DC 转换器提供(双路)输出的 800mA 升压电流、高达 $\pm 15\text{V}$ 的正负电源,可满足双极信号调节和 ADC(模数转换器)输入要求。

数字信号处理器的应用 应用了基于 OMAP-L137+FPGA 的数字信号处理平台。其 OMAP-L137 是集成了 C674x 系列 DSP 内核与 ARM9 内核的开放式多媒体应用平台,具有高速运算能力和很强的控制功能。非常适合于在功率监控和控制应用中高效地处理采样数据和执行 FFT 类型的计算,它们需要进行大量的数据采样和处理工作,才能检测出 RMS 的当前电流和电压、实际功率、无功功率、谐波和高次谐波。这些处理器能够对过载/过流、过压、电涌和下陷情况做出快速反应。OMAP_L1xx 和 C674x 则针对最大数据处理能力进行了优化。根据应用领域要求,其 OMAP_L1xx 和 C674x 又具有支持操作系统和 ENET 端口功能。

该系统又应用了具有片上闪存和一个 12 位的 ADC(如 F2833 型)。其集成 12 位 ADC 虽然并不用于电力线电流和电压感应,但它非常适合于感应环境和其它操作变化。而电路板之间的接口电路通常包括 CAN(控制器局域网)、RS485 或 M-LVDS(低压差分信号-具有高速时钟)。其 M-LVDS 的优点就是能满足高速数据传输的要求。

由此可见,在电能质量监测仪设计中,使用了数字信号处理平台(OMAP)或其它 MCU、低噪声放大器、精密 ADC 和低功耗工业接口来测量电能质量数据并可与主机系统进行通信。

2.2 基于 Compact RIO 的电能质量监测分析仪

2.2.1 图像化软件系统理念与应用

* 图像化软件系统理念 它就是一种嵌入式控制与监测系统,包括图像化软件 LabVIEW(或 7 或 8 版)和可重配置 I/O(RIO)硬件,结合了坚固可靠和易于使用的现成可用的系统,具体有 CompactRIO 嵌入式系统,基于 PC 的控制系统,以及专业定制硬件的单板计算机系统(SBCs)等组成,由此构建了图 2 所示的嵌入式控制与监测系统框图。

根据图 2 可知,从设计、原型到发布嵌入式控制与监测系统带来了新的变革。利用新型图像化系统设计方法,结合高效的编程软件对可重配置硬件进行编程,可帮助简化开发,提高生产力,并大幅缩短产品上市时间。如 NI 提供开发工具可在要求苛刻的工业领域,如能源电力、轨道交通、工业控制以及结构监测等建立高度定制的嵌入式系统。

* 图像化软件系统应用架构 由于 CompactRIO 产品系列和系统的可扩展性以及 LabVIEW 代码的可移植性,故能够将系统调节成不同的尺寸大小,以满足各种不同的应用以及客户的特殊需要。除基于完全灵活的 CompactRIO 系统以外,还创建了另外两种整体解决方案,可以把应用程序部署至:集成化的 CompactRIO 系统,其在同一个机箱内同时安装了实时处理器和可重新配置现场可编程门阵列(FPGA);或者单板 RIO(即 Single-Board)系统,其在单个印刷电路板上包含 CompactRIO 系统的三个核心部件-实时处理器、现场可编程门阵列(FPGA)和 I/O。

由此嵌入式控制与监测系统,即 LabVIEW 软件和可重配置 I/O(RIO)硬件,结合了坚固可靠和易于使用的现成可用的系统,可构建应用于电能质量监测/分析仪。则该电能质量监测/分析系统也包含一系列的软件应用程序,这些应用程序可以用于分析仪的远程控制、已储存数据分析及通过因特网发布电能质量数据。这种模化的理念可以实现所有客户需求,并且使成本最小化。如 ENA450 型电能质量监测/分析仪系统就是一典型。

2.2.2 用电能质量监测/分析仪(ENA)进行分布式电能质量监测

利用典型 ENA450 分析仪可以构造分布式监测系统。分布式系统中的数据可以复制到关系型数据库管理系统(如 MS-SQL)或者 ORACLE 数据库,以便进行集中储存和离线分析。

有什么样的测量能力呢?基于 CompactRIO 的分析仪(如 ENA450)可直接运行并且提供各种测量服务,包括处理所有数据采集、计算和储存。其固件包括一些并行运行的软件模块有:FFT 分析仪、矢量分析仪、电流监测器、闪变计、电压监视器、半周期 RMS 监视器及电压发报和报警与数字输入。图 3 为基于 CompactRIO 的电能质量分析仪的布式电能质量监测应用框图,并可看出其接线应用图(即如何连接到输电线的)。

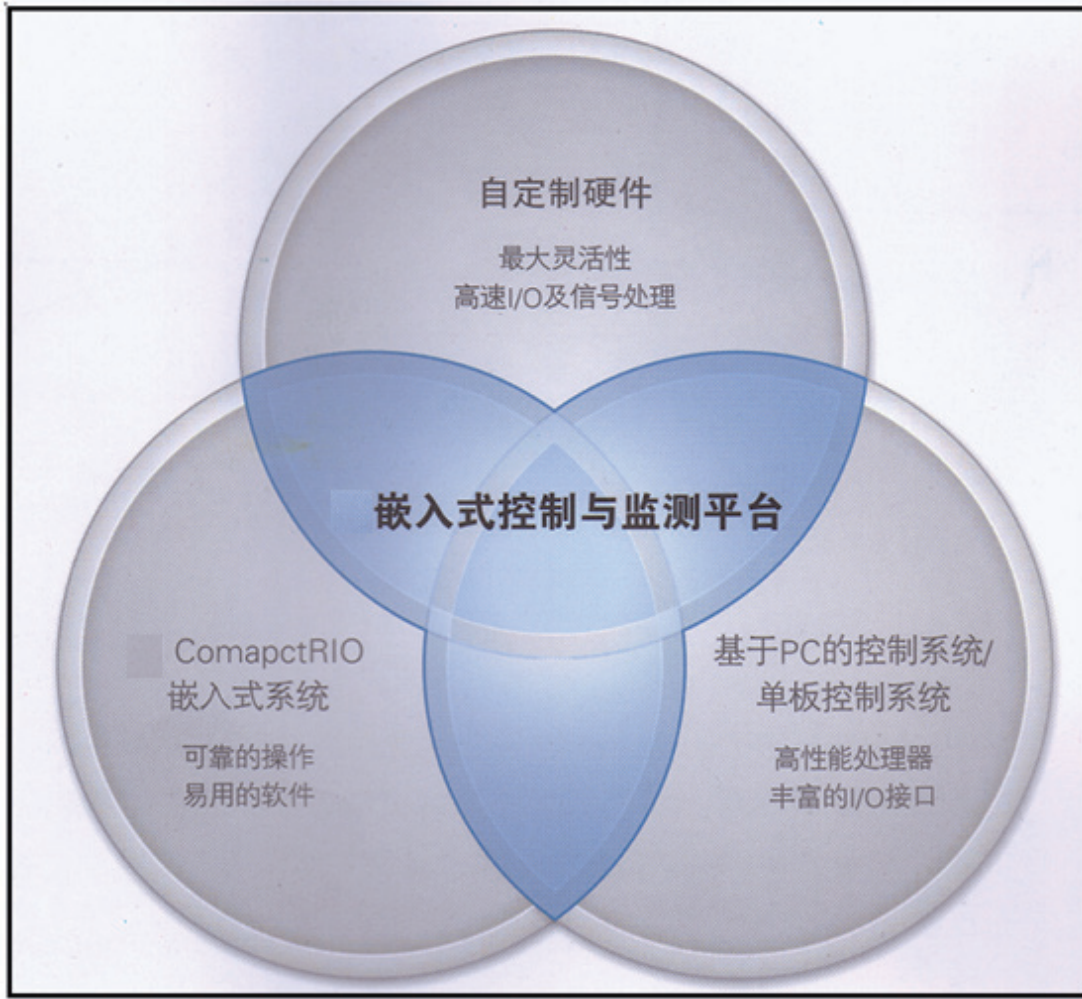


图2 为嵌入式控制与监测系统基于构建示意框图

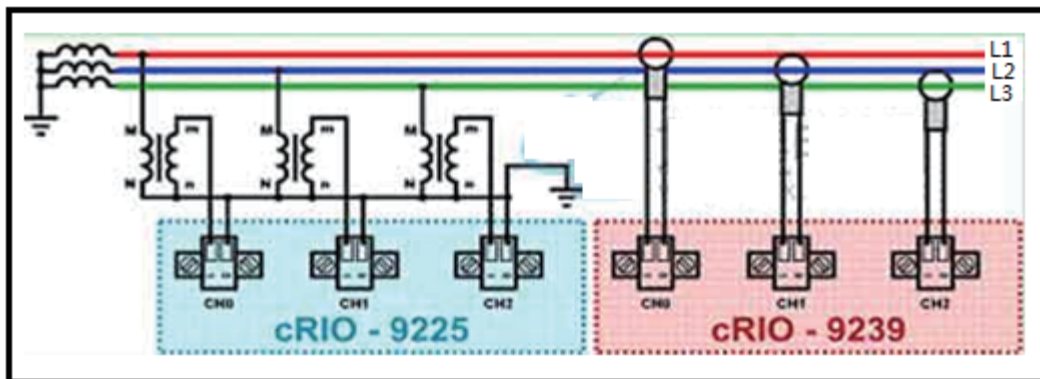


图3 为基于 CompactRIO 的电能质量分析仪的分布式电能质量监测应用框图

图3中cRIO是一款高级嵌入式控制和采集系统，具有耐久较好、功耗较低等特点。借助cRIO，我们低成本、短周期、高可靠地开发了采集系统。

如用NI公司的cRIO-9225/9239模块会将内部12.8MHz板载时钟作为主时基源。在该应用中包含了多个9225/9239模块的系统中，可以将其中一个9225/9239模块配置为主时基源（主），并且将其他9225/9239模块配置为使用该主时基源（从）。使用同一个主时基源可用于同步多个9225/9239模块。9225/9239会划分主时基源并以配置的数据速率采集数据。

所有上述固件模块都适合于50Hz和60Hz电力系统。用户可以通过仪器显示器观察数据并且把数据储存在数据文件中。所有仪器都在9.6kS/秒/通道的采样率下工作。采样率与被测量信号的频率同步。实施的算法符合IEC61000-4-30、IEC61000-4-15和IEC61000-4-7等电能质量标准的规定。

而软件将会分析电网的三个电压信号（最高可达300Vrms）和三路电流瞬时值，以便计算电网的各种变量：RMS值、频率、谐波光谱、总谐波失真、闪变、三相系统不平衡、有功功率、无功功率、电能和许多其他变量。通过使用电流模块（如NI9227）或者通过电流钳连接到电流模块，可以直接测量电流变送器（1A/5A）输出的电流。

* 用电能质量分析/监测系统的优越性 其一是，性能高，灵活性好并且尺寸小。通过使用具有内置信号调理功能的系列模块，可以实现强大的、用户容易掌握的解决方案，可以在很大程度上简化软件维护和进一步开发，而不会对当前的系统产生影响。若现有的电能质量监测标准有了任何更新或者修改，电能质量监测仪的特性可以快速更新并且紧跟最新标准。由于该解决方案具有开放性，所以现有系统能够很容易与其他系统结合，通信协议可以根据客户需求进行调整或者集成到用户现有的监控组态软件（SCADA）系统中。开放式硬件架构允许用户添加新的数据输输出（DIO）用于监测和控制，或者添加通信模块实现GPS或者GSM无线通信；其二是，可用于仪器控制、数据管理和报表的用户界面。易于使用的ENA-Touch（触摸屏）用户界面是一个用于ENA测量服务的图形用户界面。所有仪器控制、数据显示和测量配置都通过ENA-Touch用户界面进行。为了显示测量的数值，它可以容易、妥当地实现配置并显示测量的数据。

CompactRIO and LabVIEW的灵活性还使我们得以在数周时间内实现完整的PMU（相位测量单元）分析仪。它允许根据IEEE C37.118-2005标准对同步相量进行精确评估。由此也可在并网储能系统质量监控与通过电能质量监测为输电系统保驾护航。

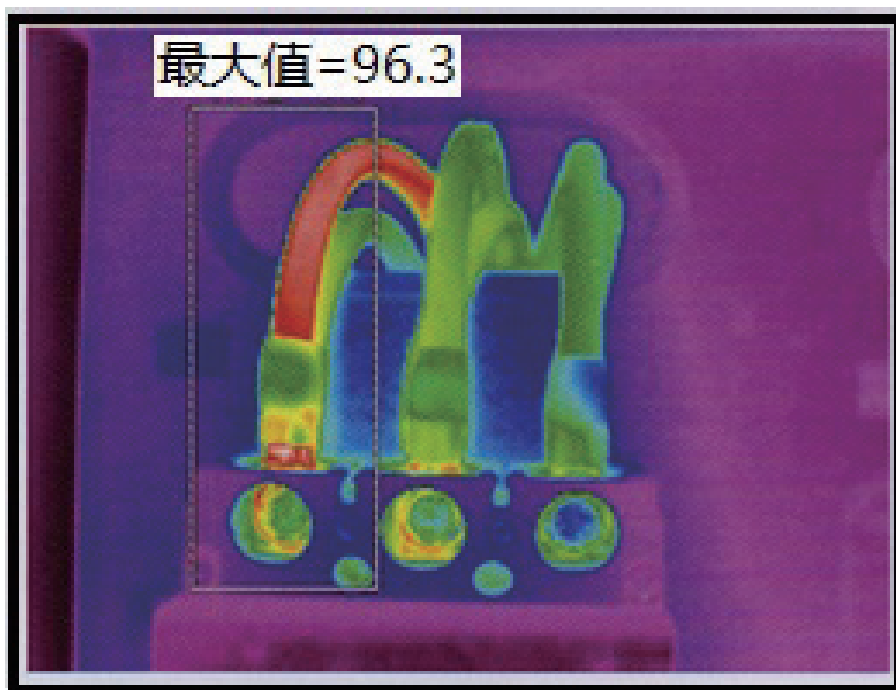


图4(a)为电气线缆过载三相不平衡示意图

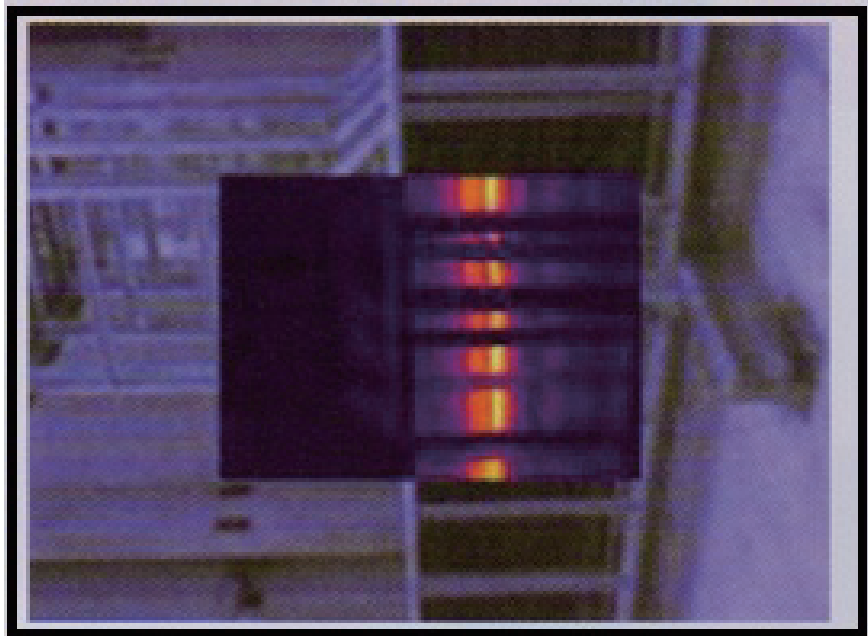


图 4 (b) 为线缆过载, 导致温度超过示意图

2.3 三相电能质量记录仪新应用趋势

当今基于 WiFi 和 Connect[®] 的移动应用的三相电能质量记录仪是电能质量记录仪新应用趋势。

该三相电能质量记录仪是定位于高能耗企业和节能服务行业的新型入门级三相电能质量记录仪。它通过 WiFi 和 Connect[®] 的移动应用, 可以随时随地获得所需数据实时做出重要的电能质量和能耗决策。通过使用互联网+时代下全新 能耗和电能质量记录仪产品, 可以获取用电能耗最新的数据, 同时轻松发现用电能耗问题, 并找到解决方案。提供全新更专业的能耗测量工具同时也具有基本的电能质量记录和分析功能, 它除了兼 IEC 61000-4-30 和 IEEE-519 标准于一身, 同时还支持的设备远程监控和系统组网的功能应用。典型的是 Fluke 1736/1738 三相电能质量记录仪。

三相电能记录仪, 可自动捕获并记录 500 多个电能质量参数, 让技术人员和工程师更加了解所需数据, 从而对电能质量和电能消耗做出更好的决策。这两款电能记录仪可捕获并记录电压、电流、功率、谐波及相关电能质量值, 以便为负载研究、电能评估、谐波测量和电压事件提供全面的数据。其内置的软件 (Energy Analyze Plus) 可以对电能消耗和电能质量进行详细分析并自动生成报告。

在过载、三相不平衡的检测与诊断中的应用。电能质

量的好坏直接影响到生产及生活的正常秩序, 过载、三相不平衡会使电网电能质量下降, 严重时会造成设备损坏和电网事故。图 4 (a) 为电气线缆过载三相不平衡示意 (见火红色 63.3 度) 图, 图 4 (b) 为线缆过载, 导致温度超过示意 (见火红中黄色) 图。

红外热像仪具备更高的热灵敏度, 可以检测出更小的温度差异, 利于得到更多的温度细节, 避免问题的发生。

而用多任务电能质量分析软件, 它是系列专用的新一代高级电能质量分析软件, 可集数据下载, 分析, 导出和生成报表于一身, 并结合图表、曲线、概览和统计功能, 给客户提供了一体化的电能质量专业分析和报告解决方案。

3 电力智能巡检机器人带上的“热眼”

3.1 问题的由来

众所周知, 变电站是电力系统中变换电压、接受和分配电能的电力设施。变电站运行中, 其传统运行巡视获取的信息 95% 以上来源于目视观察。变电站目前应用的“四遥”只可以实现变电站内的视频监控, 不能分析目标设备的运行状态, 这就为变电内的安全运行留下隐患。为此装有红外热像仪的智能巡检机器人则可代替人工视并有效补充遥信遥视的工作, 从而保证变电站的安全运行。这是由于电力生产系统工作状态与温度变化有很大关系, 利用红

外热像仪，生产人员能够准确方便地发现和测量生产设备温度变化，对于消除生产设备的安全隐患、保障生产系统平稳高效的发展有着至关重要的作用。这就成为电力智能巡检机器人带上的“热眼”。

红外热像仪可以给工程技术人员分析表面温度提供有力工具，红外热像图中颜色差异表示温度的高低，而且通过标准配置的专用软件，可以对热像图进行逐点解读温度数据，并生成数据报告或温度曲线。如可选用红外热像仪 FLUKE Ti32 拍摄变电站运行中温度差别。

3.2 为机器人装上“热眼”的应用

变电站智能巡检机器人巡检的核心部件是红外热成像和可见光相机（如 FLUKE Ti32 加微距镜头），两者安装在机器人顶部，就如同装上了一只敏感的眼睛。整个云台通过以太网与机器人主控电脑连接，主控制器通过网络对红外热成像、高清相机和云台运动进行控制。热成像输出复合视频信号（CVBS）模拟视频和高清相机数字视频通过视频压缩板进行 H264 编码压缩，再传输到主控电脑。热成像测温数据通过以太网穿透视频压缩板直达主控制器，

向主控制器提供每秒多帧的全屏测温数据、最高最低温信息，同时也根据被测温设备特性从主控制获取辐射率、距离、区域信息等，结合机器人的精确预置位能力，可以有效保证测温的准确性和多次测温数据的数据可对比性。

在电气接头的检测和诊断中的应用。在变配电系统中，有大量触头、开关、套管夹等，常常由于接触不良、腐蚀或内部异常等各种原因，出现异常过热点，严重影响安全供电。

图 5(b) 为刀闸处接触不良示意（见火红色）图，图 5(c) 为变压器 B 相出线接头氧化腐蚀过热示意（见红色 73.3）图。

如用 FlukeIR—Fusion 技术可以根据可见光和红外之间的对应关系，快速定位刀闸的故障点，提高效率，直观可靠，而且还可存档。

由此，如今的变电站机器人主要用于 110kV、220kV \ 330kV \ 500kV 及以上电压等级变电站，代替工作人员进行巡逻 \ 巡检，可以有效地提高 III 检频次、检效率和巡检质量。

3.2 巡逻 \ 巡检质量的主要方面



图 4 (b) 刀闸处接触不良示意图

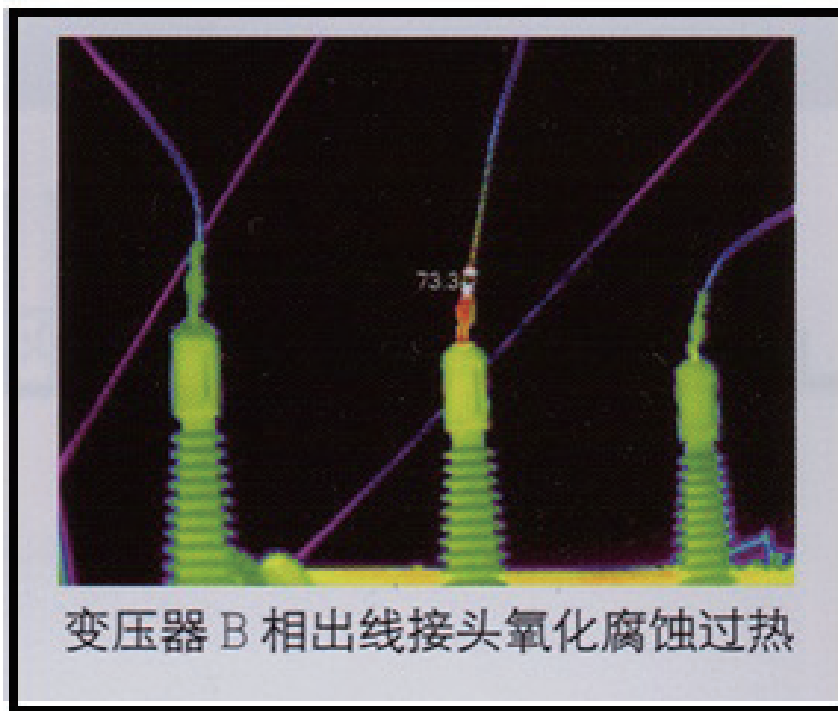


图 4 (c) 为变压器 B 相出线接头氧化腐蚀过热示意图

电力智能巡检机器人带上的“热眼”巡逻\巡检质量主要应包括哪几个方面呢？

*** 温度与电力设备异常**

各类红外热像仪均能记录热辐射。由于所有的物体均发射热辐射，热辐射是物体温度的函数，该数据可用来以一种非接触的方式决定物体的确切温度。在变电站的电力设备温度测量中，设备有无异常温度变化是至关重要的一个因素。

在常规的人工巡检中，需要特别关注变电站的主变、刀闸、开关等多种站内设备及站内环境异物的状态，巡检工作具有繁琐、重复、单调的特点，存在对人员能力、工作状态依耐性强的问题。针对这些问题，电力智能巡检机器人可以实现高频次、大范围、无遗漏的执行巡检任务，装有热成像摄像机则可精确检测变压器绕组及油冷系统、高压断路器、隔离开关、电容器\母线等设备的制热情况，发现热缺损并报警，提高设备巡视效率。

*** 温度与安全可靠性**

变电站智能巡检机器人将日常巡视、夜间红外巡视、重点设备巡视和特殊巡视相结合，利用多传感信息融合定位技术，结合电子地图与路径规划完成整个机器人运动导

航，准确获取设备状态和表计信息，提高视频分析的精度和可靠性。

当红外热像仪被安装在电力巡检机器人上，机器人通过用专业软件（如红外热像仪标配的 smartVerW 软件导出的示意图）或自动或人为的穿梭于电力设备之间，巡视记录将会被自动保存并生成分析报表，一旦发现温度异常或电气封闭等问题，整套系统将立即报警并确定故障源，这些自动化的巡检流程，都是人类本身所难以启及的。

3.3 “热眼”的独特性能

由此可拓展出独特的性能，如：热灵敏度高，能够捕捉最细微的图像细节和温差信息，全面的内置分析功能，点测温、区域测温及各种温度测量功能；一种内部温度或数字输入的内置报警分析功能；以太网、IP 及 ModbusTCP 兼容，可轻松地将分析结果和报警结果传输到 PLC，热像仪定期或在出现报警时自动以电子邮件的形式发送分析结果、红外像等，以 FTP 或 SMTP 客户端的形式自动分发文件或电子邮件；其图像屏蔽功能则仅选择相关图像部分进行分析；数字输入、输出适用于报警及外部设备控制。同时还有以下特性热灵敏度高，能够捕捉最细微的图像细节和温差信息并通过网络和 TCP / IP 协议远程控制等特性。

4 后话

上述电力助力智能制造与安全运行的新举措,既是电力供应智能制造和智电电力的助力,又是从源头上给智能电网安全运行作技术保证。它们均是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上,通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用,实现电网的可靠、安全、经济、环保、高效优化的运行。