

随着电力系统对智能化和运行可靠性要求的提高,以及计算机、传感和通信技术的飞速发展,未来电力系统的规划将逐渐发生变革。电力设备应配备各种数字化接口,使其具备自身状态信息管理、诊断、评估和控制的功能,实现智能化,进而基于各设备及线路的数字化信息运行,实现对电力系统及其设备的综合管理和监控,达到传统意义上“一次”和“二次”系统的融合。本文针对大型电力变压器,提出了智能化变压器的概念并给出了实例。

智能化电力变压器的概念与实现

■ 张冠军 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室
黄新波 西安工程大学电子信息学院
赵文彬 华东电力试验研究院

一、引言

电力设备作为电力系统的构成元件,其自身可靠性是电网安全运行的保证。电力设备是由电工材料构成的工业装备,完成电能的产生、变换和输送等功能,其自身并不具备运行状态反映的功能。电力设备所用材料主要为金属和绝缘材料,相对于金属材料而言,绝缘材料更容易损坏,特别是有机绝缘材料,很容易老化变质而使机电强度显著降低,随着长期运行而逐渐劣化,甚至出现事故。电力设备一旦出现故障,尤其是关键的大型设备(如高电压大容量的发电机、变压器、GIS、断路器等),将会造成重大的经济损失和社会影响,因此及时、准确、全面地了解掌握它们的运行状况是非常重要的。

在电力设备的运行过程中,电力部门可以获得电网的运行信息(电压、电流、功率等)和设备的保护信息(如各种继电器的状态等,它们反映的是一些故障发生时和发生后的信息),通称为二次信号。而对于设备本体的工作状况(称为一次信号),国内外的电力部门多年来普遍采用定期停电后进行预防性试验(离线)来掌握其信息以决定能否继续运行,存在需要停电、试验真实性和实时性差等缺点。在此基础上逐渐发展起了一些参数的在线监测技术,以变压器为例,如套管介损、铁芯电流、油中气体、局部放电、油中微水、热点温度、绕组变形等,部分解决了停电试验的一些缺点,近年来已在此方面取得一定经验和成效,但仍存在诸如检测的参数不

全、各家自成系统、相互兼容性差、不能统筹考虑、有时需要改动设备而实施困难等缺点,还不能保证全面、实时的反映设备的运行状况,缺乏相应的标准,造成了很大的混乱。

随着电力系统对智能化和运行可靠性要求的提高,以及计算机、传感和通信技术的飞速发展,这给电力设备制造商和电力系统运行部门提出了要求,也提供了机遇。如能在设计、制造设备的时候就为其配备各种数字化接口(能够反映设备的所有的一次和二次信息),使其成为设备的一部分,而这是运行部门难以实现的,使设备具备自身状态诊断和评估的功能,一方面可以提高设备的可靠性,也可提高产品的技术附加值。

作者初步认为未来电力系统自动

化和智能化的格局应为：①电力设备应配备各种数字化接口，使其具备自身状态信息管理、诊断、评估和控制的功能，实现智能化。②电力运行部门基于各电气元件的数字化信息以及电网的运行信息，完成电力系统及其设备的综合管理和监控，实现传统意义上“一次”和“二次”系统的融合。

电力变压器尤其是大型油浸式变压器，是电力系统最重要的设备之一，其运行可靠性直接关系电力系统的安全稳定。国内外统计数字均表明，变电设备中变压器事故引起的非计划停运时间最长，且修复时间长、费用高、影响面广。本文将大型油浸式电力变压器为例，阐述智能化电力变压器的概念，并给出了一个实例。

二、变压器故障分析与传感器选择

1. 变压器故障分析

国内外研究均表明，变压器故障按部位通常可分为绕组、铁心、绝缘、引线、分接开关、套管、密封等七类故障，存在过热、放电、受潮、老化

等不同绝缘故障类型。

①绕组故障

变压器绕组是变压器的核心，其故障模式可分为：绕组短路、绕组断路、绕组松动、变形、位移、绕组烧损，以及出现局部高温或放电等现象。

②铁心故障

变压器铁心和绕组是传递、交换电磁能量的主要部件，其故障模式可分为：铁心多点接地、铁心接地不良、铁心片间短路，以及出现局部高温或放电等现象。

③分接开关故障

有载分接开关经常操作切换，由于产生高温和放电，极易使触头表面氧化，导致过热和绝缘油裂解，有时也会出现开关室油泄漏到本体油箱等。

④引线故障

引线主要故障模式有短路、断路、接触不良等。

⑤套管故障

由于电容性套管的特殊结构，其绝缘故障比例很高。

⑥绝缘故障

内部绝缘是变压器质量优劣的关键，变压器的大部分故障都是因其油绝缘和固体绝缘性能不佳引起。

⑦密封不良

变压器密封不良会导致漏油、漏气、受潮等。

2. 传感器选择及布置方案

构建智能化变压器，应考虑上述分析中变压器可能出现的故障类型和部位，来选择相应的传感器类型和监测项目，同时也需要考虑目前传感器的发展水平。

针对1台220/110/35kV三相三绕组主变压器，本文选择了直接反映其绝缘状态的6个监测项目，分别是局部放电、油中气体、油中水分、油温和绕组热点温度、铁心接地电流、电容型套管绝缘等，如表1所示。以及一些与运行有关的重要参数，如运行电压、负荷电流、运行功率、有载分接开关的位置、冷却器开关状态等，如表2所示。

本文构建的智能变压器系统中各传感器安装位置如图1所示。

图1中①处为油中气体传感器，可选用单一气体及多气体组分监测仪。

②处为局放传感器，传统的局放监测通常是使用脉冲电流法，但此方法的抗干扰性能较差，通常会受到现场强烈电晕放电的干扰以致无法分辨出真实信号。超高频局放测量是近年来局放测量的发展方向，由于局放信号的带宽较宽，而在超高频段进行局放测量可以避开如电晕、无线电等频段。

③处为油中水分传感器，它利用了聚酯薄膜电容传感器吸收变压器油中的水分子改变电容量的原理，通过电容量的变化反映变压器油中水分的值，该传感器还能同时测量变压器油

表1 有关变压器绝缘性能的传感器

监测项目(在线监测)	传感器个数	传感器类型
局部放电	1	独立系统
油中溶解气体	1	智能型测量单元
油中水分	1	智能型测量单元
绕组热点温度	-	软测量值
顶层油温	1	铂电阻传感器
铁心接地电流	2	有源传感器
套管绝缘性能	6	有源传感器

表2 反映变压器运行数据的传感器

监测项目(在线监测)	传感器个数	传感器类型
运行电压	1	有源传感器
负荷电流	2	有源传感器
运行功率	-	软测量值
分接位置	1	BCD 编码器
冷却器状态	1	继电器触点
环境温度	1	有源传感器



图1 智能化变压器传感器分布示意图

- ①—油中气体传感器 ②—局部放电传感器 ③—油中水分传感器
- ④—套管末屏电流传感器 ⑤—铁芯接地电流传感器
- ⑥—绕组热点温度传感器 ⑦—环境温度传感器
- ⑧—电压/电流传感器 ⑨—分接开关/冷却器传感器

箱底层的温度。

4、5、8处分别为套管末屏电流、铁芯接地电流和电压/电流传感器。这些都是穿心式的有源传感器，它们将不同量程的被测量统一转换成 $\pm 15V$ 的电压信号，实验统计各传感器对于有效值测量的平均线性度误差 $\leq 5\%$ ，其中对于信号波动范围较大的测量值（如铁心接地电流）还需安装两个不同量程的传感器。

绕组热点温度是依据底层油温和顶层油温的值计算得到的，底层油温已由上述的水分传感器附带给出，顶层油温是通过XMT-288F(c)型油面温度计得到的，位置如图中6所示，这种传感器用铂电阻作温度探头，通过变送器转换成4~20mA的电流信号输出。

⑦为环境温度传感器，采用AD590晶体温度传感器，精度为 $\pm 1^\circ C$ 。

⑨为冷却器和分接开关状态传感器，冷却器开关的状态通过开关继电器

器上的辅助触点送出，分接开关的档位信息通过BCD编码器转换为BCD码后送出。

获得绕组最热点温度的方法可以采用光纤进行实测，也可采用间接的方法。国家标准GB/T15164-94中给出了绕组热点温

度的计算方法，它主要是根据变压器内部的温升规律得到的。在变压器在线监测系统中，可以直接利用传感器得到环境温度、油温和负荷电流，结合变压器设计时的温升规律，即可得到绕组最热点温度的近似估算。

电容型套管绝缘检测的传统方法是测量其介质损耗角正切值和电容量，还需取参考电压，本文建议采用三相不平衡电压法，即测量三相套管末屏电流的合成矢量在公共电阻上产生的电压，测量这个电压值可以灵敏地发现套管的故障，原理如图2所示。

首先应调整 R_a 、 R_b 、 R_c 使 U_0

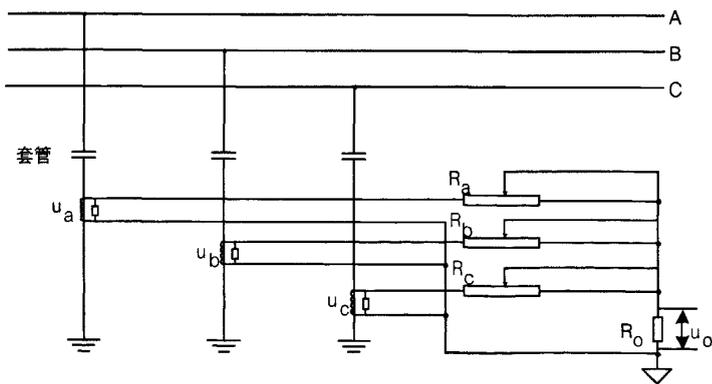


图2 套管三相不平衡电压测量法原理图



图3 采用多种方式的数据采集系统

最小,理想状况下 U_0 近似为零。如果运行过程中某相套管出现问题,套管电流的变化会造成 U_0 的明显变化,此方法可以灵敏地反映套管的运行状况。

三、系统前台单元设计

1. 数据采集方案的选择

上述选用的传感器有些是模拟量输出,有些是智能型采集单元,有时还需要将完整的系统作为传感器,因此采用多种采集方式并存的形式是比较合适的,如图3所示。

本文构建的系统,采用工业控制计算机作为中央处理模块,实现数据采集控制和数据初步处理的功能;加

装网卡组建以太网与上位机通信,形成完全开放的数据通信方式;工控机具备数量有限的RS232/485串行通信口(可通过工控机CPU板上的跳线进行设置)用于与标准串口设备进行数据交换,当串口设备较多时,还可使用串口扩展卡进行扩展。

2. 前台单元设计

数据采集程序是变压器在线监测系统软件设计中的一个重要环节,包括采样控制、现场显示和部分的数据计算功能。通常的数据采集程序功能单一,且现场调试比较复杂。本文在构建采集系统的过程中使用了虚拟仪器技术,将数据采集程序的各种功能集于一身。在具体实现时使用了图形化的编程语言不但提高了编程效率,而且可以方便地进行现场调试。本文构建的系统能够监测到所设计的全部12项参数(如表1及表2所示),前台系统的显示界面如图4所示。现场界面可显示系统采集卡的工作状态、变压器运行参数及实时波形和状态参数等。

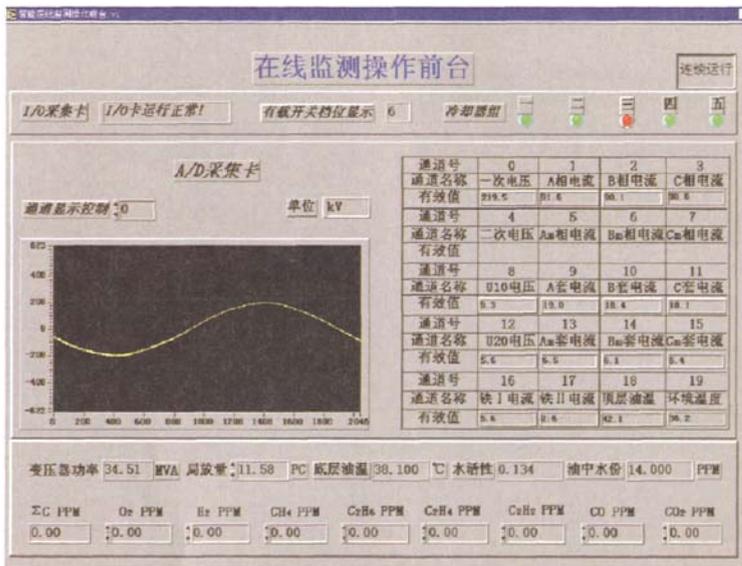


图4 智能化变压器的前台单元界面

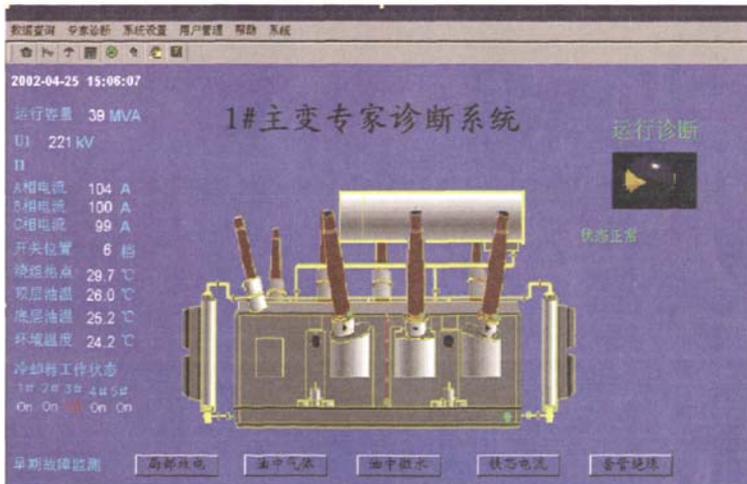


图5 变压器在线监测系统的后台界面

四、后台专家诊断单元设计

系统的上位机位于变电站的主控室中,其界面如图5所示,可显示变压器的运行参数、状态参数以及系统运行状态等。系统可采用曲线和报表两种格式显示打印测量到的变压器运行参数和状态参数,并可实现状态评估功能。

将变压器绝缘状态作为研究对象,则该系统就构成了一个多传感器系统,包括局部放电、油中气体、油温、铁心接地电流、套管绝缘特性等多个监测项目,本文提出了变压器相关的监测、故障诊断、寿命预测等问题与

信息融合层次之间的对应关系,如图6所示。

图6中的箭线描述了信息融合系统中信息处理的流程, y_i ($i=1, 2, \dots, 13$) 为传感器输出的原始数据, S_i ($i=1, 2, \dots, 7$) 表示局部判决器, u_i ($i=0, 2, \dots, 8$) 表示各判决器的输出。每个判决器都是一个局部的融合系统, 所以应当选择相关性较强、采样时刻一致的传感器成为一组, 例如取同电压等级的三相套管、变压器油的各部分温度等。其中 S_0 、 S_8 是判决结果融合中心, 可以采用与其他判决器不同的融合策略。局部判决器的判决结果被传送到后面的局部融合中心或结果融合中心, 融合中心也是一种判决器, 但是其融合策略更加复杂,

考虑的情况更多。一般采用专家系统模型: 它把各下级判决器的结果转化成人可以理解的几个结论, 从而得到最终的结果。这个结果还会被量化后返回给各底层判决器, 用于调节阈值和算法参数, 使各判决器的性能逐渐稳定下来。

图6中的传感器分级融合的结构是根据变压器结构、传感器作用范围和相关性划分的, 局部放电传感器 (y_1) 可以检测到变压器内部、套管及其他部件的故障, 作用范围较广, 所以通过判决器 S_1 后, 作为融合中心 (S_0) 的参考信息; 铁心电流 (y_3)、油温变化 ($y_4 \sim y_6$) 都可以引起油中气体的变化, 而油中水分 (y_7) 对变压器绝缘的危害程度又与油温有关, 所以

将 $S_2 \sim S_7$ 的判决结果先送入局部融合中心 S_8 中, 得到局部融合结果后再进入后面的融合中心 (S_0); 高压套管 ($y_8 \sim y_{10}$) 和中压套管 ($y_{11} \sim y_{13}$) 检测数据各自独立, 所以通过各自的判决器 (S_6, S_7) 后直接进入融合中心 (S_0)。可以看出, 多传感器系统的13组原始数据, 进入最后一级融合中心时已被减少为4个, 这样就把一个复杂的多变量问题分级简化了。

五、结论

本文对智能化电力变压器系统进行了整体描述, 讨论了变压器故障类型、智能系统结构选择、传感器特性和虚拟仪器技术的应用等内容, 并将信息融合技术应用于状态诊断系统中。智能化电力变压器系统是一个基于多种传感器的集成化系统, 能实时反映变压器绕组、铁芯、套管、有载开关、冷却器的运行状况, 并能真实记录变压器的运行电压、负荷电流和各种温度数据, 整个系统由计算机实行人工智能管理, 代表了未来智能化电网的发展方向。● (编辑: 张莹)

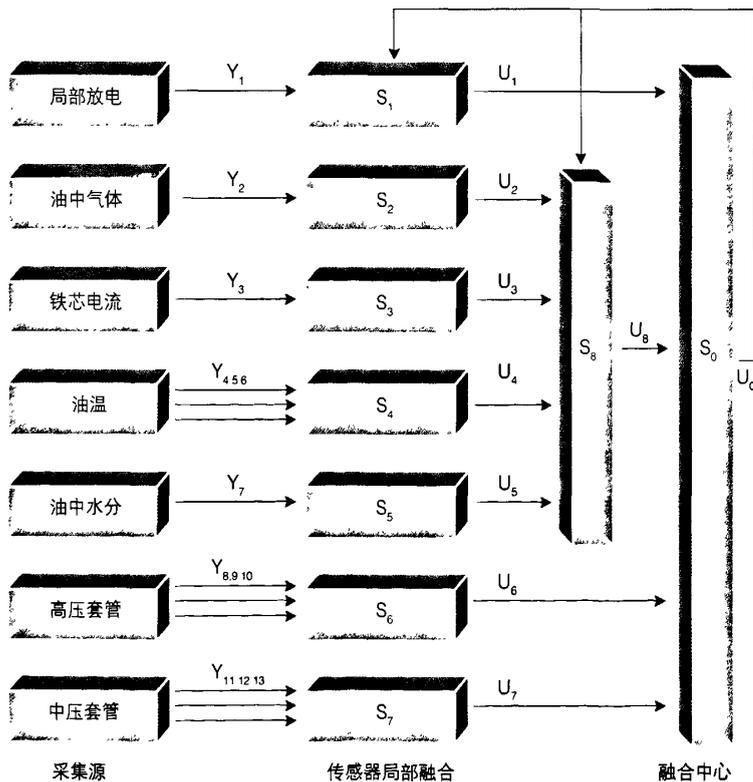


图6 智能变压器系统的信息融合结构

作者简介

张冠军, 教授, 博士生导师, 主要从事高电压绝缘介电现象、变电设备状态检修与故障诊断、放电物理与等离子体技术的研究。

黄新波, 教授, 博士后, 主要从事电力系统在线监测理论与技术、无线网络传感器等方面研究。

赵文彬, 工程师, 博士, 主要从事电力系统在线监测理论与技术、故障诊断等方面研究。

智能化电力变压器的概念与实现

作者: [张冠军](#), [黄新波](#), [赵文彬](#)

作者单位: [张冠军\(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室\)](#), [黄新波\(西安工程大学电子信息学院\)](#), [赵文彬\(华东电力试验研究院\)](#)

刊名: [高科技与产业化](#)

英文刊名: [HIGH-TECHNOLOGY & INDUSTRIALIZATION](#)

年, 卷(期): 2009, ""(7)

被引用次数: 0次

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gkjycyh200907029.aspx

授权使用: 电子科技大学(cddzkjdx), 授权号: 1d909889-ca28-498f-945b-9dc20115e5ad

下载时间: 2010年7月29日