基于热路模型的变压器智能监控与管理系统

提出基于热路模型方法进行配电变压器绕组热点温度计算方法，对变压器的传热过程进行了研究，建立了热路模型。通过建立配电变压器智能监控与管理系统，对配电变压器的运行进行监测，为分析配电设备的负荷状况、供电可靠性和电能质量等提供基础数据。能够通过监测和计算当前负荷及外界条件下顶层油温及绕组温度，实时监控变压器的运行状态。对变压器过负荷运行状态进行预报、预警，为变压器安全、可靠运行提供保障。

来文青[1] 姜国义[1] 张俊双[2] 唐睿[3] 艾雷鸣[2]/1.国网内蒙古东部电力有限公司
2. 国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院 3.上海海能信息科技有限公司

来文青/高级工程师

关键词/Keywords
变压器·
热路模型·
在线监测·

0 引言

配电变压器是将电能直接分配给低压用户的电力设备，其运行数据是整个配电网基础数据的重要组成部分。随着配电自动化建设的广泛开展，配电变压器的智能监控已成为配电自动化系统的重要组成部分之一[1,2]。

随着国民经济的发展和人民物质文化生活水平的不断提高，对电力需求愈来愈大，促使电网规模不断扩大，用户对供电质量和供电可靠性要求越来越高，甚至连发生电源的瞬时中断也不能忍受。对分布广泛的配电变压器，利用高科技和自动化手段进行监控，同时为了满足对配电变压器的控制和管理功能以及满足对整个配电网状况的了解的需要，安装配电变压器智能监控装置已势在必行[3]。

相对配网生产运营不断增大的压力，目前国内配网运行监控管理相对滞后，具体表现在管理手段仍然粗放，效率不高，配网故障处理效率低，故障停电时间增多等方面。如2012年全年国家电网整个系统约有2~3万台配电变压器因负荷骤增发生故障烧毁。如何对配电变压器进行智能检测、跟踪、管理并提供负荷预警功能是保证配网安全运行的迫切需要。

1 国内外研究水平综述

1.1 智能配变终端历史

配电自动化系统是集计算机技术、自动控制技术、数据通信技术以及电力系统相关技术于一体的信息管理控制系统，是现代电力自动化热门研究课题。

当前通信技术以及计算机信息处理技术的迅猛发展，为配电自动化系统的实现提供了技术保障。智能配变监测与管理系统正是建立在此技术的应用之上。

而与变压器运行息息相关的热路模型通过各种变压器的温升实验报告，结合环境温度、变压器顶油温度和变压器运行负载情况计算出来的一种数学模型。目前国内外基于配变的热路模型研究较少[4]。

1.2 国外研究水平

在一些工业发达的国家，配变自动化受到广泛的重视，特别是配变检测终端，从大型企业用户到居民用电，在配网终端底层都会用到配变检测终端来改

中国知网 https://www.cnki.net

善用电质量。

从2008年美国电业局的配变设施换代以来，供电可靠性提高了1.763%，年均的每户停电时间从原来的75.7 h减少到了56.2 h；欧洲、韩国和日本等国家都在不停的利用配网终端技术提高本国的用电可靠性。

1.3 国内研究水平

目前我国电力工业发展的速度，已由过去主要取决于投资规模逐步转换为由市场来决定，电力市场也将逐步有卖方市场向买方市场转变，以往我国发电和投资比例为1∶0.12，大大落后于先进国家的1∶0.6~0.7的投资比例，由于配电自动化是我国近年来电力发展的重要方向，加上幅员辽阔，电力设备普遍落后，配变需求量普遍加大，因此国内目前也有很多厂家在研制配变终端产品，普遍价格较高，且大部分产品功能不全，通常只有电能采集功能，并无基于热路模型的多级预警及防烧功能的报道。另外，这些市面上的终端兼容性和通用性较差，系统的扩充性、开放性不够，随着电子技术和通信技术的高速发展及配变自动化的要求，未来配变终端设备将朝着集成化高、可靠性高、实用性高和兼容性高的方向发展。

2 配电变压器热路模型

热路模型计算法，即从传热学的角度用电路模型简化变压器内传热过程，将变压器内热传导过程简化为电路模型，这种方法可得到直接反映物理过程的热路模型并得到计算变压器热点温度的计算公式。热路模型计算法的计算过程简单，需要参量较少，如果模型建立的足够准确，那么得到的结果也会较为精确。

由于电场分布与热场分布均满足泊松方程，因此热场与电场有许多相似之处，可以建立它们之间的对应关系，进而用熟悉的电场量来分析计算热场。描述内无热源导热体中稳态导热现象的温度场和热流密度的方程为：

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0 \tag{1}$$

$$q=-\lambda\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}n} \tag{2}$$

式中，T为温度；q为热流密度；λ为导热系数。

而描述导电体中恒定电场和电流密度的方程则为：

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}=0 \tag{3}$$

$$j=-\gamma\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}n} \tag{4}$$

式中，U为电压；j为电流密度；γ为电导率。

对比式（1）~式（4），可以看到两者具有完全相同的数学表达式，且各参量的量纲结构形式也类似，只是用电压U、模拟温度T、电流密度j、模拟热流密度q、电导率和模拟导热系数，也就是说，热流场中各种物理量完全可以与恒定电流场相对应，而且电流场的基本属性也适用于热流场。例如，电流场中的等位面和对应于热流场中的等温面，与等位面相似，它也是单值、连续的，且不同温度的等温面不会相交；且电流场中有电力线，电力线与等位面正交，表示该点的电场强度，与之相对应，热流场中有热流线，热流线与等温面正交，表示该点的热流方向及大小。

而对于非稳态导热问题的电热模拟，具有相似的性质，即用电容C模拟热容ρc（即为物质密度与比热容的乘积）。根据热电类比理论，若描述两个物理现象的微分方程的形式相同，只要两个载体的几何形状和边界条件相似，则两者方程的解析解可以完全通用，这就是热路模型法应用的基本理论依据。

3 系统组成及功能

3.1 系统结构

基于热路模型的配电变压器智能监控与管理系统是一种智能化大范围远程分布式监控系统，主要装置包括安装于配电变压器上的配电智能监控终端以及由通信服务器、状态监测数据库和绕组温升计算服务器组成的配变监测主站系统。其系统结构图如图所示。

其工作流程是配变智能终端将配电变压器的状态监测数据信息，通过GPRS/GSM/3G网络传输到通信服务器，由通信服务器将各个数据采集前

中国知网 https://www.cnki.net

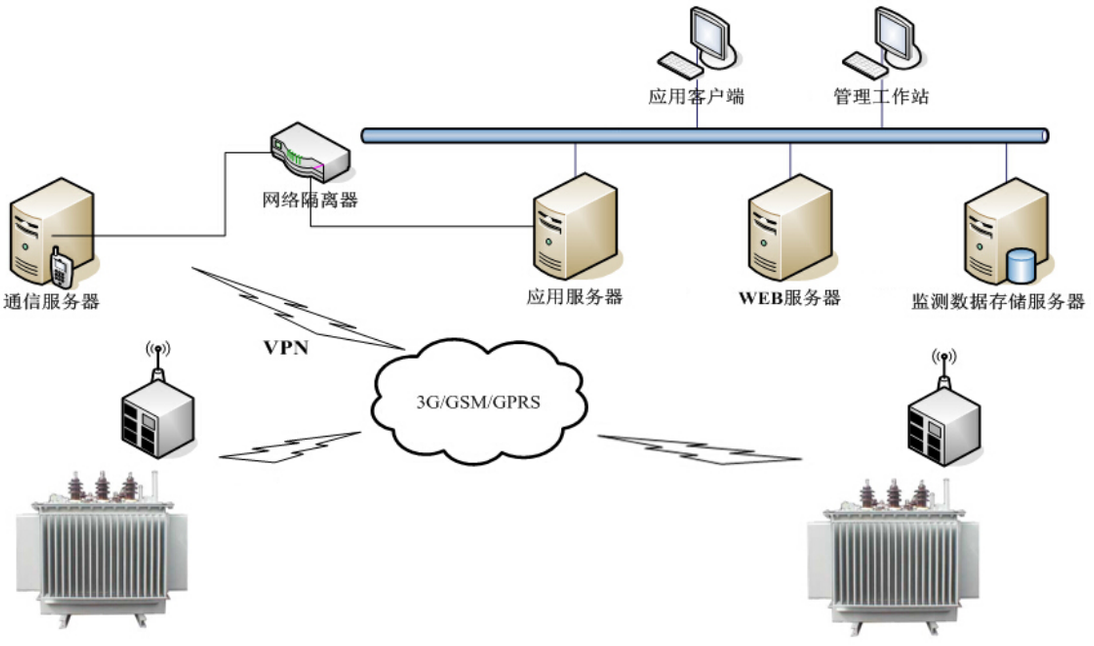

图　变压器智能监控与管理系统平台构成示意

端装置的数据统一处理，保存至状态监测数据库中，并由绕组温升计算服务器对这些数据进行变压器温升分析计算，并将分析结果通过WEB服务器，在应用客户端中显示给用户[5]。

3.2 系统平台

智能配变监测与管理系统主要是针对10 kV配电变压器的绕组温度等进行在线监测和管理。为了适应各层面的用户使用，系统提供了浏览器/服务器(Browser/Server，B/S)和客户端/服务器(Client/Server，C/S）两种运行方式，对于数据维护和装置控制采用C/S方式，对于数据的显示则采用B/S方式，对系统的运行情况进行查询和对增容线路进行分析等功能，充分保证了系统的安全性和使用的便捷性。

智能配变监测系统服务器全部采用Web Service提供B/S和C/S的服务响应，在配置本系统之前各服务器上需安装下列软件：

- Windows Server 2003；
- SqlServer 2005；
- Visual Studio 2005；
- CentOS 6.0。

3.3 主站系统组成

在线监测主站系统是一个面向网络的分布式实时监测系统，是整个在线监测系统的神经中枢，通过它可以实时监测配电变压器的各种运行数据，并对测量到的数据进行实时综合分析处理，一旦发现相关参数越限，及时发出告警，通知相关人员予以处理，达到对配电变压器的实时远程监控之功效。

在线监测主站系统平台系统依据其所要实现的功能而分为6个部分。

1）通信服务器：负责管理接收各个监测数据采集前端通过GPRS/APN方式发来的数据，并根据标准规约进行统一解析，按分类保存到位于数据库服务器上的实时数据库中。

2）数据存储服务器：对整个系统的配置数据、监测数据和分析结果进行存储管理，并按照备份策略对所存储的数据进行安全备份。

3）应用服务器：负责对保存在数据服务器上的实时监测数据进行限额计算、限额监视和限额预测。

4）Web服务器：以WEB Service方式提供用户对在线监测系统的访问功能。

5）应用客户端：通过浏览器方式访问应用服务器提供的变压器温升计算服务，以图形方式显示各计算和实测结果，当实测或计算的变压器绕组温度超过限定值时发出警示信息等。

6）管理工作站：提供对授权用户进行系统维

中国知网 https://www.cnki.net

护、装置控制管理等功能。

3.4 系统特点及功能

变压器智能监控与管理系统通过对变压器状态的实时监测，结合变压器基本参数(录入)和实时环境温度条件参数等，通过变压器温升热路模型分析系统计算出变压器的绕组温度，在应用分析系统中依据变压器温升极限预估模型数学模型，确定变压器当前的绕组温度和温升阈值，为变压器健康状态的提供直接测量数据。

3.4.1 在线监测数据展示

系统将“在线监测点”关联至配电变压器设备，实现变压器监测数据的展示功能，可展示某变压器温度监测点的各参数监测数据。系统具备即时数据回传请求功能，可实现实时的变压器温度信息采集功能。

3.4.2 在线监测数据统计分析功能

系统实现对配电变压器顶油温度监测数据、环境温度监测数据的查询、统计功能，通过选择区域、线路、装置、装置类型以及时间范围来查询顶油温度、环境温度的历史数据，并能以曲线方式更直观的显示数据的发展趋势与分布情况。

通过分析这些基础监测数据，为配电变压器的运行维护、输送负荷调整和电网调度等工作提供重要依据。

3.4.3 变压器顶油温度和环境温度分析

选择某个变压器和一个时间段，查询出此时间段内的最恶劣气象环境温度数据，或者手工输入环境温度数据绘制出变压器顶油温度与环境温度之间的变化曲线进行分析，为变压器运行状态提供参考依据。

3.4.4 变压器温升分析

选择某个变压器和一个时间段，查询出此时间段内的最恶劣环境温度数据，或者手工输入环境温度数据，输入变压器起始电流与终止电流绘制出当电流发生阶跃时变压器顶油温度与时间之间的变化曲线进行分析。为变压器在危险情况下提供可作为参考的安全抢修时间。

3.4.5 安全运行多级预警

分别对变压器能安全运行1 h、2 h及3 h实行多级预警。

3.4.6 基本参数管理

变压器设置功能提供了每个变压器的运行时间、电压等级和功率等相关的信息，同时允许用户对以上各项信息进行修改并可增加、删减相关的变压器。

4 结束语

本文提出基于热路模型方法进行配电变压器绕组热点温度计算方法，对变压器的传热过程进行了研究，建立了热路模型。介绍了配电变压器智能监控与管理系统的系统构成及功能特点，通过架设配变智能监控与管理系统，为分析配电设备的负荷状况、供电可靠性和电能质量等提供基础数据，能够通过监测和计算当前负荷及外界条件下顶层油温及绕组温度，实时监控变压器的运行状态。对变压器过负荷运行状态进行预报和预警，为变压器安全可靠运行提供保障。

参考文献

[1] 方富淇.配电网自动化[M].北京:中国电力出版社,2000.

[2] Mc G H. Trends in power quality monitoring[J].IEEE Power Engineering Review, 2001, 21(110):3-10.

[3] 徐纪法. 城市中低压配电网及其发展理念[J]. 中国电力，2001, 12：46-49.

[4] 王明俊，于尔铿，刘广一.配电系统自动化及其发展[M].北京：中国电力出版社， 1995.

作者简介

来文青（1967-），男，高级工程师，主要研究高电压与绝缘技术。

（收稿日期：2015-12-10）EA

（编辑：朱历）

中国知网 https://www.cnki.net