



电力监测与故障诊断技术全书

(二) 变压器、电抗器、互感器卷

(上)

国家电网公司武汉高压研究所

二〇〇五年九月

目 录

2004 年目录

电气设备状态监测与故障诊断技术的现状与展望	朱德恒,谈克雄(1)
电气设备状态在线监测系统若干问题解析	刘有为,高克利(8)
论如何正确开展状态检测及状态维修	李 华,李明华,董 明等(11)
国内外局部放电在线监测诊断系统情况介绍	(17)
正确使用监测方法是开展状态检修的基础	苑 舜(20)
美国电力研究院开展状态检修及诊断技术简介	(22)
大型变压器导电回路故障的诊断	姚森敬,刘春权(24)
330kV 变电站主变过热缺陷的检测和处理	何立柱,申泰斌,樊成虎(27)
变压器的故障诊断与检修策略(五)	万 达,王建国,吴益明(29)
变压器油色谱数据异常的分析与处理	贺树棟,李福勤(34)
油—气套管变压器现场局部放电试验及故障诊断	马卫平,王 翔,程方晓(36)
一种用于电力变压器局部放电在线监测的光纤传感器	肖登明,杨荆林,徐 欣等(38)
通过内联网监测变电所变压器工况	G. M. 巴斯托斯(41)
引用神经网络的变压器故障诊断专家系统	朱 敏,王富荣(42)
聚合物溶液中运动气泡速度检测	丛健生,陈德华,马水龙等(44)
牵引变压器绕组变形在线检测方法研究	高仕斌,王 果(46)
基于高速蜂窝技术的配变监控系统应用	吴 强,张立志,宋国元(51)
智能测控保护与故障诊断在冶炼电炉变压器中的应用	祁 伟,张 维,吴 涓(53)
基于灰色位势理论的变压器故障诊断算法	柳 纲,郭基伟,唐国庆(55)
基于电容分压的电力变压器套管绝缘在线检测的研究	刘云鹏,律方成,李成榕等(58)
基于虚拟仪器的电力变压器局部放电在线监测系统	冯 义,左自强,方 琼等(61)
变压器故障模糊诊断系统	谢可夫,邓建国(65)
气相色谱分析在诊断变压器内部故障中的应用	王 剑(68)
无功补偿—配变综合监测系统的应用研究	肖安南(70)
35kV 干式空芯并联电抗器运行情况与故障电抗器的解剖分析	何东平,孙 白(74)
变压器过热故障的判定方法与实践	高 辉,郑建新(78)
共振声谱法测量液体声速实验	马水龙,徐钦范(80)
大型变压器近区故障时高频分量的检测与研究	孟恒信,杨 杰,胡晓岑(82)
绝缘在线监测系统在武威电力局的应用	瞿天培(84)
基于模糊输入的 BP—ART2 混合神经网络在电力变压器故障综合诊断中的应用	高如新,王福忠,冉正云(88)
变压器故障的诊断	鲁剑峰(91)
平波电抗器高温过热故障的检测与诊断	王学良,李 哲,徐新升等(94)
基于改进 GA-BP 混合算法的电力变压器故障诊断	王少芳,蔡金铨,刘庆珍(96)
一台 330kV 变压器磁路故障的分析与处理	张忠元,段开红,梁志钰(99)
永安火电厂 2 号主变故障的诊断分析及处理	郑 平(102)
用色谱分析诊断变压器的故障	(103)
变压器绝缘老化的诊断与寿命评估	杨启平,薛伍德,蓝之达(105)
变压器的故障诊断与检修策略(三)	万 达,王建国,吴益明(109)

变压器的在线监测技术	余 强(115)
基于超高频和超声波相控接收原理的油中局部放电定位法仿真研究	罗勇芬,李彦明,刘丽春(116)
变压器潜伏性故障的色谱分析	周志敏(120)
基于油中溶解气体分析的变压器绝缘故障诊断方法的研究和发展	章 政,杨荆林,肖登明等(122)
基于粗糙集理论的电力变压器绝缘故障诊断	王少芳,蔡金锐,刘庆珍(127)
干式变压器燃烧特性试验装置的计算机测控系统	关庆昱,杨政杰(130)
基于无线数据传输的电力变压器监测系统	刘金权,黄 锐,陆 坤等(133)
变压器局部放电在线监测系统设计和干扰抑制	曾海燕,李卫国,谈顺涛(135)
介损在线监测数据趋势提取方法的研究	王 楠,律方成,刘云鹏等(137)
确切掌握变压器内部的异常部位	(141)
油浸变压器时效老化诊断的实用化	(145)
变压器诊断的新技术	(151)
柱上变压器老化间接诊断装置的开发	(156)
评定电力变压器绕组绝缘老化的标准指标	(157)
用真空断路器切除空载变压器引起的过电压	(160)
通过振动声对变压器夹紧压力的监测	(162)
在线监测电力变压器内部水分	(163)
TRUE GAS 变压器油色谱在线监测系统考察报告	(164)
220kV 及以上大型主变压器消防灭火对策研究(二)	丁奉生,邹旭昭(165)
变压器在线监测及其分析	何建宁,杨吉仁(170)
变压器状态检修技术的应用	苗桂喜(172)
基于 CAN 总线的 DSP 变压器绝缘在线监测系统	张 挺,王章启,魏天魁(174)
环型磁心涂层的耐压及检测方法	陈丽莉,杨福宏,徐鲜球(175)
故障分量比率差动对变压器轻微故障检测的研究	邓祥力,权宪军,杨泽平等(177)
发电机、变压器类电力设备的状态监测与故障诊断	刘湘平,孟玉祥(181)
电力变压器相位检测方法研究	刘 宇,芦文波,施文康(184)
电力变压器绝缘状态监测方法研究	曾敏辉,危初勇(186)
电力变压器局部放电在线监测系统的研制	罗日成,李卫国,熊 浩等(189)
电力变压器固体绝缘故障的诊断方法	朱 红(192)
带电状态检修监测技术	张文广,张田乾,王必平等(195)
基于 GPRS 通信的配电变压器监测系统	张 帆,姜 为(197)
变压器局部放电监测中的小波去噪方法	杨 霖,李 剑,王有元等(199)
变压器局部放电超高频检测中的混频技术研究	王国利,郝艳捧,袁 鹏等(202)
变压器局部放电在线检测的现状与发展	张言苍,张毅刚,徐大可(208)
变电设备绝缘在线监测的应用	瞿天培(212)
变压器绕组变形在线监测研究与仿真分析	李 强,何 斌,张晓龙等(214)
变压器的故障检测及分析	李沛业(217)
基于粗糙集理论的电力变压器故障诊断方法	莫 娟,王 雪,董 明等(221)
检测计量装置二次回路故障的一种有效方法	董兴海(225)
变压器油中气体在线监测系统试验平台的研制	刘先勇,胡劲松,周方洁等(226)
变压器绕组扭动变形的故障诊断	周 渠,蔡振华(230)
大型电力变压器状态分析综述	黄 华,傅展钊(232)
利用红外测温诊断技术发现电流互感器内部缺陷	张建军,王 辉(236)
虚拟仪器在高压开关厂 CT 质量检测中的应用	王晓辉,郭福田,李国珍等(237)

基于数学形态滤波器抑制局部放电窄带周期性干扰的研究·····	刘云鹏,律方成,李成榕等(239)
变压器油中溶解气体在线监测系统的应用·····	张雪梅,李邦云,丁晓群(243)
粗糙集用于建立基于多变量决策树的变压器故障诊断模型·····	王楠,律方成,李和明(247)
基于线性分类器的充油变压器潜伏性故障诊断方法·····	彭宁云,文习山,王一等(250)
以模糊聚类标准谱与灰色关联序诊断变压器内部故障的方法研究·····	李俭,孙才新,廖瑞金等(254)
充油电气设备油中含气量检测方法和控制标准的探讨·····	罗竹杰,张伟(256)
油气相色谱分析诊断技术在牵引供电系统中的具体运用·····	冯润亮(258)
变压器铁心多点接地故障分析及诊断实例·····	焦赞辉(259)
变压器铁心接地故障的诊断与处理·····	司增彦(261)
三相变压器电参数监测系统·····	易辉,李杏春(263)
变压器绝缘油在线监测技术·····	顾凤仙,郝新领,赵魏军(266)
变压器油中溶解气体在线监测诊断技术及其应用前景·····	陈伟根(268)
基于运行经验和耐久试验的330kV~750kV电流互感器故障诊断系统的开发·····	(278)
电力变压器故障诊断的可拓集法·····	李峥,马宏忠(283)
大型变压器油中溶解气体在线监测技术进展·····	程鹏,佟来生,吴广宁等(287)
以DGA为特征量诊断电力变压器故障部位的探讨·····	李本苍(291)
电力变压器的状态诊断与检测配置的探讨·····	郭伟民,江朝模,梁志钰等(294)
模糊B样条神经网络在变压器超高频局部放电模式识别中的应用·····	田质广,孟宪尧,张慧芬(299)
配电变压器综合监测与管理系统·····	(302)
面向对象的电力变压器故障专家诊断系统·····	周海湘(304)
滦河发电厂5号主变乙炔含量超标的诊断分析及处理·····	王凯杰(306)
基于最小二乘加权融合集成神经网络的电力变压器故障识别·····	吕干云,董立新,程浩忠(309)
利用预防性试验结合人工智能进行变压器绝缘故障综合诊断·····	吕岩,李长江(312)
基于智能技术的电力变压器状态综合分析方法·····	符杨,乔飞(314)
基于改进灰色关联分析的变压器故障识别·····	吕干云,程浩忠,翟海保等(318)
基于粗糙集理论的电力变压器故障诊断方法研究·····	倪远平,周建华,李彬华等(322)
基于波形分析法的变压器绕组匝绝缘在线检测及故障诊断·····	欧阳南尼(326)
声发射技术在变压器局部放电测量中的应用·····	胡平,林介东,马庆增(329)
自适应遗传算法在变压器超高频局放模式识别中的应用·····	王海跃,王国利,(333)
自构形神经网络在变压器故障诊断中的应用·····	周建华,胡敏强(337)
状态检修在大型变压器中的应用·····	洗永强,汤勇(341)
一种基于模糊神经网络的变压器故障诊断方法的研究·····	曾界洲,徐玉珍(344)
运行中干式电抗器绝缘状况的诊断方法和判断标准·····	孙强,吴经锋(347)
用频率响应法检测变压器绕组的变形·····	戴文进,刘保彬(350)
用超高频局部放电测量法实现电力变压器局部放电的在线监测·····	黄兴泉,赵善俊,宋志国等(351)
一种智能电力变压器故障诊断系统·····	李少纲,徐胜,徐玉珍(356)
基于Rough set理论的改进三比值故障诊断方法·····	蔡金锐,王少芳(359)
一种在线分析变压器故障特征气体的智能传感器·····	佟继春,陈伟根,陈荣柱(362)
虚拟仪器数据库技术在油中气体在线监测装置中的应用·····	李志成,杨万生,裴锋(366)
小论变压器油中溶解气体在线监测技术·····	宋海华,黎文安(369)
自适应遗传算法在变压器局部放电超高频模式识别中的应用·····	王国利,郑浩,郝艳捧等(371)
粗糙集CMAC神经网络故障诊断策略·····	冯远静,李良福,冯祖仁(375)
变压器局部放电超高频检测中校正技术的初步研究·····	王国利,吕建玉,郝艳捧等(378)
基于虚拟仪器的电力变压器局部放电在线监测系统·····	方琼(382)

TAM—VI 变压器油中溶解气体色谱在线监测系统探讨	袁聪波,倪裕康,陈 鸣(385)
变压器的故障诊断与检修策略(七)	万 达,王建国,吴益明(387)
变压器的故障诊断与检修策略(四)	万 达,王建国,吴益明(393)
Bootstrap 方法在局部放电特征提取中的应用	李锐华,高乃奎,谢恒望等(400)
模糊神经网络在变压器故障诊断中的应用	彭宁云,文习山,舒 翔(402)
利用数据挖掘的绝缘油色谱分析故障建模初探	黄海鹏,周志成,何俊佳等(406)
变压器局部放电数据采集与传输系统的研制	曾海燕,李卫国,谈顺涛等(409)
变压器顶层油温预测及其数学模型的参数辨识	赵 斌,张霄元(412)
局部放电图像组合特征提取方法	李 剑,孙才新,杜 林等(414)
内嵌流程定义语言的局放在线监测诊断系统	涂 卓,高文胜,谈克雄等(416)
基于 UHF 和 HF 的局部放电降噪方法的研究	王晓宁,朱德恒,李福祺等(419)
红外技术诊断高压电气设备内部缺陷	朱建军,王 赞,崔绍平等(422)
空载变压器油箱表面振动信号的初步研究	汲胜昌,周冬生,陈 锦等(425)
采用软件方法提高绝缘在线监测系统检测精度	包玉胜,蓝 磊(427)
模糊多属性决策方法评价变压器状态维修策略	袁志坚,孙才新,李爱华等(429)
一例变压器油中乙炔气体含量异常的分析	路文梅,刘淑芬(431)
超高频法在发电机局部放电检测中的应用	万伟江,王 伟,李成榕等(433)
一起变压器分接开关过热故障判断	董艳红,杜广平(435)
加拿大大型电力变压器在线监测技术考察报告	(437)

2003 年目录

电力变压器励磁涌流和故障电流的仿真研究	王 雪,王增平,徐 岩(441)
变压器绝缘老化诊断技术	杨启平,薛伍德(445)
关于牵引变压器高温过热故障判断的方法及应用	何宏群,茹更生(448)
基于异常值分析的变压器在线监测方法	郭基伟,谢敬东,唐国庆(450)
变压器带油补焊引起油中溶解气体变化诊断实例	张天秋,张新昌(453)
变压器局部放电的超声波和射频联合检测技术的现状和发展	罗勇芬,李彦明,刘丽春(454)
变压器的故障诊断与检修策略(二)	万 达,王建国,吴益明(457)
电力变压器局部放电检测与诊断方法评述	律方成,刘云鹏,李燕青(460)
GE 公司变压器保护 DTP 内部补偿算法的研究	李 磊,马 杰,张 玮(464)
基于瞬时功率的变压器励磁涌流和内部故障电流识别新方法	郑 涛,刘万顺,吴春华等(466)
变压器色谱在线智能监测及故障诊断系统	李丽君(470)
电力变压器动稳定状态的现场检测与诊断	邹伟民,王登科,赖晓周(472)
油浸电力变压器的状态检测及状态维修	李 华,严 璋(476)
采用外部专家系统监测主变压器运行	[美]鲍勃·奥根斯坦(480)
变压器油中溶解气体在线监测装置的应用	魏 敏(482)
运用传感器检测变压器故障	孙永泰(484)
变压器绕组变形在线监测方法的研究	李邦云,丁晓群,李 娟(485)
大型变压器风冷却系统的自动控制	邓世杰(488)
变压器安装时的绝缘控制	张 玮(490)
220kV 升压变压器短路事故的诊断分析	汤东明(492)
变压器的故障诊断与检修策略(一)	万 达,王建国,吴益明(493)
电力变压器故障分析与检测方法	赵文颖,吴瑞新,谢宝义(499)
变压器油温智能测控系统的设计构想	丁赞成,杨书英(502)

美国电力公司采用绝缘在线监测装置提高变电站可靠性	(504)
电容式电压互感器附加相位差对绝缘在线监测的影响	王红斌(505)
变压器溶解气体在线监测装置的应用及思考	李 进(507)
变压器油中溶解气体在线监测技术及其应用	张晨曦,王晓林(510)
变压器分接开关的电气控制	赵红顺(516)
SS4 型电力机车平波电抗器的检测分析及故障诊断	徐新升,何宏群(517)
在大型油浸式电力变压器故障诊断中信息融合技术的应用	夏向阳,罗 安,邓 宇(519)
油中溶解气体气相色谱法诊断变压器内部故障	郑朝晖(522)
基于 DSP 的变压器局部放电在线监测系统	张广春,魏晓惠,佟来生等(525)
变压器在线监测及诊断	魏铁军,欧阳南尼(528)
基于数据挖掘的负荷预测	李邦云,丁晓群,程 莉(531)
综合诊断在确定变压器内部故障时所起的作用	史春红,王振方,党向民(534)
便携式变压器油中溶解气体色谱分析装置的研制	吴 浩,高胜友,朱德恒等(535)
负载电流法在基于振动信号分析法监测变压器铁心状况中的应用	汲胜昌,李彦明,傅晨利(538)
牵引变压器绝缘在线监测技术	杨志军,张晓辉(542)
电力电子有载调压装置的控制系统设计	黄俊杰,李晓明(544)
一种动态实时跟踪解决系统时漂和温漂的方法及其在干式变压器温度 控制仪中的应用	王 敏,张望光,周水斌(547)
变压器在线监测技术的新突破	吕政扬,刘晓安(550)
基于模糊智能技术的变压器故障诊断系统	张 楠,徐建政,俞晓冬(553)
一台 110kV 变压器故障的诊断与分析	李丽君,龙春雷(555)
调压变压器有载分接开关机械性能的在线检测	吴 昊,刘 庆时,刘卫东等(556)
变压器冷却装置控制方式的改进	夏仲平,杨孟弟(558)
基于 GSM 网络的配变监控系统	赵 龙,李仁俊,李玉忠(560)
改进遗传算法在局部放电点定位上的应用	徐荆州,卢 毅(563)
35kV 并联电抗器故障情况分析	何东平,孙 白(566)
一种多功能配变监测与动态无功补偿综合控制器	路 灿,赵进全,刘孝贤等(569)
牵引变压器在线监测信息系统通用权限安全模块的设计	邹思轶,童晓阳,佟来生等(570)
大型变压器在线监测装置的应用	吴梦川(573)
电力变压器铁心绝缘故障的诊断及处理	邹 兵,李长山,黄金亮(575)
涡流探伤在电抗器绕组质量控制中的应用	郭香福,梁凤山,黄舒杨等(577)
变压器局部放电监测系统中方向传感器的研制	王 贤,李成榕,王 伟(579)
带电测试电容式电压互感器介损的应用研究	姬黎波,王红斌,王祖林(582)
应用超声波测量法判断变压器内部局部放电的研究	顾文业,王志敏,顾晓安(586)
基于多种人工智能技术集成的电力变压器故障诊断	臧宏志,徐建政,俞晓冬(588)
低电压电抗法诊断电力变压器动稳定状态的实测分析	郭伟民,孙 强,李建强(591)
电力变压器工作状态在线监测与故障诊断系统	潘宏侠,姚竹亭,王宪朝(596)
充油电气设备油中含气量检测方法和控制标准的探讨	罗竹杰,张 伟(600)
基于 CAN 总线的分布式绝缘在线监测系统的设计与实现	董晓阳,张广春,邹思轶等(601)
油品酸值升高的原因及预防措施	张恩奎(605)
高压电力设备综合诊断管理系统研究	徐 澄(606)
电力变压器故障模式的分析及危害评估	刘 娜,梁国栋,王刘芳等(608)
变压器故障人工智能诊断系统的研究	杨启平,薛五德,兰之达(612)
大型电力变压器智能监测系统的开发	李 辉,周海洋,赵文彬等(615)

电力变压器超高频局部放电的在线检测	黄兴泉,唐志国,李成榕等(618)
变压器局部放电超声信号特性及放电源定位	周力行,何 蕾,李卫国(620)
基于主成份分析的介损在线监测数据处理	王 楠,律方成,李和明(624)
电压互感器角差对介损在线监测的影响分析	谢 华,张会平(627)
变压器在线监测中油气分离高分子膜的研究	杨荆林,肖登明,徐 欣等(630)
模糊矩优距离用于气体分析诊断变压器故障	刘 一,倪远平(632)
GA-BP 混合算法在变压器色谱诊断法中的应用	王少芳,蔡金铨(635)
基于数据库的变压器可视化故障诊断系统	陈江波,文习山,彭宁云(638)
局部放电超声信号在变压器模型中的传播	金广厚,王 庆,李燕青等(641)
基于故障树的电力变压器维修周期的仿真分析	刘 娜,高文胜,谈克雄等(643)
电力变压器绕组热点状态的在线监测技术	钱 政,孙焦德,袁克道等(646)
用 UHF 法检测电力变压器局部放电的研究	王 伟,唐志国,李成榕等(648)
高压电容性设备的在线监测系统	徐大可,李彦明,严 璋(651)
基于粗糙集理论的变压器神经网络诊断方法	张 楠,徐建政,俞晓冬等(653)
新技术在电力变压器状态监测中的应用	王丰华,朱子述(655)
进化规划算法在变压器故障诊断中的应用	陈江波,文习山,彭宁云等(659)
一起 66 kV 变压器故障后试验及诊断	刘美杰,戚革庆(661)

2002 年目录

检测变压器动稳定状态参数的物理基础和实际意义	郭伟民,梁恒基(663)
基于多分辨分析的变压器 UHF 局放信号的识别	杨 莉,周跃峰,余松煜(667)
澳大利亚昆士兰 Powerlink 公司实施电气设备状态监测	(669)
变压器油中糠醛含量与绝缘纸老化关系的研究	俞源海,张 颢(670)
检测有载分接开关切换的直流示波器法	姚 力(673)
一起变压器有载分接开关故障的检测及分析	周 海,赵来红(674)
油浸电流互感器的受潮诊断分析及改进措施	赵京武,李红林(676)
变压器无载分接开关的故障、检测与调试	杨 体(678)
用于变压器局部放电检测的超高频传感器的初步研究	王国利,郑 毅,郝艳萍等(681)
变压器油热老化的光谱检测法	蔡 伟,陈士修,熊诗圣(686)
电力变压器绝缘故障综合诊断方法的研究	钱 政,严 璋,罗承沐(688)
500kV 并联电抗器色谱监测与故障诊断	赵京武,李红林(692)
红外光谱法测定油中 T501 含量技术的应用	张杏梅,陈秋玲(694)
局部放电现场监测信号中干扰的分析与抑制	王晓宁,王凤学,朱德恒等(696)
变压器局部放电测量系统的设计与实现	刘云鹏,律方成,李燕青等(698)
变压器绕组变形测试技术用于重庆电网	李亚军,王 勇,白云庆等(701)
变压器故障诊断与多传感器信息融合	胡文平,尹项根,张 哲等(703)
灰关联分析用于变压器热性故障诊断	宋 斌,于 萍,廖冬梅等(705)
多缺陷绝缘局部放电信号的识别与分类	朱周侠,邱毓昌(708)
绝缘在线监测系统中图形系统的设计	王 楠,律方成,王 欣等(710)
油气分析诊断变压器故障方法的改进	董 明,赵文彬,严 璋(712)
用振动信号分析法监测变压器绕组状况	汲胜昌,王世山,李清泉等(714)
集成人工智能技术诊断电力变压器故障	臧宏志,徐建政(716)
改进中性点测量法的变压器套管在线监测	周海洋,李 辉,严 璋(719)
远程变压器状态检修专家系统软件的开发	辜 超,刘 民(722)

电力变压器用数字化局部放电在线监测系统	方 琼, 冯 义, 王 凯等(724)
基于对象重构的变压器诊断专家系统	林 渡, 朱德恒, 李福祺(727)
统计参数用于局部放电模式识别的研究	唐 炬, 王 静, 李 剑等(730)
气相色谱分析诊断变压器潜伏性故障	彭宁云, 文习山, 陈超强(733)
一种新的绝缘测试方法——回复电压法	李明华, 董 明, 严 璋(736)
变压器绕组变形在线监测方法的改进	高仕斌, 王 果(738)
500 kV 变压器油气相色谱异常的判断及故障处理	龚文权, 钟连宏, 陈洪海等(741)
三比值关联度分析的变压器故障诊断法	刘 一, 倪远平(743)
变压器短路冲击后的综合诊断	徐达明(745)
小波分析典型绝缘缺陷超声波特性的研究	闫 波, 郝艳捧, 朱哲蕾等(747)
变压器在线监测数据采集系统设计	李卫国, 范 伟(749)
从放电能量分布特征量识别 PD 类型的方法	李 新, 孙才新, 李 剑等(751)
变压器典型局放模型超高频放电信号分析	王国利, 袁 鹏, 单 平等(753)
500 kV 并联电抗器的在线监测	赵京武(757)
变压器油中局部放电超高频检测的试验研究	陈庆国, 龚细秀, 李福祺等(758)
变压器局部放电超高频电磁波的传播特性	王国利, 单 平, 袁 鹏等(761)
变压器绝缘远程在线监测的 Web 实现	童晓阳, 张广春, 邹思轶(764)

2001 年目录

用电容式传感器进行变压器绝缘纸板微水分在线测量	戴恒震, 孙宝元(766)
振动法用于在线监测电力变压器绕组及铁心状况的可行性研究	汲胜昌, 刘味果, 李彦明等(769)
基于短路冲击累积效应的电力变压器状态检测系统	符 杨, 周中明, 潘 博等(772)
变压器绕组温度的在线监测及智能保护	陈 津, 高立桐, 张培铭等(776)
小波包分析在振动法监测变压器铁芯及绕组状况中的应用	汲胜昌, 刘味果, 单 平等(779)
油中典型局部放电模型放电波形特征参数的提取	王国利, 郝艳捧, 李彦明(782)
电力变压器局部放电定位方法的现状和前景	王国利, 郝艳捧, 李彦明(786)
高分子薄膜在变压器油中溶解气体在线监测中的应用	贾瑞君(791)
检测绕组及铁心变形、位移的低电压短路电抗法及所用仪器	王登第, 任天保(794)
充油设备故障类型及其油中气体的特征	陈晓峰, 王晓红(798)
有载调压变压器抽头位置在线估计的实用算法	黄大为, 韩学山(799)
油色谱在线检测装置在大型电力变压器的应用	胡永年(802)
高频振荡电压下干式空心电抗器的电流特性	李水旺, 赵海翔, 郭丽萍等(804)
电力变压器中的零序谐波研究	孙德超, 易 伟(806)
凤南线 500kV 电抗器内部放电故障的诊断	王瑞珍, 胡惠然, 邓万婷(811)
电力变压器在线监测的经济效益和实际使用经验	BOSS P. lorin P. Viscardia 等(813)
电力变压器绕组变形实测中的影响因素	吴国跃, 李世伟, 刘多禄(816)
结合神经网络技术的变压器故障诊断专家系统	王财胜, 胡文堂(819)
干式变压器燃烧特性试验	刘四维, 曾庆贇(822)
变压器铁心多点接地故障与处理	蒋 琨, 温宇舟(826)
用脉冲电压法进行干式空心电抗器匝间绝缘试验	魏新芳, 王永红, 陈 炯等(828)
变压器铁芯多点接地故障的检测与处理	闫永明(831)
基于虚拟仪器的变压器综合测试平台	侯 毅, 韩 韬, 施文康(832)
气敏传感器在变压器在线监测中的应用	杨启平, 薛五德, 蓝之达(835)
变压器局部放电检测中的小波包去噪算法	周力行(837)

故障诊断的面向对象知识库和专家系统	姚陈果, 廖瑞金, 陈明英等(840)
电容型设备 $\tan\delta$ 在线监测的核查模型	张会平, 董晓鹏, 谈克雄(843)
电力设备分布式监测系统软件结构研究	林 渡, 朱德恒, 李福祺等(845)
变压器故障诊断中溶解气体的模糊聚类分析	宋 斌, 于 萍, 廖冬梅等(847)
变压器绕组变形在线监测的应用研究	徐大可, 李彦明(850)
电力变压器超高频局部放电测量系统	王国利, 郝艳捧, 刘味果等(852)
基于小波奇异性分析变压器油中氢气监测	袁保奎, 郭基伟, 唐国庆(856)
有载分接开关温度的在线监测报警装置的研制	高良玉, 郭文元, 李秀涛(858)
色谱、绝缘在线监测系统在变压器中的应用	肖长春(860)
范例推理与模糊数学的变压器故障诊断方法	钱 政, 严 璋, 罗承沐(862)
两种超宽频带局部放电检测技术的对比研究	陈小林, 蒋 雁, 陈华宁等(865)

1998~ 2000 年目录

变压器的故障检测与诊断技术	王 茹, 林 辉(868)
HYDRAN 201R 在线式变压器早期故障监测仪应用	张晓佳(872)
运用传感器检测变压器故障	金秋生(874)
变压器早期故障在线监测的实际应用	赵来红, 张宏敏, 方志民(876)
配电变压器投运前的现场检测	杜学工(878)
浅析无载分接开关的故障、检测与调试	杨 体(879)
第五讲 变压器故障检测技术	马汉元(880)
利用频率响应分析法测量变压器绕组变形的试验研究	冯玉柱, 辜 超, 谢 峰等(881)
变压器潜伏性故障的检测与分析	杜正旺(883)
Y/Y ₀ 连接的三相变压器不对称运行的能耗分析	郭来成, 赵丽娟(886)
充氮密封式变压器的研制	孙新忠, 郑秀娟, 王孟红(887)
变压器局部放电在线监测中软件抗干扰技术	陈 艳, 周力行(890)
在地磁感应电流作用时分析和计算电力变压器特性的一种新方法——时域和频域法	薛向党, 郭 晖, 郑云祥等(894)
频响法检测变压器绕组变形的研究	解裕平 ¹ , 张成良 ² (898)
220kV 变压器故障分析	张军阳, 董恩伏, 周志强(900)
户外干式空心电抗器表面树枝状放电试验研究	敖 明(903)
地磁感应电流消除方法初探	薛向党, 文剑莹, 郑云祥等(906)
变压器局部放电在线监测中的信号处理技术	周力行, 张艳萍, 邓本再(908)
谈变压器同名端的检测和实际应用	才佳丽(911)
变压器无载分接开关的故障及其检测与调试	杨 体(913)
变压器短路试验方法及发展	陈 奎(915)
变压器油中溶解气体在线监测系统的应用	岳章华, 钟建灵, 江健武(919)
局部放电在线窄带检测系统的研究	张鹏辉, 于钦学, 任文斌(921)
识别局部放电的新特征量——分维数的研究	李 新, 孙才新, 廖瑞金等(923)
变压器局放在线监测中的现场干扰分析	高 宁, 高文胜, 李福琪等(925)
变压器绕组变形在线监测的理论研究	徐大可, 汲胜昌, 李彦明(928)
变压器固体绝缘状况的监测方法	毕鹏翔, 张文元, 秦少臻等(931)
电力变压器油纸绝缘总体状态现场检测的新方法	王财胜, 周志芳, 陈金法(934)
范例推理结合神经网络诊断变压器故障	钱 政, 罗承沐, 严 璋等(937)
新型变压器油色谱在线监测系统的研制	赵 杰, 潘勇斌, 李红雷等(939)

land 在线检测用电流传感器的性能分析	黄新红, 严 璋, 杨锡斌等(941)
应用特征空间矢量进行变压器故障诊断	张建文, 王晓华, 谭得健等(945)
面际谱及在变压器固体绝缘状况监测中的应用	毕鹏翔, 刘 健, 张文元等(948)
变压器油中溶解气体分析技术及在线监测装置	张宝全, 凌 魁(950)
大型电力变压器过热性故障诊断与处理	林礼清(954)
用频率响应法检测主变绕组变形	王景林, 郑易谷(957)
变压器早期故障在线监测技术的应用	林礼清(960)
牵引变压器早期绝缘故障在线监测研究	刘明光, 孔中秋, 高世勤(963)
整流变压器在线自动检测系统	郭 璞, 孙 宇, 李承凯等(966)
电力变压器器身振动带电监测	周青山(969)
变压器在线监测技术的应用	王彦桐(970)
油色谱监测发现变压器高能量放电性故障	林永平, 刘湘平(971)
应用红外热像仪检测变压器套管严重缺油	袁世禄(973)
智能型在线式变压器早期故障监测装置	林礼清(974)
变压器绝缘的在线检测	严 璋(977)
变压器局部放电在线监测中抗电磁干扰的定向耦合差动平衡法的研究	孙才新, 罗 兵, 杜林等(980)
变压器局部放电在线监测中的自适应滤波技术研究	罗 兵, 朱德恒, 谈克雄等(985)
一种预埋式电机超温保护器	黄亚军(987)
电力变压器冷却系统自控装置的应用	秦维芳(989)
变压器局放在线监测的新型降噪法	罗 兵, 朱德恒, 谈克雄等(990)
关于变压器油中溶解气体在线监测的综述	贾瑞君(993)
大型变压器色谱在线监测装置研制与运行	孙毓润(999)
变压器油中溶解氢气在线监测仪的研制	贾瑞君(1002)

相关文献题录文摘

相关标准	(1007)
相关专利	(1013)
成果简介	(1018)
学位论文	(1034)
会议论文	(1060)
变压器光盘外文目录	(1084)

电气设备状态监测与故障诊断技术的现状与展望

朱德恒,谈克雄

(清华大学,北京 100084)

摘 要:介绍电气设备监测与诊断技术的意义和监测诊断系统的组成,阐述了几种设备的监测诊断技术。对变压器,主要介绍局部放电和油中溶解气体监测;对电容式设备,主要介绍介质损耗因数、电容量及三相不平衡电流监测;对金属氧化物避雷器,主要介绍阻性电流监测。监测诊断技术的发展趋势是:加强信号处理、识别诊断、人工智能等新技术的应用;综合性、分布式、远程监测与诊断系统和电力设备虚拟医院的研发;以可靠性为中心的维修策略的研究及推广等。

关键词:电气设备 状态监测 故障诊断

1 概 述

1.1 意义及现状

电气设备是电力系统的基本单元,一旦失效将造成巨大的经济损失和社会影响。提高设备的可靠性,除应提高设备质量,还必须对设备进行必要的检查和维修。早期实行的是事故维修,即设备故障后再维修,对大型设备这种维修方式将造成巨大损失;其后,发展成定期试验和维修,即预防性维修。这种维修方式已在电力部门形成制度,有良好的效果。其不足处是:①需停电;②设备状态和运行中不符;③维修不足。设备可能在试验间隔期间发生故障;④维修过度。即使设备良好,仍需试验和维修,造成浪费甚至损坏设备。

目前正在发展以状态监测和故障诊断为基础的状态维修。设备的劣化、缺陷大多有一定的发展期,其电气、物理、化学等特性会发生少量渐进的变化,出现前期征兆。对电气设备进行在线监测,及时取得各种信息、进行处理和综合分析,根据其数值及变化趋势,可对设备可靠性随时作出判断,早期发现潜伏故障,提供预警,还可预测剩余寿命。在线监测诊断的特点是对运行中设备进行连续或随时的判断,故可避免预防性试验的缺点;并可使预防性维修向预知性维修即状态维修过渡。

状态监测与故障诊断技术是具有交叉学科性质的一门新兴技术,有很大难度。随着传感、电子、计算机、光电、信号处理、干扰抑制、网络、数据仓库、数据挖掘等技术的发展,监测诊断技术正在大步发展中。通常,各种监测特征量和设备状态并不一一对应,而具有错综复杂的关系。如果说离线预防性试

验结果的分析,已经积累了大量经验,据此制订出了相应规程,那么对于在线诊断现仍处于研究试行、积累经验阶段。

1.2 状态监测与故障诊断系统的组成

监测与诊断系统包括以下基本单元:

(1)信息检出单元。由传感器检出反映待测设备状态的物理量(特征量)并将其转换为合适的电信号。

(2)数据采集单元。对传感器变送来的信号进行预处理,主要是抑制干扰,然后进行 A/D 转换及采集记录。

(3)信息传输单元。将采集信息传送到后续单元。对于固定式装置,因数据处理单元远离现场,故需配置专门的信息传输单元。对便携式装置,只需对信号进行适当的变换和隔离。

(4)数据处理单元。对采集的数据进行处理和分析,例如抑制干扰、提取特征值,为诊断提供有效数据。

(5)诊断单元。对处理后数据及历史数据、判据、规程以及运行经验等进行分析比较,对设备状态及故障部位作出判断,为采取进一步的措施提供依据。

2 变压器的监测与诊断

电力变压器主要采用充油绝缘,也有一些采用环氧树脂浇注绝缘或 SF₆ 气体绝缘。对于充油变压器的绝缘诊断,油中溶解气体分析得到广泛采用。对于各种类型的变压器绝缘,局部放电的测量是重要的监测诊断手段。

局部放电会产生下述效应:①在相关电回路中

产生电脉冲信号;②电磁辐射;③声辐射;④材料的化学变化。针对不同效应有不同的试验方法,常用的试验方法是对局部放电脉冲进行测量和对局部放电的声辐射信号进行探测。

2.1 放电的在线监测

变压器局部放电在线监测诊断系统的原理图见图1。安装在接地线与套管末屏引下线上的电流传感器提取放电的脉冲电流信号;安装在外壳上的超声传感器提取局部放电的声信号。高压母线起到了耦合电容的作用。电、声信号经过数据采集单元实现数字化测量并送入微计算机进行数据处理与存储。

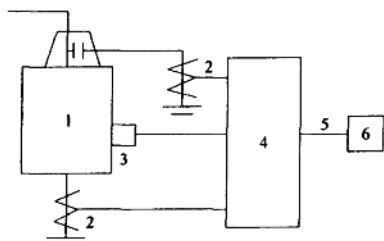


图1 变压器局部放电在线监测系统原理图

1—电力变压器;2—电流传感器;3—超声传感器;4—数据采集单元与控制单元;5—光纤;6—微计算机

2.1.2 放电的诊断

(1)根据视在放电量判断。目前许多产品的局部放电试验标准中,几乎都是以视在放电量的大小作为评定局部放电性能的指标。电力设备预防性试验规程 DL/T 596—1996 规定,离线试验时,在线端电压为 $1.5U_m/\sqrt{3}$ (U_m 为最大工作电压)时,放电量一般不大于 500pC;在线端电压为 $1.3U_m/3$ 时,放电量一般不大于 300pC。但这是为保证新投运或大修后的变压器的质量而规定的数值,并不意味着在上述放电量下即将发生故障。此外,由于存在强烈的无线电干扰,在线监测装置通常也达不到如此高的分辨率。现在有关规程中尚未规定在线监测时的允许放电量。根据国内外运行经验,充油电力变压器应予注意的危险放电量可在 10^3 pC 以上。经验表明,脉冲重复率、放电平均电流也是重要的判断指标。

(2)根据分布谱图判断。在一定的测量时间内,测得各次放电的放电量 q 、放电时外加电压的相位 ϕ 和放电重复次数 n ,经过统计处理,可得各种分布谱图: $\phi-q$ 、 $q-n$ 、 $\phi-n$ 等二维谱图; $\phi-q-n$ 三维谱图。这些谱图相当于放电的“指纹”,分析放电“指

纹”可以识别放电模式(故障类型)和严重程度。

(3)放电源定位。①声信号定位。采集放电产生的电信号和 3 组声信号。将电信号作为时间参考基准,根据电、声信号的时差和声传播速度,求解一组球面方程即可求得放电源位置。也可根据 4 路声信号的相对时延,求解双曲面方程定位放电源;②电信号定位。变压器绕组内部发生放电时,放电脉冲向绕组两端传播。采集绕组高压端和中性端的电信号。在较高频段内,二端响应的比值和放电源位置呈线性关系。在离线情况下,通过调试,求得此关系后即可据此对放电源定位。

2.2 油中溶解气体的监测与诊断

2.2.1 油中溶解气体的色谱分析

充油变压器采用油纸绝缘。放电和过热过程中,油和纸将裂解,产生如 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 CO 、 CO_2 等各种气体。这些气体能溶解于油中,分析油中溶解气体的成分和比例可以判断潜伏性故障和类型。

油中溶解气体浓度很小,需采用气相色谱仪进行分析。分析流程简述如下:①取油样;②采用真空法等各种方法从油中脱出气体;③脱出气体由载气(惰性气体)推动通过色谱柱,各组分气体由于运动速度不同而分离;④用热导池鉴定器和氢火焰离子化鉴定器测定气体的成分和浓度。气相色谱仪属于精密分析仪器,设备复杂,操作技术要求高,因而油样分析需在专门的试验室内进行。

2.2.2 油中溶解气体的现场监测

常规的气相色谱分析需在专门的试验室内进行,不甚方便。近来有些单位研究开发了能在现场进行分析甚至能实时监测的仪器,其流程简述如下:

(1)脱气。①渗透膜脱气法。利用高分子膜(如聚四氟乙烯等)的透气性,分离出油中气体;②鼓泡脱气法。用定量的空气循环吹入油中,直至油面上空间中的气体浓度和油中的达到平衡。

(2)气体分离。为了简便易行,现场监测时往往只监测 H_2 。这时采用渗透膜脱气法即可富集到油中溶解的 H_2 。如需监测或检测多种气体,仍需采用色谱柱分离不同组分。此时常采用鼓泡脱气法并用空气作为载气。

(3)气体鉴定。①半导体气敏传感器。传感器与待测气体接触后,其电气性能(如接触 H_2 后 SnO_2 的电阻、钨栅金属氧化物半导体场效应管的阈值电压)会发生改变。可利用此原理来鉴定气体;②燃料电池。由电解液(如 H_2SO_4 溶液)和一对电极

组成。由于电化学反应产生的电流正比于导入氢气的体积浓度。可用于测量油中溶解的氢。

2.2.3 故障的诊断

不同性质的故障所产生的溶于油中的气体的组分和其浓度是不同的,据此可以判断故障的类型。国际电工委员会(IEC)和我国国家标准 GB7252—1987(变压器油中溶解气体分析和判断导则)推荐用5种气体的浓度的3个比值 C_2H_2/C_2H_4 、 CH_4/H_2 、 C_2H_4/C_2H_6 来判断故障的性质。将测得的数据的3个比值编码。得到编码后即可判断故障的性质。

3 电容型设备的监测与诊断

介质损耗因数、电容量、三相不平衡电流是电容型设备的主要监测量。

3.1 介质损耗因数监测^[2]

对介质损耗因数 $\tan\delta$,在线监测时应用的是数字测量技术。运行中电容型设备的介质大多为0.001~0.02, δ 的限值一般不超过0.01,因此 δ 测量误差的绝对值不应超过0.001~0.002。 δ 的数字测量,都是先测量流经绝缘的电流与施加于绝缘的电压之间的初相差 ϕ ,然后算出 δ 。由于 δ 值较小,因而 δ 或 ϕ 的测量误差的绝对值要求很小,即 ϕ 测量准确度的要求很高。 δ 的数字测量大致分为二类:直接测量法和信号重建法。

3.1.1 直接测量法

直接测量法是直接测量 ϕ ,如过零点时差法。此法是通过方波电路和门电路,将周期为 T 的正弦 i 、 u 信号变换成一方波,其脉宽等于二正弦信号由负变正过零点的时差 ΔT ,用脉冲计数技术测量 ΔT ,换算为 $\phi=2\pi(\Delta T/T)$,再算得 $\delta=(\pi/2)-\phi$ 。本方法对硬件的要求高,对谐波和干扰敏感。目前更多使用的是信号重建法。

3.1.2 信号重建法

信号重建法是根据 i 、 u 的采样数据重建正弦信号,再由波形参数求得 ϕ ,如傅立叶分析法、正弦波参数法和高阶正弦拟合法。

傅立叶分析法是广泛采用的一种算法。 δ 是工频基波频率信号的特征,而正弦信号经傅立叶变换得到的是线谱,若不满足条件($f_s/f=\text{Int}_1$ 和 $M/\text{Int}_1=\text{Int}_2$,其中 f_s 是采样频率, f 是电网频率, M 是采样长度, Int 是整数),则分离线谱不一定对应基波频率。虽可使用插值法来取得基波信号特征,但会带来误差。此外,还会因信号截断,频域泄漏而影响测量结果。正弦波参数法是根据三角函数正交性

来测量 δ ,但正交性仅在 f_s 和 f 满足整数倍时才成立。因此,应用这些方法时,需要相应硬件一同步采样卡。

高阶正弦拟合法是非同步采样条件下测量 δ 的算法,他以直流分量幅值、基波频率、基波和谐波分量的幅值及初相角为优化对象,用高阶正弦模型来拟合 i 、 u 的采样数据。根据拟合条件,得到一个非线性方程组,使用Newton迭代法求解,得到基波的 ϕ ,再算得 δ 。此法结果准确,能够满足 δ 在线监测的要求。

3.1.3 传感单元

流经电力设备绝缘的电流与施加在绝缘上的电压需要通过传感单元,转换为合适的信号,才能输入数字测量单元。电压信号可由电压互感器的二次侧取得。电流信号则需借助电流传感器取得。

电流传感器对监测装置的性能有较大影响。某地区自1998年起陆续投运了多套电容型设备监测装置。图2给出其中6台设备 $\tan\delta$ 监测值的变化。投运初期 $\tan\delta$ 值介于0.002~0.0055,但大部分设备的监测数据先升后降,变动范围达到0.006,分析认为这反映了介损监测值随四季温度变化的关系。对介损大量停电测试结果的统计分析和专门试验的结果表明,介损监测数据随温度变化的现象主要不是由设备本身介损的温度特性造成的,相反,在实验室对传感器进行测试的结果表明,传感器角差随温度而变,虽然变化趋势和幅度各不相同,但与相应设备的介损监测值比较接近。可知,电流传感器的温度特性是介损监测值不稳定的主要原因。因此,需要选用性能优良的电流传感器。

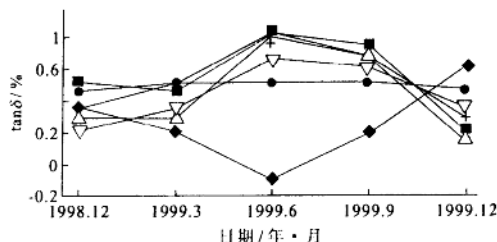


图2 $\tan\delta$ 监测数据1年内的变化

3.2 电容量监测

采样流经绝缘的电流和绝缘两端电压。求得电流、电压的有效值 I 、 U_0 。监测装置同时测量工频电压的频率 f_0 。设备的电容量 C 可由公式 $C=(I\cos\delta)/(2\pi F U) \approx 1/(2\pi F U)$ 求得。实际上,当

$\tan\delta$ 小于 0.1 时, 近似式算得的电容量的误差可以忽略。

3.3 三相不平衡电流监测

监测流经绝缘的电流对发现绝缘缺陷更为灵敏。通常是监测三相设备的总电流, 若某相绝缘出现缺陷, 流经该相绝缘的电流发生微弱变化, 因而出现三相不平衡电流, 监测装置能很灵敏地发现此电流, 从而及时发现故障。

图 3 为监测三相不平衡电流的原理电路图。为了检测电流 I_A 、 I_B 、 I_C , 在每相设备的接地线处接入检测单元(电阻、电容或电流传感器) Z_A 、 Z_B 、 Z_C , 其阻抗比 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 小得多, 他们的接入对流经绝缘的电流值几乎没有影响。检测单元的输出电压 U_A 、 U_B 、 U_C 反映了电流 I_A 、 I_B 、 I_C , 正常情况下, 这 3 个电压的相量和为 0, 即加法器无输出信号。但当某相绝缘出现故障时, 3 个电压的相量和不再为 0, 加法器有信号输出, 经放大器 K_0 放大后给出故障信息。

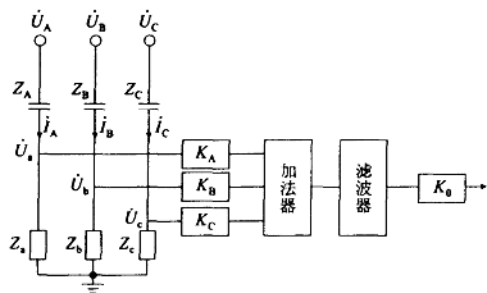


图 3 监测三相不平衡电流的原理电路图

对称化单元—幅值调节装置 K_A 、 K_B 、 K_C 的作用是消除下述影响: 三相设备阻抗及三相检测单元阻抗不完全相同, 三相电压不完全平衡。引入对称化单元后, 绝缘状况正常时加法器的输出为 0; 当某相绝缘出现故障时, 流经该相绝缘的电流发生变化, 此时加法器的输出即为故障信息。

4 金属氧化物避雷器的监测与诊断

金属氧化物避雷器(MOA) 阀片的主要成分是 ZnO , 掺有少量 Bi_2O_3 、 CoO 、 Cr_2O_3 、 MnO 、 Sb_2O_3 等金属氧化物。 ZnO 颗粒的直径约 $10\mu m$, 周围包有厚 $0.1\mu m$ 的掺杂物氧化膜形成的晶界层。晶界层的电阻率是变化的, 使阀片具有极好的非线性保护特性而其相对介电常数可达 $500\sim 2000$, 因而阀片具有相当大的电容量, 在运行电压下经过阀片的电流主要是电容电流。正常工作电压下, 流过 MOA

的电流极小(微安级), 但因阀片长期承受工频电压作用, 可能逐渐劣化而导致泄漏电流增加; 或因避雷器密封不严, 阀片受潮, 也会使泄漏电流增加。阻性电流分量的急剧增加, 可导致阀片温度上升而发生热崩溃, 甚至引起爆炸事故。对 MOA 主要是监测阻性电流。由于总电流中容性分量比例很大, 故关键是如何从总电流中分离出微弱的阻性电流。

4.1 补偿法

补偿法是在测量电流的同时, 检测系统的电压, 利用电压信号消除总电流中的容性分量。监测系统原理见图 4。由同相 TA 取出的电压信号 $\dot{E}_s$, 经移相电路移相 90° 为 $\dot{E}_{sp}$, 使之和总电流 $\dot{I}_X$ 中的电容分量 $\dot{I}_C$ 同相。GCA 为增益控制放大器, G_0 是其放大增益。当系统自动调节到使 $G_0\dot{E}_{sp}$ 与 $\dot{I}_C$ 大小相等时, 差分放大器的输出为

$$\dot{I}_X - G_0\dot{E}_{sp} = \dot{I}_X - \dot{I}_C = \dot{I}_R$$

乘法器 M_1 将 $\dot{E}_{sp}$ 和 DFA 的输出相乘, 经积分器 I 以调整 GCA 的增益(相互垂直的相量相乘后积分为 0, 同相的相量相乘积分有值), 使 $\dot{I}_X$ 中的 $\dot{I}_C$ 抵消。 M_2 是为了计算阻性分量引起的功耗 P_X 。该监测系统可测量总电流 I_X 、阻性电流 I_R 和功率损耗 P_X 。

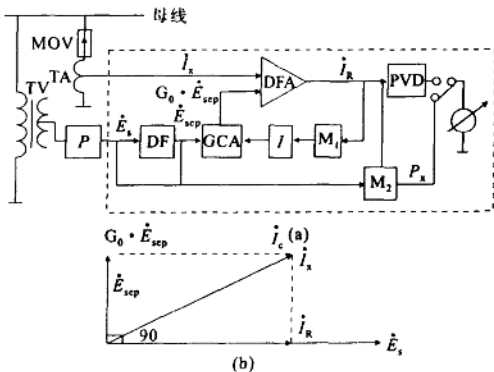


图 4 补偿法泄漏电流监测系统原理图

(a) 原理图; (b) 相量图; P—光电隔离器; TA—电流传感器; DFA—差分放大器; M—乘法器; I—积分器; GCA—增益控制放大器; DF—移相电路; PVD—峰值测量电路; TV—电压互感器

在现场, 三相避雷器呈一字形排列, 各相避雷器阀片除承受本相电压外, 还通过相间杂散电容的耦合, 受到邻相电压作用。边相(A、C相)避雷器的电流将发生变化。中间相(B相)避雷器由于同时受到A、C相的作用, 电流基本不变。抑制措施是将TA的电压相量先移动适当角度后再送入监测系统。先

在调试过程中,各相单独加电压,测得其总电流和其电阻分量与电容分量。在TA电压信号回路中加入移相电路后,于运行条件下再进行测量。测量中调整移相角度,使运行中测得的电流值尽量接近各相单独加电压时的数值。此后保持相同的移相条件进行在线监测,相间干扰就可以显著减轻。

4.2 谐波分析法

在正弦交流电压下,由于阀片的非线性特性使阻性电流中除基波外还含有高次谐波。由于只有同频率的电压、电流才能产生功率,导致发热,因此使阀片发热的仅是阻性电流 I_R 中的基波分量,即 I_{R1} 才是关键的监测量。当电网电压含有谐波时,会影响阻性电流的测量值,但不影响 I_{R1} ,故监测 I_{R1} 还可避免电网谐波电压对的影响。采用数字化测量和谐波分析技术可以从总电流中分离出 I_{R1} 。避雷器的总电流及电网电压由电流传感器及电压互感器提取,经A/D转换后输入微计算机进行分析计算,因此这种系统是一种以软件为主的监测系统。

5 断路器的监测与诊断^[3]

高压断路器是电力系统最重要的开关设备,担负着控制与保护的双重任务。根据其绝缘及灭弧介质的不同,高压断路器分为油断路器和SF₆断路器。由于SF₆气体的灭弧与绝缘性能优越,SF₆断路器得到广泛采用。断路器结构复杂,现场解体、维修不便,不适当的维修反而容易造成故障。因此迫切需要推行状态维修。近年来发展了一种所谓暂时性状态监测技术,即将断路器暂时退出运行,处于离线状态,但不需将其解体,然后运用体外检测技术来诊断其内部状态。实际上体外检测技术和在线监测技术很多方面是相同的。

气体绝缘封闭组合电器(GIS)是将变电站里除变压器外的各种电气设备全部封闭在接地金属外壳内组成的装置,壳内充以0.3~0.4MPa的SF₆气体作为绝缘与灭弧介质,也称气体绝缘变电站。断路器是GIS中的主要电力设备。因此对GIS,除了对其有关绝缘特性的监测与诊断外(后面有文章单独介绍)主要是对其中断路器的监测与诊断。

5.1 断路器机械故障的监测与诊断

5.1.1 合、分闸线圈电流的监测

高压断路器一般都以电磁铁作为操作的第一级控制元件,其合、分闸线圈通常用直流电源供电。合、分闸线圈的电流中含有可作为诊断机械故障用的丰富信息。电流信号的监测可选用补偿式霍尔电

流传感器。图5是操作时线圈中的典型的电流波形图。图中 t_0 为命令下达时刻,是开关合、分过程计时起点; t_1 为线圈中电流、磁通上升到足以驱动铁心运动,即铁心开始移动的时刻; t_2 为铁心已触动操作机构负载,也是开关触头开始运动的时刻,此时电流到达谷底。 t_3 为开关辅助接点切断也即电磁线圈回路断开的时刻。 t_1 、 t_2 、 t_3 及其相应的电流反映了操作传动系统运动的情况。比较电流的波形可诊断出操作机构的故障。

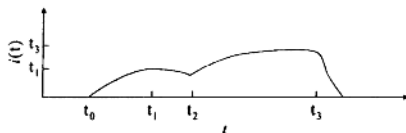


图5 合、分闸线圈电流的波形

5.1.2 行程、速度的监测

断路器行程的监测可采用光栅行程传感器。对于能打开灭弧室上盖的断路器(如少油断路器),可以选用直线式行程传感器,直接测定动触头运动曲线。否则,可以选用旋转式角位移传感器,安装在操作机构的转动轴上,间接计算触头的运动特性。显然,对于在线监测,只能采用旋转式传感器。

旋转式光栅行程传感器的结构原理见图6。将圆形光栅安装在断路器操作机构的转动轴上。发光元件发出的光经过圆形光栅为接收元件所接收。圆形光栅旋转时接收元件将接收到一系列光脉冲并将之转换为电脉冲。经数据处理后可得断路器操作过程中的行程和速度随时间的变化关系。据此可计算出以下参数:动触头行程、分合闸同期性、超行程、平均速度、刚分后及刚合前10ms内速度的平均值、最大速度等。

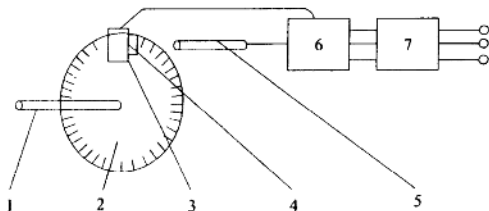


图6 旋转式光栅传感器的结构原理

1—旋转轴;2—光栅;3—接收元件;4—狭缝;5—发光元件;6—信号处理单元;7—输出单元

5.1.3 振动信号的监测

断路器在合、分闸过程中,由于操动机构、连动机构、触头等的运动、撞击,产生一系列振动信号。

应用振动传感器(通常使用频率响应达几十 kHz 的加速度传感器)在断路器体外采集振动信号,经信号处理后可以得到一系列反映断路器机械振动的参数,可用以判断断路器的机械状态。

5.2 动态电阻的检测

一般的 SF₆ 断路器有主触头和弧触头,灭弧主要靠弧触头。当断路器在闭合状态,测得的回路电阻主要是主触头接触电阻和弧触头接触电阻的并联值。一般前者比后者小得多,所以所测回路电阻无法反映弧触头烧损情况。

在断路器分断过程中,主触头先分离,开断电流转移到弧触头上,弧触头间出现电弧,借助灭弧装置使电弧熄灭。如果弧触头严重烧损,在分断过程中先于主触头分离,则灭弧装置不能发挥作用,这样会导致断路器烧损。从主触头分离到弧触头分离这段时间称为有效接触时间,其行程称有效接触行程。为了断路器能顺利灭弧,必须保证弧触头有足够的有效接触行程和时间。检测在断路器动作过程中的回路电阻变化曲线可以不用拆开断路器就能得到弧触头的有效接触时间。这种检测方法称为动态回路电阻检测,测得的电阻称为动态回路电阻,用以区别通常在断路器闭合时测得的回路电阻(静态回路电阻)。图 7 为动态回路电阻检测原理图。测量动态回路电阻需要一个稳定的低压大电流直流电源。可采用蓄电池作为电源,利用它过载放电,输出直流水流,基本可以满足要求。在过载放电的情况下,蓄电池不能长期工作。因此在测量时,断路器先处于分断状态,然后测量断路器在合一分过程中的电流、电压波形。回路电流用分流器测量,电压直接测量。信号放大后,经 A/D 转换,进入微计算机,完成计算、显示及打印。

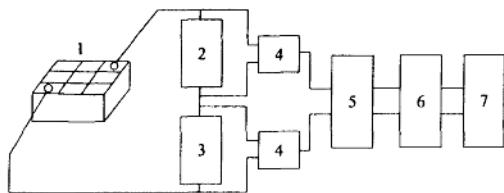


图 7 动态回路电阻检测原理图

1—蓄电池;2—断路器;3—分流器;4—放大器;5—A/D 转换;
6—微计算机;7—显示打印

6 发展趋势

监测与诊断技术的发展趋势是进一步加强信号处理、识别诊断、人工智能等新技术的应用:综合性、

分布式、远程监测诊断系统与电力设备虚拟医院的研发;以可靠性为中心的维修技术的推广等。

6.1 信号处理与识别诊断^[1]

6.1.1 信号处理

对检测信号进行处理有 2 方面的作用,第 1 是抑制干扰,保留或增强有用信号;第 2 是提取信号特征。

信号处理可区分为时域分析、频域分析、时频分析等。将信号作为时间的函数,在时间域进行的分析处理称为时域分析。通过傅里叶变换,将信号作为频率的函数,在频域进行的分析处理称为频域分析。由于傅里叶变换不能反映信号在局部时间范围内的频率特征,因此又发展出了时频分析法。

具体的方法包括时域图形显示、数据时域开窗、检测量随时间的变化趋势、时域平均法、相关分析、干扰自适应抑制、信号的回归模型、频谱分析、数据频域开窗、数字滤波、短时傅里叶变换、小波变换、分形特征提取、数字图象特征提取等。

以小波变换为例进行简单说明。小波变换具有在时、频二域突出信号局部特征的能力。小波变换奇异点(如过 0 点、极值点)在多尺度下的综合表现,使其具有了表征信号突变特征的能力。例如,当信号中混有白噪时,由于白噪的小波变换极大值随尺度增加而减小,大尺度下的极大点主要属于信号,可据此消除白噪。

6.1.2 诊断方法

依据特征量的性质,诊断方法可区分为:阈值诊断、时域波形诊断、频率特性诊断、指纹诊断等。

按照所得特征量是否超过规定阈值来判断设备状态的方法,称为阈值诊断。电气设备一些特征量的阈值在原电力部颁布的《电气设备预防性试验规程》中有明确规定。

将测得的某种物理量随时间变化的曲线与样板对照来判断设备状态的方法,称为时域波形诊断。例如,依据断路器合、分闸线圈电流波形对操作机构的诊断。

根据测得的设备的频率特性或将测得的某种物理量的频谱与样板对照来判断设备状态的方法,称为频率特性诊断。例如电力变压器绕组变形诊断的频率响应法。

对测得的数据进行处理,将得到的某种特殊图形与样板对照来判断设备状态的方法,称为指纹诊断。例如依据设备绝缘局部放电图谱识别故障即为指纹诊断。

6.1.3 基于人工神经网络的诊断

是故障模式的一种识别工具。例如对局部放电指纹,可使用人工神经网络识别放电类型、严重程度等。

前馈人工神经网络模型见图8。网络分3层即输入、隐含和输出层,每层由若干神经元(结点)组成,相邻层各结点间由连接线相互联系,信息分散地储存于各连接线的权系数以及各神经元的阈值(分别称为权矩阵和阈值向量)。若输入向量为 $[I]$,则隐含层某结点收到的是输入层各结点输出信号的加权和,此加权信号和与阈值一起激励该结点,使之输出信号;激励函数为非线性函数。隐含层输出信号 $[H]$,并以类似方式使输出层输出信号 $[O]$ 。

对应于某样板模式,设定网络的期望输出 $[T]$ 。因实际输出 $[O]$ 与 $[T]$ 不一致,采用反向传播(BP)算法逐步调整权矩阵和阈值向量。网络不断学习,最终 $[O]$ 接近 $[T]$ 。经训练的网络将能识别待检样本的模式。

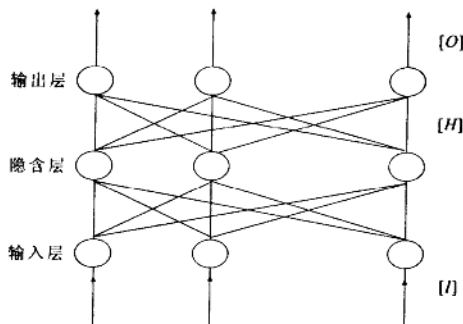


图8 前馈网络模型简图

6.1.4 专家系统

设备的故障诊断十分复杂,尽管已研发了各种检测手段,但通常还是需要由专家利用丰富的理论知识和经验,进行综合分析,才能最终作出诊断结论。

诊断专家系统的定义是:将专家的专业知识及含糊、复杂的经验知识存入计算机,非专家运用计算机的推理功能,以对话形式作出专业决断的系统。专家系统可博采众长,研究和采纳设备研制、应用、运行、维护等各方面专家的知识。专家系统中的知识可随新的经验而方便地增删与修改。因而专家系统的功能可超过单个的专家,提高了诊断的准确性。借助专家系统可以实现诊断系统的智能化与自动化。

6.2 分布式远程监测诊断系统与虚拟医院

6.2.1 分布式远程监测诊断系统

监测诊断系统的发展方向是分布式系统。这种系统面向多台设备或整个变电站、发电厂,采用多台计算机的分级管理体制形式(见图9)。服务器负责整个系统的管理、控制和诊断,各个辅助计算机分别承担不同设备的数据采集及初步处理、诊断。服务器与辅助计算机通过网络进行通信联络。

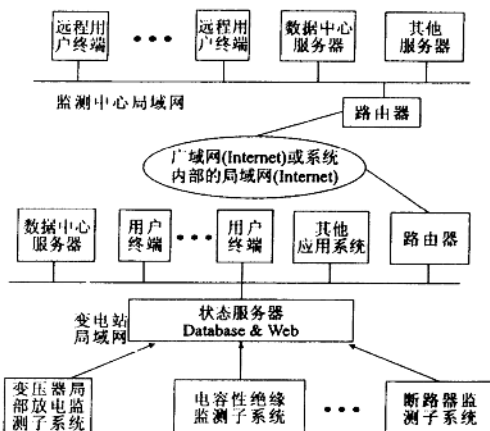


图9 分布式远程监测诊断系统

分布式监测诊断系统可以扩展到整个电力系统。不同变电站、发电厂的监测诊断子系统局域网通过互联网或电力部门的信息管理系统(MIS)连接到设在电力管理或其他部门的设备运行分析中心,实现对电力系统主要设备状态的远程监测与诊断。这使得技术管理人员可以随时掌握设备状态,必要时迅速、及时地作出技术决策,从而显著提高了电力系统的运行可靠性。

6.2.2 电力设备虚拟医院

当前,各种针对电力设备的离线、在线监测试验技术得到了日益广泛的应用,积累了大量的试验数据。然而,由于通信技术的限制以及缺乏合适的交流渠道,这些数据只能堆积在现场,而非常需要这些数据的科研技术人员却难以方便地获得。除了现场试验数据缺乏交流以外,各个不同的电力部门、厂商、诊断技术专家之间的诊断知识、技术和经验也常常处于孤立状态,缺乏必要的沟通。这导致了一些新的监测和诊断技术在电力部门很难得到快速应用。

Internet的发展为解决这一问题开辟了新的途