

文章编号:1671-251X(2011)12-0043-05

DOI:CNKI:32-1627/TP.20111128.1606.013

10 kV 开关柜的真空断路器神经网络 健康诊断策略的研究

何澜^{1,2}, 刘星², 王丹丹³

(1. 西安科技大电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 平顶山天安煤业股份有限公司六矿, 河南 平顶山 467000; 3. 河南理工大学电气与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要:为了解决10 kV开关柜的真空断路器的维修不足和维修盲目等问题,在对真空断路器故障类型及征兆分析的基础上,提出了一种基于RBF神经网络的10 kV开关柜的真空断路器健康诊断策略。该策略通过传感器提取到真空断路器的特征参数,得到反映真空断路器健康状况的特征量,并以这些特征量作为RBF网络的输入,对真空断路器进行健康诊断,以达到提前预防的目的。Matlab仿真结果证明了该策略的有效性。

关键词:10 kV开关柜;真空断路器;故障诊断;健康诊断;在线监测;RBF网络

中图分类号:TD611 文献标识码:A 网络出版时间:2011-11-28 16:06

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20111128.1606.013.html>

Research of Health Diagnosis Strategy with Neural Network of Vacuum Circuit Breakers of 10 kV Switchgear

HE Lan^{1,2}, LIU Xing², WANG Dan-dan³

(1. School of Electrical and Control Engineering of Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China. 2. No. 6 Coal Mine of Pingdingshan Tian'an Coal Industry Co., Ltd., Pingdingshan 467000, China. 3. School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In order to solve problems of lack maintenance and blind repair existed in vacuum circuit breakers of 10 kV switchgear, the paper put forward a health diagnosis strategy of vacuum circuit breaker

收稿日期:2011-07-21

作者简介:何澜(1987-),男,助理工程师,硕士研究生,现主要从事煤矿大型设备自动化方面的科研工作。E-mail: hlandwd@126.com

允许的范围内,给出了最大功率的计算公式。仿真结果表明,光伏阵列的输出特性随温度和光强的变化而变化,并且光伏阵列I-V和P-V特性呈非线性;在不同光强和温度下,光伏阵列的最大功率点不同。

参考文献:

- [1] BOSE B K. Energy, Environment, and Advances in Power [J]. IEEE Transactions Power Electron, 2000, 15(4): 688-701.
- [2] 戴训江, 晁勤. 太阳能光伏阵列电气特性的数学建模与仿真[J]. 半导体光电, 2009, 30(1): 47-50, 126.
- [3] 王越, 王念春, 时斌. 太阳能光伏电池阵列仿真模型的研究[J]. 电工电气, 2009(10): 20-22, 49.
- [4] 陈如亮, 崔岩, 李大勇, 等. 光照不均匀情况下光伏组件仿真模型的研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 829-834.
- [5] 崔岩, 蔡炳煌, 李大勇, 等. 太阳能光伏模板仿真模型的研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(7): 1681-1690.
- [6] 赵争鸣, 刘建政. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [7] 徐瑞东, 胡义华, 陈昊, 等. 一种改进的光伏阵列最大功率点跟踪方法[J]. 工矿自动化, 2011(3): 25-28.

of 10 kV switchgear based on RBF neural network on basis of analysis of fault type and portent. The strategy uses sensor to extract characteristic parameters of vacuum breaker, obtains characteristic quantity of state of health, and takes these characteristic quantities as input of RBF network to diagnose health condition of vacuum circuit breaker, so as to achieve preventive goal. The simulation results by Matlab proved effectiveness of the strategy.

Key words: 10 kV switchgear, vacuum circuit breaker, fault diagnosis, health diagnosis, on-line monitoring, RBF network

0 引言

真空断路器是开关柜中最重要的开关设备之一,因其电寿命和机械寿命、灭弧能力强、绝缘强度高、体积小、重量轻,以及与油断路器相比具有检修维护工作量小、防燃、防爆等优点,已广泛应用于10 kV 开关柜^[1]。它的安全可靠运行对供电系统的安全可靠运行有着十分重大的意义。目前真空断路器的检修维护采用的主要方法是以定期停电检修为主要手段。该方法无法兼顾到真空断路器在运行中的状态变化情况,使得检修工作存在盲目和维修不足的缺点^[2-4]。为此,本文构建了基于交替梯度训练法的RBF故障诊断策略,通过传感器提取真空断路器的特征参数,得到反映断路器健康状况的特征量,然后以这些特征量作为RBF网络的输入,对真空断路器柜进行健康诊断。

1 真空断路器故障类型及征兆分析

10 kV 开关柜的真空断路器的大多数故障在其发生前都会出现一些征兆,其相应的参数会发生一系列变化。精确、可靠地获知真空断路器的各种故障类型及其发生前的相关参数的变化趋势和大小,是实现对真空断路器健康诊断的关键。

真空断路器是以真空作为触头间的绝缘和真空灭弧介质,主要由载流灭弧装置和操动机构2个部分组成,如图1所示。载流灭弧装置主要由动静触头、导电部分和灭弧室等组成,动静触头是用来关合、承载和开断电流的执行元件^[5];真空灭弧室的作用是在规定时间内灭掉电弧,开断故障电路。操动机构是为断路器分、合闸时提供操作功,一般采用弹簧储能机构。

通过对真空断路器实验与分析,发现该断路器在运行过程中的主要故障类型及征兆如下:

(1) 真空灭弧室出现泄漏或者慢性漏气

真空灭弧室出现泄漏或者慢性漏气将引起灭弧室的真空度降低。真空度是决定真空断路器灭弧能

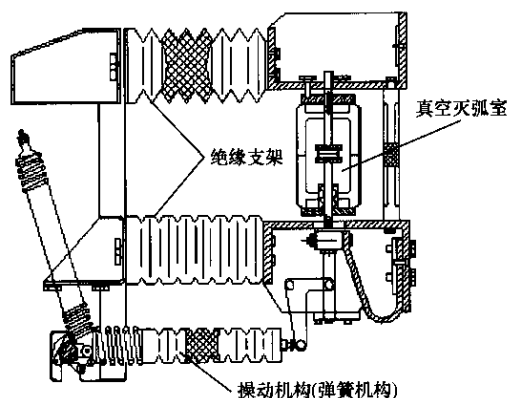


图1 真空断路器的基本机构

力的主要因素。如果真空灭弧室的真空度降低到一定的数值,会造成开断能力和绝缘水平降低,严重时将导致断路器无法进行正常开断,产生重大供电事故。要满足真空灭弧室的绝缘强度,真空灭弧室出厂时真空度不能低于 1.32×10^{-5} Pa,在保存有效期间始终不能低于 6.6×10^{-2} Pa^[6-7]。

(2) 触头电磨损造成真空断路器开断性能下降

真空灭弧室的触头磨损程度是影响真空断路器性能的重要指标之一。动静触头不仅是正常运行时的通流元件,而且还是在开断短路电流的关合元件,所以操作非常频繁。无论是在正常开断还是故障开断,在每次开断时都会使触头表面熔损变薄,长期操作会造成真空触头电寿命的降低,从而引起真空断路器开断性能的下降。触头磨损量取决于燃弧放电电量 q :

$$q = \int_0^{t_h} i dt \quad (1)$$

式中: i 为开断电流; t_h 为燃弧时间。

开断电流的大小和燃弧时间的长短是决定触头磨损程度的主要因素。大量的试验表明,对于多次开断来讲,平均燃弧时间是趋近的。所以在开断次数频繁时可以认为:开断电流相同时,每次开断时的电磨损是一样的,此时只用考虑开断电流对触头电寿命的影响即可。假设:在额定短路开断电流下单次开断的电磨损量为 M ,对应的允许开断次数为 N ,从统计平均和累计效应来考虑,可以认为该断路

器的总允许磨损量为 1,即定义一台全新的断路器的触头允许磨损总量为 100%,其相对电寿命为 100%,则每次额定短路开断电流开断时的相对磨损为 $1/N$ (定义为 Q),根据不同断路器的 $N-I_c$ 曲线,可以求得任意大小开断电流 I_c 对应允许开断次数 N_m ,则对应的单次开断时相对电磨损为 $1/N_m$ (定义为 Q_m),即可求出任一次开断电流 I_c 时的相对电磨损量。则该断路器触头的相对电寿命为

$$L = L_N - \sum Q_m \quad (2)$$

式中: L_N 为触头电寿命的初始值,是一个小于或等于 1 的百分数,其值由真空断路器的运行决定。刚投运的或经过大修后的真空断路器的 L_N 值为 1。

实际应用中,可实时计量真空断路器的开断次数,利用式(2)来估算触头磨损程度,从而避免因无法确定真空断路器实际切断电流大小及电磨损的情况下对真空断路器盲目进行解体检修。

(3) 真空断路器的操动机构动作异常

真空断路器的操动机构工作过程:真空断路器直流电动机通电后启动,通过机械装置使合闸弹簧储能。当合闸线圈通电时,合闸铁芯被吸合,铁芯将撞击合闸掣子,使合闸弹簧释放能量,带动导电杆运动,使动、静触头接通,完成合闸过程。合闸过程中,分闸弹簧被储能。分闸时,分闸脱扣线圈通电,分闸铁芯被吸合,从而使锁扣释放,在分闸弹簧作用下迅速分闸,完成了分闸过程。该操作机构在运行过程中,随着运行时间增加,将会出现分闸电磁铁线圈控制回路断线和短路与铁芯的运动卡涩、分合闸速度的异常、机构运动零件松动或脱落、直流电动机老化等异常现象。

① 合闸线圈电流波形的异常

真空断路器一般都是以电磁铁作为第一级控制元件,其线圈的电流包括很多信息,可以反映电磁铁本身以及所控制的锁扣及连锁触头在操作过程中的工作情况。因此,通过监测真空断路器分合闸线圈电流的情况,可以判断出分闸电磁铁线圈控制回路断线和短路与铁芯的运动卡涩等故障。图 2 为电磁铁分合闸线圈的合闸电流与合闸铁芯的运动关系曲线。

$t_0 \sim t_1$ 阶段:在 t_0 时刻线圈开始通电,到 t_1 时刻铁芯开始运动。这一阶段的特点是电流呈指数上升,铁芯还未运动,它的持续时间与控制电源电压以及线圈电阻有关。

$t_1 \sim t_2$ 阶段:电流下降,铁芯运动。 t_2 为控制电

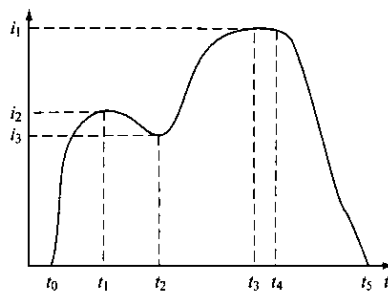


图 2 分合闸线圈的合闸电流与合闸铁芯的运动关系曲线
流的最低点,表示铁芯已经触动操作机械的负载而明显减速或停止运动。

$t_2 \sim t_3$ 阶段:电流又按照指数规律上升,铁芯运动停止。

$t_3 \sim t_4$ 阶段:这一阶段是上一阶段的延续,电流达到近似的稳定。

$t_4 \sim t_5$ 阶段:这一阶段为电流开断阶段,辅助开关分断,在辅助开关触头间产生电弧并被拉长,电弧电压快速升高,迫使电流迅速减小,直到熄灭为止。

由图 2 可知, $t_0 \sim t_1$ 反映线圈的状态(如电阻是否为正常); $t_1 \sim t_2$ 反映铁芯运动结构有无卡涩,脱扣、释能机械负载变动的情况; $t_2 \sim t_3$ 反映操作传动系统运动的情况。

通过上述几个不同特征时间的分析就可以针对真空断路器部分机械故障的趋势,包括拒分、拒合等故障,提前预防故障的发生^[8-10]。

② 真空断路器分、合闸速度异常

分闸速度的降低会使电弧的燃烧时间增加,加速了触头的电磨损程度,降低了真空断路器的使用寿命,而且不利于正常开断;分闸速度过高,使操动机构承受过大的冲击力和机械应力,造成机构部件的损坏或者缩短寿命。

③ 直流电动机老化

配用 CT17 弹簧机构,它的储能系统采用直流永磁电动机。电动机在长期运行后绝缘性能逐渐劣化,绝缘机构的老化是各种劣化的综合表现。电动机绝缘的主要老化因子有热因子、电因子、机械因子和环境因子。绝缘机构在这些因子的综合作用下产生了各种老化现象。引起直流电动机老化的主要原因:如电动机机械部分憋压、堵转或卡涩后过负荷运行;电动机绕组不合理或接线错误,空载电流就会偏大;电源电压过高等;绝缘电阻降低,击穿绝缘而接地;轴承卡死。

2 真空断路器的健康诊断策略

监测 10 kV 开关柜中真空断路器的真空度、真

空断路器操动机构等这些特征量,通过传感器的采集,再利用神经网络对真空断路器进行诊断,可以判断出真空断路器发生故障的具体器件和发生原因。

2.1 数据样本集的建立

以配有弹簧操动机构的 ZN28(A)-12 型真空断路器为研究对象,采用霍尔传感器监测合闸线圈的电流信号,得到以 t_0 时间为零点提取健康特征参数 t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 和电流最大值 I_1, I_2, I_3 ,用以监测断路器的运行情况,并把这些特征量作为神经网络的输入量。通过现场实验获得线圈电流随时间变化的波形(见图2)。由于该变化波形可以直接反映真空断路器在分闸时操作过程的动作状态,如分闸速度、铁芯行程、开关关断等有无故障。因此,对电流波形进行检测就能实现线圈操作状态的监测和真空断路器的故障预测。真空断路器的输出健康状态类型包括正常状态(ZC)、操作电压过低(GD)、合闸铁芯开始阶段有卡涩(CKS)、操作机构有卡涩(HKS)、合闸铁芯空行程太大(TD)、辅助开关动作接触不良(FK)6组状态。

2.2 数据样本处理

为了提高网络的学习速度和降低一些坏数据的影响,要对网络的输入向量进行归一化处理,归一化处理是将输入数据变换到 $[0,1]$ 之间,公式为

$$y = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$$

式中: y 是归一化后的数据; $y_i, y_{\min}, y_{\max}$ 分别为输入同一特征量的第 i 个数据及最小值和最大值。

输出有6种故障类型,为了用神经网络对其进行处理,需要将故障类型进行量化编码:正常(100000)、操作电压过低(010000)、合闸铁芯开始阶段有卡涩(001000)、操作机构有卡涩(000100)、合闸铁芯空行程太大(000010)、辅助开关动作接触不良(000001)。

2.3 RBF神经网络模型及训练算法

RBF神经网络是一种很好的具有单隐层的3层前向网络,分为多输入单输出和多输入多输出,网络包括输入层、隐层和线性输出3层。基于高斯核的RBF神经网络的拓扑结构如图3所示。

RBF神经网络的学习算法一般包括2个不同的阶段:一是隐层RBF函数中心的确定阶段;二是RBF函数权值学习调整阶段。因此,RBF神经网络所用的非线性函数形式并不影响网络的性能,关键在于基中心、宽度和权值调整算法的确定。

RBF神经网络设计大致需要经过4个步骤:

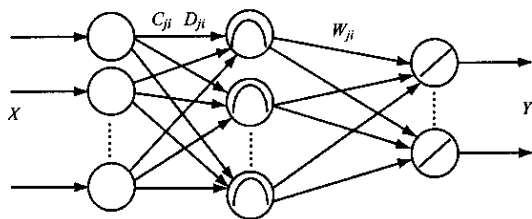


图3 基于高斯核的RBF神经网络的拓扑结构

(1) 网络的生成。根据输入样本数据和应用要求来确定网络的结构、层数、输入层、输出层和隐层的神经元的数目、传递函数及训练算法。

(2) 网络的初始化。在网络生成的同时需根据不同的要求对网络各层的权值和阈值进行初始化。

(3) 网络的训练。根据提供的样本数据对“输入矢量—输出矢量”和训练算法对网络进行训练。网络的建立就是训练过程,这与BP神经网络不同。

(4) 网络的仿真。根据测试样本数据对已训练好的网络进行仿真计算,也可对训练后的网络实际输出与仿真输出进行误差比较。

2.4 Matlab仿真实验

在Matlab环境下采用神经网络工具箱,利用RBF神经网络对数据进行测试,选用12组数据作为训练样本,另外6组数据作为测试样本。

选择RBF神经网络进行网络诊断时,输入为8个输入量,隐层数为1层,隐层节点数由系统自动生成,直到满足系统要求的误差为止,训练最高次数为200次,误差上限为0.01,RBF神经网络宽度为0.6,训练结果如图4所示。另外6组数据作为测试样本,采用该网络得到的诊断结果如表1所示。

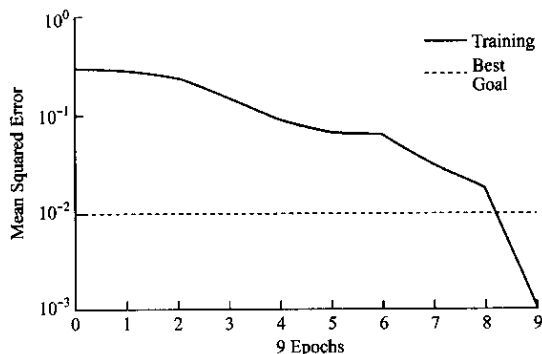


图4 RBF神经网络训练结果

从图4可看出,经过9次的训练之后,网络的输出达到预先设定的要求且曲线比较光滑。表1中数值的大小表示对应的故障程度,也就是发生该故障的概率,数值越接近1说明发生该故障的几率越大,本文设定输出值大于0.5时表明有该故障类型,通

表1 RBF神经网络诊断结果

样本	诊断结果						故障类型
13	0.838 8	0.015 0	0.001 5	0.022 5	0.116 3	0.005 9	100000(ZC)
14	-0.166 5	-0.005 1	-0.001 4	0.010 9	0.138 2	1.023 9	000001(FK)
15	-0.183 0	1.022 0	-0.000 4	-0.042 9	0.083 3	0.120 9	010000(GD)
16	-0.033 5	0.001 2	-0.000 7	0.007 3	1.036 9	-0.011 2	000010(TD)
17	0.252 0	0.005 2	0.973 5	0.060 9	-0.124 5	-0.167 1	001000(CKS)
18	0.072 4	0.004 4	0.000 6	0.916 3	-0.011 8	0.018 1	000100(HKS)

过和前面所设的健康类型对比,结果表明 RBF 神经网络诊断输出与实际故障类型相同。

为验证 RBF 神经网络相对于 BP 神经网络的优势,本文选择 BP 神经网络在相同条件下进行诊断,输入为 8 个输入量,隐层数为 1 层,隐含节点数 8 个,输出层为 6 个输出量,训练最高次数为 1 000 次,误差上限为 0.01,训练函数采用 trainlm 函数,其中某一次的训练结果如图 5 所示。

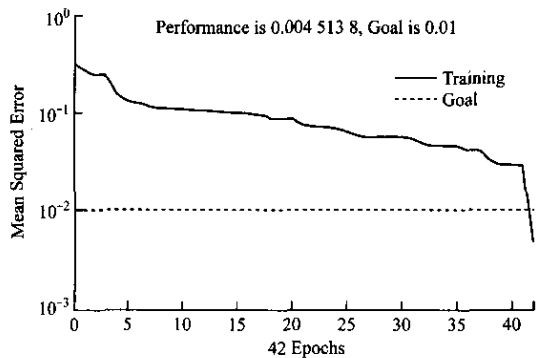


图5 BP神经网络训练结果

RBF 神经网络和 BP 神经网络性能比较如表 2 所示。

表2 RBF 和 BP 神经网络性能比较

网络结构	网络所用时间/s	训练步长	训练平方误差和
RBF	1.750 0	9	0.009 34
BP	3.141 0	42	0.004 76

从表 2 可看出,RBF 神经网络的网络训练时间要远远少于 BP 神经网络的训练时间,说明在对函数逼近的过程中,RBF 神经网络的响应更快,并且它的诊断结果具有很好的准确度,曲线比 BP 神经网络光滑,且具有自动优化网络结构和较好的泛化能力,因此,RBF 神经网络用在真空断路器的故障诊断是可行的,并且具有很好的实用性^[9]。

3 结语

介绍了 10 kV 开关柜中的真空断路器的基本结构,总结了真空断路器长年运行过程中出现的异常现象、征兆和发生原因,提出了基于 RBF 神经网络的真空断路器健康诊断策略。该策略通过传感器测得线圈电流波形的特征参数,并对这些特征量进行归一化处理,作为 RBF 神经网络的输入量,从而实现对真空断路器的健康诊断。Matlab 仿真实验证明了该策略的有效性。同时利用 BP 神经网络进行相同诊断,通过对比证明了 RBF 神经网络具有速度快、分类性能良好的优势。

参考文献:

[1] 徐国政,钱家骊. 高压断路器原理和应用[J]. 北京:清华大学出版社,2002.

[2] 方可行. 断路器故障与监测[M]. 北京:中国电力出版社,2003.

[3] 刘泉源. 人工智能与专家系统[M]. 北京:国防科技大学出版社,1995.

[4] 汪永华. 真空断路器的状态监测与故障诊断探析[J]. 电气试验,2005(1):35-37.

[5] 陈西庚. 成套开关柜的电弧短路保护[J]. 继电器,2000,28(6):33-37.

[6] 古金国,徐国政,钱家骊. 故障电弧特性[J]. 高压电器 1999,6(11):41-44.

[7] 张延. 真空断路器在线状态监测与故障诊断[D]. 济南:山东大学,2004.

[8] 韩红芯. 智能开关监测单元研制[D]. 西安:西安科技大学,2010.

[9] 王娜. 基于神经网络专家系统的高压断路器故障诊断研究[D]. 焦作:河南理工大学,2008.

[10] 郎福成. 真空断路器机械特性在线监测[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2005.