

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.04.023

基于电弧模型仿真的电气火灾智能算法研究

张春燕, 王建全*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对近年来电气火灾居高不下的形势及火灾预警系统不够完善的问题,对故障电弧的电压电流波形进行了分析,提出了一种基于电弧 Cassie 模型的电气火灾智能算法,应用神经网络智能算法分析了故障电流波形,建立了故障电弧电流波形与故障电弧发热量之间的关系。在智慧式安全用电管理平台上读取了电弧电流波形,分析计算得到了相应的电弧发热量,根据电弧发热量判断是否会引发电气火灾。最后进行了故障电弧模型的仿真实验。研究表明,1 000 组数据中只有 2 组出现误判,说明该算法可以通过故障电弧电流波形来预测电气火灾。

关键词:电弧模型;傅里叶变换;神经网络;智慧式安全用电平台

中图分类号:TM744*.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)04-0498-04

Electric fire intelligent algorithm based on arc model simulation analysis

ZHANG Chun-yan, WANG Jian-quan

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problems of the increasing electric fire in recent years and the imperfect fire warning system, after the analysis of the fault arc voltage and current waveform, the electrical fire intelligent algorithm based on Cassie arc model was proposed. The neural network intelligent algorithm analysis fault current waveform was applied and the relationship of arc fault current waveform and the fault arc calorific value was established. In the wise type safe management platform, the arc current waveform was achieved and the arc calorific value was calculated, it can forecast the electrical fire according to the arc calorific value. The simulation experiments of arc fault model were carried out. The results show that 1 000 groups of data, only two groups are in misjudge. The neural network intelligent algorithm can be used to forecast the electrical fire.

Key words: cassie arc model; Fourier transform; artificial neural network; intelligence electricity safety platform

0 引言

近年来,全国范围火灾事故频发,公安部消防局公布的 2013 年全国共发生 388 821 起火灾,直接经济损失 48 亿 4 670.2 万元,全年 2 113 人死亡,给社会和人们带来了巨大的危害和影响,其中电气火灾成为主要杀手,超过 40% 的火灾由电气设备或线路引起^[1]。

在电气火灾的发生原因中故障电弧是主要的致灾原因,住宅内电气线路和设备(插座、家用电器)存在不良的电气连接或内部线路由于长时间的过负荷运行

等情况,使电线出现绝缘层老化,绝缘效果降低,都可能发生故障电弧,故障电弧易引燃线路或周围可燃物造成电气火灾的发生^[2]。发生故障电弧时,负载电流通常是非常小的,小于目前电力系统特别是广泛安装在低压配电领域的设备的过电流保护设定值,线路发生故障电弧不在保护的范围内^[3]。

要检测故障电弧首先需检测到电弧,然后考虑如何判断是否为故障电弧。目前,国内外电弧检测的方法大致可以归纳为 3 类:①建立电弧模型,并通过检测相应的参量检测电弧;②根据电弧发生时所

收稿日期:2015-11-30

作者简介:张春燕(1991-),男,浙江湖州人,主要从事电力系统暂态稳定方向的研究。E-mail: zcyhappy311@163.com

通信联系人:王建全,男,副教授,硕士生导师。E-mail: wangjq@zju.edu.cn

产生的物理现象,如弧光、噪声、辐射、温度变化等检测电弧;③根据电弧发生时的电流、电压波形变化检测电弧^[4]。

在配电网中,有许多的负载,研究人员不可能在每一个负载处都安装电流检测装置,只能在配电网的母线上安装电流检测装置,需要通过母线上的电流波形来判断该配电网是否有发生电弧故障,并进一步判断该电弧是否会引起电气火灾。

针对这种情况,本研究提出一种基于神经网络的数据分析方法,通过对母线电流波形的分析,得到故障发生处电弧的发热量,进而来判断是否会引起电气火灾。一旦其发热量大于其发生火灾的临界值,就可以通过智慧式安全用电平台来通知安全用电人员或用户,减小发生电气火灾的可能性。

1 电弧故障仿真模型

1.1 电弧数学模型

目前常用的电弧模型有 Mayr 模型, Cassie 模型和 Stokes 模型等^[5], Mayr 模型假设电弧具有一个圆柱形气体通道的形状,其直径是恒定的,从电弧间隙散出的能量是常数,能量的散出是依靠热传导和径向扩散的作用, Cassie 认为,电弧具有圆柱形气体通道,其截面有均匀分布的温度。这条通道有明确的界限,即直径,直径以外其阻抗相当大。如果通过这个电弧通道的电流发生变化,其直径也随之变化,但温度不变,即认为电弧的温度在空间和时间上都是不变的。对于低电阻电弧的数学模型, Cassie 模型是较合适的。

电力系统发生短路时,故障点通常会出现电弧。简化的实验电路如图 1 所示。

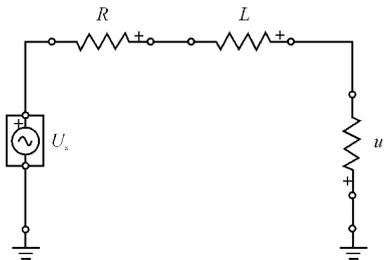


图 1 短路实验图

图 1 的电压方程为:

$$u_s = R * i + L \frac{di}{dt} + u \quad (1)$$

式中: u_s —电源电压; R, L —负载电阻和电感; u —电弧电压。

本研究采用的是 Cassie 电弧故障模型, Cassie 电

弧模型假定在大部分时间里,电弧电压为常数。模型方程式如下:

$$\frac{d \ln g}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u^2 - U_c^2}{U_c^2} \right) \quad (2)$$

式中: τ —Cassie 方程中定义的电弧时间常数; g —电弧电导; u —电弧电压; U_c —电弧电压常量,即沿着主弧柱的单位长度电压降,与电弧电压无关^[6]。

电弧电压计算公式为:

$$u = i/g \quad (3)$$

式中: i —电弧电流, g —电弧电导。

这样, i, g 和 u 3 个未知数可以由式(1 ~ 3) 解得。

1.2 故障电弧仿真波形分析

故障电弧仿真模型系统如图 2 所示。

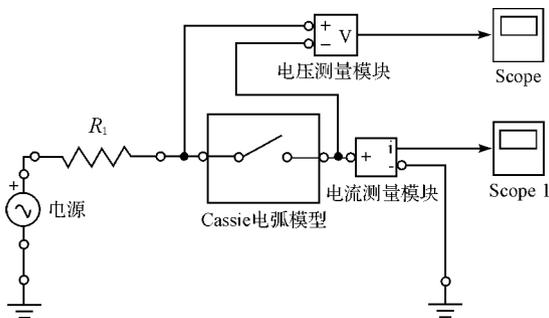


图 2 电弧模型仿真电路图

Cassie 模型仿真参数设置为: 电源电压有效值 $u_s = 220 \text{ V}$, 频率 $f = 50 \text{ Hz}$, 电弧时间常数 $\tau = 2.25 \times 10^{-4} \text{ s}$, 电弧电压常量 $U_c = 50 \text{ V}$, 负载电阻 $R_1 = 30 \text{ } \Omega$, 电弧电导初值 $g(0) = 1.17 \times 10^{-4} \text{ S}$ ^[7]。电路在 0.00 s 发生电弧故障, 仿真时间为 0.08 s。仿真得到的电弧故障的电流波形如图 3 所示。其电压曲线如图 4 所示。

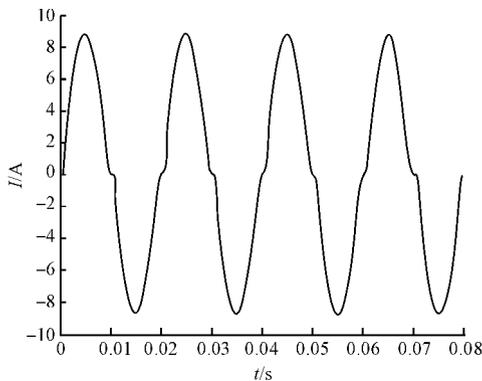


图 3 故障电弧电流波形

通过上面的波形可以发现故障电流在每半个周期都会出现电流接近零的区域, 习惯上称之为“电流零区”, 这是由于故障电弧在电流过零前后会有熄灭和重燃的过程, 故障电流通常是零星间歇出现的, “电流零区”的出现使得交流电流每半个周期都会出现突变

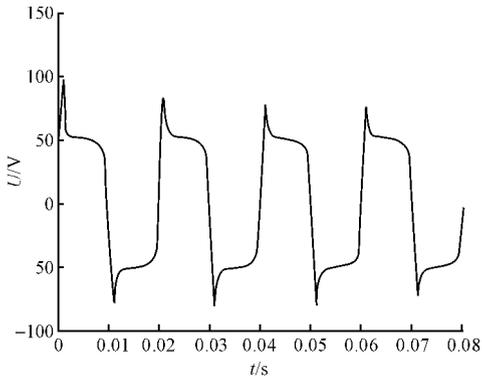


图 4 故障电弧电压波形

现象,并且包含有高次谐波,对于串联故障电弧,由于电弧存在压降,故障电弧发生时,电流值比无故障时略小一点。此时电弧电压波形近似于方波,在“电流零区”处,电压也发生了畸变,引起了高频分量^[8]。

1.3 电弧波形的傅里叶变换

为了计算故障电弧产生的发热量,本研究用傅里叶变换^[9]对电流电压波形进行处理。采用的是 5 阶傅里叶的变换,其基本形式为:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t + a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + b_3 \sin 3\omega t + a_4 \cos 4\omega t + b_4 \sin 4\omega t + a_5 \cos 5\omega t + b_5 \sin 5\omega t \quad (4)$$

1.4 故障电弧发热量分析

考虑到故障电弧是否会引发电气火灾,本研究将采用故障电弧单个周期内的故障电弧发热量来作为一个判断依据,故障电弧发热功率公式为:

$$P_0 = U_c^2 \times g \quad (5)$$

式中: P_0 —电弧发热功率, U_c —故障电弧电压常数, g —电弧电导。

据此本研究计算出一个周期内的发热量为:

$$Q = \int_{t=0}^{t=T} P_0 dt \quad (6)$$

式中: Q —一个周期内的发热量; P_0 —电弧发热功率; T —一个周期的时间, $T = 0.02 \text{ s}$ 。

2 基于神经网络的电气火灾预测

2.1 神经网络参数设置

在实际配电网电路中,无法测量故障点的很多电气信息(如故障电压、故障发热量等),研究者需要通过智能算法,根据能够测量到的电流信息,去推算得到故障处的单个周期发热量信息,从而判断出故障处是否会引发电气火灾。

采用智能算法去预测电气火灾,通常有模糊处理、神经网络算法、多信息融合等多种处理方式^[10],本研究采用的是人工神经网络算法,首先通过仿真 Cassie 电弧模型得到故障电流的波形,经过傅里叶变换处理为 5 阶代数表达式,其基波的频率为 50 Hz,即 $\omega = 100 \times \pi$,其中的 11 个参数可以作为神经网络的输入,神经网络的输出为故障电弧单个周期内电弧发热量。

本研究通过设置不同的故障电弧电压常数,不同的负载电阻进行仿真实验。得到在不同情况下,故障电弧电压和电流的波形,并通过式(6)得到单个周期内的发热量。在得到一系列的实验室电气火灾数据之后,开始对数据进行处理分析。

首先,笔者利用傅里叶分解得到电流电压波形的代数表达式,为了提高模拟的精度,这里本研究采用的是傅里叶 5 阶模型,通过傅里叶变换我们得到故障电流代数式的 11 个参数。其次,本研究在得到仿真数据后,将其中 1 000 组作为训练数据,1 000 组数据作为检验数据。笔者将这 2 000 组数据进行归一化后进行神经网络分析,2 000 组数据中,电流数据作为输入数据,单个周期线路的发热量为输出,是一个 11 个输入单输出的神经网络结构,本研究设定了一个 3 层的神经网络结构,节点传递函数为正切 S 型传递函数 tan-sig,训练函数为动量反转和动态自适应学习率的梯度下降 BP 算法训练函数 trainlm,隐含层节点数分别为 20 和 20^[11]。在训练 39 次之后达到训练要求。

其中 1 000 组测试数据的误差平方和为 0.621 4,最大误差为 0.341 1。1 000 组数据的误差如图 5 所示。

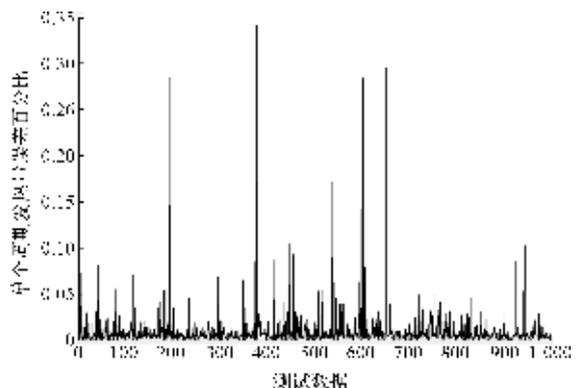


图 5 单个周期发热量误差百分比

2.2 神经网络训练结果分析

本研究通过设定一个发热量的一个安全值,认为单个周期的发热量低于该安全值时,虽然出现了电弧故障,但是不至于会引起电气火灾,当计算得到的单个周期的发热量大于该安全值时,认为可能会引起电气火灾,需要将预警信息发送出来。

在实验中本研究暂定单个周期发热量为 25 J(该值为笔者假定的值)以上时,故障电弧会引发电气火灾。在实际配电网中,该临界值需要根据实际情况去进行相应的修改,通过实践分析来得到一个更加符合当地情况的临界值。所得到的情况如表 1 所示。

表 1 1 000 组测试数据中引发火灾的比例

1 000 组测试数据与实验数据对比	实验仿真数据	神经网络训练数据
发生故障但不会引发火灾	853	851
发生故障并且会引发火灾	147	149

结合图 5 和表 6 可以发现,1 000 组数据中误差大于 0.05 的有 25 个,占 2.5%。但考虑到计算得到的发热量,是否会引发电气火灾时只有 2 组出现了误判,因此可以通过神经网络计算得到的结果来预测故障电弧是否会引发电气火灾。

3 智慧式用电安全管理服务平台

智慧式用电安全管理服务系统是一种用电安全隐患监管工具,能实时“在线”监测导线温度、电流等,及时提醒或者通知安全管理人员事故点,并且能够根据一段时间的历史数据进行分析,大幅度降低火灾等涉电事故发生的几率,从而大大提高用电安全监管水平,做到防患于未然^[12]。

用电安全智能传感终端安装在电气柜上,实时采集电气线路的电流波形,并通过无线方式把数据发给管理平台。管理平台通过分析计算判断电气线路是否出现电气火灾隐患,若出现,则可以快速反馈给用户或安全管理人员,从而达到预警的作用^[13]。

综上,本研究提出了一种能够简单预防电气故障电弧引发电气火灾发生的方法,并且能够支持远程监控。笔者在线路附近安装一个电流检测器,检测线路的电流波形,并通过一个智能传感器终端将数据传入数据中心,数据中心通过对于电流数据进行分析,通过神经网络分析计算出单个周期的发热量,本研究将这个发热量与之前设定的引发电气火灾的安全值进行比较分析,一旦其发热量大于安全值,认为该处可能有故障电弧,并且会引起电气火灾。同时将火灾信息第一时间反馈给监控中心,从而能够第一时间去预防电气火灾的发生。

4 结束语

本研究提出的基于故障电弧模型的电气火灾智能

算法很好的解决了具体故障点电气信息难以测量的问题,我们通过线路的电流值来得到故障电弧的信息,从而判断是否会引起电气火灾。

以上基于电弧模型的电气火灾智能预测算法目前的数据来源主要是仿真分析,具体效果需要实际的数据结果支持,因此在之后的研究中应该将实际中遇到的数据结果来完善之前的数据库,从而保证数据的可靠性和真实性,也将大大加强电气火灾的预测准确性。特别是判断是否会引发火灾的发热量安全值,在实际情况下,需要根据配电网中不同的可燃物,给出合适的发热量安全值,具体根据相应的情况,通过实践不断更新才能得到更加精确的值,从而大大提高预判电气火灾的准确性。另外考虑到电气火灾发生时,有多种数据可以获取,需要增加关于其他电气火灾信息量分析,通过多信息的组合分析,能够提高预测分析的准确性。

参考文献 (References):

- [1] 公安部消防局. 中国消防年鉴[R]. 公安部消防局,2014.
- [2] 林章. 故障电弧检测的关键技术研究及断路器开发[D]. 杭州:中国计量学院计量测试工程学院,2013.
- [3] 赵淑敏,吴为麟. 建筑配电系统系统故障电弧的仿真与检测[J]. 低压电器,2007(10):38-42.
- [4] 杨艺,董爱华,付永丽. 低压故障电弧检测概述[J]. 低压电器,2009(5):1-4.
- [5] 袁玲. 短路电弧和开关电弧建模级仿真研究[D]. 南京:南京师范大学电气与自动化工程学院,2014.
- [6] 姜斌峰,王莉. 低压交流电线故障电弧模型研究[J]. 电力系统及其自动化学报,2009,21(8):20-24.
- [7] 顾荣斌. 小电流接地电网单相电弧接地故障分析及仿真研究[D]. 上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院,2009.
- [8] 胡亚娟,王富荣. 输电线路单相接地故障电弧模型仿真研究[J]. 电气开关,2008,46(2):25-28.
- [9] 余琼芳. 基于小波分析级数据融合的电气火灾预报系统及应用研究[D]. 秦皇岛:燕山大学电气工程学院,2013.
- [10] 郭秀娟. 数据挖掘方法综述[J]. 吉林建筑工程学院学报,2004,21(1):49-53.
- [11] 陈守平,董瑞,罗晓莉. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [12] 葛磊蛟,王守相. 智能用电条件下用户用能管理与服务平台[J]. 电力自动化设备 2015,35(3):152-156.
- [13] 李学海. 智慧式电气火灾隐患监管系统的应用[J]. 消防技术与产品信息,2015(11):54-57

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

张春燕,王建全. 基于电弧模型仿真的电气火灾智能算法研究[J]. 机电工程,2016,33(4):498-501.

ZHANG Chun-yan, WANG Jian-quan. Electric fire intelligent algorithm based on arc model simulation analysis[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(4):498-501.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>