



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110398669 A

(43)申请公布日 2019.11.01

(21)申请号 201910499509.8

(22)申请日 2019.06.11

(71)申请人 深圳供电局有限公司

地址 518001 广东省深圳市罗湖区深南东路4020号电力调度通信大楼

(72)发明人 唐峰 吕启深 谢智敏 刘顺桂

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224

代理人 周玲 左帮胜

(51)Int.Cl.

G01R 31/12(2006.01)

G06N 20/00(2019.01)

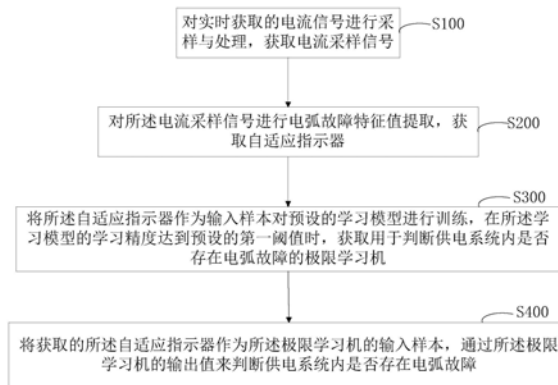
权利要求书1页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

电弧故障检测方法

(57)摘要

本发明涉及一种电弧故障检测方法,包括:对实时获取的电流信号进行采样与处理,获取电流采样信号;对所述电流采样信号进行电弧故障特征值提取,获取自适应指示器;将所述自适应指示器作为输入样本对预设的学习模型进行训练,在所述学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机;将实时获取的自适应指示器作为所述极限学习机的输入样本,通过所述极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。本发明能够及时发觉供电系统中产生的电弧故障,解决了电弧故障带来的影响系统稳定运行及人身财产安全的问题。



1. 一种电弧故障检测方法,其特征在于,包括:
对实时获取的电流信号进行采样与处理,获取电流采样信号;
对所述电流采样信号进行电弧故障特征值提取,获取自适应指示器;
将所述自适应指示器作为输入样本对预设的学习模型进行训练,在所述学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机;以及,
将获取的所述自适应指示器作为所述极限学习机的输入样本,通过所述极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。
2. 根据权利要求1所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述自适应指示器的获取步骤包括:
将获取的电流采样信号进行经验模态分解,获取本征模态函数分量;
对所述本征模态函数分量进行希尔伯特变换,获取所述本征模态函数分量的能量值,计算所述本征模态函数分量的能量值分别与全部本征模态函数分量的能量值之和的比值;以及,
选取所述比值的降序排列中的预定数量个作为判断电弧故障的自适应指示器。
3. 根据权利要求1所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述对实时获取的电流信号进行采样的步骤包括:
以预设的时间段 T_s 对实时获取的电流信号进行采样。
4. 根据权利要求3所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述预设的时间段 T_s 为25ms。
5. 根据权利要求1所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述极限学习机的获取步骤包括:
在所述学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,获取用于判断电弧故障的极限学习机的隐含层输出矩阵。
6. 根据权利要求5所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述隐含层的激活函数为Sigmoid型函数。
7. 根据权利要求6所述的电弧故障检测方法,其特征在于,所述隐含层节点的个数为8。
8. 根据权利要求1-7中任意一项所述的电弧故障检测方法,其特征在于,通过所述极限学习机的输出值来判断是否存在电弧故障的步骤包括:
若所述极限学习机输出0,则判断为正常状态;
若所述极限学习机输出1,则判断为存在电弧故障。
9. 根据权利要求8所述的电弧故障检测方法,其特征在于,还包括:
将连续多个检测周期内的极限学习机的输出值分别乘以权值后再求和;
判断所述求和结果大于或等于预设的第二阈值时,输出电弧故障信号。
10. 根据权利要求9所述的电弧故障检测方法,其特征在于,将连续10个检测周期内的极限学习机的输出值分别乘以1后再求和;
判断所述求和结果大于或等于5,触发电弧故障排除装置。

电弧故障检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电气故障检测技术领域,特别是涉及一种电弧故障检测方法。

背景技术

[0002] 本世纪,我国供电需求大幅增加,发电系统迅速发展,连接环节和电缆用料投入大幅增加,但供电系统中易出现模块、接线端子和连接汇流盒松动等问题,导致电弧故障频发,这些故障电弧尽管电流很小,但所生成的能量足够引发火灾,威胁周围环境中的生命安全和财产安全。因此,急需对供电系统内的电弧故障进行检测及防治。

[0003] 目前,针对供电系统内的电弧故障检测,国内外研究提出的检测指示器均基于非自适应变换提出的,未能随着电弧故障波形特征变化而变化,也未涉及供电系统在暂态变化过程中产生类电弧故障这一特殊情形,并且现有的电弧故障检测方法无法区分直流电弧故障和类弧故障,造成电弧故障排除装置误动率过高,降低供电系统的工作效率。

发明内容

[0004] 基于此,有必要提供一种电弧故障检测方法。

[0005] 本发明的一方面提供的一种电弧故障检测方法,包括:

[0006] 对实时获取的电流信号进行采样与处理,获取电流采样信号;

[0007] 对所述电流采样信号进行电弧故障特征值提取,获取自适应指示器;

[0008] 将所述自适应指示器作为输入样本对预设的学习模型进行训练,在所述学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机;

[0009] 将获取的所述自适应指示器作为所述极限学习机的输入样本,通过所述极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。

[0010] 上述电弧故障检测方法,建立了用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机,对实时电流信号进行采样分析与判断,及时发觉系统中产生的电弧故障,解决了电弧故障带来的影响系统稳定运行及人身财产安全的问题。

[0011] 在其中一个实施例中,所述自适应指示器的获取步骤包括:

[0012] 将获取的电流采样信号进行经验模态分解,获取本征模态函数分量;

[0013] 对所述本征模态函数分量进行希尔伯特变换,获取所述本征模态函数分量的能量值,计算所述本征模态函数分量的能量值分别与全部本征模态函数分量的能量值之和的比值;以及,

[0014] 选取所述比值降序排列中预定数量个作为判断电弧故障的自适应指示器。

[0015] 在其中一个实施例中,所述对实时获取的电流信号进行采样的步骤包括:

[0016] 以预设的时间段 T_s 对实时获取的电流信号进行采样。

[0017] 在其中一个实施例中,所述预设的时间段 T_s 为25ms。

[0018] 在其中一个实施例中,所述获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学

习机的步骤包括：

[0019] 对预设的学习模型进行训练的过程中，在所述学习模型的学习精度达到预测的第一阈值时，获取用于判断电弧故障的极限学习机的隐含层输出矩阵。

[0020] 在其中一个实施例中，所述隐含层的激活函数为Sigmoid型函数。

[0021] 在其中一个实施例中，所述隐含层节点的个数为8。

[0022] 在其中一个实施例中，通过所述极限学习机的输出值来判断是否存在电弧故障的步骤包括：

[0023] 若所述极限学习机输出0，则判断为正常状态；

[0024] 若所述极限学习机输出1，则判断为存在电弧故障。

[0025] 在其中一个实施例中，所述电弧故障检测方法包括：

[0026] 将连续多个检测周期内的极限学习机的输出值分别乘以权值后再求和；

[0027] 判断所述求和结果大于或等于预设的第二阈值时，输出电弧故障信号。

[0028] 在其中一个实施例中，所述电弧故障检测方法包括：

[0029] 将连续10个检测周期内的极限学习机的输出值分别乘以1后再求和；

[0030] 判断所述求和结果大于或等于5，触发电弧故障排除装置。

附图说明

[0031] 本发明上述的以及其他的特征、性质和优势将通过下面结合附图和实施例的描述而变的更加明显，在附图中相同的附图标记始终表示相同的特征，其中：

[0032] 图1为本发明一实施例中的一种电弧故障检测方法的流程示意图。

[0033] 图2为本发明一实施例中获取判断电弧故障的自适应指示器的流程示意图。

[0034] 图3为本发明一实施例中稳定运行供电系统中产生电弧故障前后的电流及电压波形示意图。

[0035] 图4为本发明一实施例中稳定运行供电系统中产生电弧故障前后获取的自适应指示器值的曲线示意图。

[0036] 图5为本发明一实施例中电弧故障检测方法在稳定运行供电系统中的检测输出结果示意图。

[0037] 图6为本发明一实施例中暂态过渡供电系统中产生电弧故障前后的电流及电压波形示意图。

[0038] 图7为本发明一实施例中暂态过渡供电系统中产生电弧故障前后获取的自适应指示器值的曲线示意图。

[0039] 图8为本发明一实施例中电弧故障检测方法在暂态过渡供电系统中的检测输出结果示意图。

具体实施方式

[0040] 为了便于理解本发明，下面将参照相关附图对本发明进行更全面的描述。附图中给出了本发明的较佳的实施例。但是，本发明可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使对本发明的公开内容的理解更加透彻全面。

[0041] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在于限制本发明。本文所使用的术语“及/或”包括一或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0042] 在使用本文中描述的“包括”、“具有”、和“包含”的情况下,除非使用了明确的限定用语,例如“仅”、“由……组成”等,否则还可以添加另一部件。除非相反地提及,否则单数形式的术语可以包括复数形式,并不能理解为其数量为一。

[0043] 应当理解,尽管本文可以使用术语“第一”、“第二”等来描述各种元件,但是这些元件不应受这些术语的限制。这些术语仅用于将一元件和另一元件区分开。例如,在不脱离本发明的范围的情况下,第一元件可以被称为第二元件,并且类似地,第二元件可以被称为第一元件。

[0044] 在供电系统中,电弧故障通常是由线路绝缘老化、破损或者电气回路存在汇流盒连接松动等非操作原因引起的。电弧故障发生时吸收供电系统产生的大部分能量而转化为高温电离气体,由于缺乏全方位的电弧故障检测装置的监管,这种持续的高温气体会将汇流箱与电缆等电器设备烧毁。电弧故障放电持续放出的大量的热还可能点燃供电系统周围的易燃易爆物品,最终引起区域面积停电及爆炸火灾事故,极易造成供电系统组件及相关设施的财产损失,甚至危及周边的人身安全。因此,准确检测并排除电弧故障是防范此类故障危害事故的根本途径。

[0045] 1999年,由美国保险商实验室和美国电气制造商协会合作起草的美国国标UL1699,主要对交流故障检测设备质检标准做了规定,并强制要求交流系统中及民用建筑卧室内必须安装电弧故障检测保护装置。目前,针对供电系统内的电弧故障检测,国内外相关研究者提出的检测指示器均基于非自适应变换提出的,未能随着电弧故障波形特征变化而变化,也未涉及供电系统发生暂态变化过程中产生类电弧故障这一特殊情形。因此,本发明提供一种电弧故障检测方法,通过自适应指示器发掘电弧故障区别于系统暂态干扰的本质特征,基于连续多时间段的状态判别输出值进行定常阈值加权,旨在解决电弧故障所带来的火灾风险及人身财产安全隐患问题。

[0046] 本发明实施例中,首先分别对不同工况的大量类弧和电弧故障的电流信号进行实时采样,对采样结果进行特征值提取并作为极限学习机的训练样本,将训练样本输入极限学习机中对其进行训练,然后把训练好的极限学习机用于判断供电系统内是否存在电弧故障。

[0047] 运行时,只需将待识别的电流信号按规定的时段进行采集与处理,对获取的电流采样信号进行经验模态分解获得电流信号的本征模态函数分量,经过希尔伯特变换后获得各阶次本征模态函数的能量值,通过构造能量贡献率指标,筛选取出占据所采集电流信号主要特征信息的本征模态函数,计算这些本征模态函数占全部阶次的本征模态函数的能量比,获得多个自适应指示器,再用训练好的极限学习机对获取的多个自适应指示器进行识别。还可以对连续若干个时间段的极限学习机输出值将进行定常阈值加权,当所得结果超出设定阈值即判断电弧故障的发生,检测装置发出切断支路的信号,断开电路,否则开始新一轮时间段的检测。

[0048] 如图1所示,本发明一实施例中提供的一种电弧故障检测方法,包括:

[0049] 于步骤S100中,对电流信号进行实时采样与处理,获取电流采样信号;

[0050] 于步骤S200中,对步骤S100中的电流采样信号进行电弧故障特征值提取,获取自适应指示器;

[0051] 于步骤S300中,将获取的自适应指示器作为输入样本对预设的学习模型进行训练,在学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机;

[0052] 于步骤S400中,将实时获取的自适应指示器作为获取的极限学习机的输入样本,通过极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。

[0053] 在本实施例中,获取用于判断供电系统内是否存在电弧故障的极限学习机可以包括如下步骤:

[0054] 对预设的学习模型进行训练,在学习模型的学习精度达到预设的第一阈值时,训练完成并获取用于判断故障的极限学习机的隐含层输出矩阵。可以通过MATLAB软件对预设的学习模型,例如是神经网络模型,进行训练,达到精度后训练完成,获取用于判断电弧故障的极限学习机的隐含层输出矩阵。本实施例中,隐含层的激活函数可以为Sigmoid型函数,获取的极限学习机的隐含层节点的个数为8。

[0055] Sigmoid型函数作为常见的一种神经网络激活函数,记sigmoid函数为 $S(x)$,其函数表达式如下:

$$[0056] \quad S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

[0057] 在上述实施例中,系统首先分别对不同工况的大量类弧和电弧故障的电流信号进行实时采样,对采样结果进行特征值提取并作为极限学习机的训练样本,同时获取自适应指示器,再将训练样本输入极限学习机中对其进行训练,然后把训练好的极限学习机作为电弧故障的判断装置。

[0058] 运行时,只需将待识别的电流信号按规定的时段进行采集与处理,获得多个自适应指示器,将自适应指示器值输入到训练好的极限学习机中进行供电系统状态辨识,通过极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障,若存在电弧故障,可以触发检测装置发出切断故障支路的信号,否则继续执行前述的电弧故障检测方法。

[0059] 在上述的电弧故障检测方法中,对电流信号进行实时采样的步骤可以包括:

[0060] 以预设的时间段 T_s 对电流信号进行采样。

[0061] 在本实施例中,可以设置 T_s 为25ms,即以25ms为时间段对电流信号进行采样,记录25ms内的电流数据,得到采样获取的电流原始信号 $x(t)$ 。这里选择 $T_s=25ms$ 的时间段对电流信号进行采样,既能精确反映电弧故障特征发生的时间长度,又能便于快速实现经验模态分解,以满足快速检测出电弧故障的时间需求。

[0062] 如图2所示,本发明一实施例中提供的获取判断电弧故障的自适应指示器方法,包括:

[0063] 于步骤S210中,将获取的采样电流信号进行经验模态分解,获取本征模态函数分量;

[0064] 于步骤S220中,对所述本征模态函数分量进行希尔伯特变换,获取各阶次本征模态函数分量的能量值,计算各阶次本征模态函数能量值分别与全部本征模态函数能量值之

和的比值；

[0065] 于步骤S230中,选取步骤S220中所求得比值降序排列中的前几个,作为判断电弧故障的自适应指示器。

[0066] 通过将实时获取的自适应指示器作为已训练好的极限学习机的输入,通过所述极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。

[0067] 在本实施例中,将待识别的电流信号按规定的时段进行采集,获得电流采集信号 $x(t)$,对电流采集信号 $x(t)$ 进行经验模态分解(Empirical Mode Decomposition,EMD),得到全部阶次的本征模态函数(Intrinsic Mode Function,IMF)分量。经验模态分解方法的关键是经验模式分解,它能使复杂信号分解为有限个本征模态函数分量,所分解出来的各阶次IMF分量包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信号。由于基函数是由数据本身所分解得到,分解是基于信号序列时间尺度的局部特性,经验模态分解法能使非平稳数据进行平稳化处理,与短时傅立叶变换、小波分解等方法相比,这种方法具有直观性、直接性、后验性和自适应性。

[0068] 进一步地,对各阶IMF分量进行希尔伯特变换,计算出各阶IMF分量的能量。对上述电流采集信号 $x(t)$ 进行经验模态分解(Empirical Mode Decomposition,EMD),获取各阶次本征模态函数分量,用 $c_i(t)$ 表示第 i 阶本征模态函数分量;对分解后的各阶次本征模态函数分量进行希尔伯特变换,记第 i 阶本征模态函数分量的希尔伯特变换表达式为 $H[c_i(t)]$,则:

$$[0069] \quad H[c_i(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{c_i(\tau)}{t-\tau} d\tau$$

[0070] 记:第 i 阶本征模态函数分量的能量为 E_i , n 为信号经验模态分解的本征模态函数分量阶数, $a_i(t)$ 为分解得到的第 i 个本征模态函数分量的幅值, N 为每阶本征模态函数分量的数据点数, R_i 为第 i 阶的本征模态函数分量的能量比,则:

$$[0071] \quad E_i = \frac{\sum_{i=1}^N |a_i(t)|^2}{N} \quad (i=1,2,3,\dots,N)$$

$$[0072] \quad a_i(t) = \sqrt{c_i^2(t) + H^2[c_i(t)]}$$

$$[0073] \quad R_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^N E_i}$$

[0074] 如上所述得到全部阶次的IMF分量的能量后,再计算各阶IMF分量的方差,记: D_i 为第 i 阶本征模态函数分量的方差; $c_i(t)$ 表示第 i 阶本征模态函数分量; N 为信号经验模态分解的本征模态函数阶数; k 为每阶本征模态函数的数据点数; Δt 为电流信号的数据采集时间间隔,第 i 阶的本征模态函数分量的能量贡献率为 M_i ,则:

$$[0075] \quad M_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^N D_i}$$

$$[0076] \quad D_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |c_i(k\Delta t)|^2 - \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N c_i(k\Delta t) \right]^2$$

[0077] 根据所计算的各阶次本征模态函数分量的方差,计算得出各阶次本征模态函数分量的能量贡献率,取贡献率数值较大的前4阶本征模态函数分量用于获取最能有效反映电弧故障主要特征信息的自适应指示器,即,前4阶本征模态函数分量包含了存在电弧故障情况下的采样电流中故障特征的绝大部分信息。

[0078] 取方差贡献率数值较大的前4阶IMF分量,作为判断电弧故障的特征来源。这是考虑到经验模态分解后会得到多阶本征模态函数。如果直接利用极限学习机对每一个分量分别进行建模,会增大计算时间,影响判断速度。此外,不同工作条件下的电流信号分解出的本征模态函数的阶次数不一致,有些阶次的IMF分量可能是由于算法本身缺陷产生的虚假分量,并不能真实反映电弧故障的有限信息。因此,筛选出方差贡献率数值较大的前4阶IMF分量,因为前4阶IMF分量包含了电流故障特征的绝大部分信息。本实施例中采取前4阶本征模态函数分量作为有效反映电弧故障主要特征信息的自适应指示器,只是示例性说明本发明中自适应指示器的计算办法,由于采样时间周期、采样的数据点数及选取的本征模态函数阶次数不同,选取的作为自适应指示器的本征模态函数分量就不同。

[0079] 上述实施例中,计算前四阶IMF分量的能量比。由于不同工况电弧故障电流信号在同阶次IMF分量上有着不同的频率成分,且每个分量的幅值也相差很大。传统交流电弧故障检测方法中,直接使用能量作为特征量,不适用于直流电弧故障的检测。因此提出使用能量比作为表征电弧故障的特征,即前四阶IMF的能量分别占总体信号能量的比值,进而获取多个自适应指示器。

[0080] 将计算所得的自适应指示器作为已训练好的极限学习机输入,通过极限学习机的输出值来判断供电系统内是否存在电弧故障。

[0081] 可以设置一定的标准,判断故障信号是否达到触发标准,满足触发标准时发出切断支路信号或者触发电弧故障排除装置。

[0082] 在本发明的一些实施例中,通过极限学习机的输出值进行故障识别时,可以具体为如下步骤:

[0083] 用极限学习机输出0,代表系统处于正常状态;

[0084] 用极限学习机输出1,代表系统中存在电弧故障。

[0085] 当极限学习机输出1时,代表系统中产生电弧故障,可以触发电弧故障切断装置,及时切断产生电弧故障的支路,或者触发电弧故障排除装置,避免电弧故障影响系统稳定运行或者引发火灾危险。

[0086] 由于供电系统内可能存在暂态干扰类弧,也可能促使上述极限学习机输出故障信号,因此,将连续多个检测周期内的极限学习机的输出值分别乘以权值后再求和;再判断计算的求和结果大于或等于预设的第二阈值时,输出电弧故障信号。在本实施例中,例如,可以将连续10个时间段的极限学习机输出值乘以权值1后再求和,设定阈值为5,当所得求和结果大于或者等于设定阈值5,发出电弧故障切断信号,或者触发电弧故障切断装置,及时切断产生电弧故障的支路,避免电弧故障影响系统稳定运行或者引发火灾危险。此设计不仅能够有效识别供电系统内的电弧故障,还能够有效区分供电系统内的暂态干扰类弧情况,既避免了偶然因素引起直流电弧故障检测装置的误动作,又提升了供电系统工作的稳

定性,还保障了系统对电弧故障检测的有效性。另外,本实施例中,10个时间段内即可判断出电弧故障并发出切断支路信号,判断时长远小于UL1699B的标准,极限学习机对信号识别速度快,检测速度快,能够快速规避电弧故障所带来的火灾风险。

[0087] 本发明所提供的电弧故障检测方法扩展性好,由于具有适应性与自学习功能,可以快速学习其他供电系统内的电弧故障特性,因此可以适用于其他直流系统,比如电动汽车供电系统、大数据中心、光伏直流系统等。对于新的系统环境,只需继续加入新系统的样本数据,对极限学习机进行再训练,由于极限学习机学习速度极快、准确率高,因此本方法能够很好地扩展到其他直流系统中。

[0088] 如图3所示,图3中A时刻左侧表示正常情况下,稳定运行的供电系统中的电流波形和电压波形。由A时刻右侧的电压波形产生暂态上升突变可知,供电系统于A时刻产生电弧故障。其中,B区域中示意电弧故障产生前后,系统中的电压及电流发生暂态突变。

[0089] 图4示意本发明一实施例中稳定运行供电系统中产生电弧故障前后获取的自适应指示器值的曲线。通过对采样电流信号进行经验模态分解来获取稳定运行的供电系统中电流信号的特征量,即,获取各阶次本征模态函数分量,用前四阶IMF分量的能量分别占总体信号能量的比值作为自适应指示器值。图4中从下至上依次显示用一阶次IMF分量、二阶次IMF分量、三阶次IMF分量和四阶次IMF分量分别构造的自适应指示器值的曲线,从图4中可以看出,较低阶次的IMF分量对信号中细微特征的放大效果更显著。

[0090] 图5为本发明一实施例中电弧故障检测结果示意图,如图5所示,正常情况下,供电系统稳定运行,无故障信号产生;当电弧故障产生时,电弧故障检测结果为1,表示供电系统中产生了电弧故障。可以触发故障支路切断装置,及时切断产生电弧故障的支路,避免因电弧故障引发火灾危险。从图5中可以看出,运用本发明实施例中的电弧故障检测方法,能够在供电系统中产生电弧故障的0.25S内,输出有效的故障检测结果,以便于及时触发故障电路切断动作。

[0091] 如图6所示,图6中C时刻左侧表示正常情况下,稳定运行的暂态过渡供电系统中的电流波形和电压波形。由C时刻右侧的电压波形产生暂态上升突变可知,供电系统于C时刻产生电弧故障。其中,D区域中示意电弧故障产生前后,暂态过渡供电系统中的电压及电流发生暂态突变。

[0092] 图7示意本发明一实施例中稳定运行的暂态过渡供电系统中产生电弧故障前后获取的自适应指示器值的曲线。通过对采样电流信号进行经验模态分解来获取稳定运行的暂态过渡供电系统中电流信号的特征量,即,通过对采样电流信号进行经验模态分解,获取各阶次本征模态函数分量,用前四阶IMF分量的能量分别占总体信号能量的比值作为自适应指示器值。图7中从下至上依次显示用一阶次IMF分量、二阶次IMF分量、三阶次IMF分量和四阶次IMF分量分别构造的自适应指示器值的曲线,从图7中可以看出,较低阶次的IMF分量对信号中细微特征的放大效果更显著。

[0093] 图8为本发明一实施例中电弧故障检测结果示意图,如图8所示,正常情况下,暂态过渡供电系统稳定运行,无故障信号产生;当电弧故障产生时,电弧故障检测结果为1,表示暂态过渡供电系统中产生了类电弧故障。可以将连续10个时间段的极限学习机输出值乘以权值1后再求和,设定阈值为5,当所得求和结果大于或者等于设定阈值5,触发故障支路切断装置,及时切断产生电弧故障的支路,避免因电弧故障引发火灾危险。从图8中可以看出,

运用本发明实施例中的电弧故障检测方法,能够在暂态过渡供电系统中产生类电弧故障的0.25S内,输出有效的故障检测结果,以便于及时触发故障电路切断动作。

[0094] 本发明实施例中提供的电弧检测方法,在系统正常工作时不发生误判,不会将系统暂态干扰电流错误地判断为电弧故障电流;电弧故障发生时,检测算法基于连续多时间段的状态判别输出值进行加权求和计算,再计算结果达到预设的触发标准后再发出电弧故障信号,还能够在0.25s内发出切断电弧故障支路信号,及时切除电弧故障支路,准确率高,速度快;并且,本发明实施例中提供的电弧故障检测方法能够准确区分类弧和电弧故障,使得供电系统在出现暂态过渡等干扰因素的情况下仍能正常工作,保障供电系统安全、稳定与高效地运行。

[0095] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0096] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

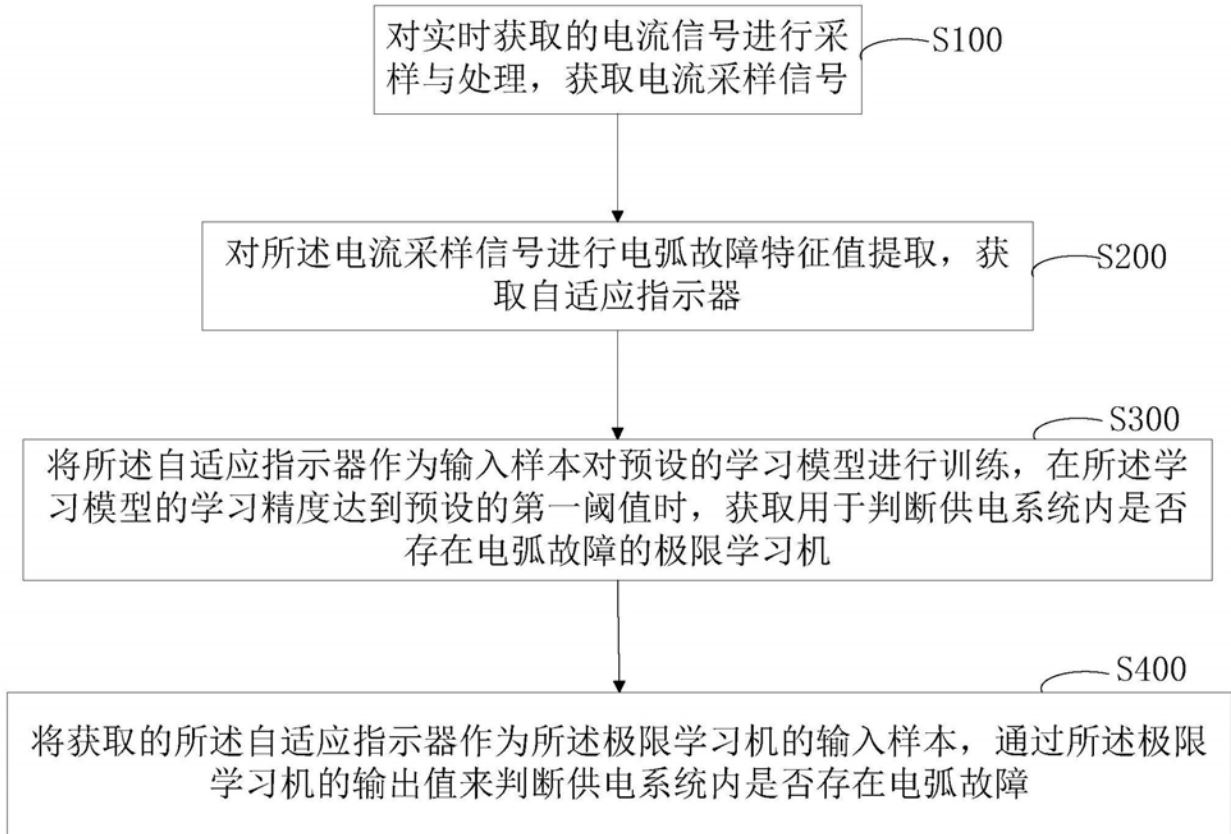


图1

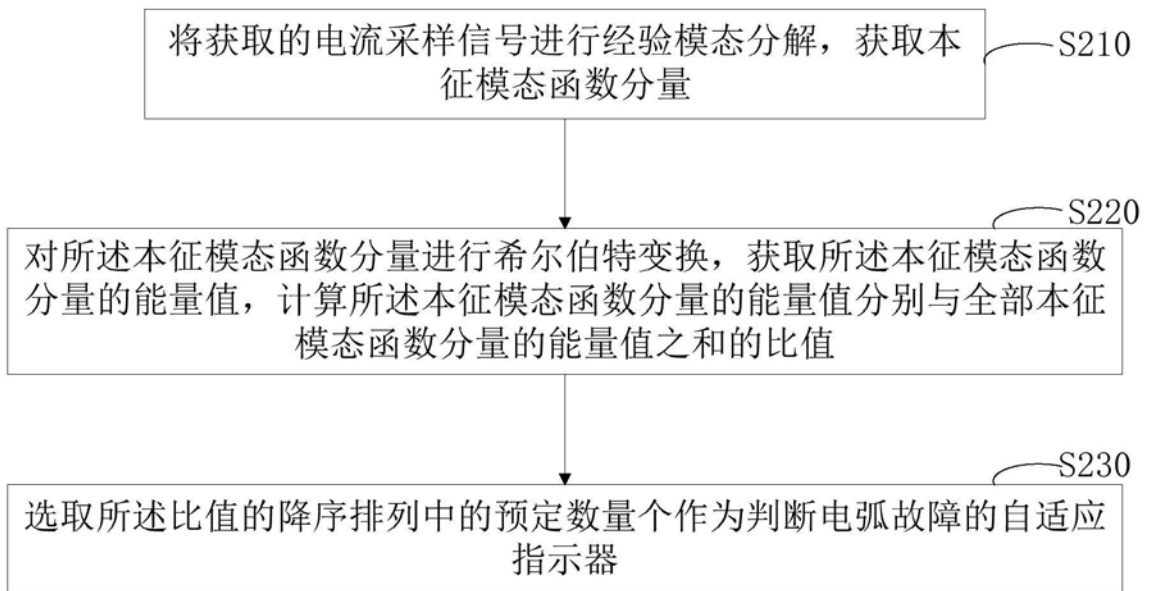


图2

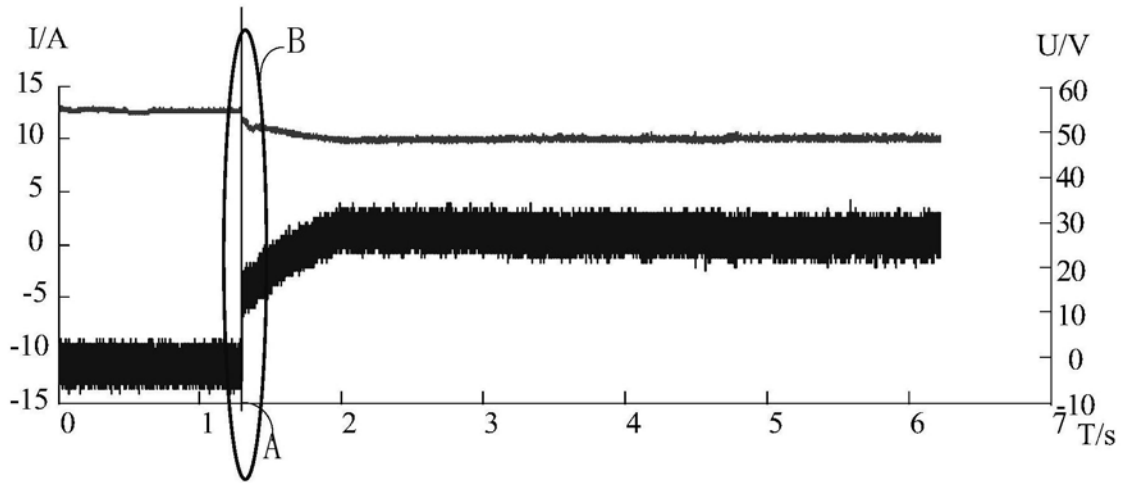


图3

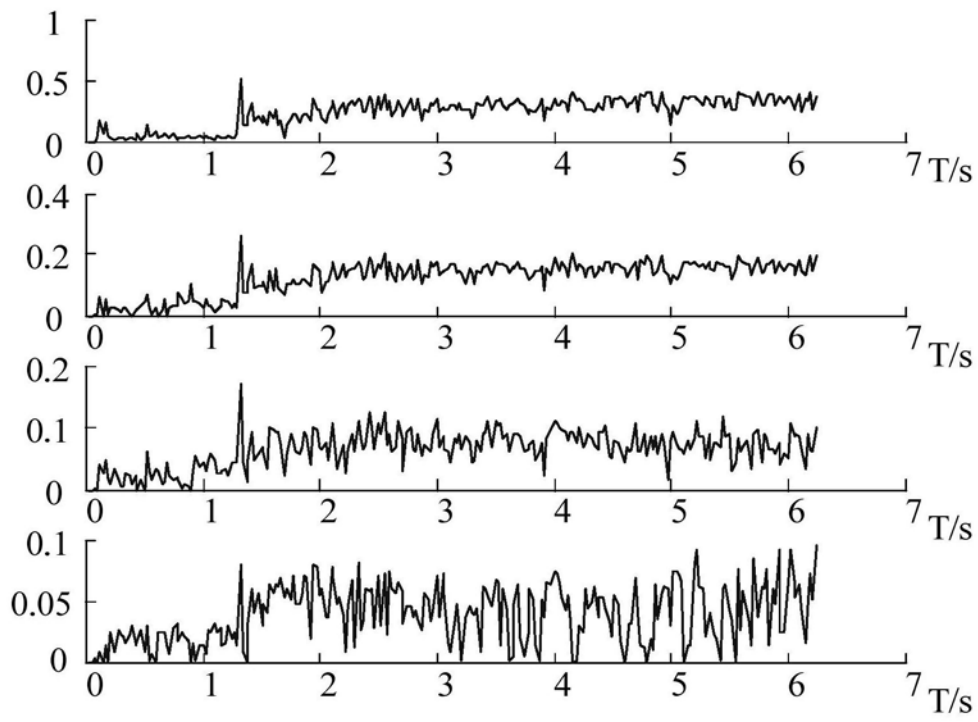


图4

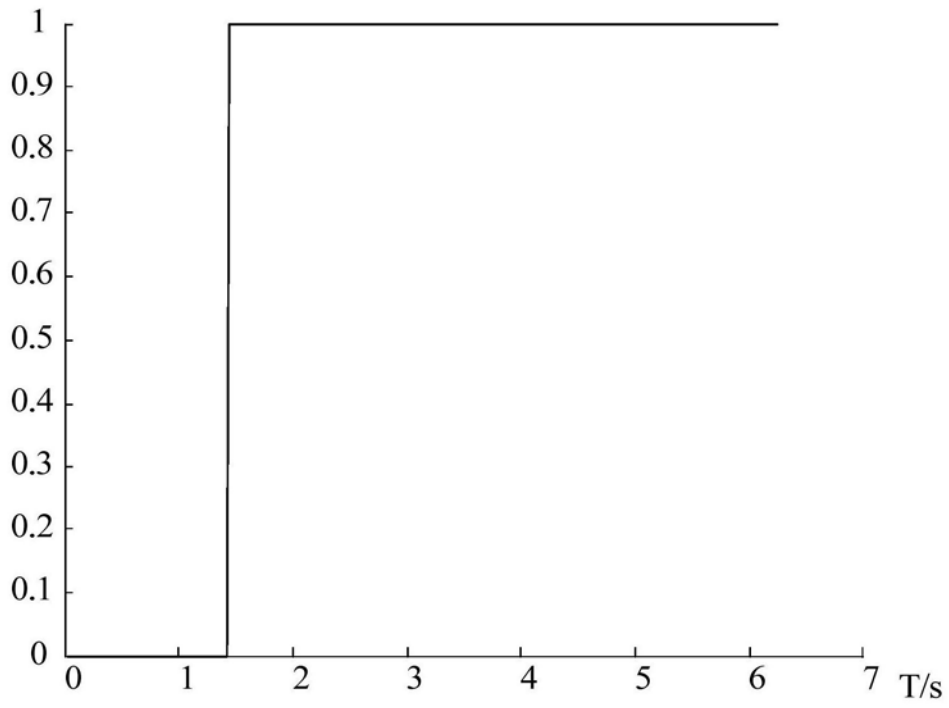


图5

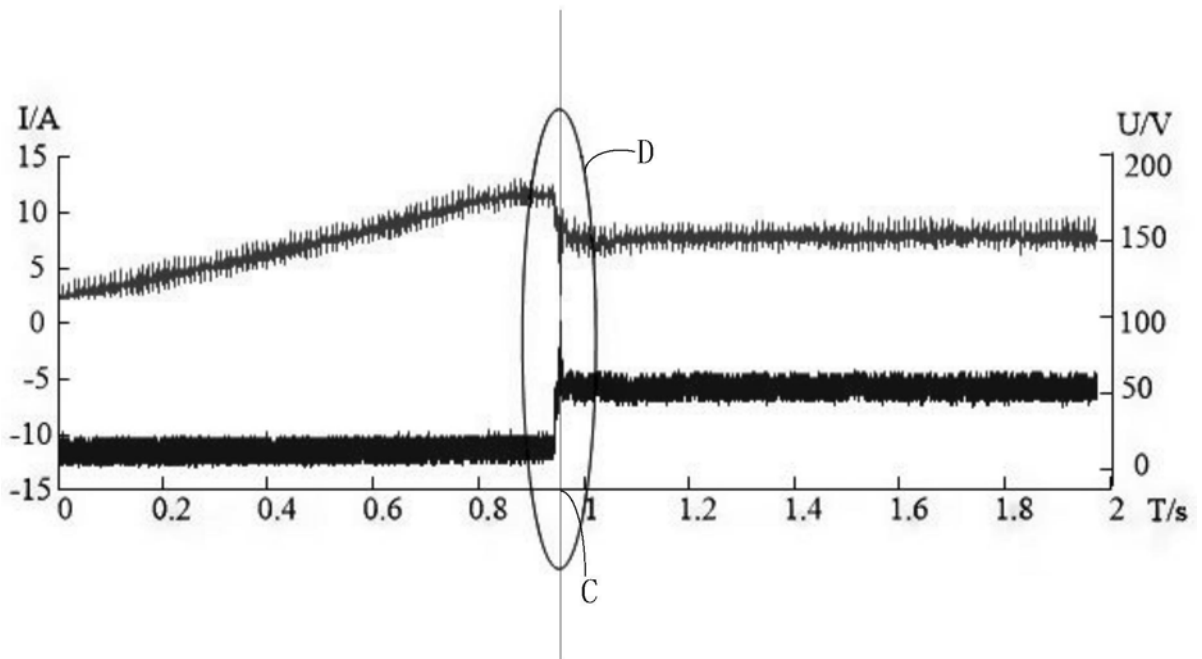


图6

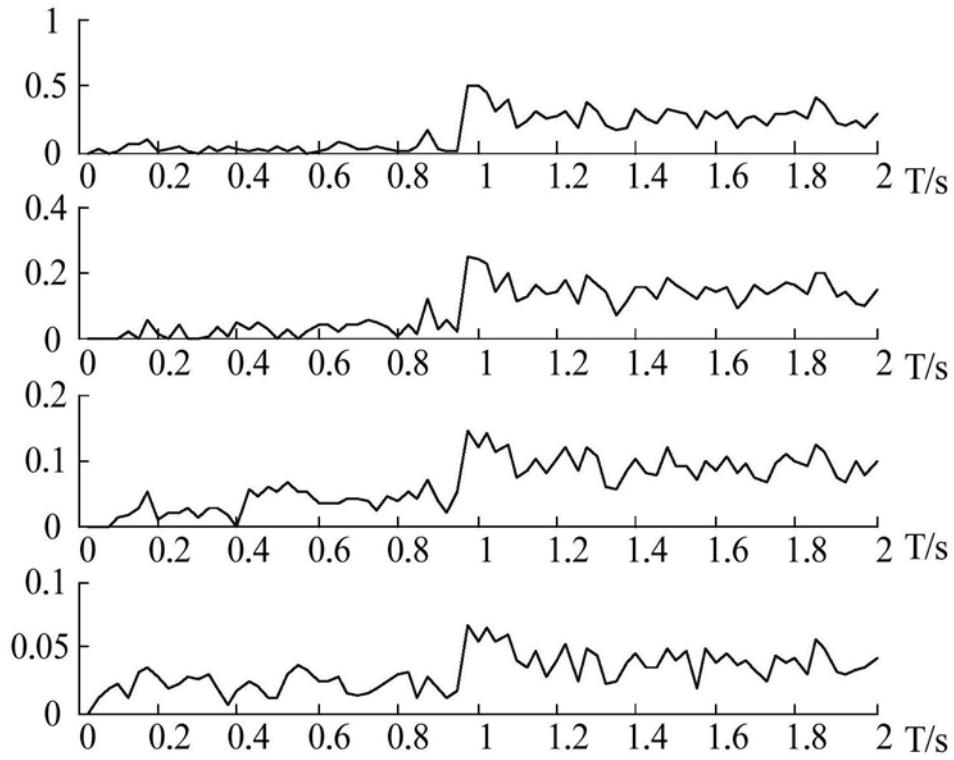


图7

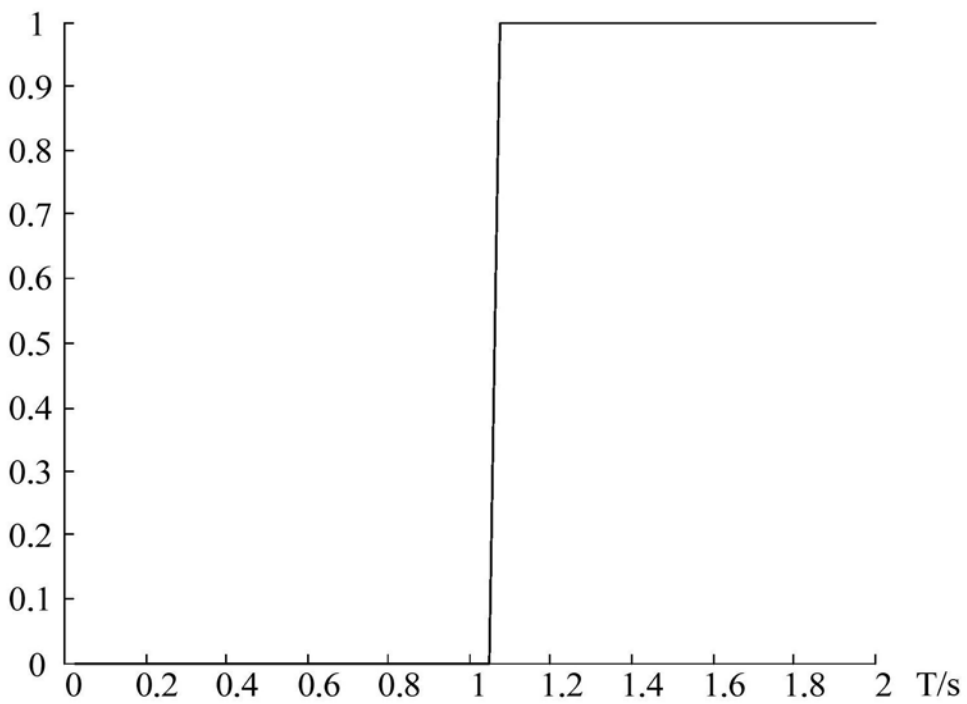


图8