



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115808600 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 17

(21) 申请号 202211421377.5

G06F 18/24 (2006.01)

(22) 申请日 2022.11.14

H02J 3/38 (2023.01)

(71) 申请人 正泰集团研发中心(上海)有限公司

地址 200042 上海市普陀区武宁路505号53
号楼501室

申请人 上海正泰电源系统有限公司

(72) 发明人 杨博 王世恩 张玉林 周旭

(74) 专利代理机构 北京卓言知识产权代理事务
所(普通合伙) 11365

专利代理师 王蒯智 刘蒙南

(51) Int. Cl.

G01R 31/12 (2020.01)

G01R 31/00 (2006.01)

G06F 18/10 (2023.01)

G06F 18/213 (2023.01)

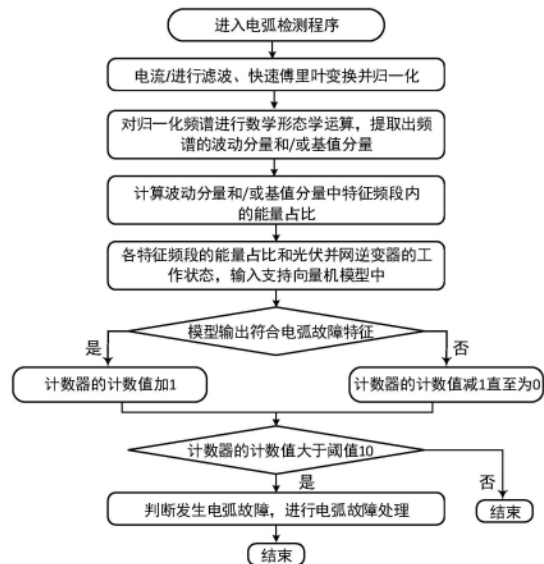
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法

(57) 摘要

一种基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,包括选取特征频段,提取电弧故障和正常工作状态下电气量频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比,建立并训练电弧检测模式识别模型;获取直流电力系统运行状态的电气量;提取运行状态的电气量频谱中基值分量或波动分量在各特征频段的能量占比;将各特征频段的能量占比以及运行状态的直流电力系统工作状态数据输入至电弧检测模式识别模型判断。本发明通过对电气量进行数学变换-数学形态学计算,从电气量频谱中提取多个电弧发生的特征频段的基值分量或波动分量的能量占比输入到电弧检测模式识别模型,进而判断是否发生串联电弧故障,受信号采样绝对值波动影响较小,精度高。



1. 一种基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤S1:获取电弧故障和正常工作两种状态下直流电力系统的电气量和工作状态数据,选取若干电弧发生的特征频段,基于数学变换-数学形态学,计算提取电弧故障和正常工作两种状态下电气量频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比,建立训练数据集,所述训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的能量占比,并基于模式识别算法和训练数据集建立并训练得到电弧检测模式识别模型;

所述数学变换-数学形态学计算包括如下步骤:

步骤a:将所获直流电力系统的电气量通过数学变换分别得到电气量的频谱;

步骤b:对电气量的频谱进行数学形态学运算获得频谱的基值分量和/或波动分量;

步骤c:根据所选取的多个特征频段,分别计算频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比;

步骤S2:获取运行状态下直流电力系统的电气量;

步骤S3:基于步骤S1的数学变换-数学形态学计算提取运行状态下电气量频谱中基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比;

步骤S4:将运行状态下的所述能量占比输入至所述电弧检测模式识别模型,通过所述电弧检测模式识别模型判断是否发生串联电弧故障。

2. 根据权利要求1所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤S1中,基于支持向量机或人工神经网络算法以及训练数据集建立并训练得到所述电弧检测模式识别模型。

3. 根据权利要求2所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:基于线性核函数的支持向量机建立并训练的电弧检测模式识别模型的计算过程简化为:

$$A^T X + b$$

其中,X为输入数据向量,A是和X维数相同的系数向量,b是一个常数。

4. 根据权利要求1所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,直流电力系统的电气量包括直流电流、直流电压、直流电流的分量或直流电压的分量。

5. 根据权利要求1所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,在获得电气量的频谱之前先滤除直流分量。

6. 根据权利要求5所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,首先求取电气量的平均值,通过使每个电气量减去平均值以滤除直流分量,然后再进行数学变换得到电气量的频谱。

7. 根据权利要求1所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,在获得电气量的频谱后,对频谱进行归一化处理。

8. 根据权利要求7所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,计算电气量的频谱的有效值,将频点幅值除以有效值得到归一化频谱。

9. 根据权利要求1、5、6、7或8所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在于:在步骤a中,通过快速傅里叶变换得到电气量的频谱。

10. 根据权利要求1所述的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,其特征在

于:在步骤b中,利用数学形态学的算法腐蚀运算、或膨胀运算、或由腐蚀运算和膨胀运算组合的复合运算处理频谱。

基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及直流电力系统保护领域,具体涉及基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法。

背景技术

[0002] 在直流电力系统中,由于接插件松脱、线缆材料老化等原因可能会引发电弧故障,而直流电弧容易维持稳定燃烧,其产生的热量经过积累可产生上千度高温,从而引发火灾。

[0003] 目前,直流电力系统中得到较多应用的是光伏发电系统,其典型结构如图1所示,主要包括光伏电池阵列、光伏并网逆变器和电网。光伏电池阵列通常包含一路或多路光伏电池组串(图1仅示出一路),光伏并网逆变器通常包括一个或多个MPPT单元(图1仅示出一个)和并网逆变器。光伏发电系统直流侧接线端子很多,因此发生电弧危害的可能性较高,是影响系统安全运行的关键问题。

[0004] 在光伏发电系统中,按故障电弧发生位置不同,可将故障电弧分为三类,包括串联电弧、并联电弧和对地电弧,在图1中A为组内串联电弧,B为组内并联电弧,C和D为接地电弧,其中并联电弧和对地电弧发生的可能性较小,而且发生时系统电流迅速增大,可以利用电流阈值法检出,然而,串联电弧发生的可能性和频次最高,在出现串联电弧的系统中,直流电压和直流电流幅值不会发生明显变化,这使得串联电弧的检测变得极为困难。

[0005] 针对不同的物理现象,直流电弧检测和定位方法可以分为基于辐射特性和基于电流特性的方法。在直流电弧发生时,通常伴随发热、发光、噪声和电磁辐射的现象,可以据此进行基于辐射特性的电弧检测,但该类方法受环境因素影响较大,通常适用于密闭空间,而光伏发电系统的范围较大且通常在室外,因此该类方法并不适用。在串联电弧发生后,电弧可等效为一个非线性时变电阻,在电流中产生扰动。基于电流特性的方法会采集一段时间的电流信号,并对信号进行快速傅里叶变换、小波变换等数学处理手段,从中提取信号的时域特征、频域特征和时频域特征等。常见的时域特征包括电流的方差、峰峰值、变化率、峭度、波形因子、熵等;电弧对频谱的影响通常在几千赫兹至几十千赫兹,常见的频域特征包括特征频段的最大值、能量占比和方差等;常见的时频域特征包括各小波能量占比、奇异值、模极大值和熵等。提取到电流信号的特征值后可以根据提前整定好的阈值,以及特征值随时间的变化情况对电弧故障进行判断。这类方法受光伏逆变器工作状态的影响较大,阈值整定困难,容易造成误报或漏报。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于克服现有技术的缺陷,提供一种基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,该方法具备受外界影响小、检测方便且精度较高的优点。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用了如下技术方案:

[0008] 一种基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,包括如下步骤:

[0009] 步骤S1:获取电弧故障和正常工作两种状态下直流电力系统的电气量和工作状态

数据,选取若干电弧发生的特征频段,基于数学变换-数学形态学,计算提取电弧故障和正常工作两种状态下电气量频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比,建立训练数据集,所述训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的能量占比,并基于模式识别算法和训练数据集建立并训练得到电弧检测模式识别模型;

[0010] 所述数学变换-数学形态学计算包括如下步骤:

[0011] 步骤a:将所获直流电力系统的电气量通过数学变换分别得到电气量的频谱;

[0012] 步骤b:对电气量的频谱进行数学形态学运算获得频谱的基值分量和/或波动分量;

[0013] 步骤c:根据所选取的多个特征频段,分别计算频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比;

[0014] 步骤S2:获取运行状态下直流电力系统的电气量;

[0015] 步骤S3:基于步骤S1的数学变换-数学形态学计算提取运行状态下电气量频谱中基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比;

[0016] 步骤S4:将运行状态下的所述能量占比输入至所述电弧检测模式识别模型,通过所述电弧检测模式识别模型判断是否发生串联电弧故障。

[0017] 优选的,在步骤S1中,基于支持向量机或人工神经网络算法以及训练数据集建立并训练得到所述电弧检测模式识别模型。

[0018] 优选的,基于线性核函数的支持向量机建立并训练的电弧检测模式识别模型的计算过程简化为:

[0019] $A^T X + b$

[0020] 其中, X 为输入数据向量, A 是和 X 维数相同的系数向量, b 是一个常数。

[0021] 优选的,在步骤a中,直流电力系统的电气量包括直流电流、直流电压、直流电流的分量或直流电压的分量。

[0022] 优选的,在步骤a中,在获得电气量的频谱之前先滤除直流分量。

[0023] 优选的,在步骤a中,首先求取电气量的平均值,通过使每个电气量减去平均值以滤除直流分量,然后再进行数学变换得到电气量的频谱。

[0024] 优选的,在步骤a中,在获得电气量的频谱后,对频谱进行归一化处理。

[0025] 优选的,在步骤a中,计算电气量的频谱的有效值,将频点幅值除以有效值得到归一化频谱。

[0026] 优选的,在步骤a中,通过快速傅里叶变换得到电气量的频谱。

[0027] 优选的,在步骤b中,利用数学形态学的算法腐蚀运算、或膨胀运算、或由腐蚀运算和膨胀运算组合的复合运算处理频谱。

[0028] 优选的,在步骤b中,对频谱或归一化频谱进行腐蚀运算和膨胀运算组合的复合运算,得到频谱或归一化频谱的基值分量和/或波动分量。

[0029] 优选的,在步骤S3中,选取20kHz-28kHz、36kHz-44kHz以及52kHz-60kHz作为电弧发生的特征频段。

[0030] 优选的,在步骤S4中,电弧检测模式识别模型的计数器设置有阈值,当计算结果符合电弧故障特征,计数器累加计数,若计数器的计数值大于阈值,则判断直流电力系统中发生了电弧故障。

[0031] 优选的,在步骤S1中,基于各特征频段的能量占比转化计算各特征频段的特征值,训练数据包括电弧故障和正常工作两种状态下的各特征频段的特征值,

[0032] 计算公式为:

[0033] 特征值 = $\ln\left(\text{波动分量的能量占比} \times \frac{\text{全频段幅值平方和}}{\text{特征频段长度}} + k\right)$, 其中k为调节

系数,

[0034] 在步骤S3中,根据步骤S1中公式,将运行状态下各特征频段的能量占比转化为各特征频段的特征值,

[0035] 在步骤S4中,将运行状态下的各特征频段的特征值输入至电弧检测模式识别模型。

[0036] 基于数学形态学和模式识别建立并训练电弧检测模式识别模型,通过对电气量进行数学变换-数学形态学计算,从电气量频谱中提取多个电弧发生的特征频段的基值分量和/或波动分量的能量占比输入到电弧检测模式识别模型,进而判断是否发生串联电弧故障。由于通过数学形态学去除了频谱的基值成分,受信号采样绝对值波动影响较小,因此相比现有提取电流信号特征值与阈值相比的检测方法,具备受外界影响小、精度高的优点。

[0037] 此外,各特征频段的能量占比转化为各特征频段的特征值,利于模型计算,利于提高计算精度。

附图说明

[0038] 图1是背景技术中直流电力系统的示意图;

[0039] 图2是本发明中直流电力系统的示意图;

[0040] 图3是本发明的电弧检测算法流程图;

[0041] 图4是一组将直流电流分量滤除的正常电流波形图;

[0042] 图5是一组将直流电流分量滤除的电弧故障电流波形图;

[0043] 图6是正常电流、故障电流经过FFT分析后的频谱;

[0044] 图7是正常电流、故障电流在全频段的波动分量频谱;

[0045] 图8是多组正常电流、故障电流在三个频段(20kHz-28kHz、36kHz-44kHz、52kHz-60kHz)的特征值分布图。

具体实施方式

[0046] 以下结合附图给出的实施例,进一步说明本发明的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法的具体实施方式。本发明的基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法不限于以下实施例的描述。

[0047] 一种基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法,包括如下步骤:

[0048] 步骤S1:获取电弧故障和正常工作两种状态下直流电力系统的电气量,选取若干电弧发生的特征频段,基于数学变换-数学形态学,计算提取电弧故障和正常工作两种状态下电气量频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比,建立训练数据集,训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的能量占比,并基于模式识别算法和训练数据集建立并训练得到电弧检测模式识别模型;

- [0049] 所述数学变换-数学形态学计算包括如下步骤：
- [0050] 步骤a:将所获直流电力系统的电气量通过数学变换分别得到电气量的频谱；
- [0051] 步骤b:对电气量的频谱进行数学形态学运算获得频谱的基值分量和/或波动分量；
- [0052] 步骤c:根据所选取的多个特征频段,分别计算频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比；
- [0053] 步骤S2:获取运行状态下直流电力系统的电气量；
- [0054] 步骤S3:基于步骤S1的数学变换-数学形态学,计算提取运行状态下电气量频谱中基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比；
- [0055] 步骤S4:将运行状态下的所述能量占比输入至所述电弧检测模式识别模型,通过所述电弧检测模式识别模型判断是否发生串联电弧故障。本发明基于数学形态学和模式识别建立并训练电弧检测模式识别模型,通过对电气量进行数学变换-数学形态学计算,从电气量频谱中提取多个电弧发生的特征频段的基值分量和/或波动分量的能量占比输入到电弧检测模式识别模型,进而判断是否发生串联电弧故障。由于通过数学形态学去除了频谱的基值成分,受信号采样绝对值波动影响较小,因此相比现有提取电流信号特征值与阈值相比的检测方法,具备受外界影响小、精度高的优点。
- [0056] 结合图2、3提供一个具体实施例,本发明可以应用在光伏发电系统、储能系统、直流微电网等领域,本实施例以光伏发电系统为例。
- [0057] 光伏发电系统主要包括光伏电池阵列、光伏并网逆变器和电网,光伏电池阵列包括一路或多路光伏电池组串,光伏并网逆变器包括一个或多个MPPT单元和并网逆变器,如图2所示,本实施例的光伏发电系统包括一路光伏电池组串以及与一路光伏电池组串连接的光伏并网逆变器,所述光伏并网逆变器包括开关S、一个MPPT单元、逆变器以及控制器,开关S连接于光伏电池组串与MPPT之间,控制器包括采样模块或采样电路,通过采样模块或采样电路分别采集光伏并网逆变器的电气量数据,当光伏发电系统工作时,闭合光伏并网逆变器的开关S,控制器采集到MPPT单元的输入电流 I_{pv} ,输入电压为 U_{pv} ,输出给逆变器的电压为 U_{bus} 。
- [0058] 基于数学形态学和模式识别的直流电弧检测方法包括如下步骤：
- [0059] 步骤S1:首先,采集大量的电弧故障和正常工作两种状态下的直流电力系统的电气量和直流电力系统的工作状态数据,随后,对采集到的电弧故障和正常工作两种状态下的直流电力系统的电气量通过数学变换-数学形态学计算,从电弧故障和正常工作两种状态的电气量频谱中提取基值分量和/或波动分量,选取若干电弧发生的特征频段,计算得到各特征频段的能量占比,
- [0060] 建立训练数据集,训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的波动分量能量占比,或训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的基值分量能量占比,或,训练数据集包括电弧故障和正常工作两种状态下的波动分量能量占比和基值分量能量占比,另外,训练数据集还可以包括直流电力系统的工作状态数据；
- [0061] 最后,基于模式识别算法以及训练数据集建立并训练电弧检测模式识别模型,模式识别算法可以采用支持向量机和人工神经网络等算法。训练数据集优选通过数据库方式存储,当然也可以通过xml文本或其它方式存储。

[0062] 在本实施例中,优选基于线性核函数的支持向量机建立并训练的电弧检测模式识别模型以减小计算量,模型的计算过程简化为:

$$[0063] \quad A^T X + b$$

[0064] 其中,X为输入数据向量,A是和X维数相同的系数向量,b是一个常数.A和b均可以提前通过模型训练得到.具体的,数学变换-数学形态学计算方法包括如下步骤:

[0065] 步骤a:电弧故障状态的电气量、正常工作状态的电气量分别通过数学变换,也就是电气量的时域与频域的变换,对应地得到电弧故障状态下电气量的频谱、正常工作状态下电气量的频谱,其中数学变换优选为快速傅里叶变换.在本实施例中,电气量的频谱以F表示.在本实施例中,正常电流、故障电流经过FFT分析后的频谱参见图6。

[0066] 优选的,在进行快速傅里叶变换之前,首先滤除直流分量,具体过程为,求取电流平均值 I_{ave} ,每个采集到的电流值减去 I_{ave} 。当然,也可以省略滤除直流,因为去除直流分量的步骤并不是必须的,但是该步骤利于之后的信号处理过程。

[0067] 在得到电气量的频谱F后,优选对频谱F进行归一化处理,具体为,计算频谱F的有效值,频谱F中各频点幅值除以有效值得到归一化的频谱 F_n 。当然,也可以直接利用频谱F进行下一步计算,但经过归一化处理后利于提升算法的准确性。

[0068] 步骤b:对电气量的频谱进行数学形态学运算获得频谱的基值分量和/或波动分量,数学形态学优选包括腐蚀运算、膨胀运算以及腐蚀运算和膨胀运算组合的复合运算,本实施例中,也就是分别处理电弧故障状态、正常工作状态的频谱,对应的获得直流电力系统在两种状态下的频谱的基值分量和波动分量,其中频谱以F表示,基值分量以 F_b 表示,波动分量以 F_m 表示,确定数学形态学运算的结构元素 $g(m) = [0, 0, 0, 0, 0]^T$ 以及偏移量为L,腐蚀运算和膨胀运算为:

$$[0069] \quad \text{腐蚀 } \ominus : (F_n \ominus g)(n) = \min[F_n(n+m-L) - g(m)] \quad m \in 0, 1, \dots, M-1;$$

$$[0070] \quad \text{膨胀 } \oplus : (F_n \oplus g)(n) = \max[F_n(n-m+L) + g(m)] \quad m \in 0, 1, \dots, M-1。$$

[0071] 具体提供一种具体数学形态学运算,本实施例优选扁平状结构元素 $g(m) = [0, 0, 0, 0, 0]^T$,偏移量L为2;

[0072] 对归一化的频谱 F_n 进行腐蚀-膨胀-膨胀-腐蚀运算,得到频谱的基值分量 F_{b1} 为:

$$[0073] \quad F_{b1} = \left(\left(\left((F_n \ominus g) \oplus g \right) \oplus g \right) \ominus g \right);$$

[0074] 对归一化的频谱 F_n 进行膨胀-腐蚀-腐蚀-膨胀运算,得到频谱的基值分量 F_{b2} 为:

$$[0075] \quad F_{b2} = \left(\left(\left((F_n \oplus g) \ominus g \right) \ominus g \right) \oplus g \right);$$

[0076] 求取基值分量 F_{b1} 和 F_{b2} 的平均值,以去除量纲,归一化的频谱 F_n 的基值分量 F_b 为:

$$[0077] \quad F_b = 0.5 \cdot (F_{b1} + F_{b2}); \text{ 归一化的频谱 } F_n \text{ 的波动分量 } F_m \text{ 为:}$$

$$[0078] \quad F_m = F_n - F_b。$$

[0079] 需要说明的是,数学形态学运算、组合方式以及采用的结构元素不做具体限制,另外,也可以直接对频谱F进行上述数学形态学运算.本实施例获得的正常电流、故障电流在全频段的波动分量参见图7.需要说明的是,本实施例图7以提取波动分量在各特征频段的能量占比进行说明,作为其它实施例,提取基值分量能量占比也是可以的,当然,也可以同

时利用基值分量能量占比与波动分量能量占比结合使用,此时需要建立相应的训练数据集。

[0080] 步骤c:根据所选取的电弧发生的多个特征频段,分别计算频谱的基值分量和/或波动分量在各特征频段的能量占比,再基于各特征频段的能量占比计算特征值,也就是,分别计算电弧故障状态下基值分量和/或波动分量的能量占比、正常工作状态下基值分量和/或波动分量的能量占比,本实施例中,分别计算电弧故障状态以及正常工作状态下的波动分量能量占比,也就是由电弧故障和正常工作两种状态下的波动分量能量占比组建成训练数据集,当然训练数据集也可以包括该两种状态下直流电力系统的工作状态数据。

[0081] 本实施例选取20kHz-28kHz、36kHz-44kHz以及52kHz-60kHz作为电弧发生的特征频段,但电弧发生的特征频段并不限于上述频段,随后分别计算波动分量 F_m 在每个特征频段的能量占比,其计算方法为特征频段的频谱幅值的平方和除以整个频谱的平方和。

[0082] 优选的,将各特征频段的波动分量能量占比转化为各特征频段的特征值,此时训练数据集包括由电弧故障和正常工作两种状态下的波动分量能量占比分别转化的特征值,利于模型计算,提高精确度,当然,直接使用各特征频段的能量占比进行模型训练以及进行判断是否发生串联电弧故障也是可以的。

[0083] 结合图8提供本实施例在建立模型时多组正常电流、故障电流在三个频段的特征值分布,其中以“○”表示正常电流特征值,以“*”表示故障电流特征值,其中各频段的特征值的计算方法是

[0084] 特征值 = $\ln\left(\text{波动分量的能量占比} \times \frac{\text{全频段幅值平方和}}{\text{特征频段长度}} + k\right)$,其中k为调节系数,优选k大于0,且小于或等于0.3,本实施例中k=0.1。

[0085] 另外,训练数据集还可以包括工作状态数据,也就是在电弧故障或正常工作两种状态下的运行数据,具体在本实施例中,将本实施例中各个频段的能量占比、MPPT单元的输入电流 I_{pv} ,输入电压为 U_{pv} ,输出给逆变器的电压为 U_{bus} 等变换器工作信息输入到电弧检测模式识别模型,计算模型的输出,也就是说,本实施例中工作状态数据包括MPPT单元的输入电流 I_{pv} ,输入电压为 U_{pv} ,输出给逆变器的电压为 U_{bus} ,根据不同的电器设备,其工作状态数据有所不同,同一电器设备其工作状态数据也可以不同,例如,若直流电力系统包括隔离开关,训练数据集还可以包括其工作状态数据,工作状态数据包括隔离开关在运行过程中产生的噪音等环境数据,若不包括隔离开关,则直流电力系统的工作状态数据只需考虑设备的电流电压等数据。根据不同的电器设备,其工作状态数据有所不同,同一电器设备其工作状态数据也可以不同。

[0086] 步骤S2:获取直流电力系统运行状态的电气量,也就是由执行电弧检测模式识别模型的控制器的采样模块或采样电路采集MPPT单元的输入电流I。当训练数据集还包括工作状态数据时,还需要采集直流电力系统运行状态的工作状态数据,例如噪音等环境数据。

[0087] 需要说明的是,在本实施例中,在正常状态、电弧故障状态或运行状态下,所获的直流电力系统的电气量包括直流电流、直流电压、直流电流的分量或直流电压的分量,也就是由采样模块或采样电路采集的信号可以是直流电流或者直流电压,或者采集直流电流或直流电压中的部分分量,例如高频分量、特定频段的分量。在本实施例中,直流电压相比直流电流效果略差,优选采集信号为直流电流。

[0088] 本实施例中,正常电流波形图参见图4,电弧故障电流波形图参见图5,图4、5的信

号长度均为1024个采集信号。

[0089] 步骤S3:基于步骤S1中的数学变换-数学形态学,计算提取运行状态的电气量频谱中各特征频段的波动分量能量占比,在步骤S3和步骤S1中,所选取的电弧发生的多个特征频段相同,数学变换-数学形态学计算方法相同。

[0090] 当然,在步骤S1的建模过程中将各特征频段的能量占比转化为各特征频段的特征值时,步骤S3中也需要将运行状态时各特征频段的能量占比转化为各特征频段的特征值。

[0091] 步骤S4:将各特征频段的能量占比或特征值输入至电弧检测模式识别模型,由电弧检测模式识别模型判断是否发生串联电弧故障。本发明的关键在于至少需电气量中提取的各特征频段的能量占比(或由各特征频段的能量占比调整的特征值)。

[0092] 在本实施例中,电弧检测模式识别模型的计数器设置有阈值,当电弧检测模式识别模型判定符合电弧故障特征,计数器累加计数,计数器加1,否则计数器累减直到为0,也就是计数器减1直到为0,若计数器的计数值大于阈值,则判断直流电力系统发生的串联电弧故障,以提高检测准确性,例如本实施例中,阈值选取10。当然,也可以不设置阈值,当电弧检测模式识别模型判定符合电弧故障特征时,直接就认为发生串联电弧故障。

[0093] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

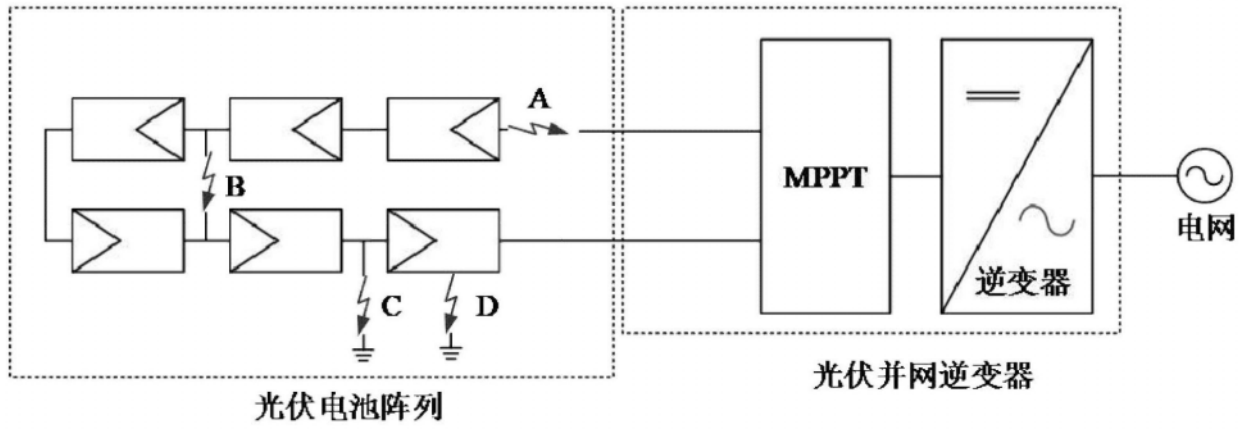


图1

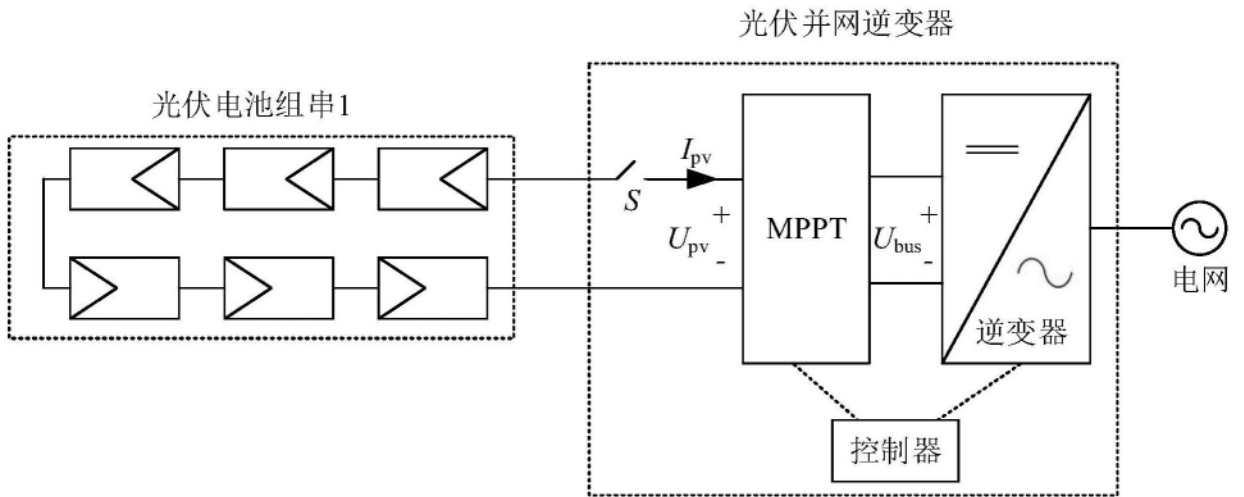


图2

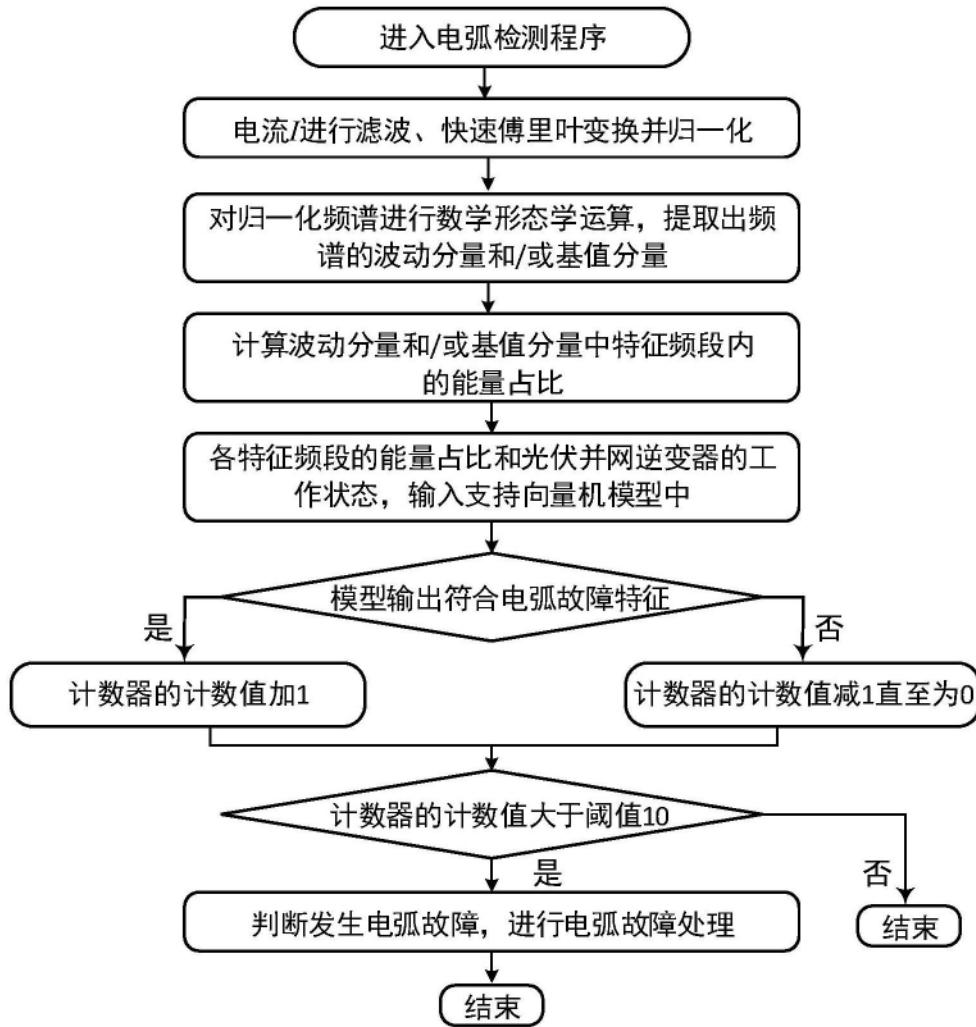


图3

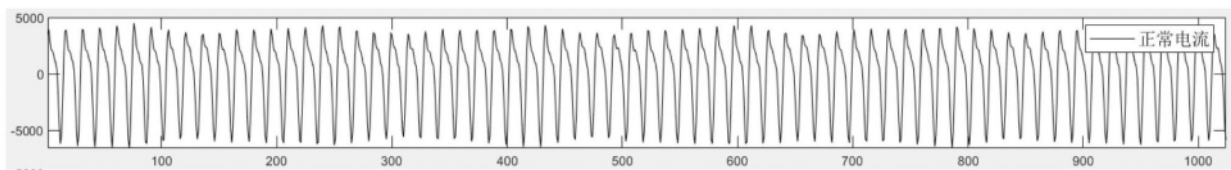


图4

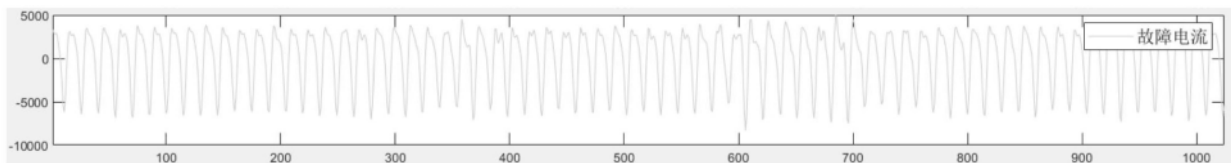


图5

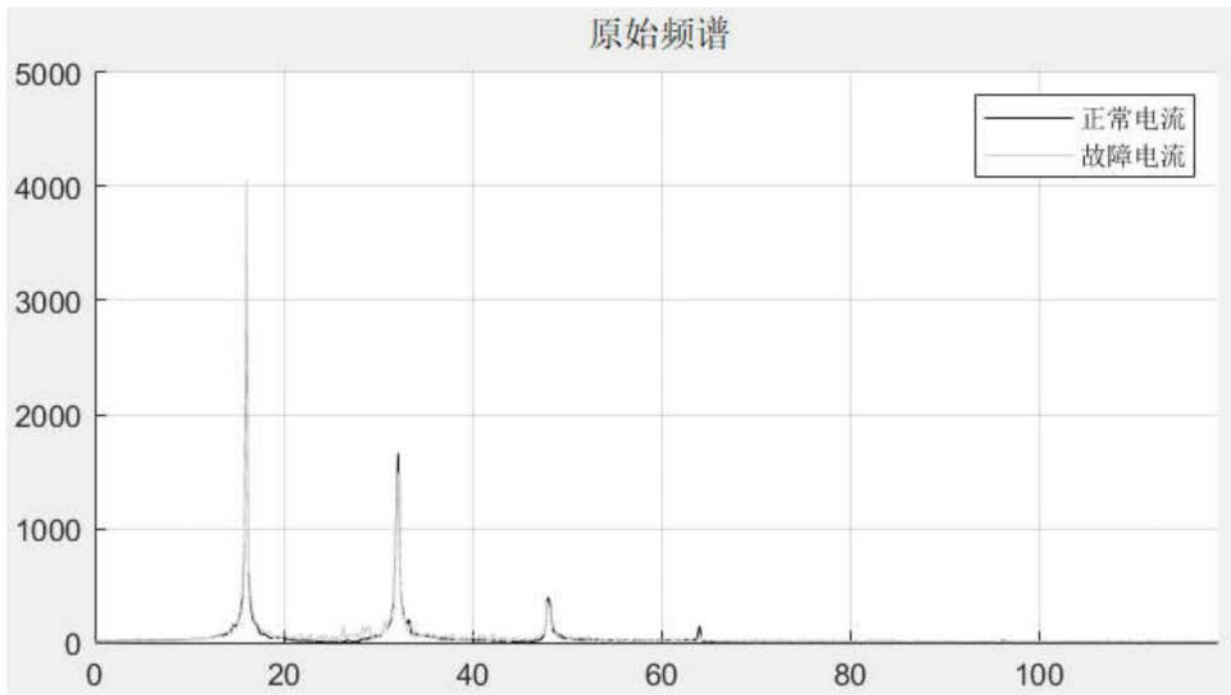


图6

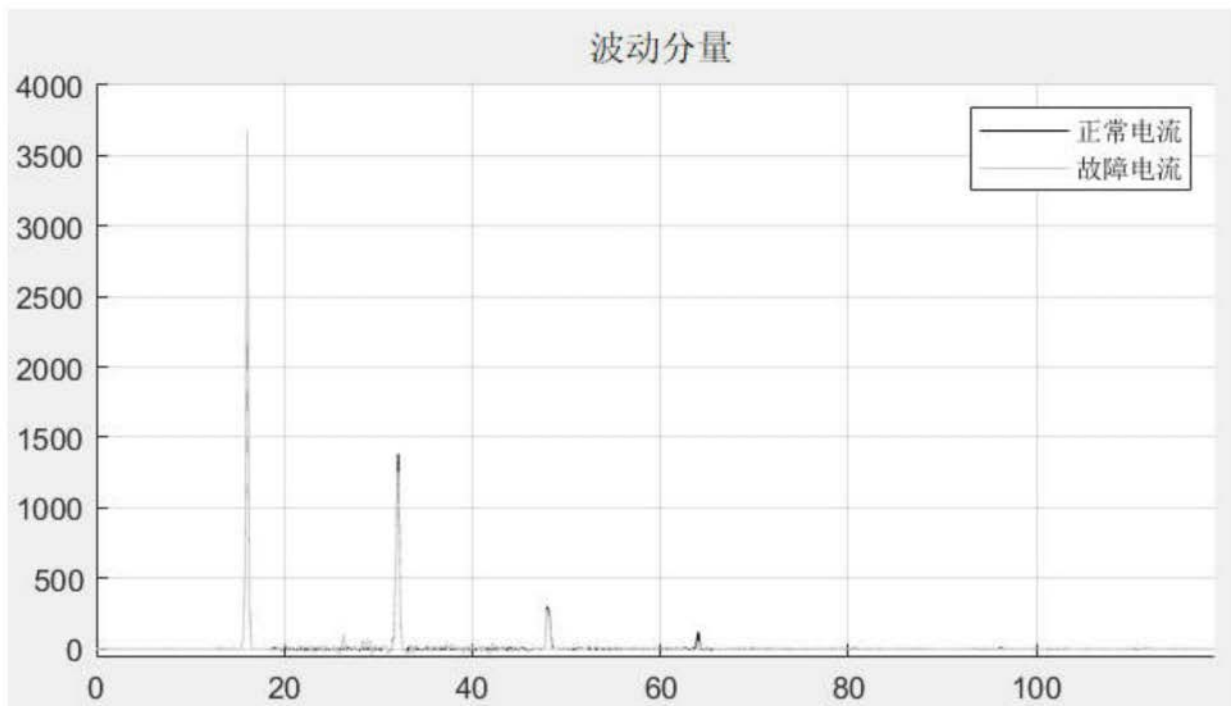


图7

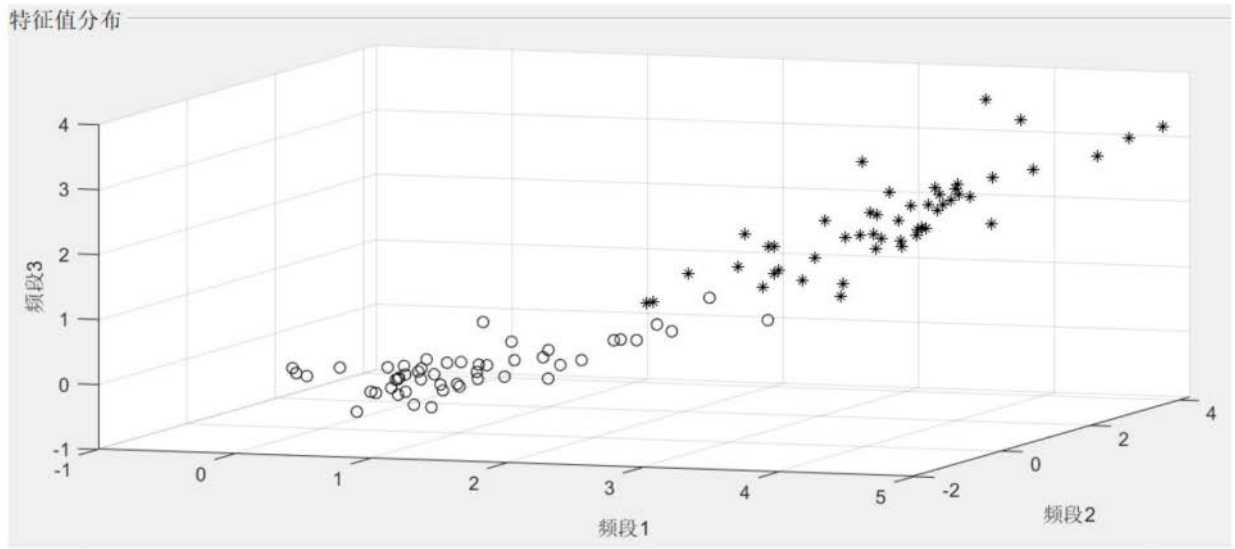


图8