



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110441663 B

(45) 授权公告日 2021.05.07

(21) 申请号 201910777464.6

审查员 黄伟

(22) 申请日 2019.08.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110441663 A

(43) 申请公布日 2019.11.12

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72) 发明人 周学 周雨馨 白天宇 翟国富

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 时起磊

(51) Int. Cl.
G01R 31/12 (2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

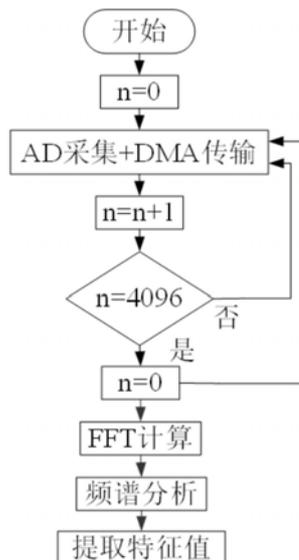
(54) 发明名称

一种基于频域阶段性比值判断直流串联电
弧故障的方法

(57) 摘要

一种基于频域阶段性比值判断直流串联电
弧故障的方法,它属于直流电弧故障检测技术领
域。本发明通过计算直流供电回路电流频谱中12
个频段各自的幅值和,形成6组比值关系作为特
征值 $R_{arc1} \sim R_{arc4}$ 、 $S_{R_{arc1}}$ 、 $S_{R_{arc2}}$,同时找出回路
电流频谱中第75~125共51点中的幅值最大值,
计算幅值最大值的50倍与其他50个点和的比值,
将比值作为特征值E。当7组特征值在四次数据采
集周期中,有两次或两次以上满足阈值条件,即
可确认直流供电系统中发生了直流串联电弧故
障。本发明可以应用于直流供电系统中的直流串
联电弧故障检测。

CN 110441663 B



1. 一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、开始直流供电系统回路电流值的第一周期数据的实时采集;

步骤二、根据采集的第一周期数据,通过快速傅里叶变换计算回路电流频谱波形;

步骤三、将回路电流频谱波形划分为M个不同的频率段,并将每个频率段中包含的频率点对应的幅值相加,分别获得各频率段对应的频率点幅值和;

步骤四、利用各频率段对应的频率点幅值和,计算电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值,以及开关电源负载条件下的特征值;

所述电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值的个数为四个,四个特征值分别表示为: R_{arc1} 、 R_{arc2} 、 R_{arc3} 和 R_{arc4} , R_{arc1} 、 R_{arc2} 、 R_{arc3} 和 R_{arc4} 的计算方法为:

$$R_{arc1} = \text{sum1}/\text{sum2}$$

$$R_{arc2} = \text{sum3}/\text{sum4}$$

$$R_{arc3} = \text{sum5}/\text{sum6}$$

$$R_{arc4} = \text{sum7}/\text{sum8}$$

其中:sum1为第1个频率段中频率点的幅值和,sum2为第2个频率段中频率点的幅值和,sum3为第3个频率段中频率点的幅值和,sum4为第4个频率段中频率点的幅值和,sum5为第5个频率段中频率点的幅值和,sum6为第6个频率段中频率点的幅值和,sum7为第7个频率段中频率点的幅值和,sum8为第8个频率段中频率点的幅值和;

所述开关电源负载条件下的特征值的个数为两个,两个特征值分别表示为: $S_{R_{arc1}}$ 和 $S_{R_{arc2}}$, $S_{R_{arc1}}$ 和 $S_{R_{arc2}}$ 的计算方法为:

$$S_{R_{arc1}} = \text{sum9}/\text{sum10}$$

$$S_{R_{arc2}} = \text{sum11}/\text{sum12}$$

其中:sum9为第9个频率段中频率点的幅值和,sum10为第10个频率段中频率点的幅值和,sum11为第11个频率段中频率点的幅值和,sum12为第12个频率段中频率点的幅值和;

步骤五、当电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值均满足阈值条件,或开关电源负载条件下的特征值均满足阈值条件时,判断产生一次直流串联电弧故障,否则判断没有产生直流串联电弧故障;

步骤六、选择回路电流频谱波形中第m个频率点到第m+50个频率点中的最大幅值,并将选择出的最大幅值记为 $\max(m \sim m+50)$,并将第m个频率点到第m+50个频率点中全部频率点的幅值相加,将第m个频率点到第m+50个频率点中全部频率点的幅值加和记为 $\text{sum}(m \sim m+50)$;

利用 $\max(m \sim m+50)$ 和 $\text{sum}(m \sim m+50)$ 来计算特征值E,判断特征值E是否满足给定的阈值条件;

所述利用 $\max(m \sim m+50)$ 和 $\text{sum}(m \sim m+50)$ 来计算特征值E,具体为:

$$E = \frac{\max(m \sim m+50) \cdot 50}{\text{sum}(m \sim m+50) - \max(m \sim m+50)}$$

步骤七、执行步骤二至步骤六的过程中,同时对直流供电系统的回路电流值继续进行采集,将采集的回路电流值作为第二周期数据;

再采用步骤二至步骤六的过程对采集的第二周期数据进行处理,并同时开始第三周期数据的采集;

如此循环,直至在连续的四个周期内,有两个周期中出现:产生直流串联电弧故障且特征值E不满足阈值条件的情况,则判定直流供电系统的回路中出现直流串联电弧故障,并及时断开电路;

否则,将采集的下一个周期数据作为当前周期数据,结合当前周期数据与当前周期的前三个周期数据,来判断直流供电系统的回路中是否出现直流串联电弧故障;实现直流供电系统的回路中是否出现直流串联电弧故障的实时判断。

2. 根据权利要求1所述的一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,其特征在于,所述第一周期数据、第二周期数据以及第三周期数据在时间上呈连续性,每个周期的数据点个数为4096,采样频率为100kHz。

3. 根据权利要求2所述的一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,其特征在于,所述M的取值为12。

4. 根据权利要求2或3所述的一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,其特征在于,所述步骤五具体为:

当特征值满足 $1.2 < R_{arc1} < 10$, $1.2 < R_{arc2} < 6.5$, $1.6 < R_{arc3} < 12.5$ 且 $1.1 < R_{arc4} < 6.5$,或者特征值满足 $5.5 < S_{R_{arc1}} < 18$ 且 $6 < S_{R_{arc2}} < 19$ 时,判断产生一次直流串联电弧故障,否则判断没有产生直流串联电弧故障。

5. 根据权利要求4所述的一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,其特征在于,所述步骤六中,判断特征值E是否满足给定的阈值条件,具体为:

判断特征值E是否满足: $8 < E < 20$ 。

一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法

技术领域

[0001] 本发明属于直流电弧故障检测技术领域,具体涉及一种判断直流串联电弧故障的方法。

背景技术

[0002] 直流串联故障电弧电流由于没有过零点,很难自动熄灭,并且燃弧温度很高,如果不能及时检测到此类电弧故障,可能会造成直流供电系统的损坏以及人员安全的问题。电弧涉及电、磁、热等多个领域,物理过程复杂,建模过程中需要进行大量假设与简化,这会严重削弱仿真的准确度与可信性,目前还没有很精确的数学物理模型描述燃弧过程。在直流串联电弧故障检测中,相对于直流供电系统本身特性来说,对直流电弧故障前后的特征参数的分析更加重要。所以在处理电弧故障时,仍然采用黑箱模型分析电弧故障外部特性,尤其是针对直流串联电弧故障电流进行分析。

[0003] 直流串联故障电弧具有温度高(10000K级)、燃弧时间长(100ms级)、分布梯度大等特点。直流串联电弧故障检测具有较大的难度,虽然测试方法较多,但是很容易出现误判及漏判现象。基于时域的电弧故障测试方法依据电流波形的波动性进行直流串联电弧故障检测,但当回路电流较大时,电弧电流波形的波动性很小。有学者基于频域计算电弧电流频谱的平均值和标准差确定每个特征值的阈值范围,但当遇到高频干扰或回路负载情况复杂时,很难确定阈值范围,容易发生误判现象。有学者采用小波包算法研究电弧故障电流频谱细节信息,以避免高频干扰,但是计算量很大,需要的时间长,无法满足直流串联电弧故障检测的实时性要求。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为解决现有直流串联电弧故障检测方法容易出现误判、漏判,以及不能满足实时性检测要求的问题,而提出了一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法。

[0005] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是:一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,该方法包括以下步骤:

[0006] 步骤一、开始直流供电系统回路电流值的第一周期数据的实时采集;

[0007] 步骤二、根据采集的第一周期数据,通过快速傅里叶变换计算回路电流频谱波形;

[0008] 步骤三、将回路电流频谱波形划分为M个不同的频率段,并将每个频率段中包含的频率点对应的幅值相加,分别获得各频率段对应的频率点幅值和;

[0009] 步骤四、利用各频率段对应的频率点幅值和,计算电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值,以及开关电源负载条件下的特征值;

[0010] 步骤五、当电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值均满足阈值条件,或开关电源负载条件下的特征值均满足阈值条件时,判断产生一次直流串联电弧故障,否则判断没有产生直流串联电弧故障;

[0011] 步骤六、选择回路电流频谱波形中第m个频率点到第m+50个频率点中的最大幅值，并将选择出的最大幅值记为 $\max(m \sim m+50)$ ，并将第m个频率点到第m+50个频率点中全部频率点的幅值相加，将第m个频率点到第m+50个频率点中全部频率点的幅值加和记为 $\text{sum}(m \sim m+50)$ ；

[0012] 利用 $\max(m \sim m+50)$ 和 $\text{sum}(m \sim m+50)$ 来计算特征值E，判断特征值E是否满足给定的阈值条件；

[0013] 步骤七、执行步骤二至步骤六的过程中，同时对直流供电系统的回路电流值继续进行采集，将采集的回路电流值作为第二周期数据；

[0014] 再采用步骤二至步骤六的过程对采集的第二周期数据进行处理，并同时开始第三周期数据的采集；

[0015] 如此循环，直至在连续的四个周期内，有两个周期中出现：产生直流串联电弧故障且特征值E不满足阈值条件的情况，则判定直流供电系统的回路中出现直流串联电弧故障，并及时断开电路；

[0016] 否则，将采集的下一个周期数据作为当前周期数据，结合当前周期数据与当前周期的前三个周期数据，来判断直流供电系统的回路中是否出现直流串联电弧故障；实现直流供电系统的回路中是否出现直流串联电弧故障的实时判断。

[0017] 在前两个周期中，若第一个周期和第二个周期均满足：产生直流串联电弧故障且特征值E不满足阈值条件，则判定直流供电系统的回路中出现直流串联电弧故障，并及时断开电路，不再处理第三周期数据。在前三个周期中，若第三个周期满足：产生直流串联电弧故障且特征值E不满足阈值条件，而且，第一个周期或第二个周期满足：产生直流串联电弧故障且特征值E不满足阈值条件，则不再处理第四周期数据。

[0018] 进一步地，所述第一周期数据、第二周期数据以及第三周期数据在时间上呈连续性，每个周期的数据点个数为4096，采样频率为100kHz。

[0019] 第一周期数据、第二周期数据、第三周期数据、第四周期数据、…，在时间上呈连续性；

[0020] 进一步地，所述M的取值为12；

[0021] 进一步地，所述步骤四中，电阻负载、电机并联电阻负载条件下的特征值的个数为四个，四个特征值分别表示为： R_{arc1} 、 R_{arc2} 、 R_{arc3} 和 R_{arc4} ， R_{arc1} 、 R_{arc2} 、 R_{arc3} 和 R_{arc4} 的计算方法为：

$$[0022] \quad R_{\text{arc1}} = \text{sum1} / \text{sum2}$$

$$[0023] \quad R_{\text{arc2}} = \text{sum3} / \text{sum4}$$

$$[0024] \quad R_{\text{arc3}} = \text{sum5} / \text{sum6}$$

$$[0025] \quad R_{\text{arc4}} = \text{sum7} / \text{sum8}$$

[0026] 其中： sum1 为第1个频率段中频率点的幅值和， sum2 为第2个频率段中频率点的幅值和， sum3 为第3个频率段中频率点的幅值和， sum4 为第4个频率段中频率点的幅值和， sum5 为第5个频率段中频率点的幅值和， sum6 为第6个频率段中频率点的幅值和， sum7 为第7个频率段中频率点的幅值和， sum8 为第8个频率段中频率点的幅值和。

[0027] 进一步地，所述步骤四中，开关电源负载条件下的特征值的个数为两个，两个特征值分别表示为： $S_{R_{\text{arc1}}}$ 和 $S_{R_{\text{arc2}}}$ ， $S_{R_{\text{arc1}}}$ 和 $S_{R_{\text{arc2}}}$ 的计算方法为：

$$[0028] \quad S_{R_{\text{arc1}}} = \text{sum9} / \text{sum10}$$

[0029] $S_{R_{arc2}} = \text{sum11} / \text{sum12}$

[0030] 其中:sum9为第9个频率段中频率点的幅值和,sum10为第10个频率段中频率点的幅值和,sum11为第11个频率段中频率点的幅值和,sum12为第12个频率段中频率点的幅值和。

[0031] 进一步地,所述步骤五具体为:

[0032] 当特征值满足 $1.2 < R_{arc1} < 10, 1.2 < R_{arc2} < 6.5, 1.6 < R_{arc3} < 12.5$ 且 $1.1 < R_{arc4} < 6.5$,或者特征值满足 $5.5 < S_{R_{arc1}} < 18$ 且 $6 < S_{R_{arc2}} < 19$ 时,判断产生一次直流串联电弧故障,否则判断没有产生直流串联电弧故障。

[0033] 进一步地,所述步骤六中,利用 $\max(m \sim m+50)$ 和 $\text{sum}(m \sim m+50)$ 来计算特征值E,具体为:

$$[0034] \quad E = \frac{\max(m \sim m+50) \cdot 50}{\text{sum}(m \sim m+50) - \max(m \sim m+50)} \quad \circ$$

[0035] 进一步地,所述步骤六中,判断特征值E是否满足给定的阈值条件,具体为:

[0036] 判断特征值E是否满足: $8 < E < 20$ 。

[0037] 本发明的有益效果是:本发明的一种基于频域阶段性比值判断直流串联电弧故障的方法,本发明通过计算直流供电回路电流频谱中M个频段各自的幅值和,形成M/2组比值关系作为特征值,同时找出回路电流频谱中第m~m+50共51点中的幅值最大值,计算幅值最大值的50倍与其他50个点幅值和的比值,将比值作为特征值E。当 $\frac{M}{2} + 1$ 组特征值在连续的四次数据采集周期中,有两次或两次以上满足阈值条件,即可确认直流供电系统中发生了直流串联电弧故障。

[0038] 本发明方法对直流串联电弧故障判断的准确率近乎达到100%,克服了现有方法容易出现误判、漏判的问题,而且采用数据采集与处理并行的方式,避免出现部分回路电流数据采集不到的情况,能够满足实时性检测要求。

附图说明

[0039] 图1是本发明数据采集与计算并行的流程图;

[0040] 图中:n代表周期内采集的第n个数据点;

[0041] 图2是本发明的故障判断流程图;

[0042] 图中:Flag=0代表标志位置0,判断未出现直流串联电弧故障,Flag=1代表标志位置1,判断出现直流串联电弧故障;。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图1~2,对本发明方法进行详细描述。

[0044] 1) 实时采集直流供电系统回路电流值,并通过快速傅里叶变换算法计算回路电流频谱,单次采集4096个数据点,采样频率为100kHz。

[0045] 2) 单次采集过后,计算回路电流频谱波形,将直流串联电弧电流频谱波形划分成12个不同的频率段。

[0046] 3) 在12个不同频率段中,每个频率段内均包含很多个频率点,分别将每个频段内

包含的频率点的幅值做相加,以得到各个频段对应的幅值加和,将各频段的幅值加和分别表示为sum1~sum12。

[0047] 4) 实时计算针对电阻负载以及电机并联电阻负载条件下的四组特征值:

[0048] $R_{arc1} = \text{sum1}/\text{sum2}, R_{arc2} = \text{sum3}/\text{sum4}, R_{arc3} = \text{sum5}/\text{sum6}, R_{arc4} = \text{sum7}/\text{sum8};$

[0049] 针对开关电源负载条件下的两组特征值: $S_{R_{arc1}} = \text{sum9}/\text{sum10}, S_{R_{arc2}} = \text{sum11}/\text{sum12}.$

[0050] 5) 当特征值满足 $1.2 < R_{arc1} < 10, 1.2 < R_{arc2} < 6.5, 1.6 < R_{arc3} < 12.5$ 且 $1.1 < R_{arc4} < 6.5,$ 或者特征值满足 $5.5 < S_{R_{arc1}} < 18$ 且 $6 < S_{R_{arc2}} < 19$ 时,判断为产生一次直流串联电弧故障信号。

[0051] 6) 选择频谱波形第75个点到第125个点的最大值,记为max(75~125),将第75点到125点的数据相加,记为sum(75~125),计算特征值 $E = \text{max}(75 \sim 125) * 50 / (\text{sum}(75 \sim 125) - \text{max}(75 \sim 125))$ 。当特征值E满 $8 < E < 20$ 时,可以判定直流系统中没有发生直流串联电弧故障。

[0052] 将1)至6)的过程,作为对一个周期的回路电流数据的处理过程;

[0053] 7) 连续采集四个周期的回路电流数据,计算频谱波形,计算 $R_{arc1} \sim R_{arc4}, S_{R_{arc1}}, S_{R_{arc2}}, E$ 七组特征值,统计直流串联电弧故障信号次数。即对于每个周期的回路电流数据,均采用2)至6)的过程进行处理;

[0054] 如果在连续四个周期中,有两个周期均出现了:直流串联电弧故障信号且特征值 $E \notin (8, 20)$,判断回路中出现了直流串联电弧故障,并及时断开电路。反之,则继续将下一个周期的回路电流数据作为当前周期数据,计算六组特征值,结合当前周期的前三个周期得到的特征值形成新的连续四个周期,判断电路中是否发生直流串联电弧故障。

[0055] 每个周期均采集4096个点,采样频率为100kHz,满足直流串联电弧故障检测的频率要求。计算得到回路电流数据的每个周期的采样时间为40.96ms,四次采样周期的总时间为163.84ms,当第一个周期数据采集完后开始进行算法计算,而且第一个周期数据的计算过程和第二个周期数据采集过程同时进行,满足直流串联电弧故障检测的实时性要求。

[0056] 所述的12个不同的频率段sum1~sum12对应的频率点数范围分别是(3,20),(40,57),(3,50),(50,97),(3,70),(80,120),(3,100),(100,197),(40,160),(380,500),(90,120),(45,75)。

[0057] 所述的快速傅里叶变换算法(FFT)计算获取频谱数据是将4096个时域数据点转化为相对应的4096个频域数据点,频率分辨率为 $100\text{kHz}/4096 = 24.41\text{Hz}$ 。

[0058] 图1所述的并行计算程序通过单片机的AD采集和DMA传输(Direct Memory Access,成组数据传送)功能实现了数据采集和计算同时进行,避免出现部分回路电流数据采集不到的情况。

[0059] 图2所述的主程序实现了直流串联电弧故障检测功能。当满足在连续的四次采集周期中,有两个周期(即 $i(a) = 2$)内出现了:产生直流串联电弧故障信号且 $E \notin (8, 20)$ 的情况,则标志位置1,判断出现直流串联电弧故障。

[0060] 四个小周期作为一个大周期,每一个小周期时长为40.96ms,每一个大周期时长为163.84ms。1st、2nd、3rd分别代表第一、第二以及第三个大周期,如果在第一个大周期内判断出直流回路中产生电弧故障,则判别时间大于122.88ms小于163.84ms;在第二个大周期内判断出回路中产生电弧故障,则判别时间大于163.84ms小于204.80ms;在第三个大周期

内判断出回路中产生电弧故障,则判别时间大于204.80ms小于245.76ms。

[0061] 本发明的上述算例仅为详细地说明本发明的计算模型和计算流程,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动,这里无法对所有的实施方式予以穷举,凡是属于本发明的技术方案所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

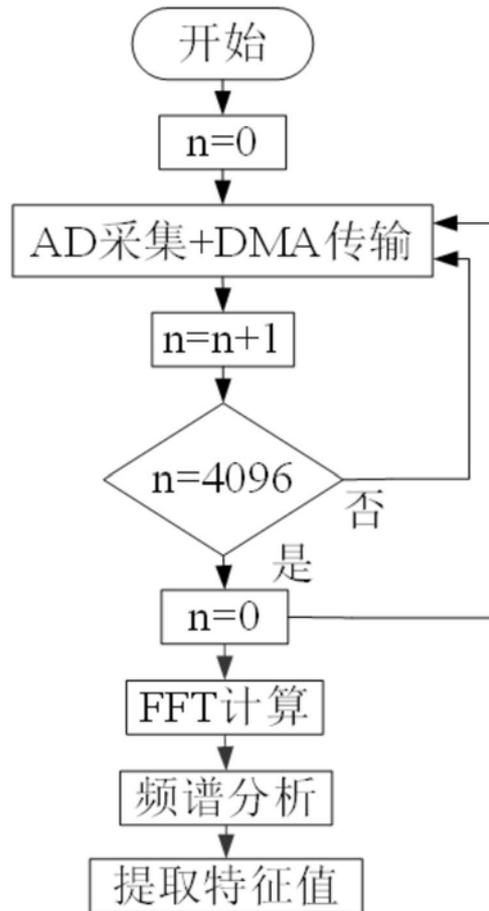


图1

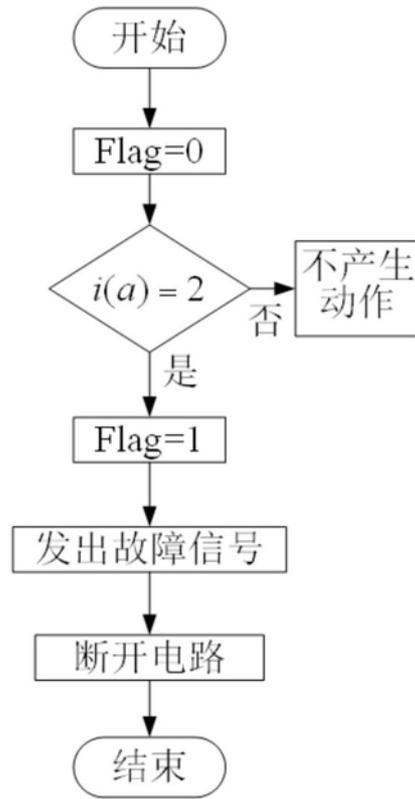


图2