(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 119134245 B
(45)授权公告日 2025.03.11

(21)申请号 202411620358.4
(22)申请日 2024.11.14
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 119134245 A
(43)申请公布日 2024.12.13
(73)专利权人 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院
地址 230601 安徽省合肥市经济技术开发区紫云路299号
(72)发明人 杨海涛 丁国成 杨为 吴兴旺 张晨晨 胡啸宇 吴杰 谢一鸣
(74)专利代理机构 安徽正高知识产权代理事务所(普通合伙) 34199
专利代理师 周敏凯
(51)Int.Cl.
H02H 9/00(2006.01)
G01R 31/52(2020.01)
H02H 9/02(2006.01)
H02H 7/05(2006.01)
H02H 1/00(2006.01)
(56)对比文件
CN 103840437 A,2014.06.04
CN 108631281 A,2018.10.09
CN 114937982 A,2022.08.23
审查员 肖源

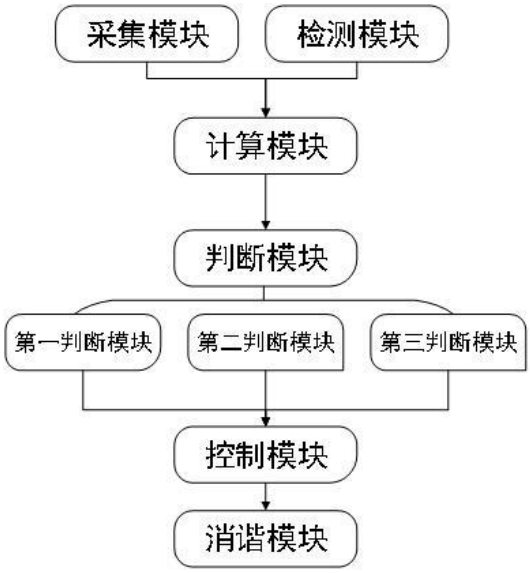
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法

(57)摘要

本发明提供一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法,涉及电力系统安全防治技术领域。该用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,包括:消谐模块,用于消耗铁磁谐振产生的能量;采集模块;检测模块,用于实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流;计算模块,用于计算所述励磁涌流的上升沿斜率,计算中性点对地的偏移电压;判断模块,用于判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流的上升沿斜率和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系,判断系统是否发生单相接地故障;控制模块,控制消谐模块的投入。该消谐装置能够准确、快速消除铁磁谐振,有效提高铁磁谐振的消谐效率。



CN 119134245 B

1.一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,其特征在于,包括:

消谐模块,用于消耗铁磁谐振产生的能量;

采集模块,用于采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流;

检测模块,用于实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流,当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,将检测结果反馈至计算模块;

计算模块,用于计算所述励磁涌流的上升沿斜率,还用于根据PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流计算中性点对地的偏移电压;

判断模块,用于判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流的上升沿斜率和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;所述判断模块包括第一判断模块和第二判断模块,所述第一判断模块用于判断所述励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值,所述第二判断模块用于判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值,通过第一判断模块和第二判断模块判断系统是否发生单相接地故障;

控制模块,用于当判断系统发生单相接地故障时,控制消谐模块的投入;

所述消谐模块包括在PT开口三角绕组两端接入的阻抗R_Z,所述阻抗R_Z包括电感L_0和电阻R_0并联的拓扑结构;

所述阻抗R_Z还包括与电阻R_0串联的电阻R_1和与电感L_0串联的电阻R_2,电阻R_1两端并联有开关K_2,电阻R_2两端并联有开关K_3,所述电感L_0和电阻R_0并联电路的输入端设置有开关K_1,其中,在系统正常运行时,开关K_1断开,开关K_2和开关K_3闭合;

所述检测模块还用于检测系统发生单相接地故障的持续时间,所述判断模块还包括第三判断模块,所述第三判断模块用于判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值,当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值,第三判断模块将检测结果发送至控制模块,所述控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开,投入电阻R_1和电阻R_2。

2.根据权利要求1所述的一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,其特征在于:所述励磁涌流的上升沿斜率的计算公式为:

$$\alpha = \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

其中,ΔI为两个相邻采样点的电流变化量,Δt为两个相邻采样点之间的时间间隔。

3.根据权利要求2所述的一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,其特征在于:所述动态触发阈值用于判断是否触发消谐动作,所述动态触发阈值的计算公式为:

$$\epsilon = \frac{\sum_{k=1}^{N} \omega_k \cdot \alpha_k}{\sum k = 1^N \omega_k},$$

$$\omega_k = \beta^{N-k}$$

其中,ϵ为动态触发阈值,α_k为队列中第k个斜率数据,ω_k为对应的权重系数,N为斜率数据队列的长度,β为小于1的常数。

4.根据权利要求3所述的一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,其特征在于:

所述控制模块根据判断模块的判断结果控制消谐模块的投入,具体过程如下:

若第一判断模块判断所述励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值,则将判断结果发送至控制模块,控制模块控制消谐模块的投入,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;

若第一判断模块判断所述励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

5.根据权利要求1所述的一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,其特征在于,还包括串联在PT中性点的一次消谐模块,所述一次消谐模块由流敏型消谐器和内置CT组成,所述检测模块还用于采集一次消谐模块的运行状态,并检测流过一次消谐模块的电流值并记录波形,判断一次消谐模块是否处于正常状态;当流过所述流敏型消谐器的电流增大时,所述流敏型消谐器内的电阻阻值迅速增大,完成一次消谐动作。

6.一种基于权利要求1-5任一项所述的用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置的消谐方法,其特征在于,所述方法包括:

采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流;

计算中性点对地的偏移电压;

实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流;

当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,计算所述励磁涌流的上升沿斜率;

判断所述励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值,判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值;

根据判断结果控制消谐模块的投入;

所述消谐模块包括在PT开口三角绕组两端接入的阻抗R_Z,所述阻抗R_Z包括电感L_0和电阻R_0并联的拓扑结构;

所述阻抗R_Z还包括与电阻R_0串联的电阻R_1和与电感L_0串联的电阻R_2,电阻R_1两端并联有开关K_2,电阻R_2两端并联有开关K_3,所述电感L_0和电阻R_0并联电路的输入端设置有开关K_1,其中,在系统正常运行时,开关K_1断开,开关K_2和开关K_3闭合;

所述方法还包括:

检测系统发生单相接地故障的持续时间;

判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值,当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值,第三判断模块将检测结果发送至控制模块,所述控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开,投入电阻R_1和电阻R_2。

7.根据权利要求6所述的消谐方法,其特征在于:所述根据判断结果控制消谐模块的投入,具体包括:

若判断所述励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值,则将判断结果发送至控制模块,控制模块控制消谐模块的投入,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;

若判断所述励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统安全防治技术领域,具体为一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法。

背景技术

[0002] 在10kV～35kV的中压配电网系统中,中性点通常采用不接地的方式,用于母线监测的电压互感器(PT)是铁芯电感元件。当母线开关非同期合闸、线路中发生单相接地故障消失或者负荷的剧烈波动时,PT的非线性励磁阻抗与系统的对地电容形成铁磁谐振回路,造成系统谐振过电压和PT的过电流,致使电网中弱绝缘设备的放电击穿和PT高压熔断器熔断,甚至本体烧毁。因此采用用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置来防止系统发生故障时对系统运行和操作人员人身安全造成危害。现有的消谐方式,不仅会延长消谐时间以及增大消谐成本,而且会极大影响消谐效率,造成设备频繁损坏,对电网和设备的安全稳定运行造成严重威胁。

发明内容

[0003] 解决的技术问题:

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法,解决了现有的消谐方式,不仅会延长消谐时间以及增大消谐成本,而且会极大影响消谐效率,造成设备频繁损坏,对电网和设备的安全稳定运行造成严重威胁的问题。

[0005] 技术方案:为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现。

[0006] 第一方面,提供了一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,所述装置包括:

[0007] 消谐模块,用于消耗铁磁谐振产生的能量;

[0008] 采集模块,用于采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流;

[0009] 检测模块,用于实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流,当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,将检测结果反馈至计算模块;

[0010] 计算模块,用于计算所述励磁涌流的上升沿斜率,还用于根据PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流计算中性点对地的偏移电压;

[0011] 判断模块,用于判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流的上升沿斜率和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;所述判断模块包括第一判断模块和第二判断模块,所述第一判断模块用于判断所述励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值,所述第二判断模块用于判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值,通过第一判断模块和第二判断模块判断系统是否发生单相接地故障;

[0012] 控制模块,用于当判断系统发生单相接地故障时,控制消谐模块的投入。

[0013] 优选的,所述消谐模块包括在PT开口三角绕组两端接入的阻抗R_Z,所述阻抗R_Z包括

电感L_0和电阻R_0并联的拓扑结构。

[0014] 优选的,所述阻抗R_Z还包括与电阻R_0串联的电阻R_1和与电感L_0串联的电阻R_2,电阻R_1两端并联有开关K_2,电阻R_2两端并联有开关K_3,所述电感L_0和电阻R_0并联电路的输入端设置有开关K_1,其中,正常运行时,开关K_1断开,开关K_2和开关K_3闭合。

[0015] 优选的,还包括串联在PT中性点的一次消模块,所述一次消谐模块由流敏型消谐器和内置CT组成,所述检测模块还用于采集一次消谐模块的运行状态,并检测流过一次消谐模块的电流值并记录波形,判断一次消谐模块是否处于正常状态;当流过所述流敏型消谐器的电流增大时,所述流敏型消谐器内的电阻阻值迅速增大,完成一次消谐动作。

[0016] 优选的,所述励磁涌流的上升沿斜率的计算公式为:

[0017] $$\alpha = \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

[0018] 其中,ΔI为两个相邻采样点的电流变化量,Δt为两个相邻采样点之间的时间间隔。

[0019] 优选的,所述动态触发阈值用于判断是否触发消谐动作,所述动态触发阈值的计算公式为:

[0020] $$\epsilon = \frac{\sum_{k=1}^{N} \omega_k \cdot \alpha_k}{\sum k = 1^N \omega_k},$$

$$\omega_k = \beta^{N-k}$$

[0021] 其中,ϵ为动态触发阈值,α_k为队列中第k个斜率数据,ω_k为对应的权重系数,N为斜率数据队列的长度,β为小于1的常数。

[0022] 优选的,所述控制模块根据判断模块的判断结果控制消谐模块的投入,具体过程如下:

[0023] 若第一判断模块判断所述励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值,则将判断结果发送至控制模块,控制模块控制消谐模块的投入,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;

[0024] 若第一判断模块判断所述励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

[0025] 优选的,所述检测模块还用于检测系统发生单相接地故障的持续时间,所述判断模块还包括第三判断模块,所述第三判断模块用于判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值,当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值,第三判断模块将检测结果发送至控制模块,所述控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开,投入电阻R_1和电阻R_2。

[0026] 第二方面,提供了一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置的消谐方法,所

述方法包括：

[0027] 采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流；

[0028] 计算中性点对地的偏移电压；

[0029] 实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流；

[0030] 当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时，计算所述励磁涌流的上升沿斜率；

[0031] 判断所述励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值，判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值；

[0032] 根据判断结果控制消谐模块的投入。

[0033] 进一步的，所述根据判断结果控制消谐模块的投入，具体包括：

[0034] 若判断所述励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值，则将判断结果发送至控制模块，控制模块控制消谐模块的投入，判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系；

[0035] 若判断所述励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值，判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

[0036] 进一步的，所述方法还包括：

[0037] 检测系统发生单相接地故障的持续时间；

[0038] 判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值，当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值，第三判断模块将检测结果发送至控制模块，所述控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开，投入电阻R_1和电阻R_2。

[0039] 有益效果：(1)本发明一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法，在系统正常运行时，由开关K_1处于断开状态，保证了电压互感器的正常测量信号不收影响。当系统发生谐振时，投入消谐模块中的电阻R_1和与电感L_0的值很小，PT开口三角绕组两端相当于短接，能够起到很好的消谐作用。

[0040] (2)本发明一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法，在系统正常运行时，开关K_2和开关K_3闭合，线路发生永久性单相接地故障时，开关K_2和开关K_3断开，投入两个大电阻(电阻R_1和电阻R_2)，开口三角绕组经电感L_0串联电阻R_2和并联高电阻(电阻R_0和电阻R_1串联成的电阻)导通，中性点转化为经电感L_0串联电阻R_2和并联高电阻接地，系统阻尼率减小，可以保证中性点位移电压不会过高，从而保护系统。

[0041] (3)本发明一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置及方法，还通过分别对电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流、中性点对地的偏移电压的检测和计算，判断系统是否发生谐振，控制消谐模块的快速投入，从而能够准确、快速消除铁磁谐振，有效提高铁磁谐振的消谐效率，解决了现有的消谐方式，不仅会延长消谐时间以及增大消谐成本，而且会极大影响消谐效率，造成设备频繁损坏，对电网和设备的安全稳定运行造成严重威胁的问题。

附图说明

[0042] 图1为本发明用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置模块图；

[0043] 图2为本发明PT开口三角绕组两端接入的消谐模块结构示意图；

[0044] 图3为本发明带有Y_0联结电压互感器铁磁谐振回路图；

[0045] 图4为本发明带有Y_0联结电压互感器铁磁谐振等效电路图；

[0046] 图5为本发明一次消谐模块连接电路图；

[0047] 图6为本发明消谐方法流程图；

[0048] 图7为本发明消谐装置控制原理图。

具体实施方式

[0049] 下面将结合本发明的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0050] 请参阅图3-图4，本申请研究的铁磁谐振产生原理如下：

[0051] 在中性点不接地的配电网系统中，变电站母线上接有监测三相电压的电磁式电压互感器，三个绕组接成$Y_0/Y_0/\Delta$的联结方式。系统对地参数包含了线路对地电容C_0和电压互感器的励磁电感L，等值电路如图3所示。C_0和L是并联连接的，各自构成独立的振荡回路。正常运行时，三相基本平衡，中性点对地的偏移电压很小。当系统出现扰动，电网中性点有较高的偏移电压时，PT高压绕组中将会流过较大的饱和电流，从而使励磁阻抗急剧下降，当与线路参数匹配时，就会激起铁磁谐振。铁磁谐振过电压是由电压互感器三相饱和程度不同引起的零序电压所致，只与零序回路参数有关，因而接在相间的改善功率因数用的电容器组、负载变压器以及有功和无功负荷对于铁磁谐振过电压没有影响，这些参数在图3中均未列入。

[0052] 请参阅图3，e_A、e_B和e_C为电源变压器的绕组电势，为三相正序电压，始终保持恒定不变，i_A、i_B和i_C为电源变压器的三相输出电流，i_1、i_2和i_3为电压互感器一次侧三相电流，i_0为电压互感器二次侧零序电流，E_0为中性点0对地的偏移电压。由图3的电路可以得到电源变压器的三相输出电流：

[0053] (1) $$\begin{cases} i_A = C_0 \dfrac{d(E_0+e_A)}{dt} + i_1 \\ i_B = C_0 \dfrac{d(E_0+e_B)}{dt} + i_2 \\ i_C = C_0 \dfrac{d(E_0+e_C)}{dt} + i_3 \end{cases},$$

[0054] 对于电源变压器，有 $i_A + i_B + i_C = 0$ 成立，结合式(1)，可以得到偏移电压与电压互感器一次侧三相电流的关系式(2)。

[0055] (2) $$C_0 \frac{d(E_0+e_A)}{dt} + i_1 + C_0 \frac{d(E_0+e_B)}{dt} + i_2 + C_0 \frac{d(E_0+e_C)}{dt} + i_3 = 0,$$

[0056] 由电压互感器的磁势平衡，

[0057] (3) $\begin{cases} N_1 i_1 - N_2 i_0 = N_1 i_{L1} \\ N_1 i_2 - N_2 i_0 = N_1 i_{L2} \\ N_1 i_3 - N_2 i_0 = N_1 i_{L3} \end{cases}$，

[0058] 式(3)中，i_{L1}、i_{L2}和i_{L3}为电压互感器的励磁电流，L_1、L_2和L_3为电压互感器的励磁电感，因而有：

[0059] (4) $\begin{cases} e_A + E_0 = L_1 \dfrac{di_{L1}}{dt} \\ e_B + E_0 = L_2 \dfrac{di_{L2}}{dt} \\ e_C + E_0 = L_3 \dfrac{di_{L3}}{dt} \end{cases}$，

[0060] 联合式(2)和(3)，得到谐振电路的电流方程：

[0061] (5) $3C_0 \dfrac{dE_0}{dt} + 3\dfrac{N_2}{N_1} i_0 + i_{L1} + i_{L2} + i_{L3} = 0$，

[0062] 电压互感器二次侧零序电流i_0由中性点偏移电压E_0产生，关系式为：

[0063] (6) $i_0 = 3\dfrac{N_2 E_0}{N_1 R}$，

[0064] 联合式(5)和(6)，进一步得到谐振电路的电流方程：

[0065] (7) $\begin{cases} 3C_0 \dfrac{dE_0}{dt} + \dfrac{E_0}{R_z} + i_{L1} + i_{L2} + i_{L3} = 0 \\ R_z = (\dfrac{N_1}{3N_2})^2 R \end{cases}$，

[0066] 联合式(4)和(7)，进一步得到谐振电路的中性点偏移电压：

[0067] (8) $E_0 = \dfrac{\sum_{i=1}^{3} \dfrac{E_i}{\varpi L_i}}{3\varpi C_0 - [\sum_{i=1}^{3} \dfrac{1}{\varpi L_i} + j(3\dfrac{N_2}{N_1})^2 \dfrac{1}{R}]}$，

[0068] 相应地，PT铁磁谐振的等效电路如图4所示。

[0069] 由式(8)可知，当系统正常运行时，PT的励磁阻抗很大，三相参数对称，即L_1=L_2=L_3，此时位移电压E_0为零，不会出现过电压。但当系统出现某些扰动(如当母线开关非同期合闸、线路中发生单相接地故障或者负荷的剧烈波动)时，就可能三相对地负荷变成不平衡，从而产生零序电压，使得电压互感器的高压侧瞬时电压不再对称，零序电流持续增大，电压互感器铁芯出现不同程度磁饱和，励磁阻抗减小，当电容和电感的参数匹配时就激发铁磁

谐振,引起过电压。PT开口三角绕组两端接入的电阻R_Z有阻尼和抑制谐振的作用。

[0070] 参阅图4可知,电阻R_Z为电网中性点对地的等效电阻。当R_Z为零时,相当于电网中性点直接接地,PT的高压侧始终保持恒定的电源变压器的三相正序电压,PT不可能出现饱和现象,不会激发铁磁谐振。此时,PT开口三角绕组短接。

[0071] 根据上述研究的铁磁谐振的产生机理,PT开口三角绕组两端接入的电阻R_Z有阻尼和抑制谐振的作用。如图1所示,本发明的一个实施例提供了一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置,该装置包括:

[0072] 消谐模块,用于消耗铁磁谐振产生的能量;

[0073] 采集模块,用于采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流;

[0074] 检测模块,用于实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流,当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,将检测结果反馈至计算模块;

[0075] 计算模块,用于计算该励磁涌流的上升沿斜率 α ,还用于根据PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流计算中性点对地的偏移电压 E_0;

[0076] 判断模块,用于判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流的上升沿斜率和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;该判断模块包括第一判断模块和第二判断模块,该第一判断模块用于判断该励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值 ϵ ,该第二判断模块用于判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值 $U_{\emptyset}$,通过第一判断模块和第二判断模块判断系统是否发生单相接地故障;

[0077] 控制模块,用于当判断系统发生单相接地故障时,控制消谐模块的投入。

[0078] 请参阅图2,进一步的,该消谐模块包括在PT开口三角绕组两端接入的阻抗R_Z,该阻抗R_Z包括电感L_0和电阻R_0并联的拓扑结构。

[0079] 进一步的,该阻抗R_Z还包括与电阻R_0串联的电阻R_1和与电感L_0串联的电阻R_2,电阻R_1两端并联有开关K_2,电阻R_2两端并联有开关K_3,该电感L_0和电阻R_0并联电路的输入端设置有开关K_1,其中,正常运行时,开关K_1断开,开关K_2和开关K_3闭合。

[0080] 进一步的,该励磁涌流的上升沿斜率的计算公式为:

[0081] (9) $$\alpha = \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

[0082] 其中,ΔI 为两个相邻采样点的电流变化量,Δt 为两个相邻采样点之间的时间间隔。

[0083] 进一步的,该动态触发阈值用于判断是否触发消谐动作,该动态触发阈值的计算公式为:

[0084] (10) $$\epsilon = \frac{\sum_{k=1}^{N} \omega_k \cdot \alpha_k}{\sum k = 1^N \omega_k},$$

[0085] (11) $\omega_k = \beta^{N-k}$,

[0086] 其中，ϵ 为动态触发阈值，α_k 为队列中第 k 个斜率数据，ω_k 为对应的权重系数，N 为斜率数据队列的长度，β 为小于1的常数。

[0087] 进一步的，该控制模块根据判断模块的判断结果控制消谐模块的投入，具体过程如下：

[0088] 若第一判断模块判断该励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值，则将判断结果发送至控制模块，控制模块控制消谐模块的投入，判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系；

[0089] 若第一判断模块判断该励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值，判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

[0090] 进一步的，该检测模块还用于检测系统发生单相接地故障的持续时间，该判断模块还包括第三判断模块，该第三判断模块用于判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值，当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值，第三判断模块将检测结果发送至控制模块，该控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开，投入电阻R_1和电阻R_2。

[0091] 请参阅图5，用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置还包括串联在PT中性点的一次消模块，所述一次消谐模块由流敏型消谐器和内置CT组成，所述检测模块还用于采集一次消谐模块的运行状态，并检测流过一次消谐模块的电流值并记录波形，判断一次消谐模块是否处于正常状态；当流过所述流敏型消谐器的电流增大时，所述流敏型消谐器内的电阻阻值迅速增大，完成一次消谐动作；PT中性点串联有一次消谐模块，该一次消谐模块由流敏型消谐器和内置CT组成，通过检测模块还用于采集一次消谐模块的运行状态，并检测流过一次消谐模块的电流值并记录波形，该一次消谐模块具体为流敏消谐器，该流敏消谐器内部采用流敏型消谐电阻，该流敏型消谐电阻含有氧化锌材料，当电流增大，该流敏型消谐电阻的阻值迅速增大，从而进行快速消谐，当电流减小，该流敏消谐电阻的阻值也随之减小，从而避免对系统运行造成影响。

[0092] 在使用时，采集模块采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流；检测模块实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流，还有一次消谐模块的工作电流。在正常情况下，一次消谐模块、二次消谐元件（消谐模块）对系统无任何影响，如果发生PT铁磁谐振，一次消谐模块先于消谐模块发挥即来即消作用。采集模块检测到是某种频率的铁磁谐振，启动二次消谐元件（消谐模块），发出报警、显示并自动存储相关数据。与此同时，检测模块检测流过一次消谐模块的电流值是否在正常范围内，判断一次消谐模块是否处于正常状态，并检测流过一次消谐模块的电流值并记录波形。

[0093] 智能监测中心采用导轨式安装，并安装于PT柜二次室，实时采集PT 二次侧三相电压及开口电压，还有流敏型消谐器的工作电流，实时监测电网的运行状态及流敏型消谐器的运行状态，同时还具备故障识别、故障报警、故障录波功能。

[0094] 请参阅图6,本发明又一个实施例提供了一种用于抑制电力系统中铁磁谐振的消谐装置的消谐方法,该方法包括:

[0095] 采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流;

[0096] 计算中性点对地的偏移电压;

[0097] 实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流;

[0098] 当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,计算该励磁涌流的上升沿斜率;

[0099] 判断该励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值,判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值;

[0100] 根据判断结果控制消谐模块的投入。

[0101] 进一步的,该根据判断结果控制消谐模块的投入,具体包括:

[0102] 若判断该励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值或第二判断模块判断中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值,则将判断结果发送至控制模块,控制模块控制消谐模块的投入,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系;

[0103] 若判断该励磁涌流的上升沿斜率小于预设的动态触发阈值且第二判断模块判断中性点对地的偏移电压小于预设的电压阈值,判断模块继续判断实时检测到的励磁涌流和中性点对地的偏移电压的数值大小分别与各阈值之间的大小关系。

[0104] 进一步的,该方法还包括:

[0105] 检测系统发生单相接地故障的持续时间;

[0106] 判断系统发生单相接地故障的持续时间是否超过预设的时间阈值,当单相接地故障的持续时间大于或等于预设的时间阈值,第三判断模块将检测结果发送至控制模块,该控制模块控制开关K_2和开关K_3的断开,投入电阻R_1和电阻R_2。

[0107] 请参阅图7,为本发明消谐装置控制原理图,从该图可知,本发明的消谐装置实际应用时的工作流程:

[0108] 首先将本申请的消谐装置安装到电力系统中,并启动消谐装置,通过采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流,计算中性点对地的偏移电压,并实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流,当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时,计算励磁涌流的上升沿斜率;判断励磁涌流的上升沿斜率大于或等于预设的动态触发阈值、中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值,当满足其中一个条件则闭合开关K_1,将消谐模块投入到电力系统中;继续判断励磁涌流的上升沿斜率α大于或等于预设的动态触发阈值ϵ、中性点对地的偏移电压大于或等于预设的电压阈值$U_{\emptyset}$,当满足其中一个条件,且单相接地故障的持续时间t大于或等于预设的时间阈值ΔT,则断开开关K_2和开关K_3,投入电阻R_1和电阻R_2;并选出故障线路并切除;待系统恢复正常,将开关K_1断开,将开关K_2和开关K_3闭合,消谐装置继续监控保护该电力系统。从而能够准确、快速消除铁磁谐振,有效提高铁磁谐振的消谐效率,并解决了现有的消谐方式,不仅会延长消谐时间以及增大消谐成本,而且会极大影响消谐

效率,造成设备频繁损坏,对电网和设备的安全稳定运行造成严重威胁的问题。

[0109] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

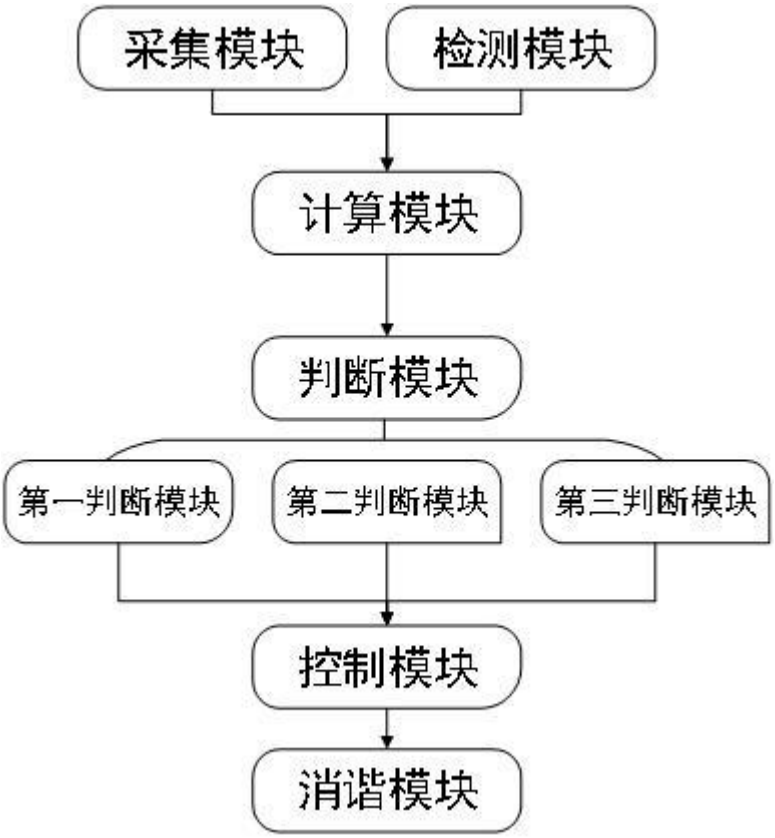

采集模块
检测模块
计算模块
判断模块
第一判断模块
第二判断模块
第三判断模块
控制模块
消谐模块

图 1

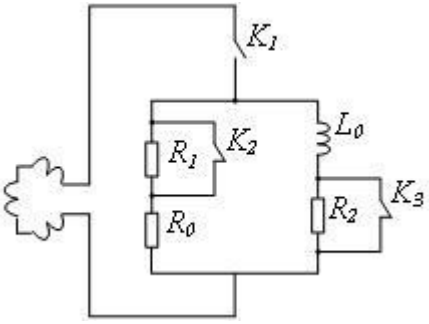

K_1
L_0
R_1
K_2
K_3
R_2
R_0

图 2

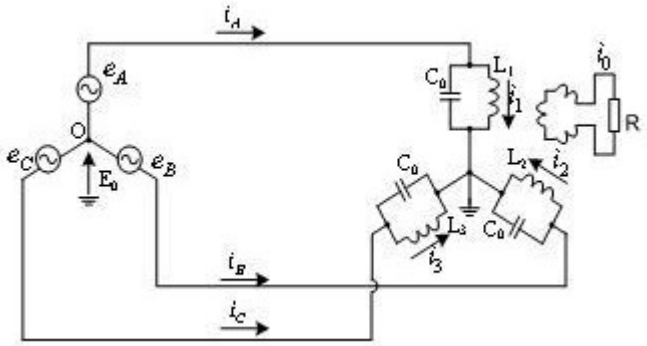

i_A
e_A
O
e_C
E_0
e_B
C_0
L_1
i_1
i_0
R
C_0
L_2
i_2
L_3
C_0
i_3
i_B
i_C

图 3

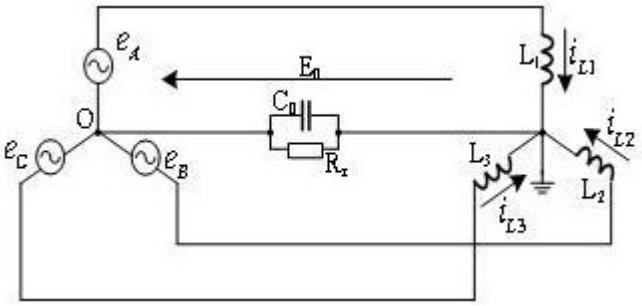

e_A
E_0
L_1
i_{L1}
C_0
O
i_{L2}
e_C
e_B
R_x
L_3
L_2
i_{L3}

图 4

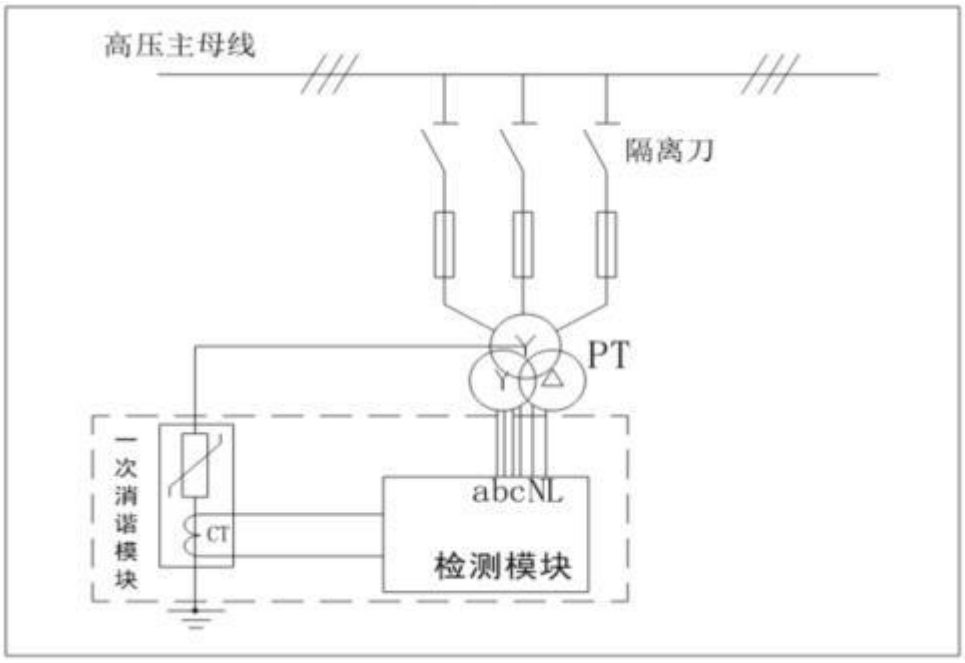

高压主母线
隔离刀
PT
一次消谐模块
CT
abcNL
检测模块

图 5

采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流
计算中性点对地的偏移电压
实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流
当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时，计算所述励磁涌流的上升沿斜率
判断所述励磁涌流的上升沿斜率是否超出预设的动态触发阈值，判断中性点对地的偏移电压是否超出预设的电压阈值
根据判断结果控制消谐模块的投入

图 6

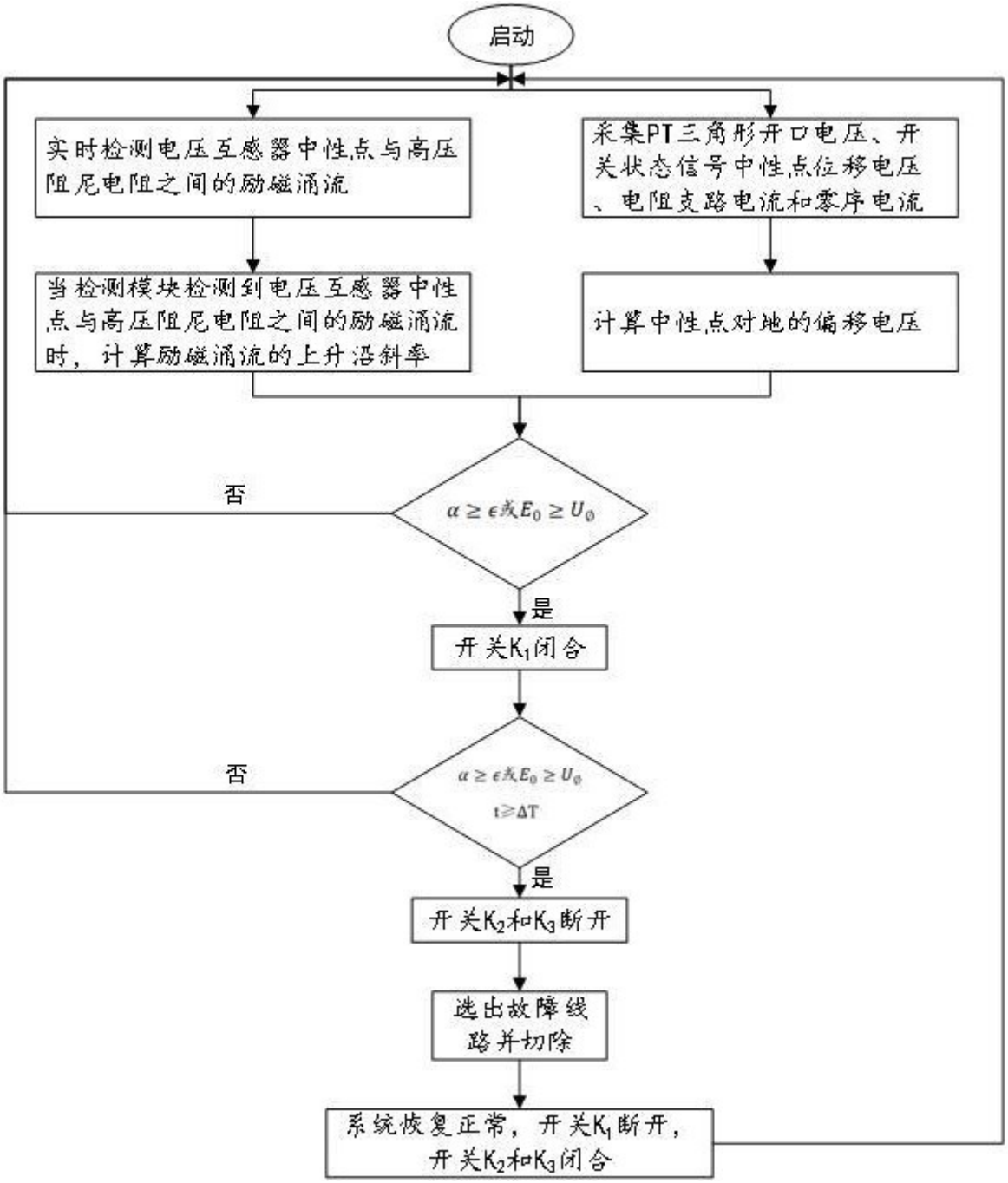

启动
实时检测电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流
采集PT三角形开口电压、开关状态信号中性点位移电压、电阻支路电流和零序电流
当检测模块检测到电压互感器中性点与高压阻尼电阻之间的励磁涌流时，计算励磁涌流的上升沿斜率
计算中性点对地的偏移电压
$\alpha \geq \epsilon$或$E_0 \geq U_\emptyset$
否
是
开关K_1闭合
$\alpha \geq \epsilon$或$E_0 \geq U_\emptyset$
t≥ΔT
否
是
开关K_2和K_3断开
选出故障线路并切除
系统恢复正常，开关K_1断开，开关K_2和K_3闭合

图 7