



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106300199 B

(45)授权公告日 2018.05.04

(21)申请号 201510283944.9

(22)申请日 2015.05.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106300199 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(73)专利权人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
专利权人 南京南瑞集团公司
中电普瑞科技有限公司
国网四川省电力公司

(72)发明人 贲宝强 渠学景 王彦朋 陈贺

(74)专利代理机构 北京安博达知识产权代理有限公司 11271
代理人 徐国文

(51)Int.Cl.

H02G 7/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 101272041 A, 2008.09.24, 说明书第5页最后2段、图4.

CN 104332927 A, 2015.02.04, 全文.

CN 102638021 A, 2012.08.15, 全文.

CN 201811756 U, 2011.04.27, 全文.

审查员 周志忠

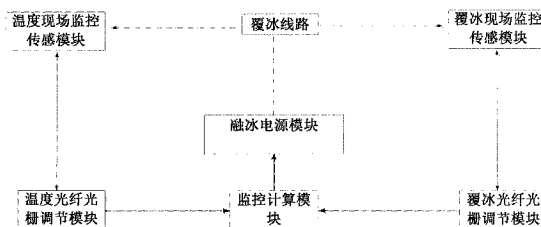
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统

(57)摘要

本发明涉及一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统,系统包括:覆冰线路由融冰电源模块的直流侧引出,分别连接用于获取覆冰线路导线温度数据的温度现场监控传感模块和用于获取覆冰线路导线外径数据的覆冰现场监控传感模块;温度现场监控传感模块双向连接温度光纤光栅调节模块;覆冰现场监控传感模块双向连接覆冰光纤光栅调节模块;温度光纤光栅调节模块和覆冰光纤光栅调节模块分别连接监控计算模块,监控计算模块连接融冰电源模块;本发明提供一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统,能够根据采集覆冰线路温度和覆冰情况,自动调节融冰电源的输出电流,具有自动调节、通信迅速、远距离传输、适应恶劣环境等优点。



CN 106300199 B

1. 一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统,其特征在于,所述系统包括:
温度现场监控传感模块、温度光纤光栅调节模块、覆冰现场监控传感模块、覆冰光纤光栅调节模块、监控计算模块、融冰电源模块和覆冰线路;

所述覆冰线路由所述融冰电源模块的直流侧引出,分别连接用于获取覆冰线路导线温度数据的所述温度现场监控传感模块和用于获取覆冰线路导线外径数据的所述覆冰现场监控传感模块;

所述温度现场监控传感模块双向连接所述温度光纤光栅调节模块;

所述覆冰现场监控传感模块双向连接所述覆冰光纤光栅调节模块;

所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别连接所述监控计算模块,所述监控计算模块连接所述融冰电源模块;

所述温度现场监控传感模块双向连接所述温度光纤光栅调节模块包括:

所述温度光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对用于采集所述覆冰线路导线温度数据的光信号和用于携带所述覆冰线路导线温度数据的返回信号进行光放大,向所述温度现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线温度数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线温度数据的返回信号。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述温度数据包括:导线温度 T_i 、环境温度 T_e 和导线与冰交界面的温度 T_0 ;所述外径数据包括:导线覆冰后的外径 D 和导线外径 d 。

3. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述覆冰现场监控传感模块双向连接所述覆冰光纤光栅调节模块包括:

所述覆冰光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对用于采集所述覆冰线路导线外径数据的光信号和用于携带所述覆冰线路导线外径数据的返回信号进行光放大,向所述覆冰现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线外径数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线外径数据的返回信号。

4. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别连接所述监控计算模块,所述监控计算模块连接所述融冰电源模块包括:

所述监控计算模块用于根据所述温度数据,所述外径数据和导线融冰的热平衡公式(1-1)计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系及临界融冰电流 I_c ,并控制所述融冰电源模块输出所述融冰电流 I ,输出时间为融冰时间 t ;所述导线融冰的热平衡公式(1-1)为:

$$I^2 R_0 t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1-1)$$

I : 融冰电流;

R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻;

Q_1 : 被融化部分的冰的温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

Q_2 : 融化冰所需吸收的热量;

Q_3 : 未被融化的冰温度变化吸收的热量;

Q_4 : 导线温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

Q_5 : 冰表面散失的热量。

5. 如权利要求4所述的系统,其特征在于,根据所述温度数据,所述外径数据和导线融

冰的热平衡公式(1-1)计算临界融冰电流 I_c 包括:

$$I_c = \left[\frac{2\pi k_i (T_0 - T_i)}{R_0 \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2\pi k_i}{R_0 \ln \frac{D_i}{D}} \times T_i \right)^{\frac{1}{2}} \frac{0.851075612 T_i}{(T_i - T_e) \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} =$$

$$4.05503055 \times 10^{-8} (D+2d) (T_e + 273)^3 + \left\{ 4.16942731463 \times 10^{-3} C \cdot R_e^n + \left[\frac{(T_i - T_e)(D+2d)^3}{\frac{(T_i + T_e)}{2} + 273} \right]^{0.25} \right\} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, T_e 为导线环境温度, T_0 为导线与冰交界面的温度, T_i 为导线温度, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻, R_e 为雷诺数, k_i 为导热系数, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认;

其中, R_e 为雷诺数,计算公式为:

$$R_e = 7.517442 \times 10^4 D_i v_a, \quad \left(\begin{array}{l} 40 \leq R_e < 4000, C = 0.683, n = 0.466 \\ 4000 \leq R_e < 40000, C = 0.193, n = 0.618 \\ 40000 \leq R_e < 400000, C = 0.0266, n = 0.805 \end{array} \right) \quad (1-3)$$

式(1-3)中, D_i 为冰层厚度, v_a 为风速, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认。

6.如权利要求5所述的系统,其特征在于,计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系为:

$$t \times 10^{-6} = \frac{3.01047574135d(D+d) - 1.0540915D(0.1073D+d)}{2(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_i + 337.9145 \times \frac{D(0.1073D+d)}{(I^2 - I_c^2)R_0}$$

$$\frac{6.0209514827d(D+d) + 2.444420A_{Al} + 3.6989A_{Fe}}{(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_e (I > I_c) \quad (1-4)$$

式中, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, I 为融冰电流, I_c 为临界融冰电流, R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻, T_i 为导线温度, T_e 为导线环境温度, A_{Al} 为导线铝部横截面积, A_{Fe} 为导线钢部横截面积。

7.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述监控计算模块还用于当导线温度超过限定温度时,控制所述融冰电源模块停止输出融冰电流。

8.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述覆冰线路包括:输电线路和光纤复合架空地线。

9.如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述融冰电源模块包括:断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器、晶闸管整流器、霍尔电流传感器和霍尔电压传感器;

发电机或变电站电源的输出端依次连接所述断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器;所述晶闸管整流器包括:依次并联的第一支路、第二支路和第三支路,其中,所述第一支路、第二支路和第三支路均包括两个串联的晶闸管;所述升压变压器的三相输出端分别与所述第一支路、第二支路和第三支路中两个串联的晶闸管之间的连接点相连;

所述霍尔电压传感器分别与所述晶闸管整流器的第一支路、第二支路和第三支路并联;所述霍尔电流传感器的一端连接所述霍尔电压传感器的一端,所述霍尔电流传感器的另一端与所述晶闸管整流器的输出端连接。

一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种输电系统SVC电压调节器,具体涉及一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统。

背景技术

[0002] 输电线路在冬季覆冰是电力系统的自然灾害之一。覆冰严重时会导致断线、倒杆/倒塔,导致大面积停电事故,并且修复工作难度大、周期长,影响范围广。因此,为应对冰雪灾害对电力系统基础设施的严重威胁,国内外加强对输电线路融冰技术的研究。

[0003] 目前较为广泛的除冰、融冰装置是直流融冰装置,直流融冰装置采用的基本原理是将交流电源转换成直流电源,再将直流电源加载到覆冰线路上,通过覆冰线路的电阻的发热实现线路的融冰;其原理是将覆冰线路作为负载,施加直流电源,用较低电压提供短路电流加热导线使覆冰融化。可采用发电机电源整流和采用系统电源的可控硅整流两种方法。前者虽可减少投资但却受发电受机组容量与融冰所需容量的限制,大多情况都不满足需求。因此,采用系统电源的可控硅整流融冰是热力融冰法中的热点,其适用性更强,可根据不同情况调节直流融冰电压,使之满足不同应用环境的需求,是现有融冰方法中最理想的一种。

[0004] 以往的直流融冰装置与温度及覆冰监测系统是独立运行的,彼此之间没有联系,如果覆冰线路需要融冰,必须通过人工观察覆冰线路是否危及杆塔安全,判断覆冰严重,启动直流融冰装置,确定线路的融冰电流,进行融冰。如果融冰过程中,发现覆冰线路融冰效果较差,需手动操作直流融冰装置,提高线路的融冰电流;融冰过程中,发现覆冰线路的温度监测系统显示温度过高,有烧毁线路的危险,需手动操作直流融冰装置,降低线路的融冰电流,以上的融冰过程需要人工操作,使用过程繁琐。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统,能够根据采集覆冰线路温度和覆冰情况,自动调节融冰电源的输出电流,具有自动调节、通信迅速、远距离传输、适应恶劣环境等优点。

[0006] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的:

[0007] 一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统,其改进之处在于,包括:

[0008] 温度现场监控传感模块、温度光纤光栅调节模块、覆冰现场监控传感模块、覆冰光纤光栅调节模块、监控计算模块、融冰电源模块和覆冰线路;

[0009] 所述覆冰线路由所述融冰电源模块的直流侧引出,分别连接用于获取覆冰线路导线温度数据的所述温度现场监控传感模块和用于获取覆冰线路导线外径数据的所述覆冰现场监控传感模块;

[0010] 所述温度现场监控传感模块双向连接所述温度光纤光栅调节模块;

[0011] 所述覆冰现场监控传感模块双向连接所述覆冰光纤光栅调节模块;

[0012] 所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别连接所述监控计算模块,所述监控计算模块连接所述融冰电源模块;

[0013] 优选的,所述温度数据包括:导线温度 T_i 、环境温度 T_e 和导线与冰交界面的温度 T_0 ;所述外径数据包括:导线覆冰后的外径 D 和导线外径 d 。

[0014] 优选的,所述温度现场监控传感模块双向连接所述温度光纤光栅调节模块包括:

[0015] 所述温度光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对信号进行光放大的方式,向所述温度现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线温度数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线温度数据的返回信号。

[0016] 优选的,所述覆冰现场监控传感模块双向连接所述覆冰光纤光栅调节模块包括:

[0017] 所述覆冰光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对信号进行光放大的方式,向所述覆冰现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线外径数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线外径数据的返回信号。

[0018] 优选的,所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别连接所述监控计算模块,所述监控计算模块连接所述融冰电源模块包括:

[0019] 所述监控计算模块用于根据所述温度数据,所述外径数据和导线融冰的热平衡公式(1-1)计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系及临界融冰电流 I_c ,并控制所述融冰电源模块输出所述融冰电流 I ,输出时间为融冰时间 t ;所述导线融冰的热平衡公式(1-1)为:

$$[0020] \quad I^2 R_0 t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1-1)$$

[0021] I :融冰电流;

[0022] R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻;

[0023] Q_1 :被融化部分的冰的温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

[0024] Q_2 :融化冰所需吸收的热量;

[0025] Q_3 :未被融化的冰温度变化吸收的热量;

[0026] Q_4 :导线温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

[0027] Q_5 :冰表面散失的热量。

[0028] 进一步的,所述根据所述温度数据,所述外径数据和导线融冰的热平衡公式(1-1)计算临界融冰电流 I_c 包括:

[0029]

$$I_c = \left[\frac{2\pi k_i (T_0 - T_i)}{R_0 \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2\pi k_i}{R_0 \ln \frac{D_i}{D}} \times T_i \right)^{\frac{1}{2}} \frac{0.851075612 T_i}{(T_i - T_e) \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} =$$

$$4.05503055 \times 10^{-8} (D+2d) (T_e + 273)^3 + \left\{ 4.16942731463 \times 10^{-3} C \cdot R_e' + \left[\frac{(T_i - T_e)(D+2d)^3}{\frac{(T_i + T_e)}{2} + 273} \right]^{0.25} \right\} \quad (1-2)$$

[0030] 式(1-2)中, T_e 为导线环境温度, T_0 为导线与冰交界面的温度, T_i 为导线温度, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻, R_e 为雷诺数, k_i 为导热系

数, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认;

[0031] 其中, R_e 为雷诺数, 计算公式为:

[0032]

$$R_e = 7.517442 \times 10^4 D_i v_a \left(\begin{array}{l} 40 \leq R_e < 4000, C = 0.683, n = 0.466 \\ 4000 \leq R_e < 40000, C = 0.193, n = 0.618 \\ 40000 \leq R_e < 400000, C = 0.0266, n = 0.805 \end{array} \right) \quad (1-3)$$

[0033] 式(1-3)中, D_i 为冰层厚度, v_a 为风速, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认;

[0034] 进一步的, 计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系为:

[0035]

$$t \times 10^{-6} = \frac{3.01047574135d(D+d) - 1.0540915D(0.1073D+d)}{2(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_i + 337.9145 \times \frac{D(0.1073D+d)}{(I^2 - I_c^2)R_0} \\ - \frac{6.0209514827d(D+d) + 2.444420A_{Al} + 3.6989A_{Fe}}{(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_e (I > I_c) \quad (1-4)$$

[0036] 式中, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, I 为融冰电流, I_c 为临界融冰电流, R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻, T_i 为导线温度, T_e 为导线环境温度, A_{Al} 为导线铝部横截面积, A_{Fe} 为导线钢部横截面积。

[0037] 优选的, 所述监控计算模块还用于当导线温度超过限定温度时, 控制所述融冰电源模块停止输出融冰电流。

[0038] 优选的, 所述覆冰线路包括: 输电线路和光纤复合架空地线。

[0039] 优选的, 所述融冰电源模块包括: 断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器、晶闸管整流器、霍尔电流传感器和霍尔电压传感器;

[0040] 发电机或变电站电源的输出端依次连接所述断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器; 所述晶闸管整流器包括: 依次并联的第一支路、第二支路和第三支路, 其中, 所述第一支路、第二支路和第三支路均包括两个串联的晶闸管; 所述升压变压器的三相输出端分别与所述第一支路、第二支路和第三支路中两个串联的晶闸管之间的连接点相连;

[0041] 所述霍尔电压传感器分别与所述晶闸管整流器的第一支路、第二支路和第三支路并联; 所述霍尔电流传感器的一端连接所述霍尔电压传感器的一端, 所述霍尔电流传感器的另一端与所述晶闸管整流器的输出端连接。

[0042] 本发明的有益效果:

[0043] 1. 本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统, 其中包含温度现场监控传感模块、温度光纤光栅调节模块、覆冰现场监控传感模块、覆冰光纤光栅调节模块、监控计算模块、融冰电源模块和覆冰线路, 监控计算模块获取覆冰线路的覆冰情况, 及时与融冰电源模块通讯确定融冰电源模块的融冰时间和融冰电流, 控制融冰电源模块的输出, 温度现场监控传感模块时时监测覆冰线路的温度, 发现超过线路温度限值, 与直流融冰装置通讯及时停止融冰。

[0044] 2. 本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统能够根据采集覆冰线路温度和覆冰情况, 自动调节融冰电源的输出电流, 具有自动调节、通信迅速、远距离

传输、适应恶劣环境等优点。

附图说明

[0045] 图1是本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统的系统结构示意图；

[0046] 图2是本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统的基于单向EDFA放大的超长传感方案的结构示意图；

[0047] 图3是本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统的基于双向EDFA放大的超长传感方案的结构示意图；

[0048] 图4是本发明一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统的融冰电源模块电路连接示意图。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作详细说明。

[0050] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，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它实施例，都属于本发明保护的范围。

[0051] 一种根据覆冰线路温度自动调节输出电流的融冰系统，如图1所示，所述系统包括：

[0052] 温度现场监控传感模块、温度光纤光栅调节模块、覆冰现场监控传感模块、覆冰光纤光栅调节模块、监控计算模块、融冰电源模块和覆冰线路；

[0053] 所述覆冰线路由所述融冰电源模块的直流侧引出，分别连接用于获取覆冰线路导线温度数据的所述温度现场监控传感模块和用于获取覆冰线路导线外径数据的所述覆冰现场监控传感模块；

[0054] 其中，所述温度数据包括：导线温度 T_i 、环境温度 T_o 和导线与冰交界面的温度 T_o ；所述外径数据包括：导线覆冰后的外径 D 和导线外径 d 。

[0055] 所述温度现场监控传感模块双向连接所述温度光纤光栅调节模块；

[0056] 所述温度光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对信号进行光放大的方式，向所述温度现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线温度数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线温度数据的返回信号。

[0057] 所述覆冰现场监控传感模块双向连接所述覆冰光纤光栅调节模块；

[0058] 所述覆冰光纤光栅调节模块用于通过掺铒光纤放大器对信号进行光放大的方式，向所述覆冰现场监控传感模块发送用于采集所述覆冰线路导线外径数据的光信号并接收携带所述覆冰线路导线外径数据的返回信号。

[0059] 由于当前实用化光纤光栅传感系统可支持的最大单端传感距离约为30km-40km，不足以覆盖绝大多数的输电线路长度。本申请通过使用掺铒光纤放大器EDFA进行光放大的方式，放大光纤光栅解调仪输出/输入光信号功率，提高光纤光栅传感系统覆盖范围，实现单端传感测量距离不小于60km、双端传感测量距离可达到120km的目标，从而基本满足当前

绝大部分输电线路的传感测量距离要求。

[0060] 例如,如图2所示,基于单向EDFA放大的超长传感方案,通过对光纤光栅解调仪输出光信号的放大,进而增大了光纤光栅解调仪的光功率预算,从而增大了其能够支持的光传感覆盖范围;

[0061] 如图3所示,基于双向EDFA放大的超长传感方案,通过对光纤光栅解调仪输出光信号及光纤光栅传感器反射光信号进行双向放大,进而在更大程度上增大了光纤光栅解调仪的光功率预算,实现了光纤光栅解调仪更大的传感覆盖范围。

[0062] 考虑到本申请的特点及所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别与所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块数据传输的线路长度,监控计算模块采用1台DTS 200-240(22公里4通道),采用单端连接方式对输电线路运行温度进行实时监测。监控计算中心首先根据融冰电流的公式计算OPGW通过的融冰电流,产生热量使覆冰融化的参考融冰电流;再根据地形、气候、覆冰情况(性质、形状、冰厚)、OPGW结构和融冰方法等不同,通过OPGW光学、力学性能试验分析允许通过OPGW的融冰电流。

[0063] 同时根据测得的温度信息,掌握沿线导线温度,长期积累的线路覆冰的应力和温度资料可以对输电线路的运行和设计提供依据。

[0064] 所述温度光纤光栅调节模块和所述覆冰光纤光栅调节模块分别连接所述监控计算模块,所述监控计算模块连接所述融冰电源模块;

[0065] 所述监控计算模块用于根据所述温度数据、所述外径数据和导线融冰的热平衡公式(1-1)计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系及临界融冰电流 I_c ,并控制所述融冰电源模块输出所述融冰电流 I ,输出时间为融冰时间 t ;

[0066] 其中,所述融冰原理公式(1-1)为:

$$[0067] \quad I^2 R_0 t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1-1)$$

[0068] I :融冰电流;

[0069] R_0 导线温度为 0°C 时的导线电阻;

[0070] Q_1 :被融化部分的冰的温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

[0071] Q_2 :融化冰所需吸收的热量;

[0072] Q_3 :未被融化的冰温度变化吸收的热量;

[0073] Q_4 :导线温度从导线环境温度 T_e 升温至导线与冰交界面的温度 T_0 所吸收的热量;

[0074] Q_5 :冰表面散失的热量。

[0075] 所述根据所述温度数据、所述外径数据和导线融冰的热平衡公式(1-1)能够导出临界融冰电流 I_c 为:

[0076]

$$I_c = \left[\frac{2\pi k_i (T_0 - T_i)}{R_0 \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2\pi k_i}{R_0 \ln \frac{D_i}{D}} \times T_i \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{0.851075612 T_i}{(T_i - T_e) \ln \left(\frac{D+2d}{D} \right)} =$$

$$4.05503055 \times 10^{-8} (D+2d)(T_e + 273)^3 + \left\{ 4.16942731463 \times 10^{-3} C \bullet R_e' + \left[\frac{(T_i - T_e)(D+2d)^3}{\frac{(T_i + T_e)}{2} + 273} \right]^{0.25} \right\} \quad (1-2)$$

[0077] 式(1-2)中, T_e 为导线环境温度, T_0 为导线与冰交界面的温度, T_i 为导线温度, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, R_0 导线温度为0℃时的导线电阻, R_e 为雷诺数, k_i 为导热系数, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认;

[0078] 其中, R_e 为雷诺数, 计算公式为:

[0079]

$$R_e = 7.517442 \times 10^4 D_i v_a, \quad \left\{ \begin{array}{l} 40 \leq R_e < 4000, C = 0.683, n = 0.466 \\ 4000 \leq R_e < 40000, C = 0.193, n = 0.618 \\ 40000 \leq R_e < 400000, C = 0.0266, n = 0.805 \end{array} \right. \quad (1-3)$$

[0080] 式(1-3)中, D_i 为冰层厚度, v_a 为风速, n 和 C 均为环境系数根据式(1-3)确认;

[0081] 根据公式(1-4)计算融冰时间 t 和融冰电流 I 的关系为:

[0082]

$$t \times 10^{-6} = \frac{3.01047574135d(D+d) - 1.0540915D(0.1073D+d)}{2(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_i + 337.9145 \times \frac{D(0.1073D+d)}{(I^2 - I_c^2)R_0}$$

$$\frac{6.0209514827d(D+d) + 2.444420A_{Al} + 3.6989A_{Fe}}{(I^2 - I_c^2)R_0} \times T_e \quad (I > I_c) \quad (1-4)$$

[0083] 式中, D 为导线覆冰后的外径, d 为导线外径, I 为融冰电流, I_c 为临界融冰电流, R_0 导线温度为0℃时的导线电阻, T_i 为导线温度, T_e 为导线环境温度, A_{Al} 为导线铝部横截面积, A_{Fe} 为导线钢部横截面积。

[0084] 所述监控计算模块还用于当导线温度超过限定温度时, 控制所述融冰电源模块停止输出融冰电流, 所述限定温度可以根据导线的实际情况人为设定。

[0085] 所述覆冰线路包括: 输电线路和光纤复合架空地线。

[0086] 所述融冰电源模块, 如图4所述, 包括: 断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器、晶闸管整流器、霍尔电流传感器和霍尔电压传感器;

[0087] 发电机或变电站电源的输出端依次连接所述断路器、熔断器、接触器、电流互感器、升压变压器; 所述晶闸管整流器包括: 依次并联的第一支路、第二支路和第三支路, 其中, 所述第一支路、第二支路和第三支路均包括两个串联的晶闸管; 所述升压变压器的三相输出端分别连接所述第一支路、第二支路和第三支路中两个串联的晶闸管之间;

[0088] 所述霍尔电压传感器分别与所述晶闸管整流器的第一支路、第二支路和第三支路并联; 所述霍尔电流传感器的一端连接所述霍尔电压传感器的一端, 所述霍尔电流传感器

的另一端与所述晶闸管整流器的输出端连接。

[0089] 其中,所述升压变压器。主要起隔离、升压等作用,接线为Y/D11方式;晶闸管整流器融冰系统的主要交流设备,为覆冰线路提供直流融冰电流,融冰过程中通过改变闸管阀的触发角来调节线路直流电流;所述断路器和接触器,可实现对正常的开断电流等功能。

[0090] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

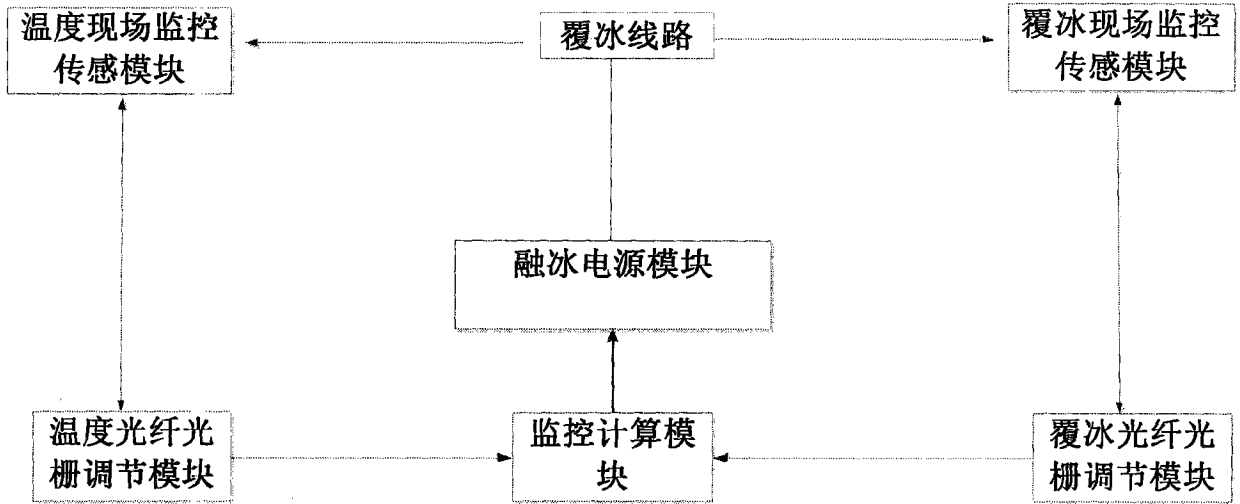


图1

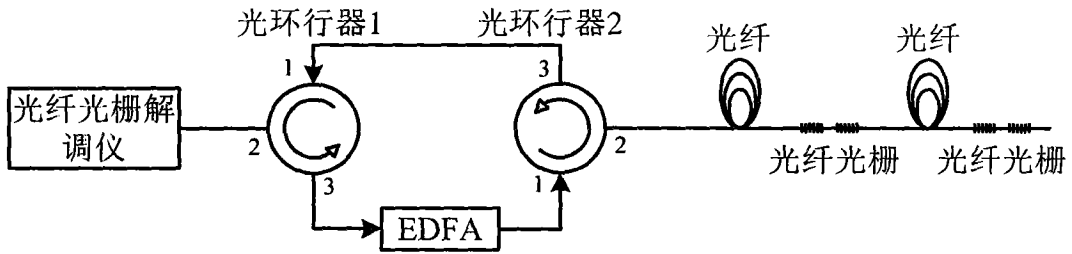


图2

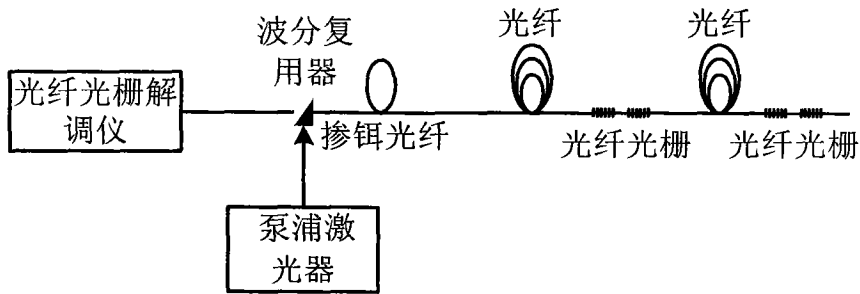


图3

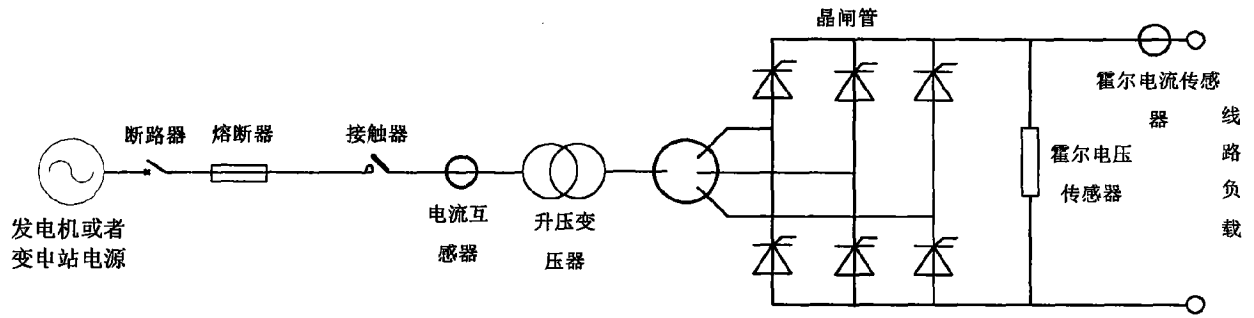


图4