



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101656407 B

(45) 授权公告日 2011.11.09

(21) 申请号 200910165945.8

(22) 申请日 2009.08.18

(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 武汉大学

(72) 发明人 李晓明

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 逯长明 王宝筠

(51) Int. Cl.

H02G 7/00 (2006.01)

H02G 7/16 (2006.01)

H02G 1/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101325324 A, 2008.12.17, 全文。

刘和云.《架空导线覆冰防冰的理论与应用》.《架空导线覆冰防冰的理论与应用》.中国铁道出版社, 2001, 第 212-213 页。

刘和云.《架空导线覆冰防冰的理论与应用》.《架空导线覆冰防冰的理论与应用》.中国铁道出版社, 2001, 第 212-213 页。

孙才新等. 导线覆冰及其干湿增长临界条件分析.《中国电机工程学报》.2003, 第 23 卷(第 3 期), 第 141-145 页。

陈及时. 掌握导线覆冰临界电流做好预防措施.《中国电力》.1997, 第 30 卷(第 10 期), 第 51-52, 71 页。

陈及时. 掌握导线覆冰临界电流做好预防措施.《中国电力》.1997, 第 30 卷(第 10 期), 第 51-52, 71 页。

山霞等. 关于架空输电线除冰措施的研究.《高电压技术》.2006, 第 32 卷(第 4 期), 第 25-27 页。

山霞等. 关于架空输电线除冰措施的研究.《高电压技术》.2006, 第 32 卷(第 4 期), 第 25-27 页。

Li Xiaoming, etc. Anti-icing Method Based Synchronous OLTC Technology in Transmission Lines.《Power and Energy Engineering Conference, 2009》.2009, 第 1-5 页。

审查员 庄惠敏

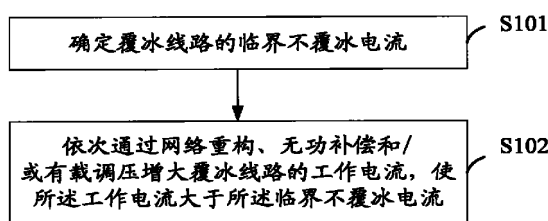
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种输电线路防覆冰的方法及装置

(57) 摘要

本发明提供一种输电线路防覆冰的方法及装置,所述方法包括:确定覆冰线路的临界不覆冰电流;依次通过网络重构、无功补偿和/或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流。本发明通过提高线路的工作电流,用工作电流产生的线路功率损耗的热量来平衡线路覆冰所需要的热量,从而破坏覆冰形成的条件,防止线路形成覆冰。本发明还提供一种输电线路防覆冰的装置。本发明在覆冰前进行防御,避免覆冰的形成,从而可以避免覆冰后人力物力的大量投入,成本低,经济效益好;而且本发明不需要中断输电线路的运行便可以做到防覆冰,从而可以保证工农业生产的正常运行。



1. 一种输电线路防覆冰的方法,其特征在于,包括:

确定覆冰线路的临界不覆冰电流;

依次通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流。

所述确定覆冰线路的临界不覆冰电流具体为:

根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件,根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流,取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流,最大值为最大临界不覆冰电流,最小值为最小临界不覆冰电流;三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为:

$$i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升,单位为 $^{\circ}\text{C}$; d 为导线外径,单位为 mm ; v 为风速,单位为 m/s ; R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

$$i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F)/R_0} \text{ 公式 (2)}$$

公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ; W_R 为单位长度导线的辐射散热功率; W_F 为单位长度导线的对流散热功率;

$$i_{c3} = \sqrt{\frac{2R}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$; T_a 为环境温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数;

R 为线路半径,单位为 mm ; R_0 为线路单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数,对于导线覆冰表面, r_c 取 0.79;

$I_m = \alpha_1 w v$; α_1 为水滴在导线上的碰撞率; v 为风速,单位为 m/s ; w 为空气中液水含量,单位为 kg/m^3 ;

c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$; c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$;

通过网络重构增大覆冰线路的工作电流具体步骤为:

通过电网调度中心进行系统运行方式调整控制覆冰线路的功率损耗;首先按照覆冰线路临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流;如果采用临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求;则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

2. 根据权利要求 1 所述的输电线路防覆冰的方法,其特征在于,通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流具体为:

对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路,在此基础上,通过增大线路无功功率的传输容量,控制覆冰线路的功率损耗,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

3. 根据权利要求 2 所述的输电线路防覆冰的方法,其特征在于,通过有载调压增大覆冰线路的工作电流具体为:

对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路,在此基础上,通过线

路两端配置的有载调压变压器进行有载调压,一端降低线路的运行电压,增大线路的工作电流,使工作电流大于最小临界不覆冰电流,另一端升压至正常运行电压。

4. 一种输电线路防覆冰的装置,其特征在于,包括:临界不覆冰电流确定单元和工作电流增大单元;

所述临界不覆冰电流确定单元,用于确定覆冰线路的临界不覆冰电流;

所述工作电流增大单元,用于依次通过网络重构、无功补偿和/或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流。

所述临界不覆冰电流确定单元,用于确定覆冰线路的临界不覆冰电流;具体为:

根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件,根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流,取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流,最大值为最大临界不覆冰电流,最小值为最小临界不覆冰电流;三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为:

$$i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升,单位为 $^{\circ}\text{C}$; d 为导线外径,单位为 mm ; v 为风速,单位为 m/s ; R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

$$i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F)/R_0} \text{ 公式 (2)}$$

公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ; W_R 为单位长度导线的辐射散热功率; W_F 为单位长度导线的对流散热功率;

$$i_{c3} = \sqrt{\frac{2R}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$; T_a 为环境温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数;

R 为线路半径,单位为 mm ; R_0 为线路单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数,对于导线覆冰表面, r_c 取 0.79;

$I_m = \alpha_1 w v$; α_1 为水滴在导线上的碰撞率; v 为风速,单位为 m/s ; w 为空气中液水含量,单位为 kg/m^3 ;

c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$; c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$;

所述工作电流增大单元,用于通过网络重构增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

通过电网调度中心进行系统运行方式调整控制覆冰线路的功率损耗;首先按照覆冰线路临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流;如果采用临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求;则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

5. 根据权利要求 4 所述的输电线路防覆冰的装置,其特征在于,所述工作电流增大单元,用于通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路,在此基础上,通过增大线路无功功率的传输容量,控制覆冰线路的功率损耗,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

6. 根据权利要求 5 所述的输电线路防覆冰的装置,其特征在于,所述工作电流增大单元,用于通过有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路,在此基础上,通过线路两端配置的有载调压变压器进行有载调压,一端降低线路的运行电压,增大线路的工作电流,使工作电流大于最小临界不覆冰电流,另一端升压至正常运行电压。

一种输电线路防覆冰的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及输电设备控制技术领域,特别涉及一种输电线路防覆冰的方法及装置。

背景技术

[0002] 由于全球性气候变暖,加之我国受大气候、微地形和微气象条件的影响,近几年我国电网覆冰灾害不断加剧,覆冰影响范围日益扩大,造成的危害越来越严重。尤其是 2008 年我国南方大部分地区出现了历史上罕见的持续低温、雨雪冰冻极端天气,造成输变电设备设施严重覆冰,输电线路发生倒塔、断线及跳闸,部分地区大面积停电。此次雪灾给国家电网直接财产损失达 104.5 亿元,灾后电网恢复重建和改造需要投入资金 390 亿元。

[0003] 目前,国内外尚无一种安全、经济、可靠、有效、简单的输电线路防除冰方法。我国电网这场冰灾,主要采用了人工敲击除冰法(机械除冰法中的一种)。人工敲击除冰法的优点是上手快、无需特殊的设备投入和特殊的技术要求,但缺点是需要大量的人力停电操作,时间长,工作量大,而且,人工敲击对铁塔、输电线和绝缘子的机械强度会有一定程度的损伤。在倒塔严重的区域,操作者上塔操作的人身安全也很难保障。

[0004] 处理导线覆冰问题的基本原则应该是:以防为主,即先要防止导线覆冰,而不要等到导线严重覆冰以后再采取措施来除冰。为此,研究一种简单、易行、有效和节能的防覆冰技术非常必要。

[0005] 对于输电线路防覆冰和融冰的研究,国内外相关机构一直十分重视。目前防覆冰和融冰方法有 30 余种。其中采用最广泛的是人工敲击除冰和采用新材料。人工敲击除冰以上已经介绍过,下面简单介绍下新型导线防覆冰和融冰。

[0006] 新型导线防覆冰和融冰主要是在导线的结构和材料方面进行改进。如化学涂料防冰方法是在导线表面涂上憎水性涂料降低冰和导线之间的附着力。到目前为止,世界上还没有一种可以阻止冰形成的材料,也未见到实用于导线的防覆冰涂料,原因是涂料涂在导线上后,涂层容易破裂,这样憎水性再好的涂料有了裂纹后,水容易吸附到导体上,形成结冰,另外还有涂料的老化问题。

[0007] 综上所述,现有的防除冰技术普遍存在需停电、安全性低、能耗大、花费时间长和投资大的问题。到目前为止,尚无安全、经济、可靠、有效、简单的防除冰方法。

发明内容

[0008] 本发明要解决的技术问题是提供一种输电线路防覆冰的方法及装置,能够安全、经济的防止输电线路覆冰,并且不需停电。

[0009] 本发明提供一种输电线路防覆冰的方法,包括:

[0010] 确定覆冰线路的临界不覆冰电流;

[0011] 依次通过网络重构、无功补偿和/或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流;

[0012] 所述确定覆冰线路的临界不覆冰电流具体为：

[0013] 根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件，根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流，取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流，最大值为最大临界不覆冰电流，最小值为最小临界不覆冰电流；三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为：

$$[0014] \quad i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

[0015] 公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ； d 为导线外径，单位为 mm ； v 为风速，单位为 m/s ； R_0 为导线单位长度电阻，单位为 Ω/km ；

$$[0016] \quad i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F) / R_0} \text{ 公式 (2)}$$

[0017] 公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻，单位为 Ω/km ； W_R 为单位长度导线的辐射散热功率； W_F 为单位长度导线的对流散热功率；

$$[0018] \quad i_{c3} = \sqrt{\frac{2R_0}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

[0019] 公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$ ； T_a 为环境温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ； $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ；

[0020] h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数；

[0021] R 为线路半径，单位为 mm ； R_0 为线路单位长度电阻，单位为 Ω/km ；

[0022] r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数，对于导线覆冰表面， r_c 取 0.79；

[0023] $I_m = \alpha_1 w v$ ； α_1 为水滴在导线上的碰撞率； v 为风速，单位为 m/s ； w 为空气中液水含量，单位为 kg/m^3 ；

[0024] c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ ； c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ ；

[0025] 通过网络重构增大覆冰线路的工作电流具体步骤为：

[0026] 通过电网调度中心进行系统运行方式调整控制覆冰线路的功率损耗；首先按照覆冰线路临界不覆冰电流进行网络重构，使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流；如果采用临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求；则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构，使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

[0027] 优选地，通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流具体为：

[0028] 对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路，在此基础上，通过增大线路无功功率的传输容量，控制覆冰线路的功率损耗，使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

[0029] 优选地，通过有载调压增大覆冰线路的工作电流具体为：

[0030] 对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路，在此基础上，通过线路两端配置的有载调压变压器进行有载调压，一端降低线路的运行电压，增大线路的工作电流，使工作电流大于最小临界不覆冰电流，另一端升压至正常运行电压。

[0031] 本发明还提供一种输电线路防覆冰的装置，包括：临界不覆冰电流确定单元和工作电流增大单元；

[0032] 所述临界不覆冰电流确定单元，用于确定覆冰线路的临界不覆冰电流；

[0033] 所述工作电流增大单元，用于依次通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大

覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流;

[0034] 所述临界不覆冰电流确定单元,用于确定覆冰线路的临界不覆冰电流;具体为:

[0035] 根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件,根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流,取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流,最大值为最大临界不覆冰电流,最小值为最小临界不覆冰电流;三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为:

$$[0036] \quad i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

[0037] 公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升,单位为 $^{\circ}\text{C}$; d 为导线外径,单位为 mm ; v 为风速,单位为 m/s ; R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

$$[0038] \quad i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F)/R_0} \text{ 公式 (2)}$$

[0039] 公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ; W_R 为单位长度导线的辐射散热功率; W_F 为单位长度导线的对流散热功率;

$$[0040] \quad i_{c3} = \sqrt{\frac{2R}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

[0041] 公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$; T_a 为环境温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

[0042] h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数;

[0043] R 为线路半径,单位为 mm ; R_0 为线路单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

[0044] r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数,对于导线覆冰表面, r_c 取 0.79;

[0045] $I_m = \alpha_1 w v$; α_1 为水滴在导线上的碰撞率; v 为风速,单位为 m/s ; w 为空气中液水含量,单位为 kg/m^3 ;

[0046] c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$; c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$;

[0047] 所述工作电流增大单元,用于通过网络重构增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

[0048] 通过电网调度中心进行系统运行方式调整控制覆冰线路的功率损耗;首先按照覆冰线路临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流;如果采用临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求;则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

[0049] 优选地,所述工作电流增大单元,用于通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

[0050] 对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路,在此基础上,通过增大线路无功功率的传输容量,控制覆冰线路的功率损耗,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

[0051] 优选地,所述工作电流增大单元,用于通过有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流,具体为:

[0052] 对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路,在此基础上,通过线路两端配置的有载调压变压器进行有载调压,一端降低线路的运行电压,增大线路的工作电流,使工作电流大于最小临界不覆冰电流,另一端升压至正常运行电压。

[0053] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0054] 本发明提供的输电线路防覆冰的方法及装置,通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大输电线路的工作电流,使线路的工作电流大于其临界不覆冰电流,用工作电流产生的线路功率损耗的热量来平衡线路覆冰所需要的热量,从而破坏覆冰形成的条件,防止线路形成覆冰。该方法在覆冰前进行防御,避免覆冰的形成,从而可以避免覆冰后人力物力的大量投入,成本低,经济效益好;而且本发明不需要中断输电线路的运行便可以做到防覆冰,从而可以保证工农业生产的正常运行。

附图说明

[0055] 图 1 是本发明输电线路防覆冰方法第一实施例流程图;

[0056] 图 2 是本发明输电线路防覆冰方法第二实施例流程图;

[0057] 图 3 是本发明三个不覆冰电流曲线图;

[0058] 图 4 是本发明输电线路防覆冰装置实施例结构图。

具体实施方式

[0059] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0060] 参见图 1,该图为本发明输电线路防覆冰方法第一实施例流程图。

[0061] S101:确定覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0062] 从电网中选择穿越覆冰地区的可能覆冰线路,根据所选线路的型号、分裂数和线路经过区域的气象条件,计算可能覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0063] 线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件不同,则线路的覆冰电流不同。

[0064] S102:依次通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流。

[0065] 需要说明的是,所述网络重构、无功补偿和有载调压调整后的线路工作电流是依次增大的。网络重构调整后,有的线路的工作电流仍然小于临界不覆冰电流,此时对这些线路进行无功补偿调整。无功补偿调整以后,有可能还有一些线路的工作电流小于临界不覆冰电流,此时对这些线路进行有载调压进行调整,直至所有线路的工作电流均大于临界不覆冰电流。

[0066] 在弱覆冰气象条件、枯大运行方式下,有可能出现所选定的线路只经过网络重构一个措施就全达到了防覆冰的要求。或者经过网络重构和无功补偿两个措施使所选定的线路全达到了防覆冰的要求。但是,在强覆冰气象条件、枯小运行方式下,可能出现所选定的线路经过网络重构和无功补偿两个措施后,只有很少几条线路可以达到防覆冰的要求,极端情况下可能没有线路达到防覆冰的要求。因此,网络重构、无功补偿和有载调压这三个方法是可以选择的,有的线路只用到其中的一个或两个,有的可能三个均要用到才能达到防覆冰要求。

[0067] 本实施例提供的输电线路防覆冰的方法,通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大输电线路的工作电流,使线路的工作电流大于其临界不覆冰电流,用工作电流产生的线路功率损耗的热量来平衡线路覆冰所需要的热量,从而破坏覆冰形成的条件,防止线

路形成覆冰。该方法在覆冰前进行防御,避免覆冰的形成,从而可以避免覆冰后人力物力的大量投入,成本低,经济效益好;而且本发明不需要中断输电线路的运行便可以做到防覆冰,从而可以保证工农业生产的正常运行。

[0068] 参见图 2,该图为本发明输电线路防覆冰方法第二实施例流程图。

[0069] S201:确定覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0070] 根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件,根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流。

[0071] 需要说明的是,这三个不覆冰电流是在同一条件下计算的。

[0072] 三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为:

$$[0073] \quad i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

[0074] 公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升,单位为 $^{\circ}\text{C}$; d 为导线外径,单位为 mm ; v 为风速,单位为 m/s ; R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

$$[0075] \quad i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F)/R_0} \text{ 公式 (2)}$$

[0076] 公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ; W_R 为单位长度导线的辐射散热功率; W_F 为单位长度导线的对流散热功率;

$$[0077] \quad i_{c3} = \sqrt{\frac{2R}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

[0078] 公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$; T_a 为环境温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

[0079] h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数;

[0080] R 为线路半径,单位为 mm ; R_0 为线路单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

[0081] r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数,对于导线覆冰表面, r_c 取 0.79;

[0082] $I_m = \alpha_1 w v$; α_1 为水滴在导线上的碰撞率; v 为风速,单位为 m/s ; w 为空气中液水含量,单位为 kg/m^3 ;

[0083] c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$; c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 。

[0084] 取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流,表示为: $i_{\text{mid}} = \text{mid}\{i_{c1}, i_{c2}, i_{c3}\}$ 。

[0085] 取三个不覆冰电流中的最大值为最大临界不覆冰电流,表示为: $i_{\text{max}} = \max\{i_{c1}, i_{c2}, i_{c3}\}$ 。

[0086] 取三个不覆冰电流中的最小值为最小临界不覆冰电流,表示为: $i_{\text{min}} = \min\{i_{c1}, i_{c2}, i_{c3}\}$ 。

[0087] S202:对覆冰线路进行网络重构、无功补偿和有载调压的数字仿真,确定最佳的调整方案。

[0088] 需要说明的是,优选计算最大临界不覆冰电流 i_{max} 的气象条件是:环境温度为 -5°C ,风速为 5m/s ;优选计算最小临界不覆冰电流 i_{min} 的气象条件是:环境温度为 -1°C ,风速为 0.5m/s 。

[0089] S203:由确定的最佳调整方案,首先通过网络重构增大覆冰线路的工作电流,使工

作电流大于临界不覆冰电流。

[0090] 具体为 :通过电网调度中心进行系统运行方式调整控制覆冰线路的功率损耗 ;首先按照覆冰线路临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流 ;如果采用临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求 ;则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构,使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

[0091] S204 :通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流,是工作电流稍大于临界不覆冰电流。

[0092] 具体为 :对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路,通过增大线路无功功率的传输容量,控制覆冰线路的功率损耗,使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

[0093] S205 :通过有载调压增大覆冰线路的工作电流,直至所有线路的工作电流均大于临界不覆冰电流。

[0094] 具体为 :对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路,通过线路两端配置的有载调压变压器进行有载调压,一端降低线路的运行电压,增大线路的工作电流,使工作电流大于最小临界不覆冰电流,另一端升压至正常运行电压。

[0095] 有载调压的控制方法是先降后升,多步调整,直至覆冰线路的工作电流大于线路临界不覆冰电流为止。

[0096] 电压调整的步数等于调压的幅度与单步调压的电压变化量之比。

[0097] 单步调压的电压变化率和母线侧的电压偏移应不大于相关国家标准的规定。

[0098] 下面结合具体实施例详细说明本发明输电线路防覆冰方法的具体实现方式。

[0099] 选择某电网西北部,多山地,气候条件相对恶劣,冬季输电线路经常发生覆冰。

[0100] 根据资料显示,覆冰一般发生在风速 3m/s 以下,温度 $0^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ 时。

[0101] 选定强覆冰气象条件 :风速 5m/s,温度 -5°C 时的临界不覆冰电流作为制定控制策略的参考电流。

[0102] 实际运行中,极大多数线路覆冰都发生在先下小雨,后下湿雪的气象条件下,气温先在 0°C 以上,后降到 0°C 以下。先是无风或有轻微的南风,湿度很大,后变为北风,并逐渐增大,湿度迅速降低,湿雪变为干雪。

[0103] 因此,在下雨、雪的初期,导线如果不覆冰,则以后导线就不易覆冰。

[0104] 选择该电网的运行数据,电网区内负荷 43 万 kW,发电量 41 万 kW,另外 2 万 kW 由网外发电厂供给。从电网中选出可能覆冰的线路有 14 条,其中 :220kV 线路 6 条,110kV 线路 8 条。

[0105] 在计算条件为 :空气液水含量 $w = 0.0003\text{kg}/\text{m}^3$;环境温度 $T_a = -5^{\circ}\text{C}$ 的情况下,采用线路不覆冰电流计算公式 (1)、公式 (2) 和公式 (3) 计算三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} ,曲线如图 3 所示,横坐标是风速 v ,单位是 m/s ;纵坐标是电流,单位是 A。线路型号和长度见表 1。

[0106] 最大临界不覆冰电流为 i_{c2} ,最小临界不覆冰电流为 i_{c1} 。为了反映一般情况,仿真计算取中间值 i_{c3} 为临界不覆冰电流,即采用式 (3) 计算。

[0107] 仿真计算的基础条件为 :

[0108] 计算工具 :采用电力科学研究院微机版 PSASP 电力系统分析程序完成所有计算和分析工作。

- [0109] 计算水平年及计算范围 : 计算水平年选择为 2008 年, 计算范围选择某地区电网。
- [0110] 运行方式 : 运行方式按照枯大和枯小两种方式进行。
- [0111] 计算电压等级 : 计算电压等级选择 110kV 及其以上等级。
- [0112] 发电机功率因数 : 枯小运行方式下, 由于负荷降低, 考虑将火电满发, 水电出力降低, 发电功率因数不低于 0.85。
- [0113] 电压水平控制 : 根据《电力系统技术导则》、《电力系统设计技术规程 (试行) 》、《电力系统电压和无功电力技术导则 (试行) 》的要求。
- [0114] 变压器抽头正常调节范围 : 0.95 ~ 1.05。
- [0115] 暂态稳定计算模拟方式 : 三永故障 : 0" 故障 ; 0.12" 切除。
- [0116] 稳定准则和稳定判据 : 根据《电力系统安全稳定导则》、《电力系统技术导则》、《电力系统设计技术规程》、《电力系统暂态稳定计算暂行规定》等规程规定。
- [0117] 表 1 是利用网络重构增大线路的工作电流的计算结果。

[0118]

表 1 网络重构后线路电流表						
线路名称		线路型号	线路	线路临界	网络重构前	网络重构后
I 侧母线	J 侧母线		长度 (km)	不覆冰电流 (A)	电流 (A)	电流 (A)
I1-220	J1-220	LGJQ-2×300	24.3	591.28x2	138.08	138.19
I2-220	J2-220	LGJQ-2×300	20	591.28x2	179.3	179.3
I3-220	J3-220	LGJQ-2×300	49.7	591.28x2	47.69	52.55
I4-220	J4-220	LGJQ-2×300	63.2	591.28x2	64.21	60.53
I5-220	J5-220	LGJQ-2×300	12.6	591.28x2	359.78	360.43
I6-220	J6-220	LGJQ-240	12.6	397.93	243.45	238.69
I7-110	J7-110	LGJQ-240	24.5	397.93	247.23	435.64
I8-110	J8-110	LGJQ-240	3.4	397.93	96.44	96.59
I9-110	J9-110	LGJQ-150	3.8	243.90	125.68	314.61
I10-110	J10-110	LGJQ-240	2.1	397.93	152.17	152.49
I11-110	J11-110	LGJQ-240	4.7	397.93	95.46	95.65
I12-110	J12-110	LGJQ-240	11.9	397.93	60.88	61
I13-110	J13-110	LGJQ-240	10	397.93	155.64	155.71
I14-110	J14-110	LGJQ-240	30	397.93	61.6	61.64

[0119] 表 1 是采用网络重构方法对 14 条可能覆冰的线路进行网络重构的结果。网络重构使两条线路在不增加任何设备投入,不影响电网安全运行的情况下满足防覆冰的要求。即: I7-J7 线路的工作电流为 435.64A,大于该线路的临界不覆冰电流 397.93A。I9-J9 线路的工作电流为 314.61A,大于该线路的临界不覆冰电流 243.90A。

[0120] 下面对 12 条仍不满足防覆冰要求的线路通过无功补偿进行调整。

[0121] 表 2 是采用无功补偿增大线路工作电流的计算结果。

[0122]

表 2 无功补偿后的线路电流表						
线路名称		线路型号	线路长度 (km)	无功补偿前 线路电流(A)	线路不防覆冰 临界电流(A)	无功补偿后 线路电流(A)
I 侧母线	J 侧母线					
I1-220	J1-220	LGJQ-2×300	24.3	138.19	591.28x2	148.88
I2-220	J2-220	LGJQ-2×300	20	179.3	591.28x2	194.9
I3-220	J3-220	LGJQ-2×300	49.6	52.55	591.28x2	49.03
I4-220	J4-220	LGJQ-2×300	63.2	60.53	591.28x2	59.89
I5-220	J5-220	LGJQ-2×300	12.6	360.43	591.28x2	389.99
I6-220	J6-220	LGJQ-240	12.6	238.69	397.93	235.93
I7-110	J7-110	LGJQ-240	24.5	435.64	397.93	448.73
I8-110	J8-110	LGJQ-240	3.4	96.59	397.93	96.88
I9-110	J9-110	LGJQ-150	3.8	314.61	243.90	471.91
I10-110	J10-110	LGJQ-240	2.1	152.49	397.93	581.38
I11-110	J11-110	LGJQ-240	4.7	95.65	397.93	474.09
I12-110	J12-110	LGJQ-240	11.9	61	397.93	433.67
I13-110	J13-110	LGJQ-240	10	155.71	397.93	419.48
I14-110	J14-110	LGJQ-240	30	61.64	397.93	154.28

[0123] 表 2 是采用无功补偿方法对 12 条可能覆冰的线路进行网络重构的结果。需要说明的是,将网络重构后的电流作为无功补偿前的线路电流。

[0124] 采用无功补偿方法对仍不满足防覆冰要求的 12 条可能覆冰线路进行无功补偿增大其线路损耗。

[0125] 从表 2 的结果可以看出,有 4 条线路通过无功补偿设备的运行方式和容量的调整

工作电流大于线路的临界不覆冰电流,即:I10-J10、I11-J11、I12-J12 和 I13-J13。

[0126] 下面对仍不满足防覆冰要求的 8 条线路通过有载调压进行调整。

[0127] 表 3 是采用有载调压增大线路工作电流的计算结果。

[0128]

表 3 有载调压后线路电流表							
线路名称		线路型号	电压调整前 电流 (A)	电压调整前母 线电压 (kV)	线路不覆冰 临界电流 (A)	电压需 调整到 (V)	电压调整后 电流 (A)
I 侧母线	J 侧母线						
I1-220	J1-220	LGJQ-2×300	148.88	231.02	591.28x2	29	1222.067
I2-220	J2-220	LGJQ-2×300	194.9	232.1	591.28x2	38	1204.312
I3-220	J3-220	LGJQ-2×300	49.03	231.2	591.28x2	10	1259.57
I4-220	J4-220	LGJQ-2×300	59.89	231.7	591.28x2	12	1214.013
I5-220	J5-220	LGJQ-2×300	389.99	232.1	591.28x2	77	1202.546
I6-220	J6-220	LGJQ-240	235.93	231	397.93	136	400.2271
I7-110	J7-110	LGJQ-150	314.61	112.3	243.90	/	
I8-110	J8-110	LGJQ-240	96.88	109.6	397.93	27	401.9709
I9-110	J9-110	LGJQ-240	433.67	111.3	397.93	/	
I10-110	J10-110	LGJQ-240	581.38	111.6	397.93	/	
I11-110	J11-110	LGJQ-240	474.09	111.5	397.93	/	
I12-110	J12-110	LGJQ-240	230.09	111.6	397.93	63	402.625
I13-110	J13-110	LGJQ-240	419.48	110.1	397.93	/	
I14-110	J14-110	LGJQ-240	154.28	106.7	397.93	39	402.2384

[0129] 表 3 是采用有载调压方法对仍不满足防覆冰要求的 8 条可能覆冰线路进行有载调压增大其线路损耗的结果。

[0130] 从表 3 的结果可以看出,有 8 条线路通过有载调压后的工作电流大于线路的临界不覆冰电流,即:I1-J1、I2-J2、I3-J3、I4-J4、I5-J5、I6-J6、I8-J8 和 I14-J14。

[0131] 以上是本发明依次采用网络重构、无功补偿和有载调压增大线路工作电流的具体步骤。

[0132] 本发明实施例提供的输电线路防覆冰方法主要是以防御为主,当监测到输电线路满足可能覆冰的条件时,启动防覆冰的措施,这样可以避免覆冰引起停电和倒塔事故。并且

本发明防覆冰方法无需中断线路的供电,社会效益好。充分利用电网的现有设备和资源,投资少,成本低。现有的防覆冰和融冰方法主要是人工操作,不但工作量大,成本高;而且需要停电实施,本发明充分利用电网现有的设备和资源,无需大量的人工和专用设备的投入,防御冰灾的效益高,成本低。

[0133] 基于上述输电线路防覆冰的方法,本发明还提供了输电线路防覆冰的装置,下面结合具体实施例来详细说明其组成部分。

[0134] 参见图 4,该图为本发明输电线路防覆冰的装置实施例结构图。

[0135] 本发明实施例提供的输电线路防覆冰的装置包括:临界不覆冰电流确定单元 401 和工作电流增大单元 402。

[0136] 所述临界不覆冰电流确定单元 401,用于确定覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0137] 从电网中选择穿越覆冰地区的可能覆冰线路,根据所选线路的型号、分裂数和线路经过区域的气象条件,计算可能覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0138] 所述气象条件包括强覆冰气象条件和弱覆冰气象条件。

[0139] 线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件不同,则线路的覆冰电流不同。

[0140] 所述工作电流增大单元 402,用于依次通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大覆冰线路的工作电流,使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流。

[0141] 需要说明的是,所述网络重构、无功补偿和有载调压调整后的线路工作电流是依次增大的。网络重构调整后,有的线路的工作电流仍然小于临界不覆冰电流,此时对这些线路进行无功补偿调整。无功补偿调整以后,有可能还有一些线路的工作电流小于临界不覆冰电流,此时对这些线路进行有载调压进行调整,直至所有线路的工作电流均大于临界不覆冰电流。

[0142] 本实施例提供的输电线路防覆冰的装置,通过网络重构、无功补偿和 / 或有载调压增大输电线路的工作电流,使线路的工作电流大于其临界不覆冰电流,用工作电流产生的线路功率损耗的热量来平衡线路覆冰所需要的热量,从而破坏覆冰形成的条件,防止线路形成覆冰。该方法在覆冰前进行防御,避免覆冰的形成,从而可以避免覆冰后人力物力的大量投入,成本低,经济效益好;而且本发明不需要中断输电线路的运行便可以做到防覆冰,从而可以保证工农业生产的正常运行。

[0143] 下面详细介绍所述临界不覆冰电流确定单元 401 怎样确定覆冰线路的临界不覆冰电流。

[0144] 根据覆冰线路的型号、分裂数和经过区域的气象条件,根据三个公式分别计算覆冰线路的三个不覆冰电流,取三个不覆冰电流中的中间值为临界不覆冰电流,最大值为最大临界不覆冰电流,最小值为最小临界不覆冰电流;三个不覆冰电流 i_{c1} 、 i_{c2} 和 i_{c3} 的计算公式分别为:

$$[0145] \quad i_{c1} = \sqrt{225.43 \frac{\Delta t \sqrt{dv}}{R_0}} \text{ 公式 (1)}$$

[0146] 公式 (1) 中 Δt 为导线表面的温升,单位为 $^{\circ}\text{C}$; d 为导线外径,单位为 mm ; v 为风速,单位为 m/s ; R_0 为导线单位长度电阻,单位为 Ω/km ;

$$[0147] \quad i_{c2} = \sqrt{(W_R + W_F) / R_0} \text{ 公式 (2)}$$

[0148] 公式 (2) 中 R_0 为导线单位长度电阻, 单位为 Ω/km ; W_R 为单位长度导线的辐射散热功率; W_F 为单位长度导线的对流散热功率;

$$[0149] \quad i_{c3} = \sqrt{\frac{2R}{R_0} [W_s - 2I_m c_w T_a - (\frac{h_p r_c v^2}{2c_a} + \frac{I_m v^2}{2})]} \text{ 公式 (3)}$$

[0150] 公式 (3) 中 $W_s = -\pi T_a (h + h_p) + 0.95 \pi \sigma_R [273^4 - (273 + T_a)^4]$; T_a 为环境温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$; $\sigma_R = 5.567 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

[0151] h 和 h_p 分别为导线表面自然对流系数和强制对流系数;

[0152] R 为线路半径, 单位为 mm ; R_0 为线路单位长度电阻, 单位为 Ω/km ;

[0153] r_c 为圆柱体导线表面局部恢复系数, 对于导线覆冰表面, r_c 取 0.79;

[0154] $I_m = \alpha_1 w v$; α_1 为水滴在导线上的碰撞率; v 为风速, 单位为 m/s ; w 为空气中液水含量, 单位为 kg/m^3 ;

[0155] c_w 为水的比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$; c_a 为空气比热 $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 。

[0156] 所述工作电流增大单元 402, 用于通过网络重构增大覆冰线路的工作电流, 使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流, 具体为:

[0157] 通过电网调度中心进行系统运行方式调整和网络重构控制覆冰线路的功率损耗; 首先按照覆冰线路最小临界不覆冰电流进行网络重构, 使覆冰线路的工作电流大于最小临界不覆冰电流; 如果采用最小临界不覆冰电流的网络重构不能满足防覆冰要求; 则采用最大临界不覆冰电流进行网络重构, 使覆冰线路的工作电流大于最大临界不覆冰电流。

[0158] 所述工作电流增大单元 402, 用于通过无功补偿增大覆冰线路的工作电流, 使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流, 具体为:

[0159] 对于通过网络重构仍达不到防覆冰要求的线路, 在此基础上, 通过增大线路无功功率的传输容量, 控制覆冰线路的功率损耗, 使覆冰线路的工作电流大于临界不覆冰电流。

[0160] 所述工作电流增大单元 402, 用于通过有载调压增大覆冰线路的工作电流, 使所述工作电流大于所述临界不覆冰电流, 具体为:

[0161] 对于通过网络重构和无功补偿仍达不到防覆冰要求的覆冰线路, 在此基础上, 通过线路两端配置的有载调压变压器进行有载调压, 一端降低线路的运行电压, 增大线路的工作电流, 增加线路的功率损耗, 使工作电流大于最小临界不覆冰电流, 另一端升压至正常运行电压。

[0162] 本发明实施例提供的输电线路防覆冰装置主要是以防御为主, 当监测到输电线路满足可能覆冰的条件时, 启动防覆冰的措施, 这样可以避免覆冰引起停电和倒塔事故。并且本发明防覆冰方法无需中断线路的供电, 社会效益好。充分利用电网的现有设备和资源, 投资少, 成本低。现有的防覆冰和融冰方法主要是人工操作, 不但工作量大, 成本高; 而且需要停电实施, 本发明充分利用电网现有的设备和资源, 无需大量的人工和专用设备的投入, 防御冰灾的效益高, 成本低。

[0163] 以上所述, 仅是本发明的较佳实施例而已, 并非对本发明作任何形式上的限制。虽然本发明已以较佳实施例揭露如上, 然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员, 在不脱离本发明技术方案范围情况下, 都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰, 或修改为等同变化的等效实施例。因此, 凡是未脱离本发明技术方案的内容, 依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同

变化及修饰,均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

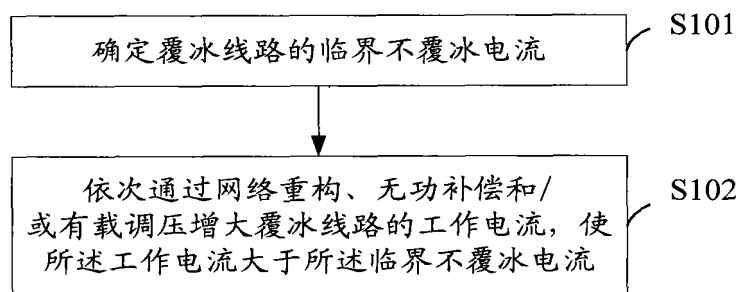


图 1

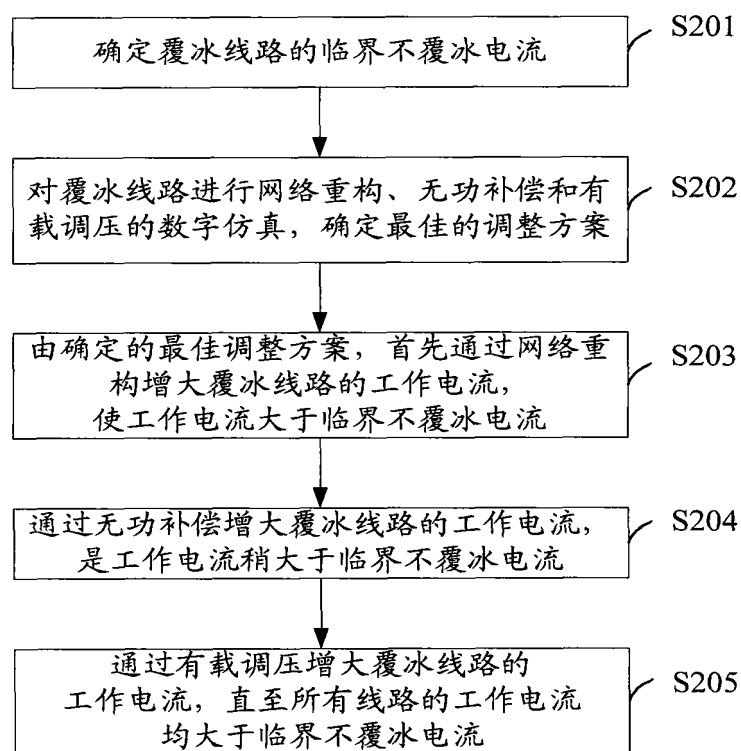


图 2

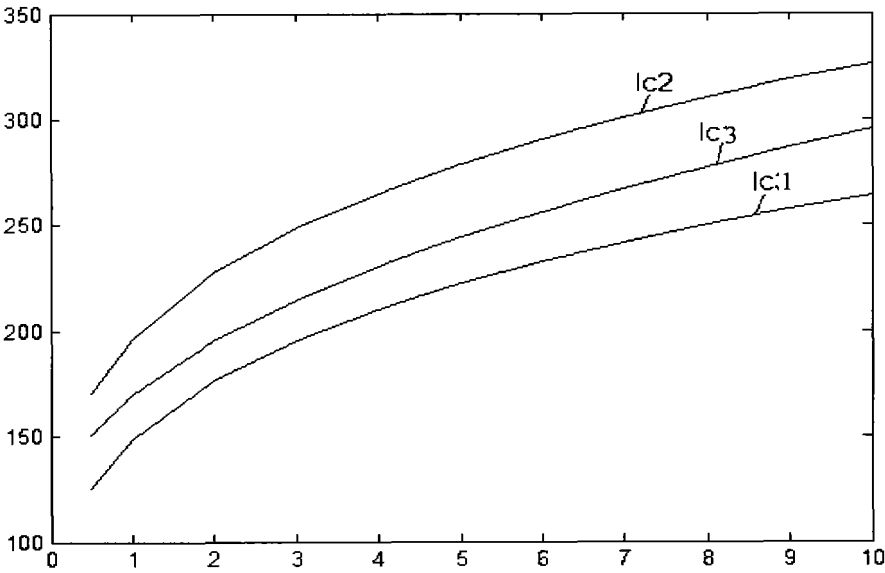


图 3

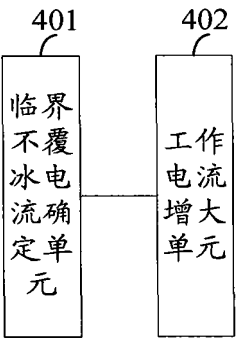


图 4