

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2015 年 9 月 11 日 (11.09.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/131517 A 1

- (51) 国际分类号 : H02G 7/16 (2006.01)
- (21) 国际申请号 : PCT/CN20 14/087 160
- (22) 国际申请日 : 2014 年 9 月 23 日 (23.09.2014)
- (25) 申报语言 : 中文
- (26) 公布语言 : 中文
- (30) 优先权 : 2014 1008341 1.1 2014 年 3 月 7 日 (07.03.2014) CN
- (71) 申请人 : 南方电网科学研究院有限责任公司 (CHINA SOUTHERN POWER GRID TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE CO., LTD) [CN/CN]; 中国广东省广州市越秀区东风东路水均岗 8 号粤电大厦西塔 ,Guangdong 510080 (CN)。
- (72) 发明人 : 傅闯 (FU, Chuan g); 中国广东省广州市越秀区东风东路水均岗 8 号粤电大厦西塔 ,Guangdong 510080 (CN)。 饶% (RAO, Hong); 中国广东省广州

市越秀区东风东路水均岗 8 号粤电大厦西塔 ,Guangdong 510080 (CN)。 汪娟娟 (WANG, Juan-juan); 中国广东省广州市越秀区东风东路水均岗 8 号粤电大厦西塔 ,Guangdong 510080 (CN)。 许树楷 (XU, Shukai); 中国广东省广州市越秀区东风东路水均岗 8 号粤电大厦西塔 ,Guangdong 510080 (CN)。

(74) 代理人 : 广州粤高专利商标代理有限公司 (YOGO PATENT & TRADE MARK AGENCY LIMITED COMPANY); 中国广东省广州市天河区体育西路 191 号中石化大厦 B 塔 3912 室 ,Guangdong 510620 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,

[见续页]

(54) Title: DIRECT-CURRENT DE-ICING DEVICE BASED ON VOLTAGE SOURCE TYPE CONVERTER AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称 : 基于电压源型换流器的直流融冰装置及其控制方法

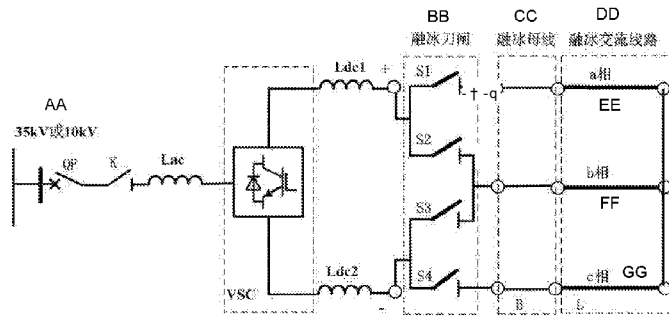


图 1 / FIG. 1

- AA 35KV OR 10KV
- BB DE-ICING SWITCH BLADE
- CC DE-ICING BUS
- DD DE-ICING ALTERNATING-CURRENT LINE
- EE PHASE A
- FF PHASE B
- GG PHASE C

(57) Abstract: A direct-current de-icing device based on a voltage source type converter, comprising a connective reactor, a modular multilevel converter, a smoothing reactor, a de-icing switch blade, a de-icing bus and a de-icing alternating-current line, wherein an alternating-current side of the modular multilevel converter is connected to an alternating-current side bus through the connective reactor, an insulating switch blade and a circuit-breaker, and a direct-current side thereof is connected to the de-icing alternating-current line through the smoothing reactor, the de-icing switch and the de-icing bus. The direct-current de-icing device does not need a specific transformer, and makes full use of the characteristics of a full H-bridge module capable of outputting three module voltages, i.e. a positive module voltage, a zero module voltage and a negative module voltage, so that both the voltage and the current at the direct-current side of the modular multilevel converter is continuously adjustable between a rated value and zero. A set of direct-current de-icing devices can satisfy the de-icing demands of a plurality of power transmission lines with different length and different resistivity, so that the quality of alternating-current electric energy in all operating conditions can be guaranteed. The control method for the direct-current de-icing device is simple and convenient.

(57) 摘要 :

[见续页]



2 15/131 17 A1



RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护):ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种基于电压源型换流器的直流融冰装置, 包括连接电抗器、模块化多电平换流器、平波电抗器、融冰刀闸、融冰母线和融冰交流线路, 其中模块化多电平换流器的交流侧通过连接电抗器、隔离刀闸和断路器连接在交流侧母线上, 直流侧通过平波电抗器、融冰刀闸、融冰母线与融冰交流线路连接。该直流融冰装置不需要专用变压器, 充分利用了全 H 桥模块可输出正、零、负三种模块电压的特性, 使得模块化多电平换流器直流侧电压、电流均可在额定值与零之间连续可调; 一套该直流融冰装置可满足多条不同长度、不同电阻率输电线路融冰的需要, 在所有运行工况中, 交流电能质量均可得到保证。该直流融冰装置的控制方法简单方便。

基于电压源型换流器的直流融冰装置及其控制方法

技术领域

本发明是涉及基于电压源型换流器的直流融冰装置及其控制方法,特别是一种基于全H桥子模块的模块化多电平换流器的直流融冰装置及其控制方法,属于输电网输电线路直流融冰应用的创新技术。

背景技术

电力系统遭受的各种自然灾害中,冰灾是最严重的威胁之一。与其它事故相比,冰灾给电网造成的损失往往更为严重,轻则发生冰闪,重则会造成倒塔断线,甚至电网瘫痪。

近年来,全球各类气象灾害更为频繁,极端天气气候事件更显异常,冰灾造成电力系统的损失和影响更趋严重,破坏程度越来越强,影响也越来越复杂,应对难度也越来越大。如1921年10月瑞典冰灾、1972年1月美国哥伦比亚州冰灾、1998年1月美国东北部和加拿大东南部冰灾、1999年12月法国冰灾、瑞典南部2005年1月冰灾、德国2005年11月冰灾。

受大气候、微地形、微气象条件的影响,我国冰灾事故频繁发生,电网受到的影响越来越严重。2005年初,华中地区历史上罕见的低温雨雪冰冻天气给我国华中、华北电网造成严重的灾害。2008年初,低温雨雪冰冻天气袭击我国南方、华中、华东地区,导致贵州、湖南、广东、云南、广西和江西等省输电线路大面积、长时间停运,给国民经济和人民生活造成巨大损失。2011年1月,贵州省、湖南省、江西省、广西桂北地区、广东粤北地区和云南滇东北地区的输变

电设施相继出现覆冰险情，先后导致多条线路和变电站。2012年初、2013年初我国电网都不同程度受到覆冰的影响。

2008年冰灾后，我国电力科技工作者自主进行了直流融冰技术及装置的研发，成功研发出了具有完全自主知识产权的大功率直流融冰装置，主要包括带专用整流变压器直流融冰装置（ZL201010140060.5）和不带专用整流变压器的直流融冰装置（ZL201010140086.X），进而在全国进行了推广应用，到目前为止，共有约100余套直流融冰装置投入运行，其中南方电网内布置有80多套。

2009年-2014年的各个覆冰期中，南方电网应用直流融冰装置对110kV及以上架空线路实施直流融冰400多次，保证了线路和电网的安全，湖南、四川、江西和浙江等地也有一定的应用。

上述两种直流融冰装置均采用了晶闸管可控整流技术，在运行中均会消耗一定的无功、产生特征次谐波，给接入交流系统带来一定的影响。特别是不带专用整流变压器的直流融冰装置，只能采用6脉波整流，运行时谐波污染严重，现场实际应用时需将其接入点的负荷转移到其它母线。

自2008年开始，本项目组和国内其他同行就开始了基于可关断电力电子器件直流融冰装置的研究，但由于可关断电力电子器件价格昂贵，且基于可关断电力电子器件的电压源型换流器自身特点，至今为止，国内外均还没有成功研发出可代替基于晶闸管技术的、经济实用的基于电压源型换流器的直流融冰装置。赵国帅,李兴源,傅闯,等. 线路交直流融冰技术综述[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(14):148-154 页中提出了直流融冰兼STATCOM功能的直流融冰装置方案，但该方案只能满足低压交流输电线路融冰需求。李

澍森,左文霞,石延辉,等.直流融冰技术探讨[J].电力设备,2008,9(6):20-24 页中提出的采用柔性直流输电技术进行直流融冰的方案,无论是IGBT直接串联,还是采用IGBT,其直流侧的工作电压都必须高于交流整流电压才能避免出现PWM过调制,调节很非常有限,无法满足不同线路长度和不同电阻率导线的融冰需求。范瑞祥,孙旻,贺之渊,等.江西电网移动式直流融冰装置设计及其系统试验[J].电力系统自动化,2009,33(15):67-71 页、刘栋,贺之渊,范瑞祥,等.可关断器件移动式直流融冰装置研究[J].电网技术,2012,36(3):228-233 页及敬华兵,年晓红,罗文广.一种兼具融冰功能的柔性直流输电换流站的研究[J].中国电机工程学报,2012,32(19):65-73 页中提出了一种基于直流斩波单元串联的电压源逆变器(VSC)型直流融冰装置,通过移相变压器和PWM整流来获得好的谐波特性,利用单元串联实现直流高压输出,并通过采用斩波电路来保证输出直流电压宽范围连续可调。使用移相变压器增加了装置的体积和占地要求,三相全桥整流加直流斩波的单元结构过于复杂,成本高、占地面积大、损耗大、可靠性较差。梅红明,刘建政,新型模块化多电平直流融冰装置.电力系统自动化,2013,37(16):96-101 中提出了一种采用双星接全桥型模块化多电平变流器(DSBC-MMC)的直流融冰装置,采用了零序电压注入调制原理进行直流电压控制;该方案提出的拓扑只是一个简单的整流器,不是一个完整直流融冰装置;使用的全桥子模块没有旁路回路,直流侧没有设置平波电抗器,不能用于实际工程;全桥子模块使用单个可关断器件,输出直流电流受限,只能用于220kV及以下的输电线路融冰;采用的直流电压和电流控制方法不能保证交流侧电能质量。上述提出的这些基于电压源型换流器的直流融冰装置均只能用于220kV,甚至

更低电压等级输电线路的融冰,也无法满足直流融冰装置对直流侧零起升流和零起升压的需要。

近几年来,电压源型换流器已经取得了长足的进步,基于H桥的静止同步补偿器(STATCOM)已经得到较为广泛的应用,南方电网在500kV东莞变电站、水乡变电站、北郊变电站和木棉变电站各安装了容量为 $\pm 200\text{MVar}$ 的STATCOM。基于半H桥模块化多电平变流器(MMC)也已应用于柔性直流输电领域并展现出明显的技术优势,世界上首个应用MMC技术的VSC-HVDC工程Trans Bay Cable 2010年3月在美国正式投运,世界首个多端柔性直流输电工程——南澳 ± 160 千伏多端柔性直流输电示范工程已于2013年12月投入运行。模块化多电平变流器的可靠性在逐步提高,价格在逐步下降。基于全H桥子模块的模块化多电平换流器具有直流电压和直流电流双向运行能力,可满足直流融冰对换流器运行工况的要求,将其应用于直流融冰,可克服现有基于晶闸管直流融冰装置缺点。

发明内容

本发明的目的在于克服现有基于晶闸管直流融冰装置的缺点而提供一种基于电压源型换流器的直流融冰装置。

本发明的另一目的在于考虑上述问题而提供一种确保直流融冰装置满足各线路安全快速融冰需求、确保接入交流系统电能质量的基于电压源型换流器的直流融冰装置的控制方法。

本发明的技术方案是:本发明的基于电压源型换流器的直流融冰装置,包括有连接电抗器 L_{ac} ,基于全H桥子模块的模块化多电平换流器VSC,平波电抗器 L_{dc1} 、 L_{dc2} ,融冰刀闸 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$,融冰母线B、融冰交流线路L,其中连接电抗器 L_{ac} 的一端通过隔离刀闸K和断路器QF接在交流侧母线上,另一端与基于全H桥子模块的模

模块化多电平换流器 VSC 的输入端连接,基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 的输出端与平波电抗器 L_{dc1} 、 L_{dc2} 的一端分别连接,融冰刀闸 S_1 、 S_2 的一端连接后与平波电抗器 L_{dc1} 的另一端连接,融冰刀闸 S_3 、 S_4 的一端连接后与平波电抗器 L_{dc2} 的另一端连接,融冰刀闸 S_1 的另一端与融冰母线 B 的 a 相的一端连接,融冰刀闸 S_2 和 S_3 的另一端连接后与融冰母线 B 的 b 相的一端连接,融冰刀闸 S_4 的另一端与融冰母线 B 的 c 相的一端连接,融冰母线 B 的 a、b、c 相的另一端与融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的一端对应连接,融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的另一端短接在一起。

上述直流融冰装置的直流侧无接地点。

上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 为三相六桥臂结构,每个桥臂由一个电抗器 L 和若干个全 H 桥子模块 SM 串联组成,每相上下桥臂有电抗器 L 的一端连接后与连接电抗器 L_{ac} 对应相连接,三个上桥臂的另一端连接在一起构成直流侧正极,三个下桥臂的另一端连接在一起构成直流侧负极。

上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器中的全 H 桥子模块采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块,或采用多个全控型电力电子器件并联的全 H 型桥子模块。

上述采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块包括四个全控型电力电子器件 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 , 四个二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 , 一个电容 C, 两个晶闸管 SCR1、SCR2, 一个快速开关 K_s , 全控型电力电子器件 S_1 与二极管 D_1 反向并联, S_2 与 D_2 反向并联, S_3 与 D_3 反向并联, S_4 与 D_4 反向并联, 即全控型电力电子器件正端与二极管负端连接,全控型电力电子器件负端与二极管正端连接;晶闸管 SCR1

与 SCR2 反向并联，即 SCR1 正端与 SCR2 负端连接，SCR1 负端与 SCR2 正端连接；全控型电力电子器件 S1 的负端与 S2 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的一端，全控型电力电子器件 S3 的负端与 S4 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的另一端；全控型电力电子器件 S1 的正端及 S3 的正端与电容器 C 一端连接，全控型电力电子器件 S4 的负端及 S2 的负端与电容器 C 的另一端连接；快速开关 K_s 连接于所述全 H 型桥子模块的两端；SCR1 与 SCR2 组成的反并联晶闸管对连接于所述全 H 型桥子模块两端。

上述采用两个全控型电力电子器件并联的全 H 型桥子模块包括有八个全控型电力电子器件 S11、S21、S31、S41、S12、S22、S32、S42，八个二极管 D11、D21、D31、D41、D12、D22、D32、D42，一个电容 C，两个晶闸管 SCR1、SCR2，一个快速开关 K_s ，其中全控型电力电子器件 S11 与二极管 D11 反向并联，S21 与 D21 反向并联，S31 与 D31 反向并联，S41 与 D41 反向并联，S12 与 D12 反向并联，S22 与 D22 反向并联，S32 与 D32 反向并联，S42 与 D42 反向并联；晶闸管 SCR1 与 SCR2 反向并联；全控型电力电子器件 S11 的负端及 S12 的负端与 S21 正端及 S22 的正端连接构成所述全 H 型桥并联子模块的一端，全控型电力电子器件 S31 的负端及 S32 负端与 S41 的正端及 S42 正端连接构成所述全 H 型桥子模块的另一端；全控型电力电子器件 S11 的正端及 S12 的正端与 S31 的正端及 S32 的正端连接，且与电容器 C 的一端连接，全控型电力电子器件 S41 的负端及 S42 的负端与 S21 负端及 S22 的负端连接，且与电容器 C 另一端连接；快速开关 K_s 连接于所述全 H 型桥子模块两端；SCR1 和 SCR2 组成的反并联晶闸管对连接于所述全 H 型桥子模块的两端，即将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件-二极管

反并联对改为两个并联的全控型电力电子器件-二极管反并联对。

或将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件-二极管反并联对改为三个并联的全控型电力电子器件-二极管反并联对。

或将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件-二极管反并联对改为多个并联的全控型电力电子器件-二极管反并联对。

本发明基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器的直流融冰装置的控制方法，包括如下步骤：

1) 根据融冰交流线路设计融冰电流 $J_{deicing}$ 和直流侧回路直流电阻 ρ 计算出基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 直流侧输出电压参考值 $U_{dc.ref}$ ：

$$U_{dc.ref} = J_{deicing} \cdot R_{loop} \quad (1)$$

2) 根据直流输出电压参考值确定各相上下桥臂中负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} ：

$$\begin{cases} N_{minus} = \text{Round} \left[\frac{U_{dc.ref}}{V_{dc}} \right] \\ U_{rated} = N_{max} V_{dc} \end{cases} \quad (2)$$

式中， V_{dc} 为全 H 桥子模块额定电压， N_{max} 为单个桥臂中全 H 桥子模块数目， U_{rated} 为换流器额定直流电压。

3) 各相上下桥臂中正向投入子模块 SM 的个数 N_{plus} ：

$$N_{plus} = N_{max} - N_{minus} \quad (3)$$

4) 由此确定该工况下换流器 VSC 的电平数：

$$N_{level} = \text{Round}\left[\frac{U_{dc.ref}}{V_{dc}}\right] + 2N_{minus} + 1 \quad (4)$$

即上桥臂电压 U_{dc-up} 变化范围为 $[-N_{minus}V_{dc}, N_{max}V_{dc}]$, 下桥臂电压 $U_{dc-down}$ 变化范围为 $[N_{max}V_{dc}, -N_{minus}V_{dc}]$ 。

5) 如融冰回路中的融冰电流小于设计融冰电流 $J_{del.ing}$, 则将负向投入子模块 SM 的个数 \langle_{minus} 加 1 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 减 1, 如融冰回路中的融冰电流大于设计融冰电流 $J_{del.ing}$, 则将负向投入子模块 SM 的个数 \langle_{minus} 减 1, 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 加 1。

本发明的构成充分利用了全 H 桥子模块可输出正、零、负的三种模块电压的特性, 使得换流器直流侧电压可以在额定值与零之间连续可调, 一套直流融冰装置可满足多条不同长度、不同电阻率输电线路融冰需要, 满足 10kV、220kV、500kV 及特高压输电线路的融冰需要, 符合直流侧零起升流和零起升压的要求, 且在所有运行工况中, 交流侧电能质量均可得到保证, 对交流系统几乎没有影响。本发明基直流融冰装置的控制方法简单方便。本发明设计合理, 方便实用, 既可用于新建直流融冰工程, 也可用于已建新建直流融冰工程中直流融冰装置的升级改造, 具有广阔的应用前景。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式对本发明专利进一步详细说明。

图 1 为本发明的基于电压源型换流器的直流融冰装置的结构示意图。

图 2 为本发明基于模块化多电平换流器的结构示意图。

图 3 为本发明实施例 1 采用单个全控型电力电子器件的全 H 桥子模块的结构示意图。

图 4 为本发明实施例 2 采用两个全控型电力电子器件并联的全 H 桥子模块的结构示意图。

图 5 为本发明实施例 3 采用多个全控型电力电子器件并联的全 H 桥子模块的结构示意图。

具体实施方式

实施例 1:

本发明的基于电压源型换流器的直流融冰装置的结构示意图如图 1 所示，包括有连接电抗器 L_{ac} ，基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC，平波电抗器 L_{dc1} 、 L_{dc2} ，融冰刀闸 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ ，融冰母线 B、融冰交流线路 L，其中连接电抗器 L_{ac} 的一端通过隔离刀闸 K 和断路器 QF 接在交流侧母线上，另一端与基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 的输入端连接，基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 的输出端与平波电抗器 L_{dc1} 、 L_{dc2} 的一端分别连接，融冰刀闸 $S1$ 、 $S2$ 的一端连接后与平波电抗器 L_{dc1} 的另一端连接，融冰刀闸 $S3$ 、 $S4$ 的一端连接后与平波电抗器 L_{dc2} 的另一端连接，融冰刀闸 $S1$ 的另一端与融冰母线 B 的 a 相的一端连接，融冰刀闸 $S2$ 和 $S3$ 的另一端连接后与融冰母线 B 的 b 相的一端连接，融冰刀闸 $S4$ 的另一端与融冰母线 B 的 c 相的一端连接，融冰母线 B 的 a、b、c 相的另一端与融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的一端对应连接，融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的另一端短接在一起。

上述直流融冰装置的直流侧无接地点。

上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 为三相六桥臂结构，每个桥臂由一个电抗器 L 和若干个全 H 桥子模块 SM 串联组成，每相上下桥臂有电抗器 L 的一端连接后与连接电抗器 L_{ac} 对应相连

接，三个上桥臂的另一端连接在一起构成直流侧正极，三个下桥臂的另一端连接在一起构成直流侧负极。

上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器中的全 H 桥子模块采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块。

本实施例中，上述采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块包括四个全控型电力电子器件 S1、S2、S3、S4，四个二极管 D1、D2、D3、D4，一个电容 C，两个晶闸管 SCR1、SCR2，一个快速开关 Ks，全控型电力电子器件 S1 与二极管 D1 反向并联，S2 与 D2 反向并联，S3 与 D3 反向并联，S4 与 D4 反向并联，即全控型电力电子器件正端与二极管负端连接，全控型电力电子器件负端与二极管正端连接；晶闸管 SCR1 与 SCR2 反向并联，即 SCR1 正端与 SCR2 负端连接，SCR1 负端与 SCR2 正端连接；全控型电力电子器件 S1 的负端与 S2 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的一端，全控型电力电子器件 S3 的负端与 S4 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的另一端；全控型电力电子器件 S1 的正端及 S3 的正端与电容器 C 一端连接，全控型电力电子器件 S4 的负端及 S2 的负端与电容器 C 的另一端连接；快速开关 Ks 连接于所述全 H 型桥子模块的两端；SCR1 与 SCR2 组成的反并联晶闸管对连接于所述全 H 型桥子模块两端。

本发明基于电压源型换流器的直流融冰装置的控制方法，包括如下步骤：

1) 根据融冰交流线路设计融冰电流 $J_{deicing}$ 和直流侧回路直流电阻 φ 计算出基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 直流侧输出电压参考值 $U_{dc.ref}$ ：

$$U_{dc.ref} = J_{deicing} R_{loop} \quad (1)$$

2) 根据直流输出电压参考值确定各相上下桥臂中负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} :

$$\begin{cases} N_{minus} = \text{Round} \left[\frac{U_{dc.ref} - U_{dc.rated}}{V_{dc}} \right] \\ U_{dc.rated} = n \times V_{dc} \end{cases} \quad (2)$$

式中, V_{dc} 为全 H 桥子模块额定电压, n 为单个桥臂中全 H 桥子模块数目, $U_{dc.rated}$ 为换流器额定直流电压。

3) 各相上下桥臂中正向投入子模块 SM 的个数 N_{plus} :

$$N_{plus} = N_{max} - N_{minus} \quad (3)$$

4) 由此确定该工况下换流器 VSC 的电平数 :

$$N_{level} = \text{Round} \left[\frac{U_{dc.ref}}{V_{dc}} \right] + 2N_{minus} + 1 \quad (4)$$

即上桥臂电压 $U_{dc.up}$ 变化范围为 $[-N_{minus} V_{dc}, N_{max} V_{dc}]$, 下桥臂电压 $U_{dc.down}$ 变化范围为 $[N_{max} V_{dc}, -N_{minus} V_{dc}]$ 。

5) 如融冰回路中的融冰电流小于设计融冰电流 $J_{del.ing}$, 则将负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} 加 1 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 减 1; 如融冰回路中的融冰电流大于设计融冰电流 $J_{del.ing}$, 则将负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} 减 1, 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 加 1。

实施例 2:

本发明的基于电压源型换流器的直流融冰装置与实施例 1 的区别是将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件-二极管反并联对改为两个并联的全控型电力电子器件-二极管反并联对, 如图 4 所示。

实施例 3:

本发明的基于电压源型换流器的直流融冰装置与实施例 1 的区别是将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件-二极管反并联对改为多个并联的全控型电力电子器件-二极管反并联对，如图 5 所示。

权 利 要 求 书

1、基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于包括有连接电抗器 L_{ac} ，基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC，平波电抗器 L_{dcl} 、 L_{dc2} ，融冰刀闸 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ ，融冰母线 B、融冰交流线路 L，其中连接电抗器 L_{ac} 的一端通过隔离刀闸 K 和断路器 QF 接在交流侧母线上，另一端与基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 的交流侧连接，基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 的直流侧与平波电抗器 L_{dcl} 、 L_{dc2} 的一端分别连接，融冰刀闸 $S1$ 、 $S2$ 的一端连接后与平波电抗器 L_{dcl} 的另一端连接，融冰刀闸 $S3$ 、 $S4$ 的一端连接后与平波电抗器 L_{dc2} 的另一端连接，融冰刀闸 $S1$ 的另一端与融冰母线 B 的 a 相的一端连接，融冰刀闸 $S2$ 和 $S3$ 的另一端连接后与融冰母线 B 的 b 相的一端连接，融冰刀闸 $S4$ 的另一端与融冰母线 B 的 c 相的一端连接，融冰母线 B 的 a、b、c 相的另一端与融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的一端对应连接，融冰交流线路 L 的 a、b、c 相的另一端短接在一起。

2、根据权利要求 1 所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于直流侧无接地点。

3、根据权利要求 1 所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 为三相六桥臂结构，每个桥臂由一个电抗器 L 和若干个全 H 桥子模块 SM 串联组成，每相上下桥臂有电抗器 L 的一端连接后与连接电抗器 L_{ac} 的对应相连接，三个上桥臂的另一端连接在一起构成直流侧正极，三个下桥臂的另一端连接在一起构成直流侧负极。

4、根据权利要求 1 所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于上述基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器中的全 H 桥子模块采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块，或采用多个全控型电力电子器件并联的全 H 型桥子模块。

5、根据权利要求 1 至 4 任一项所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于上述采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块包括四个全控型电力电子器件 S1、S2、S3、S4，四个二极管 D1、D2、D3、D4，一个电容 C，两个晶闸管 SCR1、SCR2，一个快速开关 Ks，全控型电力电子器件 S1 与二极管 D1 反向并联，S2 与 D2 反向并联，S3 与 D3 反向并联，S4 与 D4 反向并联，即全控型电力电子器件正端与二极管负端连接，全控型电力电子器件负端与二极管正端连接；晶闸管 SCR1 与 SCR2 反向并联，即 SCR1 正端与 SCR2 负端连接，SCR1 负端与 SCR2 正端连接；全控型电力电子器件 S1 的负端与 S2 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的一端，全控型电力电子器件 S3 的负端与 S4 的正端连接构成所述全 H 型桥子模块的另一端；全控型电力电子器件 S1 的正端及 S3 的正端与电容器 C 一端连接，全控型电力电子器件 S4 的负端及 S2 的负端与电容器 C 的另一端连接；快速开关 Ks 连接于所述全 H 型桥子模块的两端；SCR1 与 SCR2 组成的反并联晶闸管对连接于所述全 H 型桥子模块两端。

6、根据权利要求 1 至 4 任一项所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于上述采用两个全控型电力电子器件并联的全 H 型桥子模块包括有八个全控型电力电子器件 S11、S21、S31、S41、S12、S22、S32、S42，八个二极管 D11、D21、D31、D41、D12、D22、D32、D42，一个电容 C，两个晶闸管 SCR1、SCR2，一个快速开关 Ks，其中全控型电力电子器件 S11 与二极管 D11 反向并联，S21 与 D21 反

向并联，S31 与 D31 反向并联，S41 与 D41 反向并联，S12 与 D12 反向并联，S22 与 D22 反向并联，S32 与 D32 反向并联，S42 与 D42 反向并联；晶闸管 SCR1 与 SCR2 反向并联；全控型电力电子器件 S11 的负端及 S12 的负端与 S21 正端及 S22 的正端连接构成所述全 H 型桥并联子模块的一端，全控型电力电子器件 S31 的负端及 S32 负端与 S41 的正端及 S42 正端连接构成所述全 H 型桥子模块的另一端；全控型电力电子器件 S11 的正端及 S12 的正端与 S31 的正端及 S32 的正端连接，且与电容器 C 的一端连接，全控型电力电子器件 S41 的负端及 S42 的负端与 S21 负端及 S22 的负端连接，且与电容器 C 另一端连接；快速开关 K_s 连接于所述全 H 型桥子模块两端；SCR1 和 SCR2 组成的反并联晶闸管对连接于所述全 H 型桥子模块的两端，即将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件 - 二极管反并联对改为两个并联的全控型电力电子器件 - 二极管反并联对。

7、根据权利要求 6 所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于或将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件 - 二极管反并联对改为三个并联的全控型电力电子器件 - 二极管反并联对。

8、根据权利要求 6 所述的基于电压源型换流器的直流融冰装置，其特征在于或将采用单个全控型电力电子器件的全 H 型桥子模块对应位置的一个全控型电力电子器件 - 二极管反并联对改为多个并联的全控型电力电子器件 - 二极管反并联对。

9、一种基于电压源型换流器的直流融冰装置的控制方法，其特征在于包括如下步骤：

1) 根据融冰交流线路设计融冰电流 J_{deicing} 和直流侧回路直流电阻 R_{loop} 计算出基于全 H 桥子模块的模块化多电平换流器 VSC 直流侧输出电压参考值 $U_{\text{dc.ref}}$:

$$U_{\text{dc.ref}} = J_{\text{deicing}} R_{\text{loop}} \quad (1)$$

2) 根据直流输出电压参考值确定各相上下桥臂中负向投入子模块 N_{minus} 的个数 N_{minus} :

$$\begin{cases} N_{\text{minus}} = \text{Round} \left[\frac{U_{\text{dc.ref}} - U_{\text{dc.rated}}}{V_{\text{dc}}} \right] \\ U_{\text{dc.rated}} = N_{\text{max}} V_{\text{dc}} \end{cases} \quad (2)$$

式中, V_{dc} 为全 H 桥子模块额定电压, N_{max} 为单个桥臂中全 H 桥子模块数目, $U_{\text{dc.rated}}$ 为换流器额定直流电压。

3) 各相上下桥臂中正向投入子模块 SM 的个数 N_{plus} :

$$N_{\text{plus}} = N_{\text{max}} - N_{\text{minus}} \quad (3)$$

4) 由此确定该工况下换流器 VSC 的电平数 :

$$N_{\text{level}} = \text{Round} \left[\frac{U_{\text{dc.ref}}}{V_{\text{dc}}} \right] + 2N_{\text{minus}} + 1 \quad (4)$$

即上桥臂电压 $U_{\text{dc.up}}$ 变化范围为 $[-N_{\text{minus}} V_{\text{dc}}, N_{\text{max}} V_{\text{dc}}]$, 下桥臂电压 $U_{\text{dc.down}}$ 变化范围为 $[N_{\text{max}} V_{\text{dc}}, -N_{\text{minus}} V_{\text{dc}}]$ 。

5) 如融冰回路中的融冰电流小于设计融冰电流 J_{deicing} , 则将负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} 加 1 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 减 1。如融冰回路中的融冰电流大于设计融冰电流 J_{deicing} , 则将负向投入子模块 SM 的个数 N_{minus} 减 1, 相应的正向投入子模块个数 N_{plus} 加 1。

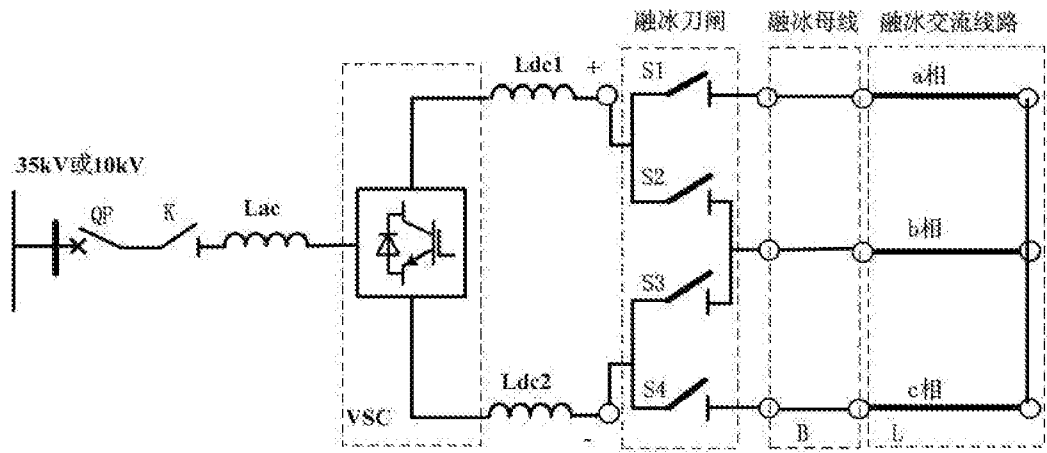


图 1

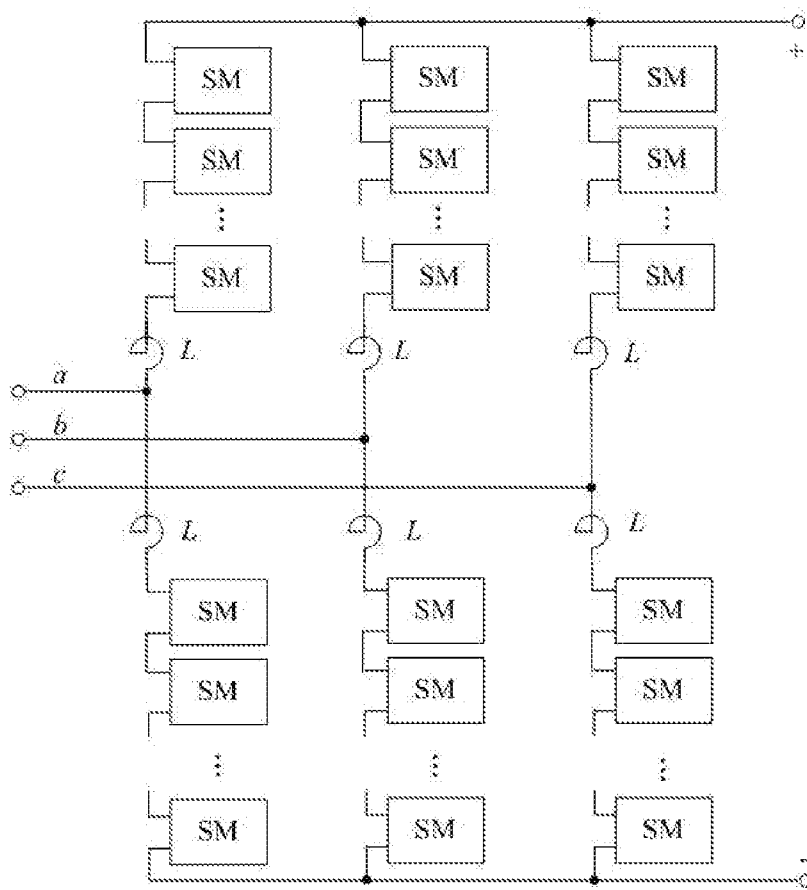


图 2

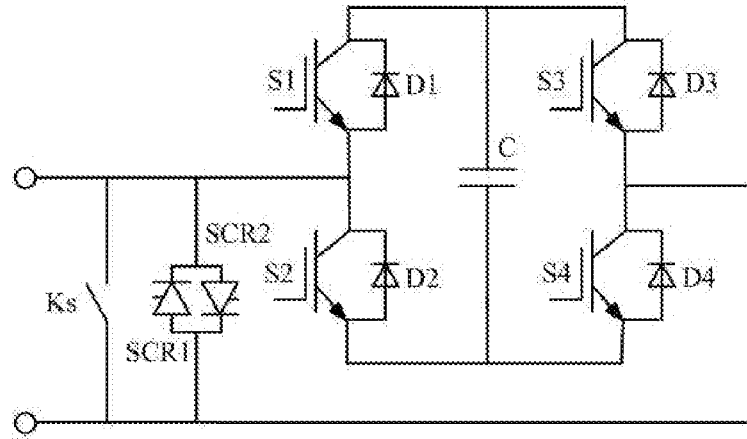


图 3

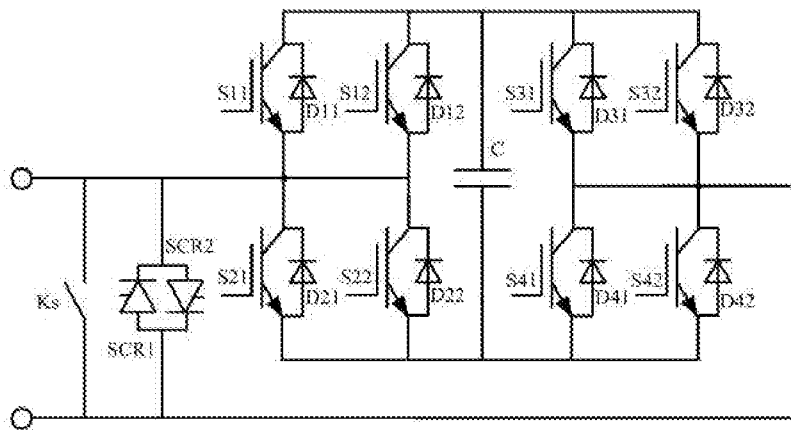


图 4

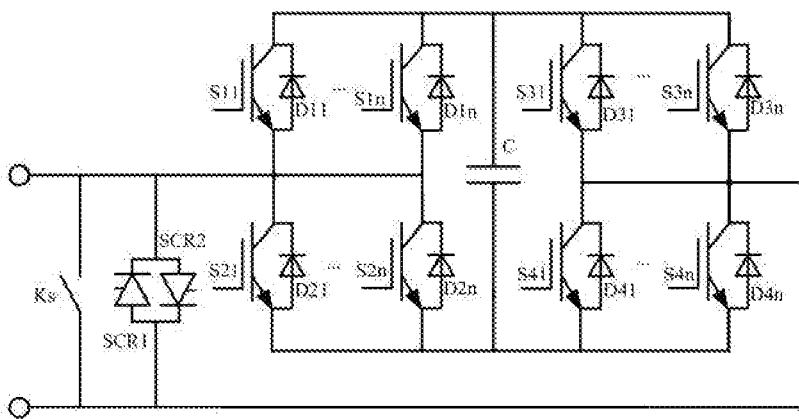


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/087160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02G 7/16 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, VEN, CNKI: direct current, full-bridge, flat wave, knife-switch, alternate current, bridge arm, parallel connection; voltage source, converter, DC, ice, reactor, bridge, modular, multilevel, switch, bus, AC, isolate, breaker, ground, arm, parallel, diode, thyristor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102570369 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, CHINA SOUTHERN POWER GRID), 11 July 2012 (11.07.2012), description, paragraphs [0091]-[0211], and figures 1-6	1-4
Y	CN 102739080 A (BEIJING SIFANG AUTOMATION CO., LTD. et al.), 17 October 2012 (17.10.2012), description, paragraphs [0023]-[0028], and figures 1-4	1-4
PX	CN 103915808 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, CHINA SOUTHERN POWER GRID), 09 July 2014 (09.07.2014), claims 1-9	1-9
PX	CN 203813384 U (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, CHINA SOUTHERN POWER GRID), 03 September 2014 (03.09.2014), claims 1-8, and description, paragraphs 0032-0043	1-9
E	CN 104078909 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, CHINA SOUTHERN POWER GRID), 01 October 2014 (01.10.2014), description, paragraphs 0059-0062, and figures 1-7	1-4

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
16 December 2014 (16.12.2014)

Date of mailing of the international search report
30 December 2014 (30.12.2014)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer
DAI, Jinqi
Telephone No.: (86-10) 62412167

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/087160

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102208792 A (CHIN A ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE), 05 October 2011 (05.10.2011), the whole document	1-9
A	RU 2316867 C1 (FEDERAL NAJA SETEVAJA KOMPANIJ et al.), 10 February 2008 (10.02.2008), the whole document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/087160

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102570369 A	11 July 2012	None	
CN 102739080 A	17 October 2012	None	
CN 103915808 A	09 July 2014	None	
CN 203813384 U	03 September 2014	None	
CN 104078909 A	01 October 2014	None	
CN 102208792 A	05 October 2011	None	
RU 2316867 C I	10 February 2008	None	

A. 主题的分类 H02G 7/16 (2006. 01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H02G 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNTXT, VEN, CNKI; 电压源, 换流器, 变流器, 直流, 冰, 电抗器, 全桥, 模块, 多电平, 平波, 刀闸, 开关, 母线, 交流, 隔离, 断路器, 接地, 桥臂, 并联, 二极管, 晶闸管: voltage source, converter, DC, ice, reactor, bridge, modular, multilevel, switch, bus, AC, isolate, breaker, ground, arm, parallel, diode, thyristor		
C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 102570369 A (南方电网科学研究院有限责任公司) 2012 年 7 月 11 日 (2012 - 07 - 11) 说明书第 [0091] - [0211] 段, 图 1-6	1-4
Y	CN 102739080 A (北京四方继保自动化股份有限公司等) 2012 年 10 月 17 日 (2012 - 10 - 17) 说明书第 [0023] - [0028] 段, 图 1-4	1-4
PX	CN 103915808 A (南方电网科学研究院有限责任公司) 2014 年 7 月 09 日 (2014 - 07 - 09) 权利要求 1-9	1-9
PX	CN 203813384 U (南方电网科学研究院有限责任公司) 2014 年 9 月 03 日 (2014 - 09 - 03) 权利要求 1-8, 说明书第 0032-0043 段	1-9
E	CN 104078909 A (南方电网科学研究院有限责任公司) 2014 年 10 月 01 日 (2014 - 10 - 01) 说明书第 0059-0062 段, 图 1-7	1-4
<input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在 c 栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2014 年 12 月 16 日	国际检索报告邮寄日期 2014 年 12 月 30 日	
ISA/CN 的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 中国 传真号 (86-10) 62019451	授权官员 戴金琪 电话号码 (86-10) 62412167	

C. 相关文件

类型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102208792 A (中国电力科学研究院) 2011 年 10 月 05 日 (2011 - 10 - 05) 全文	1-9
A	RU 2316867 C1 (FEDERAL NAJA SETEVAJA KOMPANIJ 等) 2008 年 2 月 10 日 (2008 - 02 - 10) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2014/087160

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	102570369	A	2012年7月11日	无	
CN	102739080	A	2012年10月17日	无	
CN	103915808	A	2014年7月09日	无	
CN	203813384	U	2014年9月03日	无	
CN	104078909	A	2014年10月01日	无	
CN	102208792	A	2011年10月05日	无	
RU	2316867	C1	2008年2月10日	无	