

(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
2014 年 11 月 27 日 (27.11.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/187101 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02M 1/32 (2007.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/088397
- (22) 国际申请日: 2013 年 12 月 3 日 (03.12.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310188634.X 2013 年 5 月 21 日 (21.05.2013) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。 国网智能电网研究院 (STATE GRID SMART GRID RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。
- (72) 发明人: 温家良 (WEN, Jialiang); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 杨杰 (YANG, Jie); 中国

北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 药韬 (YAO, Tao); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 贾娜 (JIA, Na); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 郭高朋 (GUO, Gaopeng); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 吴婧 (WU, Jing); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。 王宇 (WANG, Yu); 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺沙路 270 号 (未来科技城), Beijing 102211 (CN)。

(74) 代理人: 北京安博达知识产权代理有限公司 (AM-BOYNA INTELLECTUAL PROPERTY AGENT CO.,LTD.); 中国北京市海淀区大钟寺 13 号院 1 号楼华杰大厦 B215 号, Beijing 100098 (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,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR SUPPRESSING CURRENT OVERSHOOT OF IGBT SERIES VOLTAGE SOURCE CONVERTER DURING TURN-ON

(54) 发明名称: 一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法

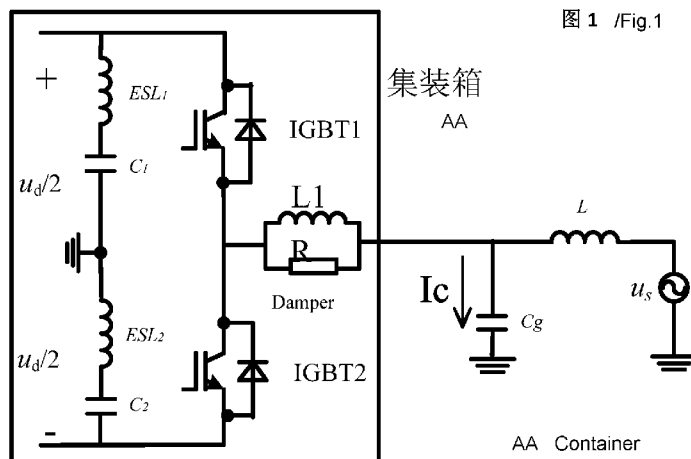


图 1 /Fig.1

(57) Abstract: A method for suppressing current overshoot of an insulated gate bipolar transistor (IGBT) series voltage source converter (VSC) during turn-on. In the method, a wave trapper unit is connected between a stray capacitor (C_g) and a half-bridge structure to form a second-order circuit with the stray capacitor. In the method, by means of a step response of the second-order circuit, the current overshoot caused by the stray capacitor is effectively suppressed, thereby providing a reliable guarantee for the operation of the IGBT series voltage source converter.

(57) 摘要: 一种绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 串联型电压源换流器 (VSC) 开通电流过冲抑制方法。该方法在杂散电容 (C_g) 与半桥结构之间接入阻波器单元, 与杂散电容组成二阶电路。该方法通过二阶电路的阶跃响应, 对杂散电容引起的电流过冲进行有效抑制, 为 IGBT 串联型电压源换流器的运行提供了可靠的保障。



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, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, 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。

NA, RW, SD, SL, 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, 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)。

本国际公布:

(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,

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法

技术领域

本发明涉及电力系统以及电力电子领域，具体涉及一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法。

背景技术

电压源换流器能够对有功和无功进行独立控制，实现潮流的快速翻转，其在直流输电领域越来越受到关注。为满足高压大功率的要求，有学者提出了 IGBT 串联型电压源换流器，该方式能够使主电路结构大为简化，控制复杂性大幅降低，所需器件大为减少，从而使得装置更加紧凑，占地面积大大减少。在未来的高压大功率电力电子领域，IGBT 串联型换流器将获得更加广泛的应用。

但换流器中的一次设备如换流电抗器、套管等具有一定的对地杂散电容，高压大功率 IGBT 串联型电压源换流器工作于开关状态，其产生的 dv/dt 作用于杂散电容上，会在器件开通时产生电流过冲，随着电压等级的提高，电流过冲会越来越大，最终甚至能够超过 IGBT 的耐受电流，严重影响换流器的正常工作。因此，我们需要采取相应的措施来降低杂散电容的影响。目前，国内尚没有相关的研究文献及产品。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明的目的是提供一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法，利用二阶电路阶跃响应的原理，对杂散电容引起的电流过冲实现了有效的抑制，为 IGBT 串联型电压源换流器的运行提供了可靠的保障。

本发明的目的是采用下述技术方案实现的：

一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法，所述方法用的系统为 IGBT 串联型电压源换流器抑制系统，用于 $\pm 10\text{kV}$ 以上电压等级的电力系统；包括：电抗器-电容串联支路、半桥结构、杂散电容 C_g 、电感 L 和电压源 u_s ；

所述电抗器-电容串联支路与半桥结构并联；所述杂散电容 C_g 和电压源 u_s 并联；所述电感 L 连接在杂散电容 C_g 和电压源 u_s 之间；

其改进之处在于，在所述杂散电容 C_g 与半桥结构之间接入阻波器单元，与所述杂散电容 C_g 组成二阶电路；

所述方法通过所述二阶电路的阶跃响应，对杂散电容 C_g 引起的电流过冲电流进行抑制。

其中，所述阻波器单元由电阻 R 和电感 L_1 并联组成；所述阻波器单元工作时包括两种情况：

(1) 当杂散电容 C_g 两端电压不发生变化时，过冲电流流经阻波器单元中的电感 L_1 ，所述电感 L_1 小于换相电抗器；

(2) 当杂散电容 C_g 两端电压发生变化时，即为阶跃信号作用与二阶电路，通过电感 L_1 的电流不发生突变，过冲电流流经与电感 L_1 并联的电阻 R ，电阻 R 吸收过冲电流产生的能量，抑制对 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块的开通电流过冲。

其中，所述电抗器-电容串联支路由电抗器 ESL_1 、电容 C_1 、电抗器 ESL_2 和电容 C_2 依次串联组成；电抗器-电容串联支路接地；

所述半桥结构由 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块串联组成；所述 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块均由 IGBT 以及与其反并联的二极管组成。

其中，所述杂散电容 C_g 和电压源 u_s 均接地。

与现有技术比，本发明达到的有益效果是：

1、在高压（高压是 $\pm 10\text{kV}$ 以上）高频率（ 1000Hz 以上）的情况下，有效抑制了杂散电容对 IGBT 开通电流过冲的影响，为高压 IGBT 串联型电压源换流器的可靠运行提供了一定的保障。

2、该方法的实现仅需一个电阻与一个电感并联，结构简单、价格低廉、易于实现。

3、该方法对杂散电容产生的过冲电流有限制作用，不会影响电路的正常工作。

附图说明

图 1 是本发明提供的高压 IGBT 串联型电压源换流器电流过冲限制方法的实

现结构图

图 2 是本发明提供的装设阻波器前后 IGBT 阀开通电流过冲的变化波形图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

本发明提供的高压 IGBT 串联型电压源换流器电流过冲限制方法的实现结构图如图 1 所示，为 IGBT 串联型电压源换流器抑制系统，用于 $\pm 10\text{kV}$ 以上电压等级的电力系统；包括：电抗器-电容串联支路、半桥结构、杂散电容 C_g 、电感 L 和电压源 u_s ；

所述电抗器-电容串联支路与半桥结构并联；所述杂散电容 C_g 和电压源 u_s 并联；所述电感 L 连接在杂散电容 C_g 和电压源 u_s 之间；

在杂散电容 C_g 与半桥结构之间接入阻波器单元，与杂散电容 C_g 组成二阶电路。 C_g 为换流电抗器 ESL_1 和 ESL_2 以及阀侧穿墙套管的总的对地杂散电容。阻波器单元由电阻 R 和电感 L_1 并联组成。电抗器-电容串联支路由电抗器 ESL_1 、电容 C_1 、电抗器 ESL_2 和电容 C_2 依次串联组成；电抗器-电容串联支路接地；半桥结构由 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块串联组成；所述 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块均由 IGBT 以及与其反并联的二极管组成。杂散电容 C_g 和电压源 u_s 均接地。

设图 1 中所示电流方向为电流 I_c 的正方向。当杂散电容 C_g 两端电压由负变正时，通过杂散电容 C_g 的电流即为如图所示，其大小为 $C \cdot du/dt$ 。对于高压 IGBT 串联型电压源换流器来说，由于直流侧电压很高，而且它的工作频率较高，因此该电流就会很大。若不采取限制措施，此电流会完全作用于上桥臂的 IGBT 阀组，当直流侧电压提高到一定程度后，该电流会超过 IGBT 阀的耐受能力，严重影响换流器的正常工作。

同理，当杂散电容 C_g 两端电压由正变负时，大电流完全作用于下桥臂的 IGBT2 阀模块，同样也能对换流器的正常工作产生严重影响。

该电流对上下桥臂均会产生严重影响，同时为降低成本，当装设图 1 中的阻波器 Damper 后，其与杂散电容 C_g 组成二阶电路。阻波器单元工作时分为下述情况：

(1) 在杂散电容 C_g 两端电压不发生变化时，电流基本上都通过其中的电感 L_1 ，并且此电感 L_1 远小于换相电抗器，对电路的正常工作基本不会产生影响。

(2) 当杂散电容 C_g 两端电压发生变化时，此时相当于一个阶跃信号作用于二阶电路，由于通过电感的电流不会发生突变，因而大部分的电流会通过电感并联的电阻，电阻会将这部分能量消耗掉，从而降低其对 IGBT 阀模块的开通电流过冲的影响，从而防止因直流侧电压过高而导致电流过冲超过 IGBT 阀模块的耐受能力，将器件烧坏，严重影响换流器的正常工作。同时，由于反并联二极管的钳位作用，阻波器两端的电压不会对 IGBT 阀模块的关断电压应力产生影响。因此，该措施能够为 IGBT 的可靠工作提供有效保障，装设阻波器单元前后，IGBT 阀的开通电流过冲变化如图 2 所示。

实施例

当加装阻波器单元中的电阻 R 为 $3k\Omega$ 、电感 L_1 为 $6mH$ 时的电路电流仿真结果如下表所示：

表 1 各种电路形式电流比较仿真结果

电路类型	IGBT 开通电流最大值	阀侧线路中的电流毛刺偏差值
无杂散电容	254.9A	0A
有杂散电容，无阻波器	303.0A	61.4A
有杂散电容，加装阻波器	256.1A	4.0A

本发明提供一种新颖的抑制 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲的限制方法，利用二阶电路阶跃响应的原理，对杂散电容引起的电流过冲实现了有效的抑制，为 IGBT 串联型电压源换流器的运行提供了可靠的保障。

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范围当中。

权 利 要 求

1、一种 IGBT 串联型电压源换流器开通电流过冲抑制方法，所述方法用的系统为 IGBT 串联型电压源换流器抑制系统，用于 $\pm 10\text{kV}$ 以上电压等级的电力系统；包括：电抗器-电容串联支路、半桥结构、杂散电容 C_g 、电感 L 和电压源 u_s ；

所述电抗器-电容串联支路与半桥结构并联；所述杂散电容 C_g 和电压源 u_s 并联；所述电感 L 连接在杂散电容 C_g 和电压源 u_s 之间；

其特征在于，在所述杂散电容 C_g 与半桥结构之间接入阻波器单元，与所述杂散电容 C_g 组成二阶电路；

所述方法通过所述二阶电路的阶跃响应，对杂散电容 C_g 引起的电流过冲电流进行抑制。

2、如权利要求 1 所述的开通电流过冲抑制方法，其特征在于，所述阻波器单元由电阻 R 和电感 L_1 并联组成；所述阻波器单元工作时包括两种情况：

(1) 当杂散电容 C_g 两端电压不发生变化时，过冲电流流经阻波器单元中的电感 L_1 ，所述电感 L_1 小于换相电抗器，即电感 L_1 在换相电抗器电感值的 5%，不会对电路的正常工作产生影响；

(2) 当杂散电容 C_g 两端电压发生变化时，即为阶跃信号作用与二阶电路，通过电感 L_1 的电流不发生突变，过冲电流流经与电感 L_1 并联的电阻 R ，电阻 R 吸收过冲电流产生的能量，抑制对 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块的开通电流过冲。

3、如权利要求 1 所述的开通电流过冲抑制方法，其特征在于，所述电抗器-电容串联支路由电抗器 ESL_1 、电容 C_1 、电抗器 ESL_2 和电容 C_2 依次串联组成；电抗器-电容串联支路接地；

所述半桥结构由 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块串联组成；所述 IGBT1 阀模块和 IGBT2 阀模块均由 IGBT 以及与其反并联的二极管组成。

4、如权利要求 1 所述的开通电流过冲抑制方法，其特征在于，所述杂散电容 C_g 和电压源 u_s 均接地。

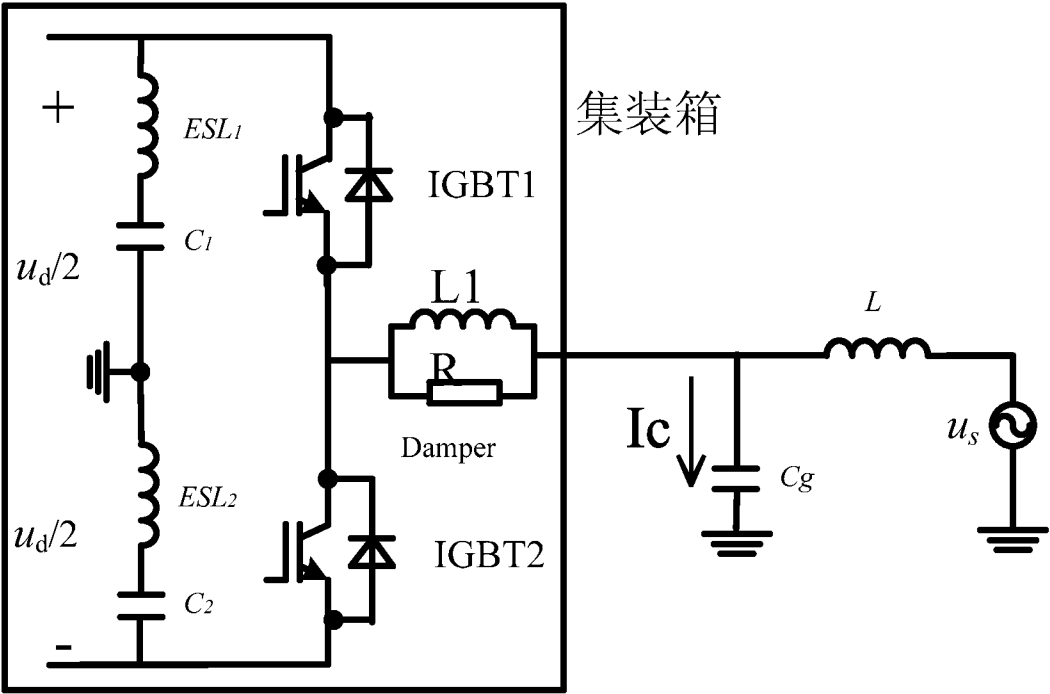


图 1

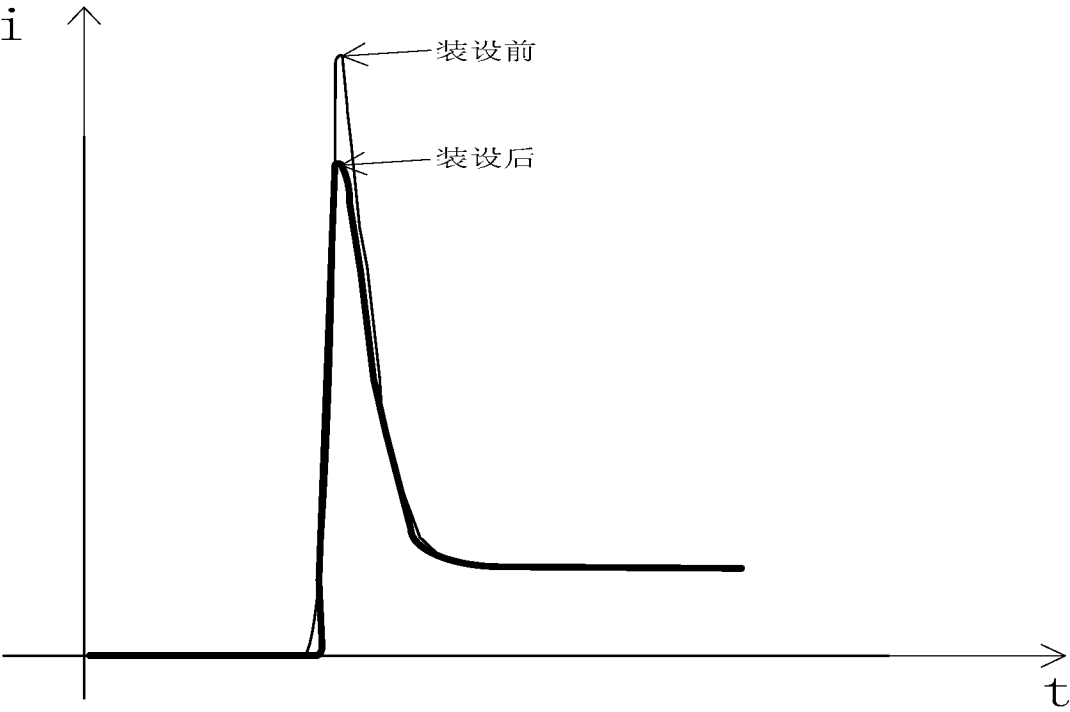


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/088397

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 1/32 (2007.01) 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)

IPC: H02M; H02J

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNTXT, CNKI, IEEE: voltage, source, converter, inverter, rectifier, VSC, VSI, stray, over current, overshoot, capacitor, reactor, inductor, resistor, RL, HVDC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	CN 103326551 A (STATE GRID CORP CHINA et al.) 25 September 2013 (25.09.2013) claims 1-4	1-4
A	XU, Xin et al. Review on Research of High Voltage DC Transmission Technology Based on Voltage Source Converter, Guangdong Electric Power, May 2012, Vol. 25, No. 5, pages 6-10, ISSN 1007-290X	1-4
A	CN 1578128 A (EMC INC.) 09 February 2005 (09.02.2005) the whole document	1-4
A	JPH 05122942 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 18 May 1993 (18.05.1993) the whole document	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
26 February 2014 (26.02.2014)

Date of mailing of the international search report
06 March 2014 (06.03.2014)

Name and mailing address of the ISA
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
SONG, Xuemei
Telephone No. (86-10) 62411797

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/088397

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103326551 A	25.09.2013	None	
CN 1578128 A	09.02.2005	US 7015774 B2	21.03.2006
		JP 3957206 B2	15.08.2007
		US 2004263284 A1	30.12.2004
		JP 2005323397 A	17.11.2005
		TW 200501570 A	01.01.2005
		TWI 312232 B	11.07.2009
		EP 1492230 A1	29.12.2004
		KR 100578624 B1	11.05.2006
		JP 2005020448 A	20.01.2005
		KR 20050005719 A	14.01.2005
JPH 05122942 A	18.05.1993	None	

A. 主题的分类

H02M 1/32 (2007.01) 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)

IPC: H02M; H02J

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))

WPI, EPODOC, CNPAT, CNTXT, CNKI, IEEE: voltage, source, converter, inverter, rectifier, VSC, VSI, stray, over current, overshoot, capacitor, reactor, inductor, resistor, RL, HVDC, 电压源, 换流器, 逆变器, 变流器, 变换器, 转换器, 对地电容, 杂散电容, 电流, 过冲, 超调, 过电流, 尖峰, 电感, 电抗, 电阻, 并联, 直流输电

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
P, X	CN 103326551 A (国家电网公司等) 25.9 月 2013 (25.09.2013) 权利要求 1-4	1-4
A	徐忻等. 基于电压源换流器的高压直流输电技术研究综述. 广东电力. 2012 年 5 月, 第 25 卷, 第 5 期, 第 6-10 页, ISSN 1007-290X	1-4
A	CN 1578128 A (EMC 株式会社) 09.2 月 2005 (09.02.2005) 全文	1-4
A	JPH05122942 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 18.5 月 1993 (18.05.1993) 全文	1-4

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 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
26.2 月 2014 (26.02.2014)

国际检索报告邮寄日期
06.3 月 2014 (06.03.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

授权官员

宋雪梅
电话号码: (86-10) **62411797**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2013/088397

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 103326551 A	25.09.2013	无	
CN 1578128 A	09.02.2005	US 7015774 B2	21.03.2006
		JP 3957206 B2	15.08.2007
		US 2004263284 A1	30.12.2004
		JP 2005323397 A	17.11.2005
		TW 200501570 A	01.01.2005
		TWI 312232 B	11.07.2009
		EP 1492230 A1	29.12.2004
		KR 100578624 B1	11.05.2006
		JP 2005020448 A	20.01.2005
		KR 20050005719 A	14.01.2005
JPH05122942 A	18.05.1993	无	