(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
2016 年 10 月 6 日 (06.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2016/155598 A1

(51) 国际专利分类号:
H03K 17/73 (2006.01) *H02H 3/087* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/077567

(22) 国际申请日: 2016 年 3 月 28 日 (28.03.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201510140420.4 2015 年 3 月 27 日 (27.03.2015) CN

(71) 申请人: **积能环保电机工程科技有限公司 (JL ECOPRO (EE) TECHNOLOGY LIMITED)** [CN/CN]; 中国香港特别行政区皇后大道中 183 号中远大厦 3912-13 室, Hong Kong (CN)。 **香港理工大学 (THE HONG KONG POLYTECHNIC UNIVERSITY)** [CN/CN]; 中国香港特别行政区九龙红磡理工大学陈鲍雪莹楼 10 楼 1009 室, Hong Kong (CN)。

(72) 发明人: **郑家伟 (CHENG, Eric Ka Wai)**; 中国香港特别行政区九龙红磡理工大学陈鲍雪莹楼 10 楼 1009 室由香港理工大学转交, Hong Kong (CN)。 **叶远茂 (YE, Yuanmao)**; 中国香港特别行政区九龙红磡理工大学陈鲍雪莹楼 10 楼 1009 室由香港理工大学转交, Hong Kong (CN)。 **丁凯 (DING, Kai)**; 中国香港特别行政区九龙红磡理工大学陈鲍雪莹楼 10 楼 1009 室由香港理工大学转交, Hong Kong (CN)。 **王道洪 (WANG, Daohong)**; 中国香港特别行政区九龙红磡理工大学陈鲍雪莹楼 10 楼 1009 室由香港理工大学转交, Hong Kong (CN)。

(74) 代理人: **隆天知识产权代理有限公司 (LUNG TIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.)**; 中国北京市朝阳区慧忠路 5 号远大中心 B 座 18 层, Beijing 100101 (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, 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。

(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,

[见续页]

(54) **Title**: DC SOLID BREAKER AND POWER DISTRIBUTION SYSTEM

(54) **发明名称** : 直流固态断路器及配电系统

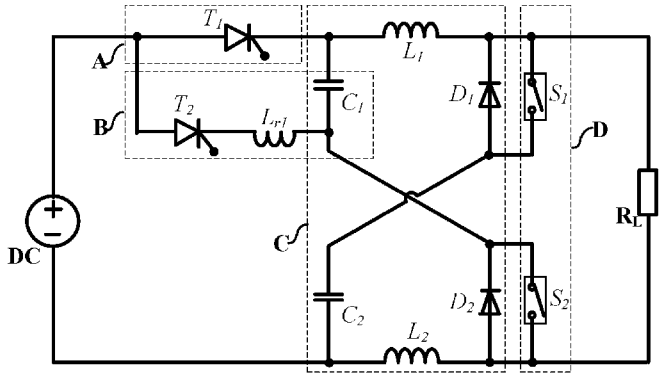


图 2

(57) **Abstract**: A DC solid breaker and a power distribution system. The DC solid breaker comprises a short circuit protection unit (C), a charging switch unit (D) and a main switch unit (A). The short circuit protection unit (C) comprises a first energy storage capacitor (C1), a first current limiting inducer (L1), a first power diode (D1), a second energy storage capacitor (C2), a second current limiting inducer (L2) and a second power diode (D2). The charging switch unit (D) comprises a first charging branch (S1) and a second charging branch (S2). The main switch unit (A) comprises at least one main switch thyristor (T1). Energy storage capacitors and resonance parameters in the DC solid breaker can be designed with reference to the demands of overcurrent protection, thereby reducing the size and cost of the DC solid breaker and improving the reliability of the DC solid breaker.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2016/155598 A1

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:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种直流固态断路器及配电系统。该直流固态断路器包括短路保护单元(C)，充电开关单元(D)以及主开关单元(A)。短路保护单元(C)包括第一储能电容(C1)、第一限流电感(L1)、第一功率二极管(D1)、第二储能电容(C2)、第二限流电感(L2)以及第二功率二极管(D2)。充电开关单元(D)包括第一充电支路(S1)以及第二充电支路(S2)。主开关单元(A)包括至少一个主开关晶闸管(T1)。该直流固态断路器中的储能电容和谐振参数可参考过流保护的要求来设计，因此，能够降低直流固态断路器的体积和成本，也能够提高直流固态断路器的可靠性。

直流固态断路器及配电系统

技术领域

本公开涉及电力设备技术领域，具体涉及一种直流固态断路器以及及包括该直流固态断路器的配电系统。

背景技术

当今社会对电力系统及输电技术提出了更高的要求,如何进一步提高电网的稳定性、向用户提供高质量电能成为电力行业的发展方向。断路器作为输电线路中一个重要的环节，它的性能直接影响着电网的正常运行。例如，直流固态断路器是一种基于半导体开关，用于将故障从直流输电、配电系统或直流供电装置中快速切除的电力自动化设备。其具有灵活控制、快速动作、无电弧、寿命长和可靠性高等优点。

目前应用在直流固态断路器的半导体开关主要是晶闸管。例如，在公开号为CN102222874A 的中国发明专利申请中，提供了一种如图 1 所示的直流固态断路器。该直流固态断路器正常断开的关键主要是利用第一储能电容 C1 和第一储能电容 C2 与第一谐振电感 Lr1 发生谐振且谐振电流大于负载电流。该直流固态断路器故障断开的关键主要是利用第一储能电容 C1 和第一储能电容 C2 与第二谐振电感 Lr2 发生谐振且谐振电流大于故障电流。

然而，在发生短路故障的情况下，故障电流通常会很大而且难以估计，这样就使得需要很大电容值的第一储能电容 C1 和第一储能电容 C2 来提供足够多的能量才能切除短路故障。这不仅增加了直流固态断路器的体积和成本，同时也对直流固态断路器的可靠性带来了风险。此外，该直流固态断路器并没有零电流启动的功能，而且类似的情况在现有其他的直流固态断路器中也很常见。

发明内容

本公开的目的在于提供一种更加可靠的直流固态断路器以及一种包括该直流固态断路器的配电系统，从而至少在一定程度上克服由于相关技术的限制和缺陷而导致的一个或多个问题。

本公开的其他特性和优点将通过下面的详细描述变得显然，或部分地通过本公开的实

践而习得。

根据本公开的第一方面，提供一种直流固态断路器，包括：

一短路保护单元，包括：

一第一储能电容；

一第一限流电感，其第一端与所述第一储能电容第一端耦接，其第二端与一负载第一端耦接；

一第一功率二极管，其阴极与所述第一限流电感第二端耦接；

一第二储能电容，其第一端与所述第一功率二极管阳极连接；

一第二限流电感，其第一端与所述第二储能电容第二端耦接，其第二端与所述负载第二端耦接；以及

一第二功率二极管，其阳极与所述第二限流电感第二端耦接，其阴极与所述第一储能电容第二端耦接；

一充电开关单元，包括：

一第一充电支路，其两端分别与所述第一功率二极管两极耦接；

一第二充电支路，其两端分别与所述第二功率二极管两极耦接；

一主开关单元，包括：

至少一主开关晶闸管，所述主开关晶闸管第一极与一直流电源耦接；在所述负载侧发生第一故障时，所述第一储能电容及第二储能电容向所述主开关晶闸管第二极施加一反向电压迫使其关断。

在本公开的一种示例性实施例中，还包括：

一辅助开关单元，与所述主开关晶闸管并联，用于在所述负载侧发生第二故障或有正常断开请求时，为所述主开关晶闸管提供电流自然过零点。

在本公开的一种示例性实施例中，所述第一故障为短路故障；所述第二故障为过流、过压、欠压或漏电故障。

在本公开的一种示例性实施例中，所述主开关单元包括：

一第一主开关晶闸管，其阳极与所述直流电源正极耦接，其阴极与所述第一储能电容第一端耦接。

在本公开的一种示例性实施例中，所述辅助开关单元包括：

所述第一储能电容；

一第一辅助开关晶闸管，其阳极与所述直流电源正极耦接；以及

一第一谐振电感，其第一端与所述第一辅助开关晶闸管阴极连接，其第二端与所述第一储能电容第二端耦接。

在本公开的一种示例性实施例中，所述主开关单元包括：

一第二主开关晶闸管，其阴极与所述直流电源负极耦接，其阳极与所述第二储能电容第二端耦接。

在本公开的一种示例性实施例中，所述辅助开关单元包括：

所述第二储能电容；

一第二辅助开关晶闸管，其阴极与所述直流电源负极耦接；以及

一第二谐振电感，其第一端与所述第二辅助开关晶闸管阳极连接，其第二端与所述第二储能电容第一端耦接。

在本公开的一种示例性实施例中，所述第一充电支路及第二充电支路包括开关器件和/或功率电阻。

在本公开的一种示例性实施例中，所述晶闸管均为单向晶闸管。

根据本公开的第二方面，提供一种配电系统，包括上述任意一种直流固态断路器。

本公开示例性实施例中所提供的直流固态断路器中所用到的储能电容和谐振参数只需要参考过流保护要求来设计，因此，不但可以大大降低直流固态断路器的体积和成本，也提高了直流固态断路器的可靠性。

附图说明

通过参照附图详细描述其示例性实施例，本公开的上述和其它特征及优点将变得更加明显。

图 1 是现有技术中一种直流固态断路器的结构示意图。

图 2 是本公开示例性实施例中一种直流固态断路器的结构示意图。

图 3A 是本公开示例性实施例中又一种直流固态断路器的结构示意图。

图 3B 是本公开示例性实施例中再一种直流固态断路器的结构示意图。

图 4 是图 2 中直流固态断路器的一种信号波形示意图。

图 5A 是图 2 中直流固态断路器在 t0-t1 时刻之间的等效电路图。

图 5B 是图 2 中直流固态断路器在 t1-t2 时刻之间的等效电路图。

图 6 是图 2 中直流固态断路器在 t2-t3 时刻之间的等效电路图。

图 7 是图 2 中直流固态断路器的又一种信号波形示意图。

图 8A 是图 2 中直流固态断路器在 - 时刻之间的等效电路图。

图 8B 是图 2 中直流固态断路器在 - 时刻之间的等效电路图。

图 8C 是图 2 中直流固态断路器在 时刻之后的等效电路图。

附图标记说明：

A 主开关单元

B 辅助开关单元

C 短路保护单元

D 充电开关单元

C1 第一储能电容

C2 第二储能电容

D1 第一功率二极管

D2 第二功率二极管

DC 直流电源

L1 第一限流电感

L2 第二限流电感

Lr1 第一谐振电感

Lr2 第二谐振电感

RL 负载

S1 第一充电支路

S2 第二充电支路

T1 第一主开关晶闸管

T2 第一辅助开关晶闸管

T3 第二主开关晶闸管

T4 第二辅助开关晶闸管

具体实施方式

现在将参考附图更全面地描述示例性实施例。然而，示例性实施例能够以多种形式实施，且不应被理解为限于在此阐述的实施方式；相反，提供这些实施方式使得本公开将全面和完整，并将示例性实施例的构思全面地传达给本领域的技术人员。在图中，为了清晰，可能会夸大部分元件的尺寸或加以变形。在图中相同的附图标记表示相同或类似的结构，因而将省略它们的详细描述。

此外，所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在下面的描述中，提供许多具体细节从而给出对本公开的实施例的充分理解。然而，本领域技术人员将意识到，可以实践本公开的技术方案而没有所述特定细节中的一个或更多，或者可以采用其它的方法、元件等。在其它情况下，不详细示出或描述公知结构、方法或者操作以避免模糊本公开的各方面。

本示例性实施例中首先提供了一种直流固态断路器。该直流固态断路器主要包括一主开关单元、一短路保护单元以及一充电开关单元；在本公开的其他示例性实施例中，还可以包括一辅助开关单元。其中主开关单元主要用于在电路正常运行时为负载电流提供通道；短路保护单元主要用于在发生第一故障，例如短路故障时为主开关单元提供反向电压迫使其立即自然关断；充电开关单元主要用于在电路正常运行时为短路保护单元中的储能电容提供充电回路；辅助开关单元主要用于在发生第二故障，例如过流、过压、欠压或漏电等可测量故障时为切断主开关单元提供足够的能量。

如图 2 中所示，为上述直流固态断路器的一种示例性实施方式。其主开关单元 A 主要包括一第一主开关晶闸管 T1。其辅助开关单元 B 主要包括所述第一储能电容 C1、一第一辅助开关晶闸管 T2 以及一第一谐振电感 Lr1。其短路保护单元 C 主要包括一第一储能电容 C1、一第一限流电感 L1、一第一功率二极管 D1、一第二储能电容 C2、一第二限流电感 L2 以及一第二功率二极管 D2。其充电开关单元 D 主要包括一第一充电支路 S1 以及一第二充电支路 S2。

第一限流电感 L1 的第一端与所述第一储能电容 C1 第一端耦接，第一限流电感 L1 的第二端与一负载 RL 第一端耦接。第一功率二极管 D1 的阴极与所述第一限流电感 L1 第二端耦接。第二储能电容 C2 的第一端与所述第一功率二极管 D1 阳极连接。第二限流电感 L2 的第一端与所述第二储能电容 C2 第二端耦接，第二限流电感 L2 的第二端与所述负载 RL 第二端耦接。第二功率二极管 D2 的阳极与所述第二限流电感 L2 第二端耦接，第二功率二极管 D2 的阴极与所述第一储能电容 C1 第二端耦接。第一功率二极管 D1 以及第二功率二极管 D2 主要用于在发生短路故障时为第一储能电容 C1 及第二储能电容 C2 提供放电通道。所述第一充电支路 S1 的两端分别与所述第一功率二极管 D1 两极耦接。所述第二充电支路 S2 的两端分别与所述第二功率二极管 D2 两极耦接。第一主开关晶闸管 T1 的阳极与所述直流电源 DC 正极耦接，第一主开关晶闸管 T1 的阴极与所述第一储能电容 C1 第一端耦接。所述第一辅助开关晶闸管 T2 的阳极与所述直流电源 DC 正极耦接。第一谐振电感 Lr1 的第一端与所述第一辅助开关晶闸管 T2 阴极连接，第一谐振电感 Lr1 的第二端与所述第一储能电容 C1 第二端耦接。

如图 3A 中所示，在本公开的其他示例性实施例中，所述主开关单元 A 也可以包括一第二主开关晶闸管 T3。第二主开关晶闸管 T3 的阴极所述直流电源 DC 负极耦接，第二主开关晶闸管 T3 的阳极与所述第二储能电容 C2 第二端耦接；或者，如图 3B 中所示，所述主开关单元 A 也可以同时包括上述第一主开关晶闸管 T1 和第二主开关晶闸管 T3。所述辅助开关单元 B 也可以包括所述第二储能电容 C2、一第二辅助开关晶闸管 T4 以及一第二谐振电感 Lr2。第二辅助开关晶闸管 T4 的阴极与所述直流电源 DC 负极耦接。第二谐振电感 Lr2 的第一端与所述第二辅助开关晶闸管 T4 阳极连接，第二谐振电感 Lr2 的第二端与所述第二储能电容 C2 第一端耦接；或者，如图 3 中所示，所述辅助开关单元 B 也可以同时包括上述第一储能电容 C1、第一辅助开关晶闸管 T2、第一谐振电感 Lr1、第二储能电容 C2、

第二辅助开关晶闸管 T4 以及第二谐振电感 Lr2。

可以看到，在本示例性实施例中，第一储能电容 C1 是同时包含在辅助开关单元 B 和短路保护单元 C 中。第二储能电容 C2 也是同时包含在辅助开关单元 B 和短路保护单元 C 中。第一充电支路 S1 和第二充电支路 S2 可以具有完全相同的结构，都可以由机械或半导体开关等开关器件单独构成，也可以由功率电阻单独构成，或者，也可以由机械或半导体开关等开关器件和功率电阻串联组合构成。在图 3 中所示的直流固态断路器中，第一主开关晶闸管 T1 和第二主开关晶闸管 T3 将以同样的方式运行，即同时导通和同时关断，第一辅助开关晶闸管 T2 和第二辅助开关晶闸管 T4 也将以同样的方式运行，即同时导通和同时关断。此外，在本示例性实施例中所述第一主开关晶闸管 T1、第一辅助开关晶闸管 T2、第二主开关晶闸管 T3 以及第二辅助开关晶闸管 T4 均优选为单向晶闸管。

在上述直流固态断路器中，当所述负载 RL 侧发生第一故障，例如短路故障时，所述短路保护单元 C 中的第一储能电容 C1 及第二储能电容 C2 会向所述主开关晶闸管与短路保护单元 C 连接的耦接的一极施加一反向电压迫使其自然关断。在所述负载 RL 侧发生第二故障，例如过流、过压、欠压或漏电等可测量故障，或者有正常断开请求时，辅助开关单元 B 为所述主开关晶闸管提供电流自然过零点，使其自然关断。

本示例性实施例中的直流固态断路器的短路故障功能主要是利用储能电容向主开关晶闸管施加反向电压迫而使其自然关断来实现的，所以理论上与储能电容的大小关系不大。而其它故障的切除和正常断开是利用储能电容与谐振电感构成与主开关晶闸管并联的 LC 谐振电路为主开关晶闸管提供一个电流自然过零点迫使其自然关断来实现的，所以理论上与储能电容的大小和谐振参数相关。对于现有技术中的直流固态断路器而言，其短路故障的切除也是利用上述 LC 辅助谐振电路提供电流自然过零点来实现的，也就是说谐振参数和储能电容的大小必须要满足短路故障切除的要求。然而，短路电流通常比额定电流甚至比过流电流大得多，所以在现有技术的直流固态断路器中，需要用很大的储能电容才可以提供足够多的能量来切除短路故障。而本公开中所用到的储能电容和谐振参数只需要参考过流保护要求来设计，这不但大大降低了直流固态断路器的体积和成本，也提高了直流固态断路器的可靠性。

进一步的，本示例性实施例中还提供了一种配电系统，该配电系统包括上述任意一种直流固态断路器。在配电系统中，直流固态断路器虽小，却是很重要的部件。通过本示例性实施例中的直流固态断路器，可以在很大程度上增加配电系统的可靠性。

以下，将以图 2 中的直流固态断路器为例，对本示例性实施例中的直流固态断路器的工作原理进行更进一步的说明。

参考图 4 中的信号波形图，t0 时刻到 t1 时刻为直流固态断路器的启动过程。在直流固态断路器启动时，即 t0 时刻，第一主开关晶闸管 T1、第一充电支路 S1 以及第二充电支路 S2 同时被触发导通。由于第一限流电感 L1 和第二限流电感 L2 串联在主回路中，输入电流 IDC 和负载电流 ILoad 从零开始逐渐升高。第一储能电容 C1 通过第二充电支路 S2 和

第二限流电感 L2 被直流电源 DC 充电，第二储能电容 C2 通过第一充电支路 S1 和第一限流电感 L1 被直流电源 DC 充电，因此它们的电压逐渐升高。这一过程的等效电路如图 5A 中所示。由此可知，本示例性实施例中的直流固态断路器具有零电流启动功能，其主要是利用串联在主回路中的第一主开关晶闸管 T1 和第一限流电感 L1 以及第二限流电感 L2 实现，不受其他辅助电路（包括第一辅助开关晶闸管 T2、第一谐振电感 Lr1、第一储能电容 C1、第二储能电容 C2、第一功率二极管 D1、第二功率二极管 D2、第一充电支路 S1 以及第二充电支路 S2）的影响。

当第一储能电容 C1 电压 VC1 和第二储能电容 C2 电压 VC2 增加到与直流电源 DC 电压 VDC 相同时充电过程结束。负载电压 VRL 也增加到直流电源 DC 电压 VDC 使得电路进入稳定状态，此后，即 t1 时刻之后，直流电源 DC 通过第一主开关晶闸管 T1、第一限流电感 L1 以及第二限流电感 L2 为负载 RL 提供电流，如图 5B 中所示。由此可知，正常运行时负载电流 ILoad 只流过第一主开关晶闸管 T1 和第一限流电感 L1 以及第二限流电感 L2，而其他辅助电路（包括第一辅助开关晶闸管 T2、第一谐振电感 Lr1、第一储能电容 C1、第二储能电容 C2、第一功率二极管 D1、第二功率二极管 D2、第一充电支路 S1 以及第二充电支路 S2）处于不工作状态。

在图 4 中的 t2 时刻，负载 RL 侧发生了第一故障 F1，例如短路故障，即负载 RL 阻抗瞬间突变为零。负载 RL 电压也因此突变为零，第一功率二极管 D1 和第二功率二极管 D2 因正向偏置而导通。第一储能电容 C1 和第二储能电容 C2 通过第一功率二极管 D1 和第二功率二极管 D2 直接串联，施加一反向电压给第一主开关晶闸管 T1，使得第一主开关晶闸管 T1 由于承受反向电压而自然关断。

此后，等效电路如图 6 所示，第一储能电容 C1 与第一限流电感 L1 经过第一功率二极管 D1 组成一个 LC 回路，第二储能电容 C2 与第二限流电感 L2 经过第二功率二极管 D2 组成另一个相同的 LC 回路。第一储能电容 C1 对第一限流电感 L1 放电以及第二储能电容 C2 对第二限流电感 L2 放电使得短路电流 IF1 逐渐升高。

到 t3 时刻时，第一储能电容 C1 以及第二储能电容 C2 的电压放至零而短路电流 IF1 达到最大值，此后第一限流电感 L1 对第一储能电容 C1 反向充电以及第二限流电感 L2 对第二储能电容 C2 反向充电使得第一储能电容 C1 以及第二储能电容 C2 的电压为负值并逐渐升高，而与此同时，短路电流 IF1 逐渐减小。

到 t4 时刻时，短路电流 IF1 减小至零且所有能量都储存在到第一储能电容 C1 和第二储能电容 C2 中，电路停止工作。

参考图 5 中的信号波形图，t0 时刻到 t1 时刻为直流固态断路器的启动过程，该过程与图 4 中类似，因此此处不再详述。在 时刻，负载 RL 侧发生第二故障 F2，例如过流、过压、欠压或漏电等可测量故障，或者，有正常断开请求时，第一辅助开关晶闸管 T2 被触发立即导通。第一储能电容 C1 与第一谐振电感 Lr1 经过第一主开关晶闸管 T1 和第二主开关晶闸管 T2 发生 LC 谐振。此时的等效电路如图 8A 所示，随着谐振电流 IT2 的增大，流过第

一主开关晶闸管 T1 的电流 IT1 逐渐减小。

在 时刻谐振电流 IT2 增加到与故障电流 IF2 相同，第一主开关晶闸管 T1 因电流减小到零而自然关断。此后第一谐振电感 Lr1 和第一储能电容 C1 完全串联在主电路中，等效电路如图 8B 所示。由于第一储能电容 C1 的电压在 时刻还未完全降到零，回路电流将会逐渐增大。

到达 时刻，第一储能电容 C1 的电压降到零，而回路电流增大到最大值。此后第一储能电容 C1 被反向充电而回路电流随着电容电压的升高而逐渐减小。最后在 时刻因回路电流减小到零，使得第一辅助开关晶闸管 T2 自然关断。整个故障端 F2 因第一主开关晶闸管 T1 和第一辅助开关晶闸管 T2 都关断而与直流电源 DC 侧完全断开，此时等效电路如图 8C 所示。

由此可知，本示例性实施例中的直流固态断路器还具有零电流关断功能，其主要是利用与第一主开关晶闸管 T1 并联的谐振支路（由第一辅助开关晶闸管 T2、第一谐振电感 Lr1 和第一储能电电容串联构成）为主开关晶闸管提供电流自然过零点来实现。而且，该直流固态断路器具有将第二故障，例如过流、过压、欠压以及漏电等可测量故障快速切除的功能，其同样主要是利用与第一主开关晶闸管 T1 并联的谐振支路（由第一辅助开关晶闸管 T2、第一谐振电感 Lr1 和第一储能电电容串联构成）为第一主开关晶闸管 T1 提供电流自然过零点来实现。

综上所述，本示例性实施例中所提供的直流固态断路器可有效解决在第一故障，例如短路故障发生的情况下因储能电容提供能量不足而导致主开关单元无法有效关断的问题。其可以将第一故障，例如短路故障立即从直流输电、配电系统或直流电源 DC 侧切除，也可以将第二故障，例如过流、过压、欠压以及漏电等可测量故障快速切除，还可以实现直流固态断路器的正常关断以及零电流启动功能。而且，本公开中所用到的储能电容和谐振参数只需要参考过流保护要求来设计，不但大大降低了直流固态断路器的体积和成本，也提高了直流固态断路器的可靠性。

本公开已由上述相关实施例加以描述，然而上述实施例仅为实施本公开的范例。必需指出的是，已揭露的实施例并未限制本公开的范围。相反，在不脱离本公开的精神和范围内所作的变动与润饰，均属本公开的专利保护范围。

权利要求

1. 一种直流固态断路器，其特征在于，包括：

一短路保护单元，包括：

一第一储能电容；

一第一限流电感，其第一端与所述第一储能电容第一端耦接，其第二端与一负载第一端耦接；

一第一功率二极管，其阴极与所述第一限流电感第二端耦接；

一第二储能电容，其第一端与所述第一功率二极管阳极连接；

一第二限流电感，其第一端与所述第二储能电容第二端耦接，其第二端与所述负载第二端耦接；

一第二功率二极管，其阳极与所述第二限流电感第二端耦接，其阴极与所述第一储能电容第二端耦接；

一充电开关单元，包括：

一第一充电支路，其两端分别与所述第一功率二极管两极耦接；

一第二充电支路，其两端分别与所述第二功率二极管两极耦接；

一主开关单元，包括：

至少一主开关晶闸管，所述主开关晶闸管第一极与一直流电源耦接；在所述负载侧发生第一故障时，所述第一储能电容及第二储能电容向所述主开关晶闸管第二极施加一反向电压迫使其关断。

2. 根据权利要求 1 所述的直流固态断路器，其特征在于，还包括：

一辅助开关单元，与所述主开关晶闸管并联，用于在所述负载侧发生第二故障或有正常断开请求时，为所述主开关晶闸管提供电流自然过零点。

3. 根据权利要求 2 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述第一故障为短路故障；所述第二故障为过流、过压、欠压或漏电故障。

4. 根据权利要求 2 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述主开关单元包括：

一第一主开关晶闸管，其阳极与所述直流电源正极耦接，其阴极与所述第一储能电容第一端耦接。

5. 根据权利要求 4 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述辅助开关单元包括：

所述第一储能电容；

一第一辅助开关晶闸管，其阳极与所述直流电源正极耦接；以及

一第一谐振电感，其第一端与所述第一辅助开关晶闸管阴极连接，其第二端与所述第一储能电容第二端耦接。

6. 根据权利要求 2-5 任意一项所述的直流固态断路器，其特征在于，所述主开关单元包括：

一第二主开关晶闸管，其阴极与所述直流电源负极耦接，其阳极与所述第二储能电容第二端耦接。

7. 根据权利要求 6 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述辅助开关单元包括：

所述第二储能电容；

一第二辅助开关晶闸管，其阴极与所述直流电源负极耦接；以及

一第二谐振电感，其第一端与所述第二辅助开关晶闸管阳极连接，其第二端与所述第二储能电容第一端耦接。

8. 根据权利要求 1 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述第一充电支路及第二充电支路包括开关器件和/或功率电阻。

9. 根据权利要求 7 所述的直流固态断路器，其特征在于，所述晶闸管均为单向晶闸管。

10. 一种配电系统，其特征在于，包括根据权利要求 1-9 任意一项所述的直流固态断路器。

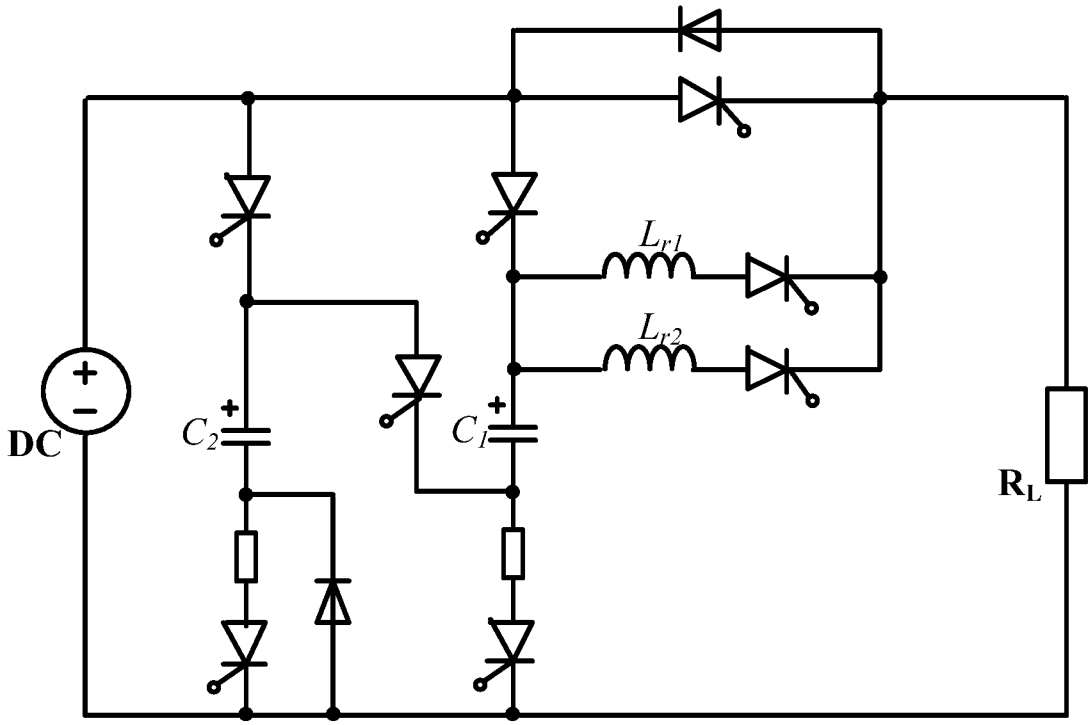


图 1

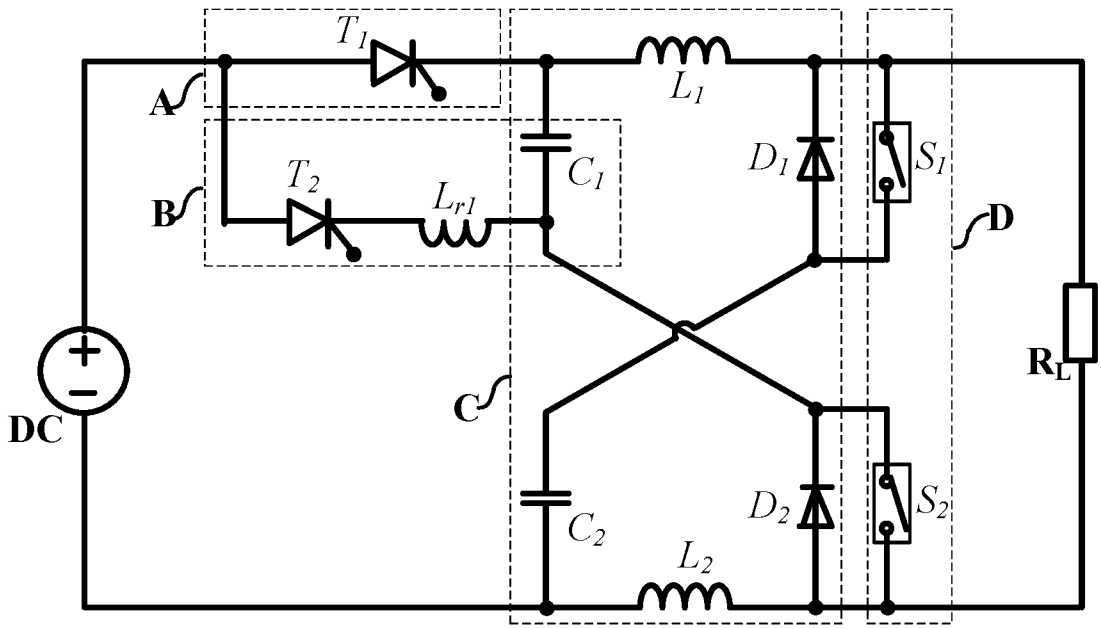


图 2

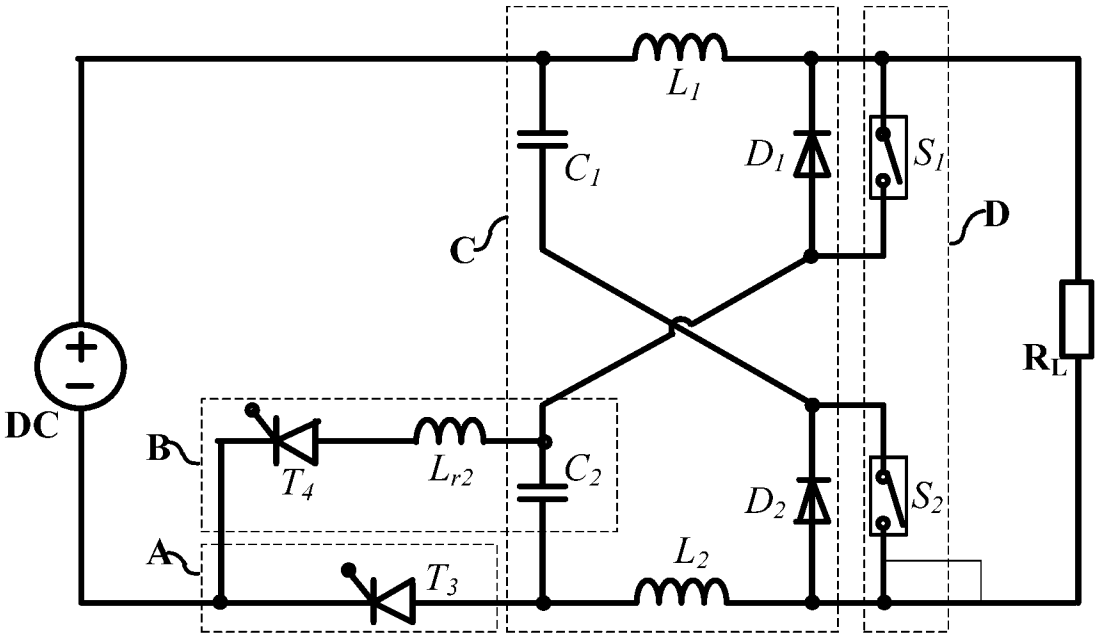

L1
C1
D1
S1
C
D
DC
RL
B
T4
Lr2
C2
D2
S2
A
T3
L2

图 3A

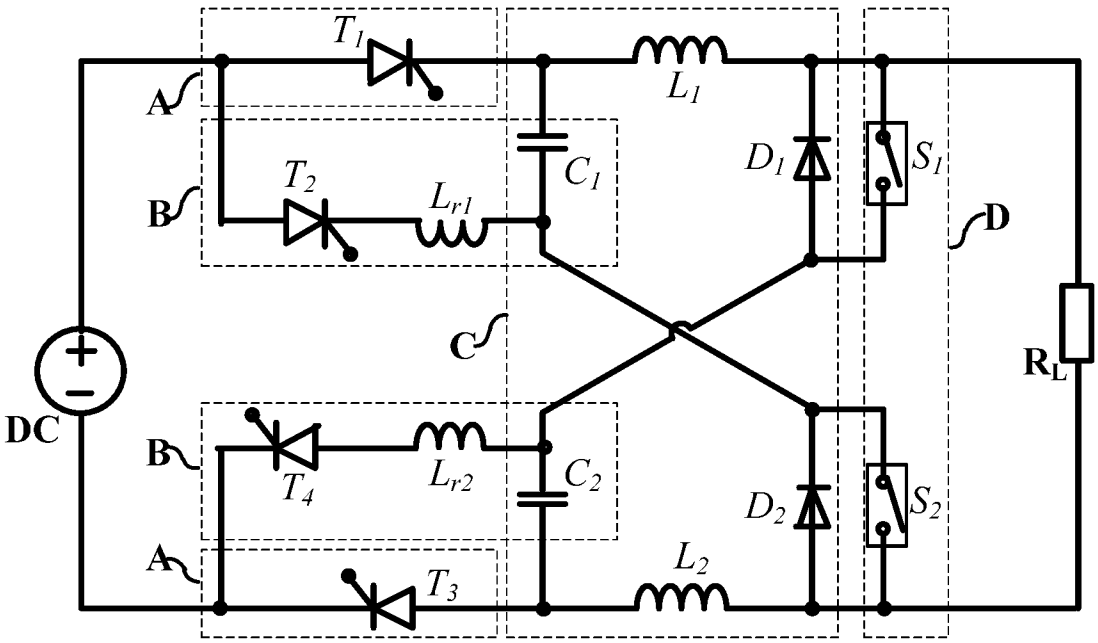

T1
L1
A
C1
D1
S1
T2
Lr1
B
D
C
DC
RL
B
T4
Lr2
C2
D2
S2
A
T3
L2

图 3B

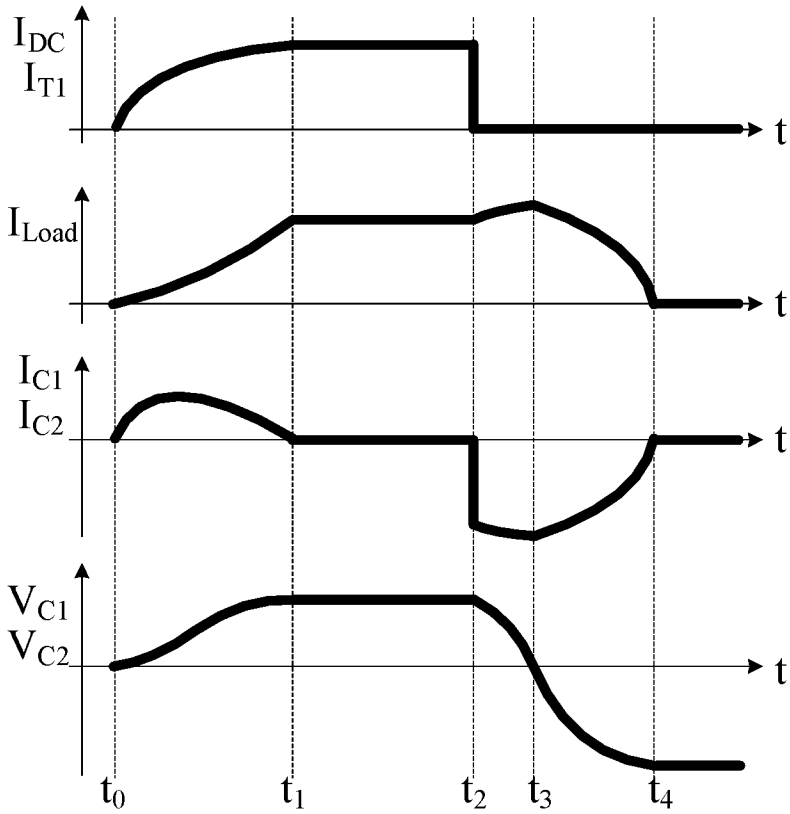

I_DC
I_T1
t
I_Load
t
I_C1
I_C2
t
V_C1
V_C2
t
t0
t1
t2
t3
t4

图 4

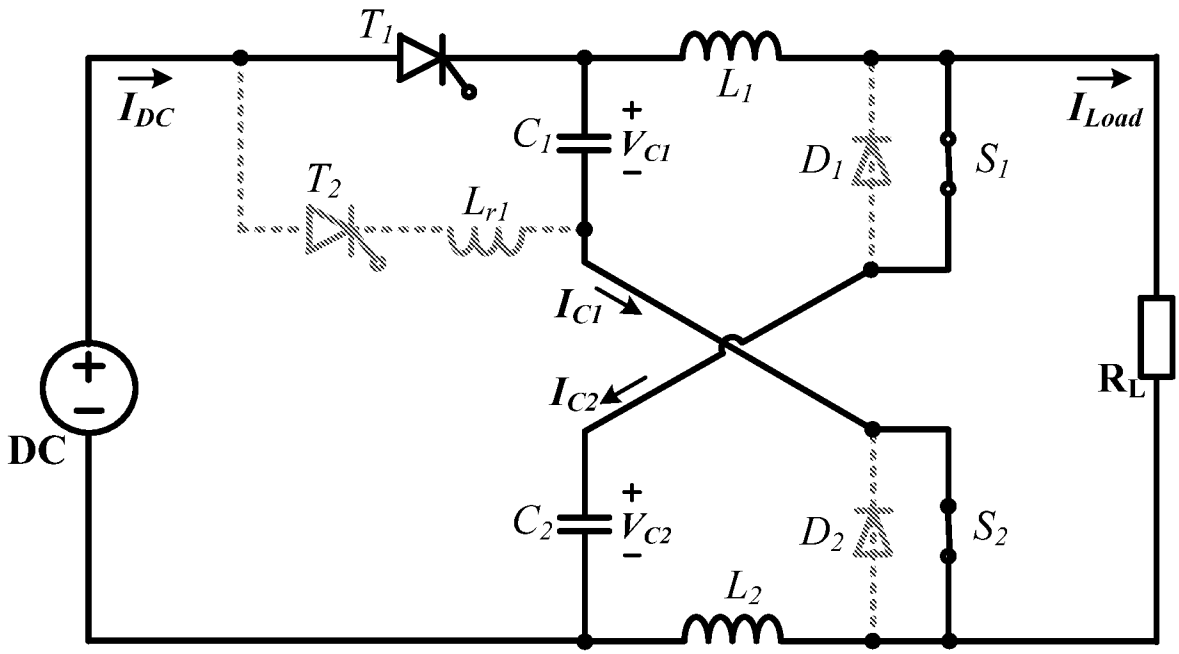

T1
L1
I_DC
C1
V_C1
D1
S1
I_Load
T2
L_r1
I_C1
I_C2
R_L
DC
C2
V_C2
D2
S2
L2

图 5A

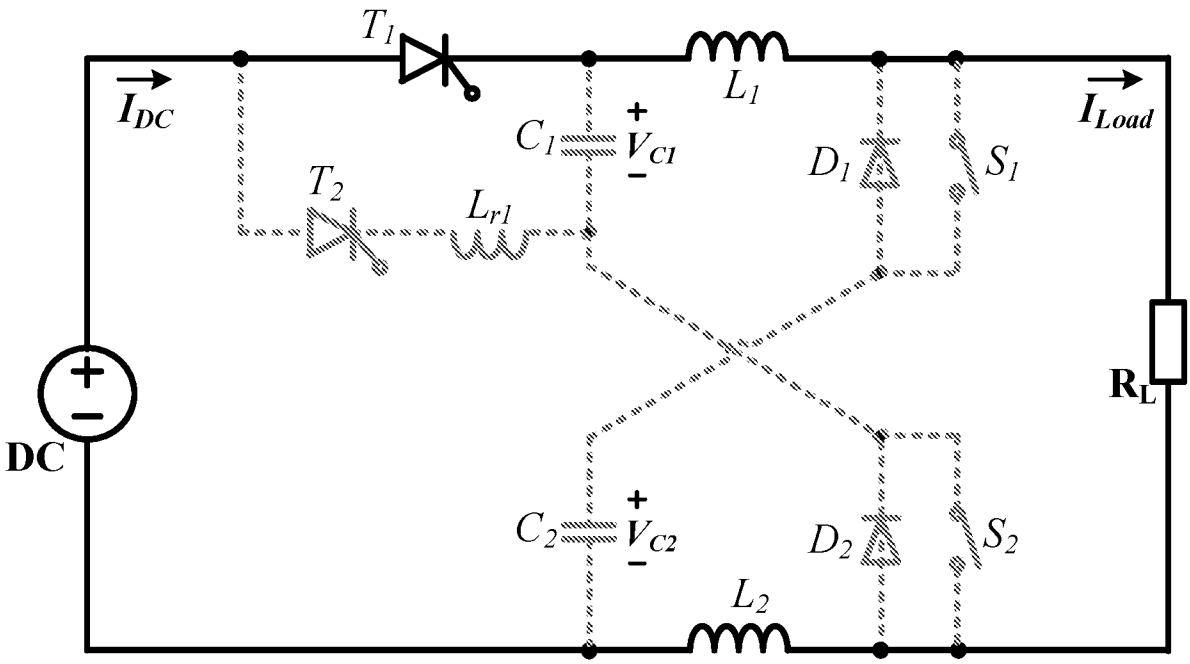

T1
L1
IDC
C1
VC1
ILoad
D1
S1
T2
Lr1
RL
DC
C2
VC2
D2
S2
L2

图 5B

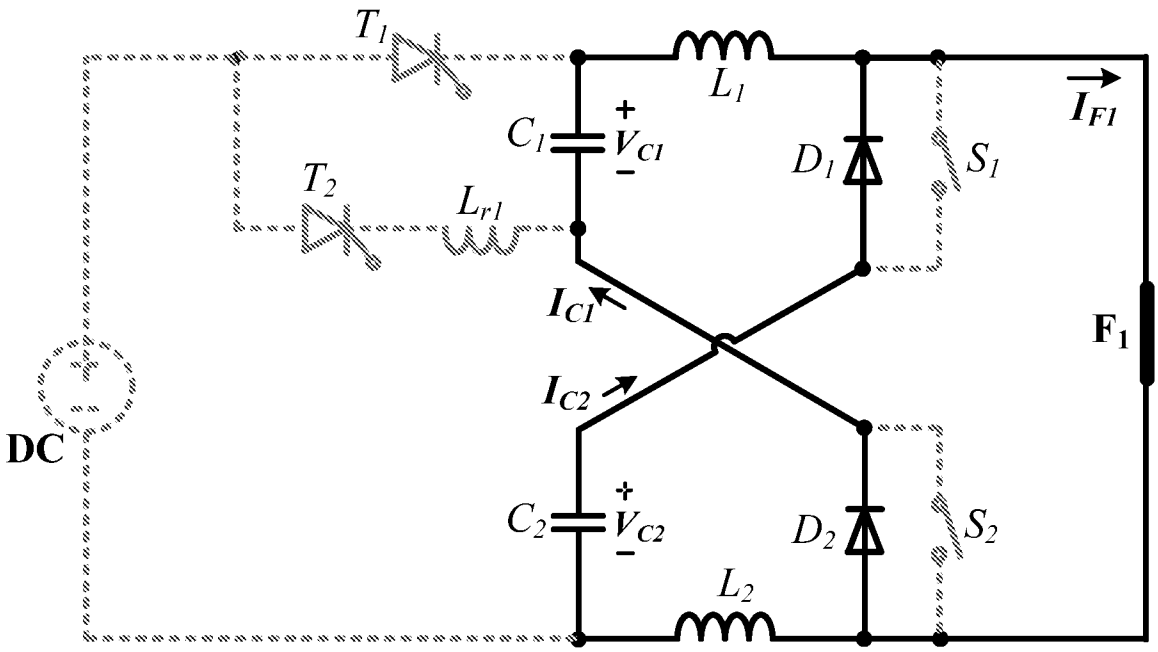

T1
L1
IF1
C1
VC1
D1
S1
T2
Lr1
IC1
F1
IC2
DC
C2
VC2
D2
S2
L2

图 6

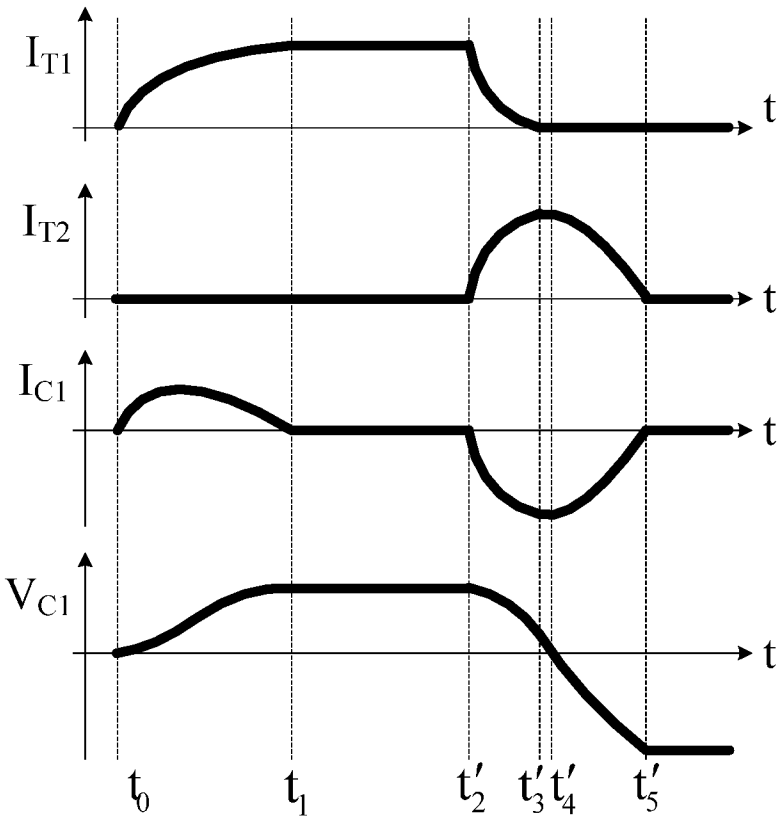

I_T1
t
I_T2
t
I_C1
t
V_C1
t
t_0
t_1
t'_2
t'_3
t'_4
t'_5

图 7

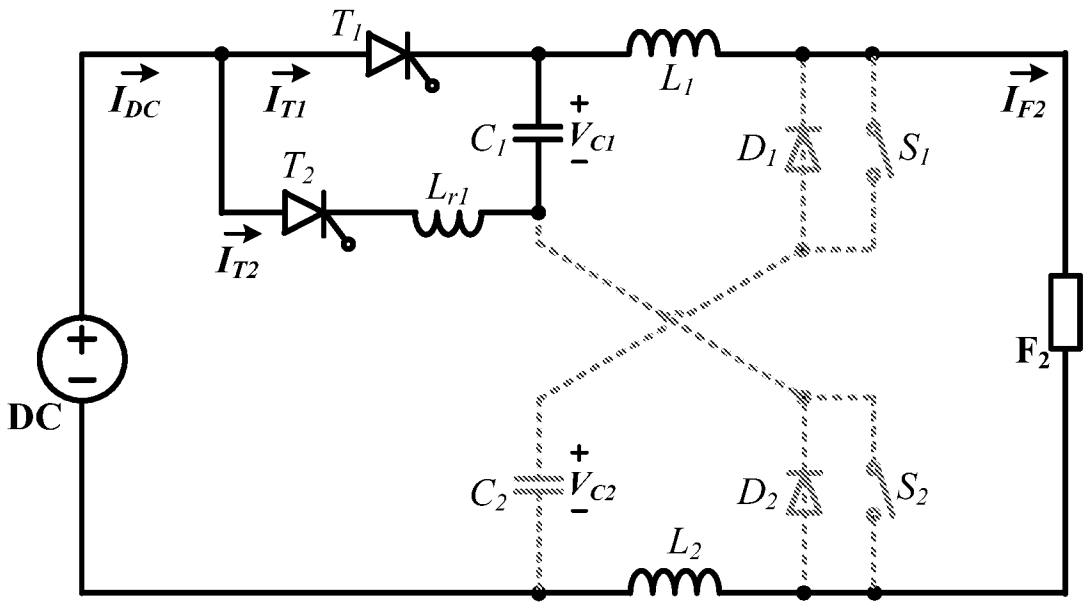

T1
L1
I_DC
I_T1
C1
V_C1
D1
S1
I_F2
T2
L_r1
I_T2
DC
F2
C2
V_C2
D2
S2
L2

图 8A

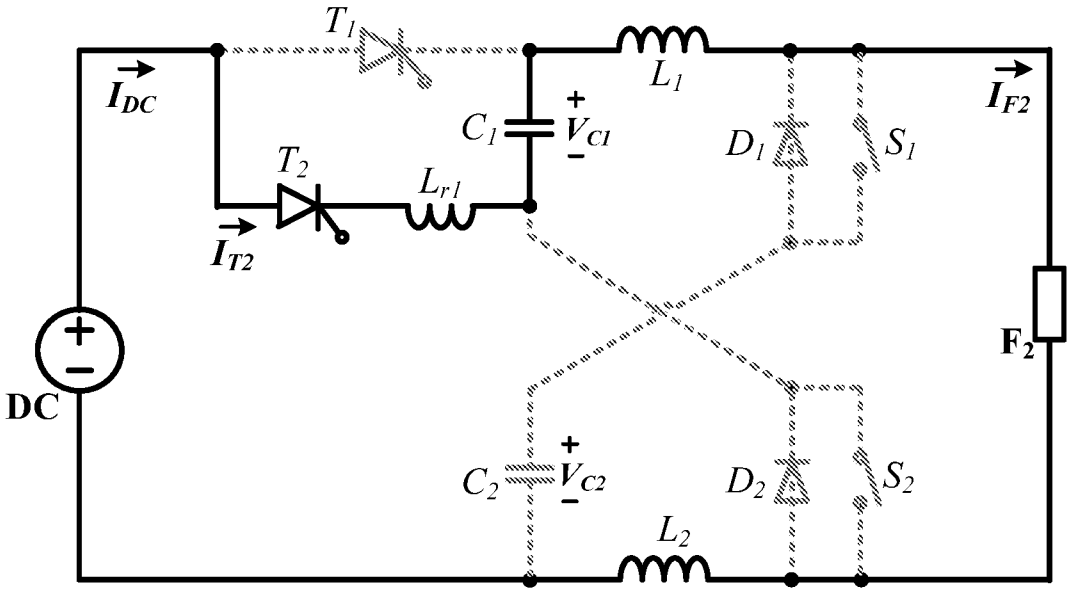

T_1
L_1
$\vec{I}_{DC}$
C_1
V_{C1}
D_1
S_1
$\vec{I}_{F2}$
T_2
L_{r1}
$\vec{I}_{T2}$
F_2
DC
C_2
V_{C2}
D_2
S_2
L_2

图 8B

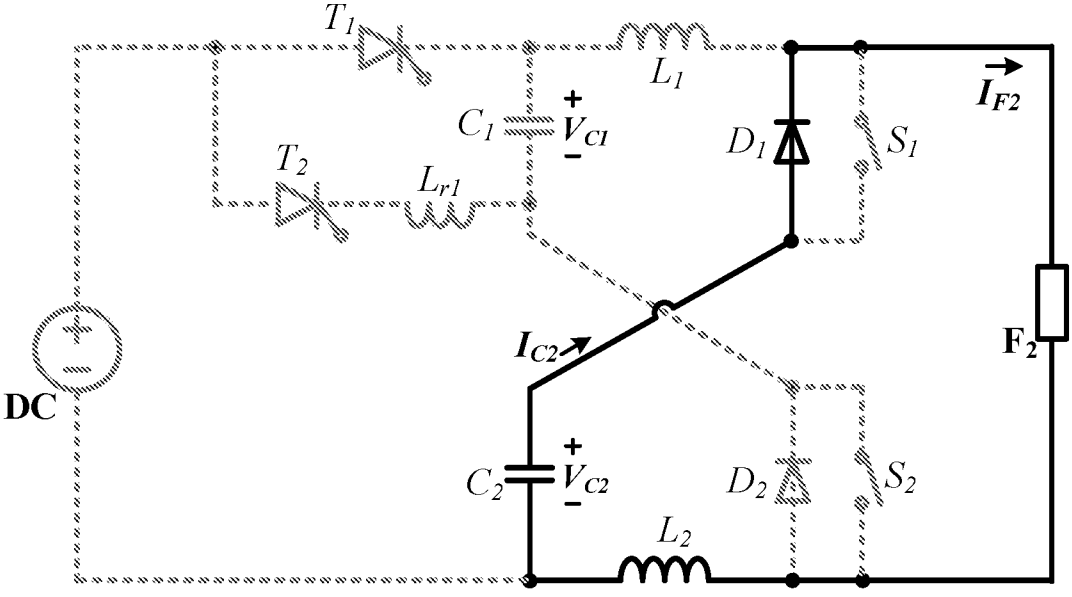

T_1
L_1
$\vec{I}_{F2}$
C_1
V_{C1}
D_1
S_1
T_2
L_{r1}
I_{C2}
F_2
DC
C_2
V_{C2}
D_2
S_2
L_2

图 8C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/077567

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03K 17/73 (2006.01) i; H02H 3/087 (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)

H03K, H02H

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: direct-current, solid-state, breaker, main switch, auxiliary switch, charge, short circuit protection, power diode

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102222874 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 19 October 2011 (19.10.2011), description, paragraphs [0020]-[0046], and figure 3	1-10
A	CN 202276128 U (SUZHOU MICROFOSSILS ELECTRONIC TECHNOLOGY CO., LTD.), 13 June 2012 (13.06.2012), the whole document	1-10
A	CN 101540493 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 23 September 2009 (23.09.2009), the whole document	1-10
A	WO 2007064837 A2 (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC.), 07 June 2007 (07.06.2007), the whole document	1-10

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

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 June 2016 (12.06.2016)	**24 June 2016 (24.06.2016)**
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 **HAN, Peipei** Telephone No.: (86-10) **62089273**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/077567

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102222874 A	19 October 2011	CN 102222874 B	09 April 2014
CN 202276128 U	13 June 2012	None	
CN 101540493 A	23 September 2009	CN 101540493 B	19 January 2011
WO 2007064837 A2	07 June 2007	WO 2007064837 A3	10 January 2008
		US 7405910 B2	29 July 2008
		US 2007121257 A1	31 May 2007

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/077567

A. 主题的分类

H03K 17/73(2006.01)i; H02H 3/087(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)

H03K,H02H

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：直流，固态，断路器，主开关，辅助开关，充电，短路保护，功率二极管，direct-current, solid-state, breaker, main switch, auxiliary switch, charge, short circuit protection, power diode

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 102222874 A (南京航空航天大学) 2011年 10月 19日 (2011-10-19) 说明书第[0020]-[0046]段，图3	1-10
A	CN 202276128 U (苏州微体电子科技有限公司) 2012年 6月 13日 (2012-06-13) 全文	1-10
A	CN 101540493 A (南京航空航天大学) 2009年 9月 23日 (2009-09-23) 全文	1-10
A	WO 2007064837 A2 (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC.) 2007年 6月 7日 (2007-06-07) 全文	1-10

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2016年 6月 12日	2016年 6月 24日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	韩蓓蓓
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62089273

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/077567

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	102222874	A	2011年 10月 19日	CN	102222874	B	2014年 4月 9日
CN	202276128	U	2012年 6月 13日		无		
CN	101540493	A	2009年 9月 23日	CN	101540493	B	2011年 1月 19日
WO	2007064837	A2	2007年 6月 7日	WO	2007064837	A3	2008年 1月 10日
				US	7405910	B2	2008年 7月 29日
				US	2007121257	A1	2007年 5月 31日