

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02H 9/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610172766.3

[45] 授权公告日 2010 年 2 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 100588067C

[22] 申请日 2006.12.30

[21] 申请号 200610172766.3

[30] 优先权

[32] 2006.8.17 [33] KR [31] 10-2006-0077520

[73] 专利权人 LS 产电株式会社

地址 韩国首尔

[72] 发明人 李昉昱 朴权培

[56] 参考文献

JP1286735A 1989.11.17

CN1619913A 2005.5.25

US5414586A 1995.5.9

审查员 李 路

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 夏 凯 谢丽娜

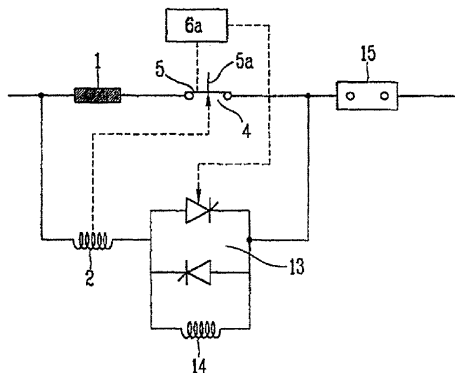
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 4 页

[54] 发明名称

复合超导故障限流器

[57] 摘要

本发明涉及复合超导故障限流器，其将限流电抗器添加到超导体，以保护电力线免受故障电流，以及更具体地说，涉及使用最少数量的超导故障限流器的复合超导故障限流器，同时避免多个超导体和线圈的串并联，以便经济地制造小型故障限流器。超导体、高速开关和断路器彼此串联连接，以及将具有低阻抗的第一电抗器和具有高阻抗的第二电抗器并联连接到电力线以便将用于电流的支路提供给串联电路。根据断开高速开关，使半导体开关并联连接到具有高阻抗的第二电抗器。构造断路器触发驱动控制器以便连接到超导体和支路，以及当出现故障电流时将故障电流分流到支路中，由此第二电抗器限制了故障电流。当故障电流出现时，断路器触发驱动控制器将触发驱动信号提供给断路器，用于根据超导体的电压或支路的电流来触发。



1. 一种复合超导故障限流器，包括：

串联连接到电力线的超导体；

第一开关，串联连接到该超导体，该第一开关当正常电流在该电力线上流动时闭合以允许该电流在该电力线上流动，其中，所述正常电流小于使得所述超导体失超的阈值电流，以及当大于所述正常电流的大电流在该电力线上流动时断开以便断开该电力线，该第一开关由磁力断开；

第一电抗器，其具有小于当大电流在该电力线上流动时的该超导体的阻抗的第一阻抗，其并联连接到该超导体，以及当大电流在该电力线上流动时作为用于流过该超导体和该第一开关的电流的支路，利用流过该支路的电流磁化该第一电抗器，从而使第一开关断开；

第二电抗器，其串联连接到由该第一电抗器形成的该支路，以及具有大于该第一电抗器的第一阻抗的第二阻抗，以便限制该大电流；

半导体开关，其并联连接到该第二电抗器，并能通过触发器信号接通；以及

触发器控制器，其响应所述第一开关的断开停止将触发器信号发送到该半导体开关。

2. 如权利要求 1 所述的复合超导故障限流器，进一步包括：

断路器，其当大电流在该电力线上流动时断开该电力线，该断路器连接到该超导体、第一开关和支路后的电力线；

电流互感器，其连接到该支路以便检测流过该支路的电流，并输出对应于该检测电流的第一电压信号；以及

断路器触发驱动控制器，其包括连接到该超导体并输入有对应于该超导体的电压的第二电压信号的第一输入，以及输入有来自该电流互感器的第一电压信号的第二输入，以及当输入第一电压信号或第二电压信号时，将触发驱动信号提供给该断路器。

3. 如权利要求 1 所述的复合超导故障限流器, 其中, 该触发器控制器包括光开关, 其具有发出光信号的发光部以及光接收部, 如果当闭合该第一开关时该光接收部从该发光部接收光信号, 则该光接收部将该触发器信号提供给该半导体开关, 以及当断开第一开关从而切断光信号时, 该光接收部停止将触发器信号提供给半导体开关。

4. 如权利要求 1 所述的复合超导故障限流器, 其中, 该触发器控制器包括位于第一开关的移动到断开位置的通路上的微动开关以便联锁到第一开关的位置, 该触发器控制器当闭合该第一开关时将触发器信号提供给该半导体开关, 以及当断开该第一开关时停止将触发器信号提供给半导体开关。

5. 如权利要求 2 所述的复合超导故障限流器, 其中, 该半导体开关由双向晶闸管 TRIAC、绝缘栅双极晶体管 IGBT、控制极可关断晶闸管 GTO、固态继电器 SSR 和场效应晶体管 FET 的任何一个形成。

6. 如权利要求 2 所述的复合超导故障限流器, 其中, 该断路器触发驱动控制器由 OR 电路形成, 该 OR 电路当输入第一电压信号或第二电压信号时, 将触发驱动信号提供给该断路器。

7. 如权利要求 2 所述的复合超导故障限流器, 其中, 该断路器触发驱动控制器包括:

第一比较器, 其将第一电压信号与预定第一参考电压进行比较, 如果第一电压信号大于第一参考电压, 输出相应的信号;

第二比较器, 其将第二电压信号与预定第二参考电压进行比较, 如果第二电压信号大于第二参考电压, 输出相应的信号; 以及

OR 电路, 其连接到该第一和第二比较器的输出, 以及如果将该信号从第一和第二比较器的至少一个输入到 OR 电路, 将触发驱动信号输出到该断路器。

8. 如权利要求 1 所述的复合超导故障限流器，其中，第一开关是常闭触点开关。

9. 如权利要求 2 所述的复合超导故障限流器，其中，第一开关包括串联连接到该超导体和断路器之间的电力线的静触点以及活动触点，该活动触点能在与静触点接触以允许电流在该电力线上流动的位置和通过来自第一电抗器的磁力从静触点分离以便断开该电力线的位置之间切换。

复合超导故障限流器

技术领域

本发明涉及超导故障限流器，其能通过使用超导体，有效地限制在电力系统上出现的故障电流，以及更具体地说，涉及复合超导故障限流器，其能通过相互和系统地连接超导体中的高速开关、半导体开关和电抗器，当故障电流出现时最小化超导体承受大的电流和高压的时间，以便经济地制造小型故障限流器。

背景技术

超导体很少阻止在电力线上流动的电流，直到电流达到预定阈值电流为止，但当电流超过阈值电流时，电阻急剧增加。因为这一特性，超导体可以充当限制电力系统中的故障电流诸如短路电流的故障限流元件。

通常，超导故障限流器已经使用液氮作为保持超导状态的致冷剂，但诸如显著冷却成本和复杂制造的问题阻止关于超导故障限流器的世界范围研究。然而，由于近年来已经开发了使用液氮来保持超导状态的超导材料，关于使用该材料的超导故障限流器的研究正获得动力。

使用超导体的超导故障限流器划分成电阻故障限流器、电感故障限流器和复合故障限流器等等。由于要求这些超导故障限流器承受电力系统中的高电压和大电流，超导故障限流器应当使用按指数规律地大量超导体。换句话说，为了具有超导故障限流器相对于高压的承受力，应当串联连接大量超导体，以及为了具有相对于大电流的承受力，还应当并联大量超导体。

在下文中将参考图 1 描述上述现有技术。

根据现有技术的超导故障限流器,如图 1 所示,包括限流矩阵 220、提供磁场以允许限流矩阵 220 中的超导体同时失超(从超导状态转变成正常导电状态,即电阻状态)的触发器矩阵 218。更具体地说,通过串联连接 m 个限流模块(312-1~312- m)形成限流矩阵 220,以及通过并联连接 n 个限流矩阵元件(314-1~314- n)形成限流模块。其中,每一限流矩阵元件(314-1~314- n)包括一个超导体。

通过并联连接 n 个触发器矩阵元件(310-1~310- n),形成触发器矩阵 218,每个触发器矩阵元件(310-1~310- n)包括一个超导体以及分别连接 n 个限流矩阵元件(314-1~314- n)。

在图 1 中,参考数字 A 和 C 分别表示根据现有技术的超导故障限流器的输入端和输出端。

通过根据使用超导故障限流器的电力系统即电力线(电路)的电压和电流的容量,修改串并联连接的数量,来配置超导限流器模块。

根据现有技术的上述超导故障限流器具有下述问题。

首先,要求大量超导体的串并联连接来提高超导故障限流器相对于高电压和大电流的承受力,以及因此需要容器来容纳用于保持超导体的超导状态的致冷剂,这导致较大尺寸以及巨大的制造成本。

第二,当如上所述串并联连接大量超导体时,则超导体应当同时失超以便承受高温。因此,当在制造或操作超导体的过程中发现制造缺陷和不良性能时,超导体被损坏并由此很可能导致超导故障限流器的故障。换句话说,超导体的局部故障可能严重地影响超导故障限流器的全部操作,这会导致不稳定的可靠性。

发明内容

因此，本发明的目的是提供使用最少超导体的超导故障限流器，以便经济地制造小型限流器，并确保可靠操作。

为实现这些和其他优点以及根据本发明的目的，如在此具体实现和广泛所述，提供一种复合超导故障限流器，其包括：串联连接到电力线的超导体；第一开关，其串联连接到该超导体，当正常电流在该电力线上流动时，闭合以允许该电流在该电力线上流动，其中，所述正常电流小于使得所述超导体失超的阈值电流，以及当大于所述正常电流的大电流在该电力线上流动时断开，以便断开该电力线，该第一开关由磁力断开；第一电抗器，其具有小于当大电流在该电力线上流动时的该超导体的阻抗的第一阻抗，并并联连接到该超导体，以及当大电流在该电力线上流动时，作为用于流过该超导体和该第一开关的电流的支路，由流过该支路的电流磁化该第一电抗器，从而使第一开关断开；第二电抗器，其串联连接到由该第一电抗器形成的支路，以及具有大于第一电抗器的第一阻抗的第二阻抗，以便限制大电流；半导体开关，其并联连接到第二电抗器并能通过触发器信号接通；以及触发器控制器，其响应第一开关的断开而停止对半导体开关发送触发器信号。

最好，本发明的复合超导故障限流器进一步包括：断路器，当大电流在该电力线上流动时，断开该电力线，该断路器连接到该超导体、第一开关和支路后的电力线；电流互感器，其连接到所述支路以便检测流过该支路的电流，以及输出对应于检测电流的第一电压信号；以及断路器触发驱动控制器，其包括连接到超导体并输入有对应于该超导体的电压的第二电压信号的第一输入，以及输入有来自该电流互感器的第一电压信号的第二输入，并当输入第一电压信号或第二电压信号时，将触发驱动信号提供给所述断路器。

另外，最好，该触发器控制器包括光开关，其具有发出光信号的

发光部以及光接收部，如果当闭合该第一开关时该光接收部从该发光部接收光信号，则该光接收部将该触发器信号提供给该半导体开关，以及当断开第一开关时，停止将光信号提供给半导体开关从而切断光信号。

另外，最好，该触发器控制器包括位于第一开关的移动到断开位置的通路上的微动开关，以便联锁到第一开关的位置，当闭合该第一开关时，将触发器信号提供给该半导体开关，以及当断开该第一开关时，停止将触发器信号提供给半导体开关。

另外，最好，该半导体开关可包括双向晶闸管 TRIAC、绝缘栅双极晶体管 IGBT、控制极可关断晶闸管 GTO、固态继电器 SSR 和场效应晶体管 FET 的任何一个。

另外，最好，该断路器触发驱动控制器包括 OR 电路，其当输入第一电压信号或第二电压信号时，将触发驱动信号提供给该断路器。

另外，最好，该断路器触发驱动控制器包括：第一比较器，其将第一电压信号与预定第一参考电压进行比较，如果第一电压信号大于第一参考电压，输出相应的信号；第二比较器，将第二电压信号与预定第二参考电压进行比较，如果第二电压信号大于第二参考电压，输出相应的信号；以及 OR 电路，其连接到该第一和第二比较器的输出，以及如果该信号从第一和第二比较器的至少一个被输入到 OR 电路，则该 OR 电路将触发驱动信号输出到该断路器。

最好，第一开关是常闭触点。

另外，最好，第一开关包括串联连接到该超导体和断路器之间的电力线的静触点，以及活动触点，其能在与静触点接触以允许电流在该电力线上流动的位置和通过来自第一电抗器的磁力从静触点分离以

便断开该电力线的位置之间切换。

从结合附图的本发明的下述详细描述，本发明的上述和其他目的、特征、方面和优点将变得更显而易见。

附图说明

附图，其被包括来提供本发明的进一步理解和包含在说明书中并构成该说明书的一部分，示例说明本发明的实施例以及与描述一起用来解释本发明的原理。

在图中：

图 1 是说明根据现有技术的超导故障限流器的结构的框图；

图 2 是说明根据本发明的第一实施例的复合超导故障限流器的结构的框图；

图 3 是说明根据本发明的第二实施例的复合超导故障限流器的结构的框图；

图 4A 和 4B 是说明在本发明的复合超导故障限流器中的断路器触发驱动控制器的结构的框图。

图 4A 是说明根据第一实施例的断路器触发驱动控制器的结构的框图。

图 4B 是说明根据第二实施例的断路器触发驱动控制器的结构的框图。

图 5 是说明当出现故障电流出现时流过本发明的超导故障限流器的电流的变化的波形图；

图 6 至 8 是说明本发明的复合超导故障限流器的操作的说明图；

图 6 是说明当正常电流流过本发明的复合超导故障限流器时的操作的说明图；

图 7 是说明在流过本发明的复合超导故障限流器的故障电流的初始上升期间的操作的说明图；以及

图 8 是说明当故障电流流过本发明的复合超导故障限流器的分支电路时的操作完成状态的说明图。

具体实施方式

现在更详细地参考本发明的优选实施例，在附图中示例说明其例子。

在下文中，将参考附图，描述本发明的优选实施例。

首先，将参考图 2 的结构框图，描述根据本发明的第一实施例的复合超导故障限流器。

根据本发明的第一实施例的复合超导故障限流器包括串联连接到电力线的超导体 1。本发明的故障限流器包括串联连接到超导体 1 的第一开关 4。当正常电流在电力线上流动时，闭合该开关以便允许电流在电力线上流动，以及当大电流在电力线上流动时断开以便断开电力线。能通过磁力断开该开关。

故障限流器包括第一电抗器 2，具有第一阻抗，该第一阻抗小于当大电流在电力线上流动时超导体 1 的阻抗，并且并联连接到超导体 1。另外，当大电流在电力线上流动时，第一电抗器 2 充当用于流过超导体 1 和第一开关 4 的电流的支路，以及由流过该支路的电流磁化，从而将第一开关 4 切换成断开。

本发明的故障限流器包括第二电抗器 14，其串联连接到由第一电抗器 2 形成的支路，以及具有大于第一电抗器 2 的第一阻抗的第二阻抗，以便限制大电流。

本发明的故障限流器包括并联连接到第二电抗器 14 并由触发器信号接通的半导体开关 13。

本发明的故障限流器包括触发器控制器 6a，其响应第一开关 4 的

断开，停止将触发器信号发送到半导体开关 13。

根据本发明的复合超导故障限流器可以进一步包括断路器 15，其当大电流流过电力线时断开电力线，断路器 15 连接到超导体 1、第一开关 4 和支路后的电力线。

第一开关 4 可以由常闭触点开关形成，该常闭触点开关可以通过来自第一电抗器 2 的磁力被切换为断开。换句话说，当第一电抗器 2 将磁力施加到第一开关 4 时，断开第一开关。另一方面，当第一电抗器 2 不将磁力施加到第一开关时，闭合第一开关。

第一开关 4 包括串联连接到超导体 1 和断路器 15 之间的电力线的静触点（未用参考数字表示），以及活动触点，其能在与静触点接触以允许电流流动的位置和通过来自第一电抗器 2 的磁力从静触点分开以便断开电力线的位置之间切换。参考数字 5a 是将第一开关 4 的断开的位置状态发送到包括在活动触点 5 中的触发器控制器 6a 的元件。

利用该结构，第一开关 4 充当能在 1ms（1 毫秒）内断开和从静触点分离的高速开关。

触发器控制器 6a 包括光开关，其具有发出光信号的发光部，以及光接收部。如果当闭合第一开关 4 时光接收部从发光部接收光信号，则该光接收部将触发器信号提供给半导体开关 13，以及当断开第一开关从而切断光信号时，该光接收部停止将触发器信号提供给半导体开关 13。

另外，触发器控制器 6a 包括位于第一开关 4 的断开位置移动通路上的微动开关，以便联锁到第一开关 4 的位置，当闭合第一开关时，将触发器信号提供给半导体开关，以及当断开第一开关时，停止将触发器信号提供给半导体开关 13。当闭合第一开关 4 时，微动开关将触

发器信号提供给半导体开关 13，以及当断开第一开关 4 时，微动开关将触发器信号提供给半导体开关 13。

半导体开关 13 可以是晶闸管、TRIAC、IGBT（绝缘栅双极晶体管）、GTO 晶闸管（闸控断开晶闸管）、SSR（固态继电器）、FET（场效应晶体管）和晶体管的任何一个。

如果电力线是用于相对低压的线路，断路器 15 可以由用于布线的公知的断路器或空气断路器形成，否则，如果电力线是用于高压的线路，断路器可以由公知的真空断路器形成。

同时，将参考图 3，描述根据本发明的第二实施例的复合超导故障限流器的结构。

根据本发明的第二实施例的复合超导故障限流器包括串联连接到电力线的超导体 1。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括串联连接到超导体 1 的第一开关 4。当正常电流在电力线上流动时，闭合第一开关 4 以便允许电流在电力线上流动，以及当大电流在电力线上流动时，将第一开关 4 切换成断开，以便断开在电力线上流动的电流。能通过磁力，将第一开关 4 切换成断开。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括第一电抗器 2，其具有比当大电流在电力线上流动时的超导体 1 的阻抗更小的第一阻抗，并且并联连接到超导体 1。另外，当大电流在电力线上流动时，第一电抗器 2 用作用于流过超导体 1 和第一开关 4 的电流的支路，以及通过流过支路的分路电流磁化，从而使第一开关 4 切换成断开。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括第二电抗器 14，其串

联连接到由第一电阻器 2 形成的支路并具有大于第一电抗器 2 的第一阻抗的第二阻抗，以便限制大电流。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括半导体开关 13，其并联连接到第二电抗器 14，并且可以通过触发器信号接通。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括触发器控制器 6 和 7，它们响应第一开关 4 的断开，停止将触发器信号发送到半导体开关 13。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括断路器 15，其连接到超导体 1、第一开关 4 和支路后的电力线，以及当大电流在电力线上流动时，断开该电力线。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括变流器（未由参考数字表示），其连接到支路，以便检测流过支路的电流，以及输出对应于检测电流的第一电压信号。

根据本发明的第二实施例的故障限流器包括断路器触发驱动控制器 11，其包括连接到超导体 1 以及向其输入有对应于超导体 1 的电压的第二电压信号的第一输入 8，以及向其输入有来自变流器的第一电压信号的第二输入 10。当输入第一电压信号或第二电压信号时，断路器触发驱动控制器向断路器 15 提供触发驱动信号。

本发明的第二实施例不同于本发明的第一实施例之处在于故障限流器进一步包括变流器和断路器触发驱动控制器 11。

根据本发明的第二实施例，触发器控制器 6 和 7 可以由光开关形成，该光开关具有发出光信号的发光部 6，以及光接收部 7。当闭合第一开关 4 时，如果光接收部从发光部 6 接收光信号，则将触发器信号提供给半导体开关 13；以及当断开第一开关以便切断光信号时，该光

接收部停止将触发器信号提供给半导体开关 13。

另外，本发明的第二实施例类似于本发明的第一实施例之处在于能将触发器控制器 6 和 7 构造成微动开关来替代光开关。微动开关位于第一开关 4 移动到断开位置的通路上，以便与第一开关 4 的位置联锁，当闭合第一开关 4 时，微动开关将触发器信号提供给半导体开关 13，以及当断开第一开关 4 时，停止将触发器信号提供给半导体开关 13。

同时，根据本发明的第二实施例，断路器触发驱动控制器 11，如图 4A 所示，可以构造成逻辑 OR 电路（简写成 OR 电路），当输入第一电压信号或第二电压信号时，将触发驱动信号提供给断路器 15。

另外，断路器触发驱动控制器 11，如图 4B 所示，包括：第一比较器（COM1），其将第一电压信号与预定第一参考电压（REF1）进行比较，如果第一电压信号大于第一参考电压（REF1），则输出相应的输出信号；第二比较器（COM2），其将第二电压信号与预定第二参考电压（REF2）进行比较，如果第二电压信号大于第二参考电压（REF2），则输出相应的输出信号；以及 OR 电路，其连接到第一和第二比较器（COM1，COM2）的输出，以及如果将该信号从第一和第二比较器（COM1，COM2）的至少一个输入到 OR 电路，将触发驱动信号输出到断路器 15。

在图 3 中，参考数字 3 表示当磁化第一电抗器 2 时，施加到第一开关 4 的磁力线。

第一开关 4 包括串联连接到超导体 1 和断路器 15 之间的电力线的静触点（未用参考数字表示）和活动触点 5，该活动触点 5 能在与静触点接触以允许电流在电力线上流动的位置和通过来自第一电抗器 2 的磁力从静触点分开以便断开电力线的位置之间切换。参考数字 5a 是将

第一开关 4 的断开的位置状态发送到包括在活动触点 5 中的触发器控制器 6a 的元件。

参考数字 12 包括用于将触发驱动信号从断路器触发驱动控制器 11 发送到断路器 15 的信号通路。

另一方面，在下文中，将参考图 5 至 8，描述具有上述结构的本发明的复合超导故障限流器的操作。

图 5 是说明当故障电流出现时流过本发明的超导故障限流器的电流变化的波形图。图 6 至 8 是说明本发明的复合超导故障限流器的操作的说明图。图 6 是说明当正常电流流过本发明的复合超导故障限流器时的操作的说明图。图 7 是说明在流过本发明的复合超导故障限流器的故障电流的初始上升期间的操作的说明图。图 8 是说明当故障电流流过本发明的复合超导故障限流器的分支电力线时的操作完成状态的说明图。

首先，在下文中，将参考图 5 和 6，描述当正常电流在电力线上流动时，本发明的复合超导故障限流器的操作。

与图 5 的正常电流的波相同，当在电力系统即电力线上流动的电流 16 是正常电流时，该电流 16 小于使超导体 1 失超的阈值电流，从而超导体 1 的电阻为“0”（零）。

当大电流在电力线上流动时，第一电抗器 2 具有大于“0”但小于超导体 1 的阻抗的预定阻抗，例如几十 mΩ（毫欧），因此，电流 16 不流入第一电抗器 2，但流入无电阻的超导体 1。

因此，该电流 16 无损失地流过超导体 1，以及通过第一开关 4，从而流入图 2 和 3 的断路器 15。

另一方面，在下文中，将参考说明在本发明的复合超导故障限流器上流动的故障电流的初始上升期间的操作的图 7 和作为波形的图 5 进行描述。

在图 5 中，在故障电流的初始上升时，如果在电力线上发生诸如短路电力线或接地的偶然事故，电流 16 显著上升，从而变为大电流。如果不提供本发明的复合超导故障限流器，在电力线上流动的电流 16 具有急剧上升的波，如同在图 5 的故障电流生成时之后的电流 16。在故障电流的初始上升时，将电流 16 划分成流过超导体 1 的电流 17 和流过第一电抗器 2 的分路电流 18，如图 7 所示。此时，当短路电力线出现时，超导体 1 在几百 μsec （微秒）内失超，以及超导体的电阻从零急剧地增加到几到几十欧，由此变成电阻器。因此，大部分故障电流被分流流入具有低阻抗的第一电抗器 2。

此时，流过第一电抗器 2 的分路电流 18 具有与图 5 中相同的波。

正好在超导体 1 失超后，由于分路电流 18 小，通过磁化第一电抗器 2 生成的磁力，即，磁场 19 较小，由此，电磁排斥力不显著，因此，第一开关 4 的活动触点 5 仍然保持与静触点连接，如图 7 所示。

同时，在下文中，将参考说明当故障电流流过本发明的复合超导故障限流器的分路电力线时的操作完成状态的图 8 和作为波形图的图 5 进行描述。

如果在故障电流流入电力系统即流入电力线以及超导体 1 失超之后，分路电路 18 逐步增加以及第一电抗器 2 生成大的磁力即大的磁场 19，活动触点 5 上的涡流增加以及第一电抗器 2 和活动触点 5 间的电磁排斥力增加，因此，使活动触点 5 从静触点分离，如图 8 所示。

此时，由于超导体 1 的限流以及到第一电抗器 2 中的分流，流过超导体 1 和第一开关 4 的电流具有由图 5 的 17 所示的小波，当活动触点 5 从静触点分离时，不会产生电弧，以及电磁排斥力远大于触点的接触压力（保持接触状态的压力）。因此，在非常短的时间例如图 5 中所示的延迟时间内，使活动触点 5 从静触点完全分离。

在断开高速开关即第一开关 4 后，所有故障电流完全流入由第一电抗器 2 和第二电抗器 14 形成的支路中，如由图 8 中的分路电流 18* 所示，分路并联连接到电力线。

在这种情况下，处理施加到超导体 1 的两端的电压非常重要，直到完全断开第一开关 4 为止。根据现有技术，为响应对应于超导体的电阻增加的超导体的两端的电压增加，应当将多个超导体彼此串联连接，以及根据本发明的复合超导故障限流器能如下降低电压。

换句话说，在根据本发明的复合超导故障限流器中，由于第一电抗器 2 具有在几至几十 $m\Omega$ 范围中的非常小的阻抗，通过增加在超导体 1 失超时生成的阻抗获得的总阻抗也非常小，因此，不将高压施加到超导体 1 的两端。这可以由下述等式表示。

$$V=I_f \times Z_t \quad \dots\dots\dots(1)$$

在等式 (1) 中，“V”表示施加到超导体的两端的电压，“ I_f ”表示故障电流的大小，以及“ Z_t ”表示第一电抗器 2 的阻抗和当超导体 1 失超时生成的阻抗的总阻抗。例如，当用 30KA（千安）的故障电流和 20m Ω （毫欧）的总阻抗替代等式变量时，施加到超导体两端的电压不超出 600 伏。与正常电压，即高压电力系统的系统电压相比，这一电压非常小，系统电压在几千伏至几百千伏的范围中。

另外，在本发明的复合超导故障限流器中，超导体 1 不限制短路电流的大电流。在本发明的复合超导故障限流器中，超导体 1 用来将

大部分故障电流分流到第一电抗器 2 中。

同时，如果使第一开关 4 的活动触点 5 完全从静触点分离，触发器控制器 6a 停止将触发器信号发送到半导体开关 13，并且相应地断开半导体开关 13。因此，所有故障电流流过第一电抗器 2，从而流入与断开半导体开关 13 并联连接的第二电抗器 14。由于第二电抗器 14 具有高阻抗，例如几 Ω （欧），故障电流利用第二电抗器 14 限制从而减少，如图 5 的波（18*）所示。

另外，在第一开关 4 的活动触点 5 完全从静触点分离后，具有高阻抗的第二电抗器 14 也由于故障电流承受高压。至于第二电抗器 14 承受高压，由于通过来自断路器触发驱动控制器 11 的触发驱动信号，在 100 msec（毫秒）内，瞬间触发断路器 15，在这一瞬时内，不损坏第二电抗器 14。

半导体开关 13 仅允许短于 1ms（1 毫秒）的故障电流，直到断开第一开关 4 为止，以及在故障电流达到峰值前断开，因此，防止开关损坏，以及该开关不需要具有相对于大电流的大承受力。

由于第二电抗器 14 需要在几至几十 mH（毫亨利）的范围中的电感以便具有在几欧的范围中的高阻抗，线圈绕组的数量增加。然而，当正常电流在电力线上流动时，第二电抗器不操作，以及仅在 100 msec（毫秒）内承受故障电流，因此，线圈不需要具有大的厚度，这防止第二电抗器 14 和超导故障限流器的大小增加。

另外，如果输入表示由于在电力线上流动的故障电流的超导体 1 的上升电压的第二电压信号，或来自变流器的第一电压信号，或两者，则断路器触发驱动控制器 11 将触发驱动信号提供给断路器 15，由此，触发连接到分路的后端的断路器 15，从而断开电力线。此时，如果故障电流在电力线上流动，在几百 μsec （微秒）内，超导体 1 失超，以

及生成任意电阻和电压。因此，第一电压信号和/或第二电压信号帮助缩短检测故障电流的时间，以便通过第一和第二电压信号，断路器 15 断开电力线需要的时间变为小于断路器 15 仅检测故障电流的时间。

如上所述，在根据本发明的复合超导故障限流器中，在并联连接到超导体的分路中，具有高阻抗的第二电抗器承受高压，以便在超导体的两端不生成高压，以及当正常电流在电力线上流动时，该分路还承受和限制故障电流的大电流以及超导体仅承受额定电流，这允许超导故障限流器使用数量最少的超导体。

另外，根据本发明的复合超导故障限流器使超导体的数量最小。因此，可以防止诸如由大量超导体应当同时失超的需求引起的故障和不良可靠性的问题。

另外，根据本发明的复合超导故障限流器检测在几百 μsec （微秒）内失超的超导体的电压的变化，以便在触发断路器中使用该检测到的变化。因此，与仅通过断路器来检测故障电流的时间相比，可以缩短针对故障电流断开电力线的时间。

由于可以用不背离其精神或实质特性的几种形式实现本发明，因此，应知道上述实施例不受上述描述的任何细节限制，除非另外指出，而是应当在附加权利要求中定义的其精神和范围内广泛地解释，因此，意图由附加权利要求包含落在权利要求的边界和范围内的所有改变和修改，或这些边界或范围的等效。

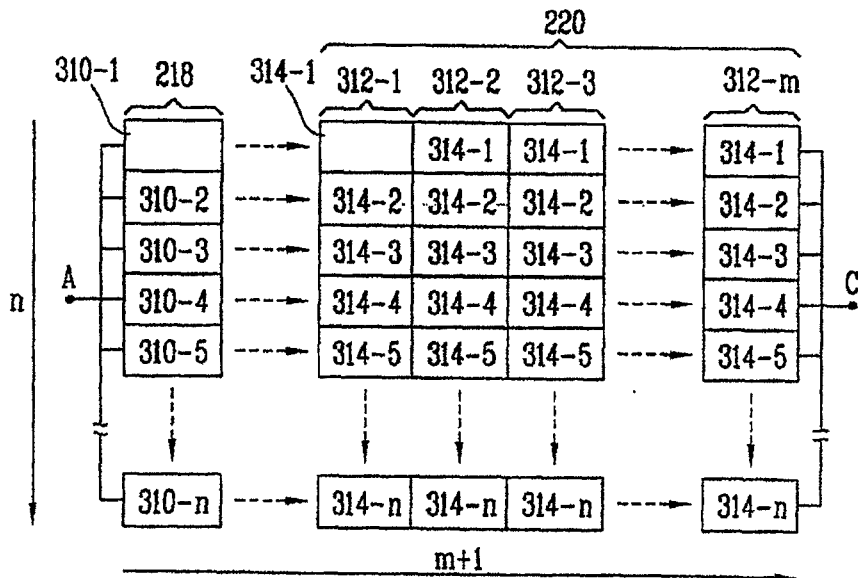


图1

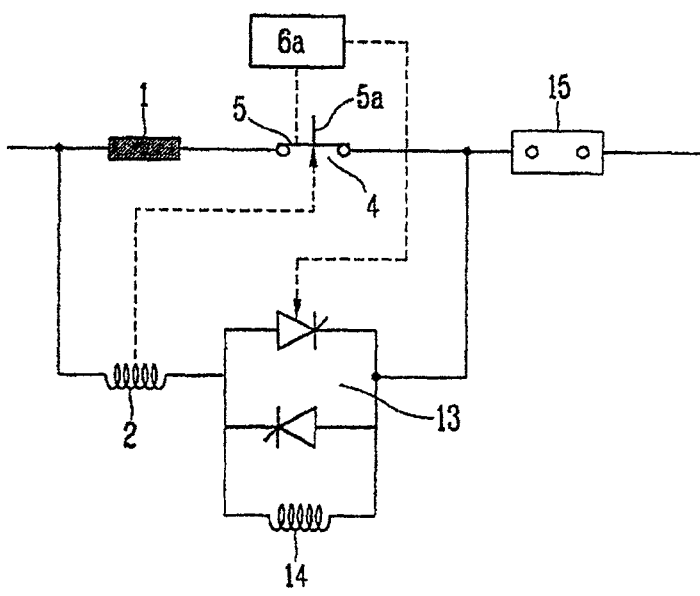


图2

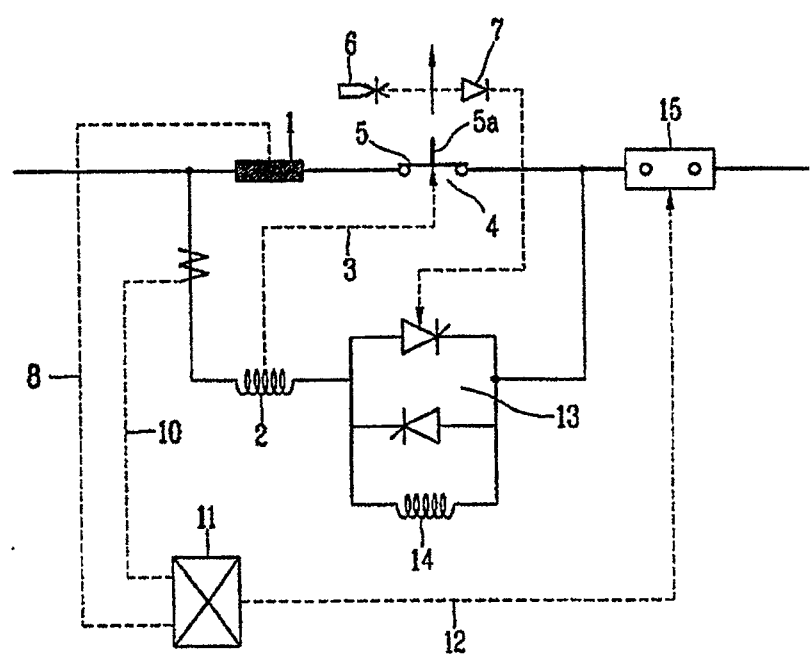


图3

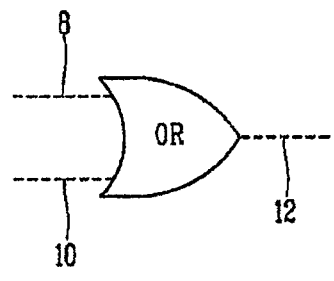


图4A

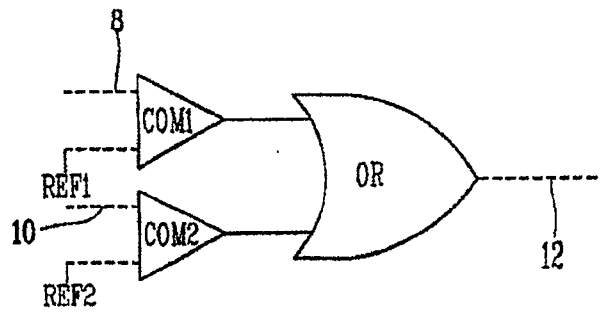


图4B

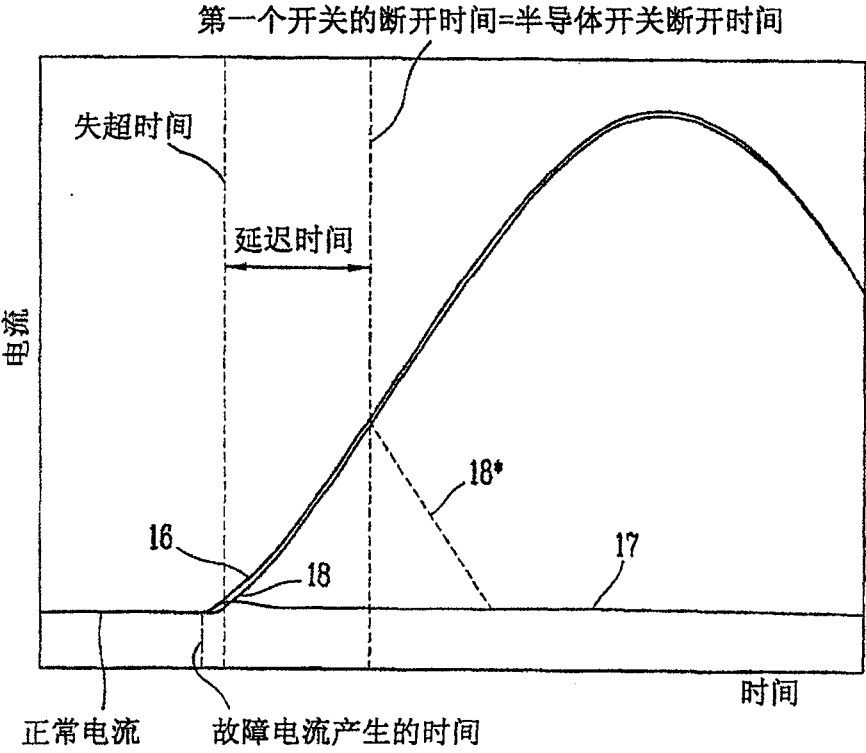


图5

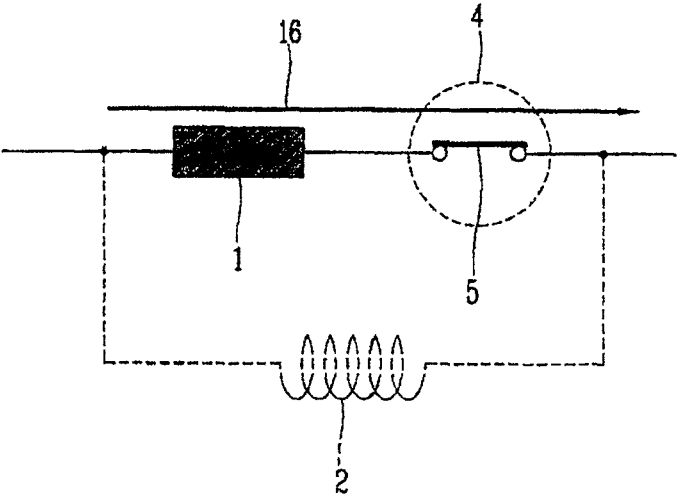


图6

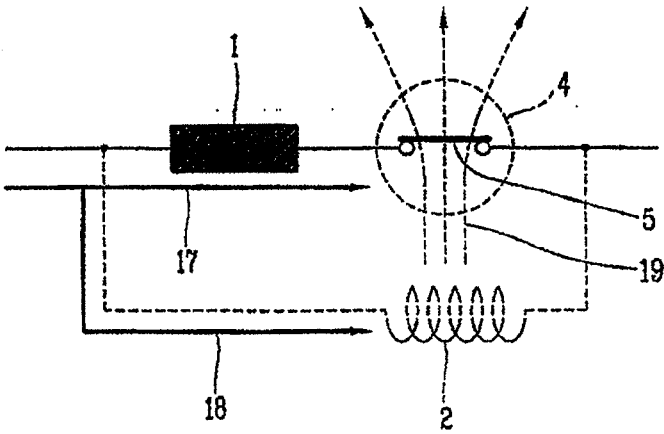


图7

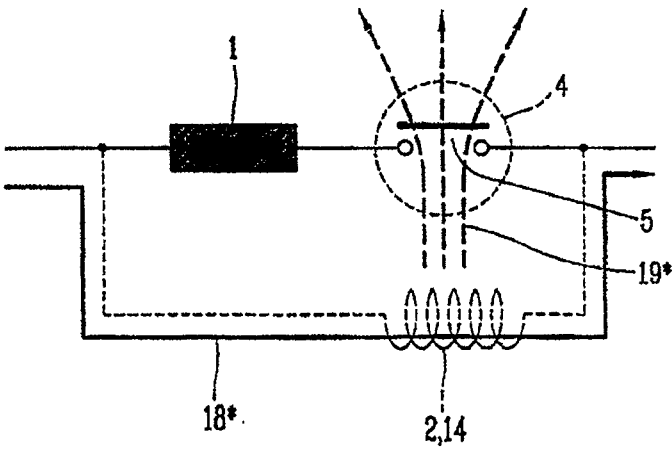


图8