

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103155056 A

(43) 申请公布日 2013. 06. 12

(21) 申请号 201080069461. 4

H01F 38/02 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 08. 03

(85) PCT申请进入国家阶段日
2013. 04. 03

(86) PCT申请的申请数据
PCT/EP2010/061258 2010. 08. 03

(87) PCT申请的公布数据
W02012/016586 EN 2012. 02. 09

(71) 申请人 阿尔斯通技术有限公司
地址 瑞士巴登

(72) 发明人 乔纳森·皮特·斯特奇斯

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事
务所(普通合伙) 11270
代理人 武晨燕 归莹

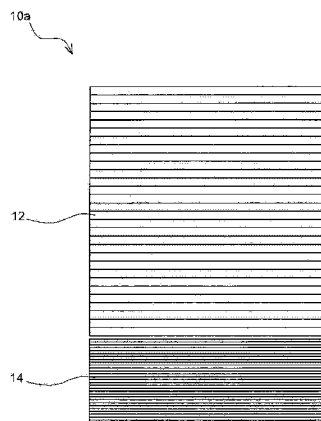
(51) Int. Cl.
H01F 3/10 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称
芯体

(57) 摘要

一种磁故障限流器芯体 (10a) 包括至少一个第一磁性元件 (12) 和至少一个第二磁性元件 (14), 磁性元件 (12、14) 布置为限定磁性元件 (12、14) 大致平行的阵列, 所述第一磁性元件 (12) 或各第一磁性元件 (12) 包括软磁性材料, 并且所述第二磁性元件 (14) 或各第二磁性元件 (14) 包括硬磁性材料, 其中, 所述软磁性材料或各软磁性材料在未饱和状态下的磁导率比所述硬磁性材料或每个硬磁性材料的磁导率更高。



1. 一种磁故障限流器芯体,包括至少一个第一磁性元件和至少一个第二磁性元件,所述磁性元件布置为限定出大致平行的磁性元件阵列,所述第一磁性元件或各第一磁性元件包括软磁性材料,并且所述第二磁性元件或各第二磁性元件包括硬磁性材料,其中,所述软磁性材料或各软磁性材料在未饱和状态下的磁导率比所述硬磁性材料或各硬磁性材料的磁导率更高。

2. 根据权利要求1所述的磁故障限流器芯体,其中,至少一个第一磁性元件通过绝缘体与至少一个相邻的第二磁性元件隔离。

3. 根据权利要求1或2所述的磁故障限流器芯体,进一步包括多个第一磁性元件和/或多个第二磁性元件,其中,所述磁性元件布置为形成第一磁性元件和第二磁性元件的交替初级层。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,其中,至少一个第一磁性元件和/或至少一个第二磁性元件包括磁性材料的多个次级层,各次级层通过绝缘体与所述相邻的次级层或各相邻的次级层隔离。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,包括具有空心孔的至少一个磁性元件,其中,至少一个第一磁性元件的一部分容纳在具有空心孔的第二磁性元件的空心孔内,和/或至少一个第二磁性元件的一部分容纳在第一磁性元件的空心孔内。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,包括具有中空密封内部的至少一个磁性元件,其中,至少一个第一磁性元件容纳在第二磁性元件的中空密封内部内,和/或至少一个第二磁性元件容纳在第一磁性元件的中空密封内部内。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,其中,各磁性元件是棒或条。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,其中,各磁性元件的横截面是圆形的、椭圆形的或多边形的。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的磁故障限流器芯体,其中,至少一个第一磁性元件通过气隙与至少一个相邻的第二磁性元件隔离,并且其中至少一个这种气隙填充有电绝缘材料。

10. 一种磁故障限流器,包括根据前述权利要求中任一项所述的一个或多个磁故障限流器芯体和至少一个导体,所述至少一个导体缠绕所述芯体或各芯体的一部分以限定线圈。

11. 根据权利要求10所述的磁故障限流器,其中,所述导体或各导体缠绕所述第一磁性元件和所述第二磁性元件。

12. 根据权利要求11所述的磁故障限流器,其中,在使用中,所述导体或各导体承载交流电。

13. 根据权利要求10至12中任一项所述的磁故障限流器,其中,所述线圈或各线圈在使用中可操作地连接到一个或多个电路。

14. 根据权利要求13所述的磁故障限流器,其中,所述线圈或各线圈在使用中提供一阻抗以将电路中的故障所导致的故障电流最小化。

15. 根据权利要求10至14中任一项所述的磁故障限流器,其中,所述线圈或各线圈是螺线管或环形线圈的形式。

芯体

技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁故障限流器芯体及其在磁故障限流器中的使用。

背景技术

[0002] 当操作任何电气设备时,流过设备的电流通常保持在电气设备的预定额定电流内。然而,电气设备中的故障或其他异常操作情况可以导致产生超过电气设备额定电流的高故障电流。例如,在电力传输网络的操作期间,电压源转换器可能易受直流(DC)侧故障的损害,这种直流侧故障表现为横穿直流电力传输线路或直流电力传输电缆的低阻抗短路。这种故障可以是由于绝缘物的损坏或击穿、导体运动或由外物在导体之间的其他意外桥接所导致的。

[0003] 高故障电流的产生不仅会导致损坏电气设备部件,而且会导致电气设备离线(offline)一段时间。这导致受损电气设备硬件的修理和维护成本增加,并且给依赖电气设备工作的最终用户带来麻烦。

[0004] 可以通过使用限流器限制高故障电流的幅度(magnitude)来防止这些负面影响。

[0005] 对于限流器而言,一种已知的解决方案是磁故障限流器的形式。磁故障限流器表现得像可变电感器,该可变电感器在正常操作情况期间呈现低阻抗而在故障状态期间(该故障状态期间导致在相关电力系统中产生高故障电流)呈现高阻抗。在采用永久磁性材料的磁故障限流器中,在相关电力系统处于无故障状态时的正常操作情况期间,以及在故障情况期间,磁通量穿过永久磁性材料。

[0006] 穿过永久磁性材料的磁通量会导致感应涡电流和磁滞。这不仅导致限流器中的功率损耗,而且导致永久磁性材料的温度升高,这是不希望的,因为在特定温度之上永久磁性材料可能会遭受性能的下降。

[0007] 可以通过将一整块永久磁性材料细分为多个薄板来减小感应涡电流的大小。这些板中的每个板可以涂覆有薄的电绝缘材料,然后经由机械方法和/或粘合方法被连接在一起。每个板相对较小的横截面减少了感应涡电流的流通,从而最小化感应涡电流的大小。

[0008] 流过永久磁性材料的磁通量可以保持得相当低以减小磁滞损耗,这是因为随着磁通密度增加,永久磁性材料经受更大程度的磁滞。但是,该方法意味着磁故障限流器将不适用于在特定电流水平以上使用,并且因此限制了限流器的操作范围。

[0009] 永久磁性材料中的磁滞损耗的热效应可以通过将冷却系统增加到磁故障限流器中来减小。但是,冷却系统不仅形成了功率损耗的附加源,而且因冷却系统及其各部件(诸如,检测与控制设备和辅助电源)的可能故障而降低了装置可靠性。冷却系统的存在还导致了硬件成本、尺寸和重量的增加。

[0010] 可替代地,永久磁性材料可以被设计为采用促进自然冷却的拓扑结构(诸如,大的表面面积)。但是,永久磁性材料需要占据大量空间以在磁故障限流器的操作期间被充分冷却。

发明内容

[0011] 根据本发明的一个方面,提供了一种磁故障限流器芯体,该磁故障限流器芯体包括至少一个第一磁性元件和至少一个第二磁性元件,磁性元件布置为限定出一个大致平行的磁性元件阵列,所述第一磁性元件或各第一磁性元件包括软磁性材料,并且所述第二磁性元件或各第二磁性元件包括硬磁性材料,其中,所述软磁性材料或各软磁性材料在未饱和状态下的磁导率比所述硬磁性材料或每个硬磁性材料的磁导率更高。

[0012] 第一磁性元件和第二磁性元件的大致平行的阵列的设置得到了磁滞损耗减少的磁故障限流器芯体,这是因为在磁故障限流器的正常操作期间,流过硬磁性材料的磁通量被最小化。

[0013] 在使用中,当线圈缠绕芯体以形成磁故障限流器时,第一磁性元件和第二磁性元件的大致平行的布置以及未饱和的软磁性材料的较高磁导率使大部分磁通量能够在相关电路的正常操作情况期间优先地流过软磁性材料。这意味着在正常操作情况期间流过硬磁性材料磁通量最少。这导致芯体中的磁滞损耗减少,因为软磁性材料表现出比硬磁性材料更低的磁滞水平。

[0014] 在故障或其他异常操作情况(其导致相关电路中的高故障电流)的情形下,磁通量的流动路径转向硬磁性材料导致线圈中的高阻抗,这起到了限制故障电流的作用。尽管磁通量流动路径的这种变化导致了高磁滞水平,但是磁通量仅短时间内流过硬磁性材料。因此,在硬磁性材料中导致的磁滞损耗保持在最低程度。

[0015] 第一磁性元件和第二磁性元件的大致平行布置因此在磁故障限流器的正常操作期间使流过硬磁性材料的磁通量最小化,从而减小了磁故障限流器芯体中的磁滞损耗。

[0016] 此外,第一磁性元件和第二磁性元件的大致平行布置还意味着对流过磁故障限流器的磁通量的控制实际上是被动的,并且不要求检测和/或转换设备形式的额外控制。这不仅使硬件尺寸、重量和成本最小化,而且通过消除相关检测和/或控制设备的击穿风险而增加了限流器的可靠性。

[0017] 优选地,至少一个第一磁性元件通过绝缘体与至少一个相邻的第二磁性元件隔离。该绝缘体或各绝缘体可以是气隙或固态非导电材料(诸如,粘合剂、清漆、云母或其他相似材料)。

[0018] 在本发明的实施例中,磁故障限流器芯体可以进一步包括多个第一磁性元件和/或多个第二磁性元件,其中,所述磁性元件布置为形成第一磁性元件和第二磁性元件的交替初级层(primary layers)。

[0019] 在其他实施例中,至少一个第一磁性元件和/或至少一个第二磁性元件可以包括磁性材料的多个次级层(secondary layer),各次级层通过绝缘体与所述相邻的次级层或各相邻的次级层隔离。

[0020] 磁性元件的初级层和/或次级层的设置有助于提供这样的磁故障限流器芯体:在其中由涡电流的产生所导致的功率损耗被减小。变化的磁通流过磁性元件时,第一磁性元件和/或第二磁性元件的各初级层和/或次级层的相对小的横截面以及它们彼此的电绝缘(其共同限制了涡电流的流通)显著地减小了在磁性元件中所感应出的任何涡电流的幅度。

[0021] 磁故障限流器芯体可以包括具有空心孔的至少一个磁性元件,其中,至少一个第

一磁性元件的一部分容纳在具有空心孔的第二磁性元件的空心孔内,和 / 或至少一个第二磁性元件的一部分容纳在第一磁性元件的空心孔内。

[0022] 磁故障限流器芯体还可以包括具有中空密封内部的至少一个磁性元件,其中,至少一个第一磁性元件容纳在第二磁性元件的中空密封内部内,和 / 或至少一个第二磁性元件容纳在第一磁性元件的中空密封内部内。

[0023] 在本发明的实施例中,各磁性元件可以是棒或条。在其他实施例中,各磁性元件的横截面可以是圆形的、椭圆形的或多边形的。

[0024] 磁故障限流器芯体的结构可以根据与磁故障限流器相关联的应用要求而改变。

[0025] 优选地,在故障限流器芯体中,其中至少一个第一磁性元件通过气隙与至少一个相邻的第二磁性元件隔离,至少一个这种气隙填充有电绝缘材料。

[0026] 以这种方式使用电绝缘材料不仅提供了相邻磁性元件之间的电绝缘,而且提供了支承结构以将相邻磁性元件定位。

[0027] 根据本发明的第二方面,提供了一种磁故障限流器,该磁故障限流器包括根据任一上述实施例的磁故障限流器芯体和至少一个导体,所述至少一个导体缠绕所述芯体或各芯体的一部分以限定线圈。

[0028] 限流器的结构是便于制造的,并且容易适于安装到需求一个或多个限流器的任何设备中。

[0029] 在本发明的实施例中,所述导体或各导体可以缠绕第一磁性元件和第二磁性元件。

[0030] 将该导体或各导体缠绕第一磁性元件和第二磁性元件使生成的磁场能够对磁性元件产生更大的影响,从而改善限流器在控制磁通量的流动路径以及限制故障电流中的效率。

[0031] 优选地,在使用中,所述导体或各导体承载交流电。

[0032] 优选地,所述线圈或各线圈在使用中可操作地连接到一个或多个电路。在这样的实施例中,所述线圈或各线圈在使用中提供一阻抗以将电路中的故障所导致的故障电流最小化。

[0033] 在故障情况或其他异常操作情况期间,限流器可以用于最小化一个或多个相关电路中的故障电流,以避免该相关电路或各相关电路受损。

[0034] 在其他实施例中,所述线圈或各线圈可以是螺线管或环形线圈的形式,以便提供均匀的并且可控的磁场。

附图说明

[0035] 现在将参照附图,通过非限制性的示例来描述本发明的优选实施例,其中:

[0036] 图 1 示出了根据本发明的第一实施例的磁故障限流器芯体;以及

[0037] 图 2 示出了根据本发明的第二实施例的磁故障限流器芯体。

具体实施方式

[0038] 图 1 中示出了根据本发明的第一实施例的磁故障限流器芯体 10a。

[0039] 磁故障限流器芯体 10a 包括第一磁性元件 12 和第二磁性元件 14,第一磁性元件

12 和第二磁性元件 14 布置为限定出磁性元件 12、14 的大致平行的阵列。

[0040] 各第一磁性元件 12 包括软磁性材料的多个次级层。优选地,软磁性材料为电工钢 (electrical steel),所述电工钢具有高磁导率并且表现出低磁滞损耗。

[0041] 各次级层可以涂覆有薄的电绝缘材料以提供相邻次级层之间的电绝缘。这些经涂覆的次级层可以机械地和 / 或使用粘合剂连接在一起以形成第一磁性元件 12。可以想到的是,在本发明的实施例中,各次级层可以通过气隙与各相邻的次级层隔离,并且在一些情况下,至少一个这种气隙可以额外地填充电绝缘材料。

[0042] 次级层的设置减小了与在磁故障限流器芯体中所感应出的涡电流相关联的功率损耗。这是因为:由于各次级层的横截面相对较小,变化的磁通流过磁故障限流器芯体时在磁性元件中所感应出的任何涡电流的幅度被显著地减小,这大大地减少了涡电流的流通。

[0043] 此外,次级层彼此之间的电绝缘限制了涡电流的流通。

[0044] 第二磁性元件 14 包括硬磁性材料并且通过气隙与第一磁性元件 12 隔离,在其他实施例中,气隙可以填充有电绝缘材料。

[0045] 图 2 中示出了根据本发明的第二实施例的磁故障限流器芯体 10b。

[0046] 磁故障限流器芯体 10b 包括多个第一磁性元件 12 和多个第二磁性元件 14,这些磁性元件布置为形成第一磁性元件 12 与第二磁性元件 14 的交替初级层。

[0047] 各初级层可以涂覆有电绝缘材料以提供相邻初级层之间的电绝缘。如上所述,这些经涂覆的初级层可以机械地和 / 或使用粘合剂连接在一起以形成磁故障限流器芯体。可以想到的是,在本发明的实施例中,各初级层可以通过气隙与各相邻的初级层隔离,并且在一些情况下,至少一个这种气隙可以额外地填充电绝缘材料。

[0048] 由于硬磁性材料的较大电磁趋肤深度所致,各第二磁性元件 14 的厚度可以比各第一磁性元件 12 的厚度更厚。

[0049] 可以想到的是,在本发明的实施例中,磁故障限流器芯体可以包括任意数量的第一磁性元件和第二磁性元件 14,和 / 或第一磁性元件和 / 或第二磁性元件 14 两者中的至少一种可以包括各自磁性材料的多个次级层。

[0050] 在其他实施例中,第一磁性元件 12 和第二磁性元件 14 之一或两者可以具有空心孔,使得至少一个第一磁性元件 12 的一部分容纳在具有空心孔的第二磁性元件 14 的空心孔内,和 / 或至少一个第二磁性元件 14 的一部分容纳在第一磁性元件 12 的空心孔内。

[0051] 在其他实施例中,第一磁性元件 12 和第二磁性元件 14 之一或两者可以具有中空密封内部,其中,至少一个第一磁性元件 12 容纳在第二磁性元件 14 的中空密封内部内,和 / 或至少一个第二磁性元件 14 容纳在第一磁性元件 12 的中空密封内部内。

[0052] 优选地,各磁性元件是棒或条,和 / 或各磁性元件的横截面是圆形的、椭圆形的或多边形的。

[0053] 为了形成磁故障限流器,一个或多个导体(例如,导电线)可以缠绕部分磁故障限流器芯体 10a、10b 或整个磁故障限流器芯体 10a、10b 以限定一个或多个线圈。优选地,该导电线或各导电线缠绕第一磁性元件和第二磁性元件,以使硬磁性材料中的磁滞能够对线圈阻抗产生更大的影响,从而改善了限流器的效率。

[0054] 该线圈或各线圈和芯体 10a、10b 形成了磁故障限流器,在使用中,该磁故障限流器在故障情况或其他异常操作情况期间起到了限制或抑制相关电路中的故障电流的作用。

[0055] 在使用中,该线圈或各线圈承载交流电,交流电可以采用正弦波形或其他类型波形的形式。因此,限流器可以可操作地与承载交流电的一个或多个电路(诸如,功率转换器和电动机)相关联。

[0056] 在相关电路的操作期间,电流流过相关电路并且流过缠绕芯体 10a、10b 的线圈。随着交流电通过线圈,流过线圈的电流导致在线圈内产生流过芯体 10a、10b 的磁通量,这导致第一磁性元件 12 和第二磁性元件 14 的磁性材料的磁化和退磁。

[0057] 出于该说明的目的,正项和负项是指磁化力和磁通密度的方向。

[0058] 为了在线圈周围产生第一磁场,交流电以正方向(forward direction)流过线圈。交流电在正方向上的幅度增加导致磁化力在正向(positive direction)上的相应增加,这继而导致在芯体 10a、10b 的磁性材料内产生正磁通密度。正磁通密度在交流电的正方向上的峰值处达到其最大值。

[0059] 在正方向上达到其峰值之后,交流电开始下降至零电流,这导致磁化力在正向上的相应减小。在零电流处,磁化力具有零值。

[0060] 磁化力在正向上的减小导致磁性材料内正磁通密度的减小。但是,磁性材料可以在零交流电和磁化力时保持正磁通密度。这是因为施加到磁性材料的磁化力导致磁性材料的磁化,这甚至在磁化力完全被去除之后,还可以保持磁化。磁化力去除之后在磁性材料中的磁性保留被称为永久磁性。

[0061] 为了在线圈周围产生第二磁场,交流电以反方向(reverse direction)流过线圈。交流电在反方向上的幅度增加导致磁化力在负方向(negative direction)上的相应增加。然而,磁性材料中的永久磁性意味着磁性材料中的磁通密度将保持为正,直到负方向上的磁化力足够大以使磁性材料退磁。

[0062] 在磁性材料被退磁后,进一步增加交流电在反方向上的幅度,从而负方向上的磁化力导致在磁性材料内产生负磁通密度。磁性材料内的负磁通密度在交流电的反方向上的峰值处达到最大负值。

[0063] 在交流电的流动从反方向到正方向的变化期间,磁性材料保持负磁通密度,直到正向上的磁化力足够大以使磁性材料退磁为止。在磁性材料退磁之后,进一步增加交流电在正方向上的幅度,从而正向上的磁化力导致在磁性材料内产生正磁通密度,该正磁通密度在交流电正向上的峰值处达到其最大值。

[0064] 上述循环特性限定了闭合的磁滞环,该闭合的磁滞环描述了磁化力与磁通密度之间的关系。磁滞环的形状和大小影响了由线圈向相关电路提供的阻抗。

[0065] 线圈的阻抗是线圈电阻和电抗的函数。

[0066] 需要额外的能量克服磁性材料的磁滞。使用该额外能量有助于线圈电阻的增加。线圈电阻因此随着芯体中的磁滞水平而增加。

[0067] 线圈电抗是线圈电感的函数,线圈电感反过来与磁性材料的磁导率成比例。磁导率等于磁通密度变化与磁化力的比率,该比率取决于磁滞环的形状和大小。随着交流电接近其正峰值或负峰值,宽的磁滞环导致磁通密度变化与磁化力的比率变得陡峭,从而导致磁导率的较高值。磁导率的较高值导致线圈电感的增加,从而导致线圈电抗的增加。

[0068] 在正常操作情况期间,相比该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料而言,该第一磁性元件 12 或各第一磁性元件 12 的软磁性材料在软磁性材料处于未饱和

状态时具有更高的磁导率。磁导率的这种差异因此使大部分磁通能够优先地流过芯体 10a、10b 的该第一磁性元件 12 或各第一磁性元件 12 的软磁性材料,从而最小化流过芯体的该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料的磁通量。

[0069] 这导致在相关电路的正常操作期间与芯体 10a、10b 中的磁滞相关联的功率损耗的减少,这是因为软磁性材料表现出低磁滞水平,并且因此表现出比硬磁性材料更窄的磁滞环。由与相对低的电流水平耦合的软磁性材料所表现出的低磁滞水平还导致该线圈或各线圈对相关电路呈现低阻抗,从而导致在相关电路的正常操作期间具有对交流电流的最小影响。

[0070] 在故障或其他异常操作情况(其导致相关电路中的高故障电流)的情形下,芯体 10a、10b 中的磁通水平将升高。磁通将继续优先地流过该第一磁性元件 12 或各第一磁性元件 12,直到该第一磁性元件 12 或各第一磁性元件 12 的软磁性材料达到饱和为止。该软磁性材料或各软磁性材料的饱和引起相应第一磁性元件 12 的相对磁导率朝一下降。

[0071] 在该阶段,该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料具有比该第一磁性元件 12 或每个第一磁性元件 12 的饱和软材料更高的磁导率。这导致电流承载线圈所产生的磁通量优先流过该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料。这种针对磁通量从该饱和的第一磁性元件 12 或各饱和的第一磁性元件 12 流到该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的介质变化导致了对限制相关电流中的故障电流起作用的线圈阻抗发生变化。

[0072] 这是因为随着高故障电流接近其正峰值或负峰值,与相对高故障电流水平耦合的硬磁性材料中的较高磁滞水平导致较宽的磁滞环面积,并且因此导致磁通密度的磁通量变化与磁化力的更陡峭的比率。正如以上所述,这导致线圈电阻和电抗的增加。因此,线圈对相关电路呈现高阻抗以限制在故障或其他异常操作情况期间故障电流的峰值。

[0073] 芯体 10a、10b 中的硬磁性材料的设置改善了磁故障限流器在其涉及限制故障电流时的效率,这是因为相比软磁性材料而言,硬磁性材料中的较高磁滞水平导致更高的线圈阻抗。否则,在没有该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料的情况下,该第一磁性元件 12 或各第一磁性元件 12 的软磁性材料的设置导致可能不足以限制故障电流的低线圈阻抗。

[0074] 优选地,在故障情况期间提供到相关电路的高阻抗使得故障电流的峰值保持在相关电路的额定电流以内以保护相关电路的各部件。

[0075] 在本发明的实施例中,限流器可以设计为在外部电路断路器被驱动以断开电路并且因此抑制故障电流之前,在一短时间内限制故障电流的幅度。

[0076] 由于磁通量仅短时期内流过该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料,所以硬磁性材料中产生的磁滞损耗和温度升高被保持在最小值处。

[0077] 因此,第一磁性元件 12 和第二磁性元件 14 的大致平行的阵列的设置形成了磁故障限流器芯体 10a、10b,在使用中,磁故障限流器芯体 10a、10b 在磁故障限流器的操作期间表现出减少的磁滞损耗和低的温度升高,并且因此可以与处于高电流水平的电路一起使用。因为不需要安装冷却系统或使用芯体拓扑结构以处理芯体中的磁滞损耗和温度升高,因此这导致了硬件成本、尺寸和重量的减少。

[0078] 这种布置还提供了对通过磁故障限流器芯体 10a、10b 的磁通量进行控制的被动

方式。这可以消除对流过芯体 10a、10b 的磁通量提供主动控制的检测和 / 或转换设备的需要。限流器操作的被动性质意味着其可以最小化或消除通常被用于监视和控制相关电路内的电流的检测和 / 或控制设备的使用。

[0079] 优选地,该第二磁性元件 14 或各第二磁性元件 14 的硬磁性材料被选择为:要求硬磁性材料达到饱和的磁化力高于由故障电流所引起的磁化力。不希望该第二磁性材料 14 或各第二磁性材料 14 的硬磁性材料达到饱和,因为它导致了第二磁性材料 14 的磁导率的减小,这导致了低的线圈阻抗,从而可能导致限流器的误操作。

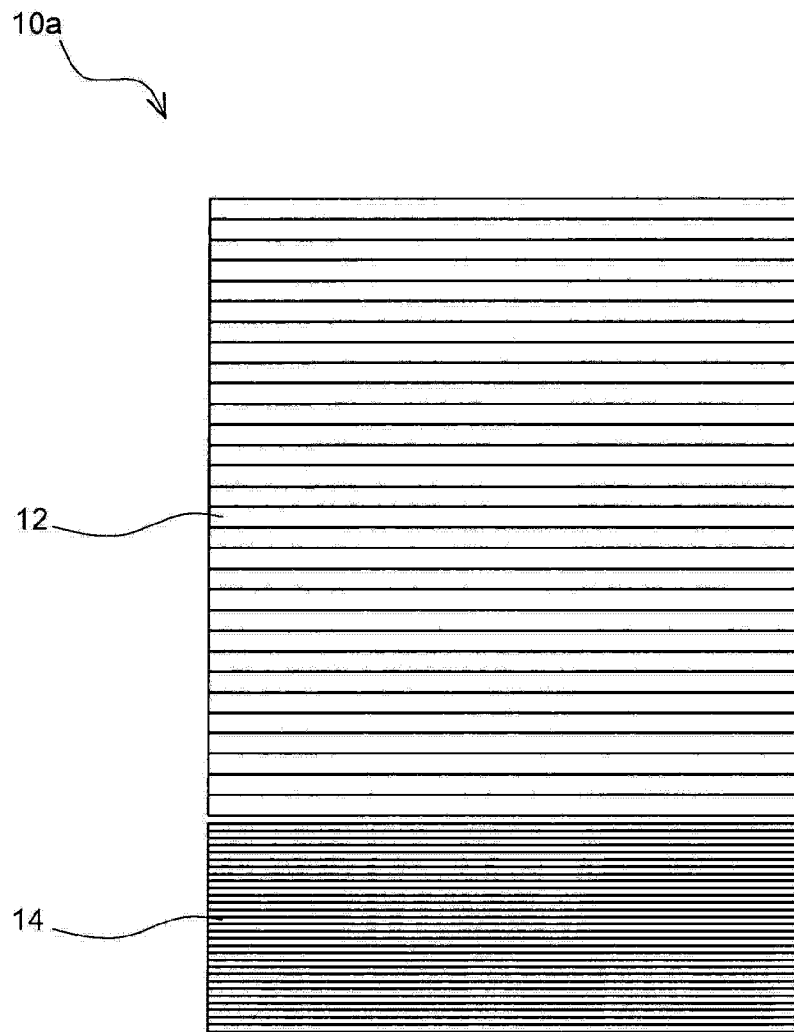


图 1

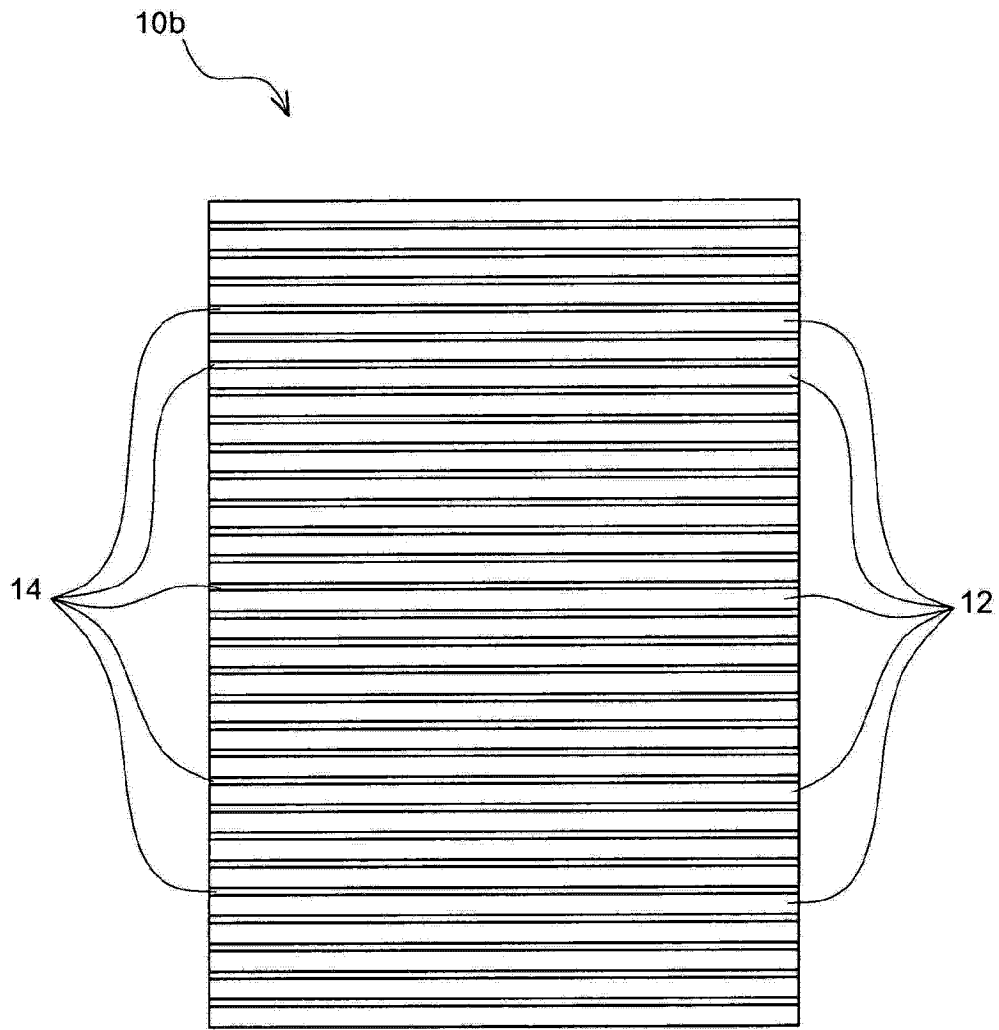


图 2