



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112955986 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 29

(21) 申请号 201980071065.6

(22) 申请日 2019.10.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112955986 A

(43) 申请公布日 2021.06.11

(30) 优先权数据
18203718.4 2018.10.31 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.04.27

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2019/079529 2019.10.29

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/089228 EN 2020.05.07

(73) 专利权人 日立能源瑞士股份公司
地址 瑞士巴登

(72) 发明人 T·格拉丁格 U·德罗芬尼克

(74) 专利代理机构 北京市汉坤律师事务所
11602

代理人 王其文 张涛

(51) Int.Cl.
H01F 27/28 (2006.01)
H01F 27/34 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 105551771 A, 2016.05.04
WO 2018007514 A1, 2018.01.11
WO 2012017616 A1, 2012.02.09
US 3774135 A, 1973.11.20
CN 101707121 A, 2010.05.12

审查员 徐珍霞

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

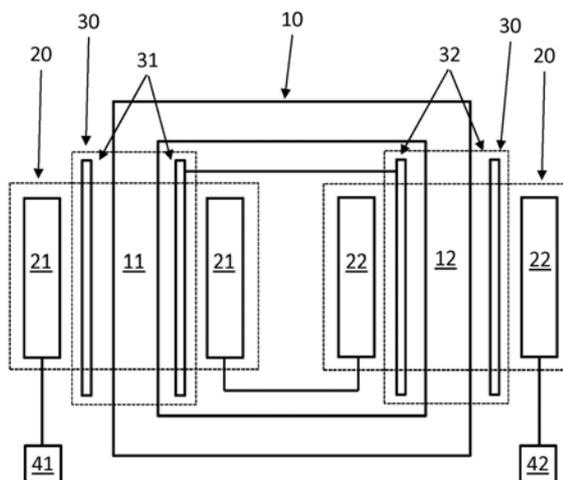
(54) 发明名称

电气部件

(57) 摘要

提出了电气部件。该部件包括：铁磁芯体(10)，铁磁芯体具有第一芯柱和第二芯柱(11, 12)；初级绕组(20)，初级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱(11)布置的第一初级绕组部分(21)和围绕铁磁芯体的第二芯柱(12)布置的第二初级绕组部分(22)；其中第一初级绕组部分(21)和第二初级绕组部分(22)各自包括能够并联连接的多个导体(1、2、3、4、5、6)，该多个导体在横截面中围绕铁磁芯体布置，其中导体在径向行位置处相对于彼此径向移位，其中第一初级绕组部分(21)的导体(1、2、3、4、5、6)的数量等于第二初级绕组部分(22)的导体(1、2、3、4、5、6)的数量，并且第一初级绕组部分(21)的导体(1、2、3、4、5、6)中的每个与第二初级绕组部分(22)的相对应的一个导体(1、2、3、4、5、6)串联连接，由此第一初级绕组部分(21)的径向外部的导体(1、2、3、4、5、6)与第二初级绕组部分(22)的径向内部行的导体(1、2、3、4、5、6)串联连接，从而减小第一初

级绕组部分和第二初级绕组部分(21, 22)的能够并联连接的导体(1、2、3、4、5、6)之间的磁通量之和。



1. 一种电气部件,包括:

铁磁芯体(10),所述铁磁芯体具有第一芯柱和第二芯柱(11,12);

初级绕组(20),所述初级绕组具有围绕所述铁磁芯体的第一芯柱(11)布置的第一初级绕组部分(21)和围绕所述铁磁芯体的第二芯柱(12)布置的第二初级绕组部分(22);

其中,所述第一初级绕组部分(21)和所述第二初级绕组部分(22)各自包括多个导体(1,2,3,4,5,6),所述多个导体能够并联连接并在横截面中围绕所述铁磁芯体布置,所述导体在径向行位置处相对于彼此径向移位,其中,所述第一初级绕组部分(21)的导体(1,2,3,4,5,6)的数量等于所述第二初级绕组部分(22)的导体(1,2,3,4,5,6)的数量,并且所述第一初级绕组部分(21)的导体(1,2,3,4,5,6)中的每个导体与所述第二初级绕组部分(22)的相对应的一个导体(1,2,3,4,5,6)串联连接,由此所述第一初级绕组部分(21)的径向外部的导体(1,2,3,4,5,6)与所述第二初级绕组部分(22)的径向内部行的导体(1,2,3,4,5,6)串联连接,从而减小所述第一初级绕组部分(21)的能够并联连接的导体(1,2,3,4,5,6)与所述第二初级绕组部分(22)的能够并联连接的导体(1,2,3,4,5,6)之间的磁通量之和。

2. 根据权利要求1所述的电气部件,其中,所述电气部件是电感器。

3. 根据权利要求1所述的电气部件,其中,所述电气部件是变压器,并且进一步包括次级绕组(30),所述次级绕组具有围绕所述铁磁芯体的第一芯柱(11)布置的第一次级绕组部分(31)和围绕所述铁磁芯体的第二芯柱(12)布置的第二次级绕组部分(32)。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分和所述第二初级绕组部分(21,22)在包括M行导体(1,2,3,4)的横截面中围绕所述铁磁芯体布置,每个行布置在径向行位置处,径向最里面的行位置是行位置号1,并且径向最外面的行位置是行位置号M,其中,所述第一初级绕组部分21的第m行位置的每个导体(1,2,3,4)与所述第二初级绕组部分22的第(M+1-m)行位置的导体(1,2,3,4,5,6)串联连接,其中 $1 \leq m \leq M$ 。

5. 根据权利要求3所述的电气部件,其中,所述次级绕组(30)是低压绕组,并且所述初级绕组(20)是高压绕组。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分(21)和所述第二初级绕组部分(22)各自包括至少3个导体(1,2,3,4,5,6)。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,在所述电气部件的操作状态中,至少20A的电流流过所述初级绕组(20)。

8. 根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,所述电气部件包括与所述第一初级绕组部分(21)的导体(1,2,3,4,5,6)串联连接的第一外部电气连接器(41)和与所述第二初级绕组部分(22)的导体(1,2,3,4,5,6)串联连接的第二外部电气连接器(42),其中,所述第一初级绕组部分和所述第二初级绕组部分(21,22)位于所述第一外部电气连接器和第二外部电气连接器(41,42)之间。

9. 根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分(21)和所述第二初级绕组部分(22)各自包括由李兹线的组形成的线缆,并且其中,能够并联连接的所述多个导体(1,2,3,4,5,6)是能够并联连接的多条李兹线(1,2,3,4,5,6)。

10. 根据权利要求9所述的电气部件,其中,所述线缆包括4条李兹线(1,2,3,4),并且其中,所述第一初级绕组部分和所述第二初级绕组部分(21,22)的李兹线(1,2,3,4)在包括2个径向行和2个轴向行的横截面中围绕所述铁磁芯体(10)布置,其中,轴向方向限定轴向顶行和

轴向底行,由此,所述第一初级绕组部分(21)的顶行的李兹线(1,2,3,4)与所述第二初级绕组部分(22)的顶行的李兹线(1,2,3,4)串联连接,并且所述第一初级绕组部分(21)的底行的李兹线(1,2,3,4)与所述第二初级绕组部分(22)的底行的李兹线(1,2,3,4)串联连接。

11.根据权利要求9所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分和第二初级绕组部分(21,22)的李兹线(1,2,3,4,5,6)在包括 $K \geq 3$ 个轴向行李兹线(1,2,3,4,5,6)的横截面中围绕所述铁磁芯体(10)布置,每个行布置在轴向行位置,其中,轴向端部行位置是行位置号1,并且相对的轴向端部行位置是行位置号 K ,其中,在所述第一初级绕组部分(21)的第 k 行位置的每条李兹线(1,2,3,4,5,6)与在所述第二初级绕组部分(22)的第 $(K+1-k)$ 行位置的李兹线(1,2,3,4,5,6)串联连接,其中 $1 \leq k \leq K$,从而减小所述第一初级绕组部分(21)的能够并联连接的李兹线(1,2,3,4,5,6)与所述第二初级绕组部分(22)的能够并联连接的李兹线(1,2,3,4,5,6)之间的磁通量之和。

12.根据权利要求11所述的电气部件,其中,所述线缆包括6条李兹线(1,2,3,4,5,6),其中,所述第一初级绕组部分和第二初级绕组部分(21,22)的李兹线(1,2,3,4,5,6)在包括2个径向行和3个轴向行的横截面中围绕所述铁磁芯体(10)布置。

13.根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分和第二初级绕组部分(21,22)的导体(1,2,3,4,5,6)是箔。

14.根据权利要求3所述的电气部件,其中,所述第一次级绕组部分(31)与所述第二次级绕组部分(32)能够并联连接。

15.根据权利要求3所述的电气部件,其中,所述第一次级绕组部分(31)与所述第二次级绕组部分(32)串联连接。

16.根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,所述第一初级绕组部分(21)和所述第二初级绕组部分(22)各自包括至少4个导体。

17.根据权利要求1至3中任一项所述的电气部件,其中,在所述电气部件的操作状态中,至少100A的电流流过所述初级绕组(20)。

电气部件

技术领域

[0001] 本公开的实施例涉及用于高压应用的具有绕组布置的电气部件。特别地，本公开的实施例涉及变压器，尤其是油浸式变压器或干式浇注中频变压器 (medium-frequency transformer, MFT) 以及电感器。

背景技术

[0002] 中频变压器 (MFT) 是各种电力电子系统中的关键部件。轨道车辆中的示例是取代了笨重的低频牵引变压器的固态变压器 (solid-state transformer, SST) 和辅助转换器。SST 的另外的应用正在考虑之中，例如用于可再生能源的电网集成、电动车辆 (electrical vehicle, EV) 充电基础设施、数据中心或船的船载电网。预期 SST 将在未来发挥越来越重要的作用。

[0003] 由于在几十 kHz 的范围内的运行频率，MFT 绕组通常由李兹线 (Litz wires) 或箔制成，以将集肤效应损耗和邻近效应损耗保持在能够容忍的限值内。

[0004] 一旦两条或多条李兹线或箔并联连接，就存在在线之间由磁通量引入的循环电流的风险。这些电流具有使绕组损耗很强烈地增加 (例如增加 2 倍) 超过仅由单独的导线或箔的水平下的集肤效应和邻近效应造成的那些损耗的潜力。

[0005] 相同的问题出现在具有多个并联连接的导体 (例如李兹线或箔) 的电感器中。

[0006] 因此，需要一种减少电气部件中导体的并联电路中的循环电流的解决方案。需要仔细的绕组设计来避免这些循环电流。

发明内容

[0007] 鉴于以上所述，提供了一种电气部件，尤其是一种变压器或电感器。根据本公开的实施例，另外的方面、优点和特征是显而易见的。

[0008] 根据本公开的一方面，提出了一种电气部件。电气部件包括：铁磁芯体，该铁磁芯体具有第一芯柱和第二芯柱；初级绕组，该初级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱布置的第一初级绕组部分和围绕铁磁芯体的第二芯柱布置的第二初级绕组部分；其中第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自包括多个导体，该多个导体能够并联连接并在横截面中围绕铁磁芯体布置，其中导体在径向行位置处相对于彼此径向移位，其中第一初级绕组部分的导体的数量等于第二初级绕组部分的导体的数量，并且第一初级绕组部分的导体中的每个导体与第二初级绕组部分的相对应的一个导体串联连接，由此第一初级绕组部分的径向外部行的导体与第二初级绕组部分的径向内部行的导体串联连接，从而减小第一初级绕组部分的能够并联连接的导体和第二初级绕组部分的能够并联连接的导体之间的磁通量之和。

[0009] 因此，与这种类型的电气部件的常规结构相比，改进了本公开的电气部件的设计。特别地，第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的能够并联连接的导体之间的初级绕组的磁通量之和或总磁通量的减小是关于第一初级绕组部分的径向外部行的导体与第二初级

绕组部分的径向外部的导体串联连接的情况。换句话说,建议将第一芯柱上的径向导体位置相对于第二芯柱上的径向导体位置进行换位。

[0010] 描述导体的术语“能够并联”应该理解为导体不是串联电连接的。另外,导体可以通过例如隔离器彼此隔开。例如,典型的导体是布置在由李兹线的组形成的线缆中的李兹线或被布置成层的堆叠的箔。应当理解的是,能够并联连接并不一定意味着导体在设备内部形成电气并联电路。并联导体的实际电气连接可以是电气部件的一部分,或者可以在电气部件的适当用途内外部地连接。能够并联应理解为至少能够连接在电气并联电路中。

[0011] 初级绕组的布置(其中第一初级绕组部分围绕铁磁芯体的第一芯柱布置,并且第二初级绕组部分围绕铁磁芯体的第二芯柱布置)也称为芯型,例如在芯型变压器中。

[0012] 多个能够并联连接的导体在横截面中围绕铁磁芯体布置,其中导体在径向行位置处相对于彼此径向移位。换句话说,导体以不同的半径分别围绕第一芯柱或第二芯柱。由于不同的半径,在第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的轴向方向上,或者换句话说,在径向内部导体和外部导体之间,存在磁通量。这种通量(如果没有补偿)在径向内部导体和外部导体之间感应出循环电流。

[0013] 根据一方面,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分可以包括围绕铁磁芯体的第一芯柱或第二芯柱的多匝导体。导体的横截面在每个匝中相等。这些匝可以径向地或径向且轴向地布置成螺线形或螺旋形。

[0014] 根据一方面,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的导体是箔。箔可以布置成箔的堆叠,并且该堆叠可以围绕铁磁芯体布置。第一初级绕组部分的能够并联连接的箔与第二初级绕组部分的能够并联连接的箔连接,由此第一初级绕组部分的径向外部的箔与第二初级绕组部分的径向内部行的导体串联连接。串联连接的两个初级绕组部分之间的这种换位导致相反的磁通量,这些磁通量加起来相互抵消或者至少显著降低总磁通量。

[0015] 根据一方面,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自包括至少3个导体。在一些实施例中,第二初级绕组部分各自包括4或6个导体。

[0016] 优选地,第一初级绕组部分的多个导体各自是连续的单件导体。因此,第二初级绕组部分的多个导体各自是连续的单件导体。第一初级绕组部分的每个导体可以通过例如线缆接头与第二初级绕组部分的相对应的导体串联连接。在外部输入或输出处,全部导体可以装配在每个绕组部分的单个线缆接头中,从而导致能够并联连接导体的并联电路。

[0017] 根据一方面,电气部件还包括与第一初级绕组部分的导体串联连接的第一外部电气连接器和与第二初级绕组部分的导体串联连接的第二外部电气连接器,其中第一初级绕组部分和第二初级绕组部分位于第一外部电气连接器和第二外部电气连接器之间。第一外部电气连接器和第二外部电气连接器可以是线缆接头。

[0018] 根据实施例,电气部件是变压器,并且还包括次级绕组,该次级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱布置的第一次级绕组部分和围绕铁磁芯体的第二芯柱布置的第二次级绕组部分。

[0019] 根据实施例,变压器是MTF。变压器能够适应的操作状态下的典型频率和电流可以是例如0.5kHz至50kHz,特别是10kHz至20kHz,并且电流在20A至2000A(特别是100A至2000A)的范围内。

[0020] 次级绕组可以是内部绕组,并且初级绕组可以是外部绕组。初级绕组可以是高压

绕组,并且次级绕组可以是低压绕组。根据本发明的另外的发展,第一次级绕组部分和第二次级绕组部分可以包括多个能够并联连接的导体,并且第一次级绕组部分的每个导体可以与第二次级绕组部分的相对应的导体串联连接,类似于本文描述的初级绕组。替代性地,如果磁通量不影响电子设备的可操作性,则第一次级绕组部分和第二次级绕组部分可以以任何可能的方式连接。对于LV绕组来说,较低影响是典型的。

[0021] 根据另一实施例,电气部件是电感器。

[0022] 根据一方面,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分基本上是几何对称的,特别是,第一绕组部分和第二绕组部分中的导体的数量相等,横截面中的径向行的数量相等,横截面中的轴向行的数量相等,和/或围绕铁磁芯体的芯柱的匝的数量相等。第一初级绕组部分和第二初级绕组部分彼此相等得越多,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的能够并联连接的导体之间的磁通量就被所建议的导体的串联连接抵消得越多。

[0023] 轴向行和径向行由轴向方向和径向方向限定。径向方向是从铁磁芯体的芯柱指向初级绕组部分的方向。轴向方向垂直于径向方向,并沿着铁磁芯体的芯柱指向。

[0024] 初级绕组部分可以包括围绕铁磁芯体的芯柱的多个匝,其中多个能够并联连接导体的横截面在每个匝中基本相等。这些匝可以布置在径向方向或轴向方向上,或者布置在径向方向和轴向方向两者上。在一个示例中,初级绕组部分包括具有横截面的能够并联连接的多个箔,其中导体在径向行位置处相对于彼此径向移位。初级绕组部分在径向方向上可以包括例如10个匝。在每个匝中,箔的横截面基本相等,这意味着每个箔的径向行位置相对于彼此是常数。在另一示例中,初级绕组部分包括能够并联连接的多条李兹线。初级绕组部分包括例如布置在轴向方向上的10个匝,使得由李兹线的组形成的线缆形成螺线形。在每个匝中,线缆的横截面基本相等,这意味着线缆内部的每根李兹线的径向行位置和轴向行位置相对于彼此是常数。

[0025] 根据实施例,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自包括由多条李兹线形成的线缆,其中能够并联连接的多个导体是能够并联连接的多条李兹线。导体被标识为李兹线。李兹线通常由相互电绝缘的多个线股构成。这些线股通常是扭绞的。每个线股可以具有例如0.2mm的直径,并且李兹线可以由超过100条李兹线线股构成。李兹线可以具有例如6mm×12mm的基本矩形的横截面。

[0026] 优选地,能够并联连接的多个导体在横截面中围绕铁磁芯体布置,其中导体在径向行位置处相对于彼此径向移位,其中径向位置(并且通常还有轴向位置)沿着第一初级绕组部分或第二初级绕组部分的长度保持不变。在被分组在线缆中的李兹线的示例中,李兹线不被扭绞。线缆可以包括多条李兹线,例如4条或6条李兹线。因此,多条李兹线的横截面保持恒定,使得例如位于初级绕组中径向外侧的李兹线沿着第一初级绕组部分或第二初级绕组部分的整个长度保持在径向外侧。

[0027] 根据实施例,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自基本上是螺旋对称的。能够并联连接的多个导体的横截面围绕中心轴线缠绕。第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自可以具有基本上圆柱形的形状。

[0028] 根据另一实施例,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分各自可以具有基本上螺线对称性。第一初级绕组部分和第二初级绕组部分可以具有螺线或螺旋对称性。能够并联连接的多个导体的横截面围绕中心轴向轴线缠绕。例如,如果导体是李兹线,横截面也可以

沿着中心轴向轴线缠绕。

[0029] 根据一方面,能够并联连接的多个导体中的每个在第一初级绕组部分和/或第二初级绕组部分的整个长度上在导体的横截面中具有限定的径向位置以及可能地轴向位置。换句话说,在第一初级绕组部分和/或第二初级绕组部分内部没有导体的径向或轴向换位。

[0030] 第一初级绕组部分和第二初级绕组部分可以由被布置为分别围绕铁磁芯体的第一芯柱和第二芯柱的闭合的压紧螺线的李兹线形成。

[0031] 根据这个实施例或在横截面中也存在轴向行导体的其他实施例,由于在第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的轴向顶端和底端附近H场具有径向分量,所以在能够并联连接的导体中会出现附加的径向通量。径向通量通常小于轴向通量。然而,径向H分量是非对称的,例如在第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的轴向方向的顶部处指向径向向外并且在底部处向内,反之亦然。相比之下,轴向H分量是对称的,指向相同的方向,例如在顶部和底部处竖直指向向上。因此,所得到的通量的径向分量将相互抵消,而没有换位。

[0032] 根据实施例,线缆包括4条李兹线,其中第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的李兹线在线缆中在包括2个径向行和2个轴向行的横截面中围绕铁磁芯体布置,其中轴向方向限定轴向顶行和轴向底行。第一初级绕组部分的顶行的李兹线与第二初级绕组部分的顶行的李兹线串联连接,并且第一初级绕组部分的底行的李兹线与第二初级绕组部分的底行的李兹线串联连接。

[0033] 包括具有4条李兹线的多条李兹线的线缆可以典型地用于这样的应用中,其中在操作状态下,至少100A的电流(典型地大于300A)流过第一初级绕组部分和第二初级绕组部分。

[0034] 根据另一方面,多个导体的横截面可以包括3个或更多个轴向行。如果导体没有被轴向换位,这引入附加的径向通量,因为径向通量的大小在轴向方向上从初级绕组的端部朝向中部减小。因此,根据实施例,第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的李兹线或其他类型的导体在包括 $K \geq 3$ 个轴向行李兹线的横截面中围绕铁磁芯体布置。每个行布置在轴向行位置处,其中轴向端部行位置为行位置号1,并且相对的轴向端部行位置为行位置号K,其中第一初级绕组部分的k(其中 $1 \leq k \leq K$)行位置的每条李兹线与第二初级绕组部分的 $K+1-k$ 行位置的李兹线串联连接。这减少了第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的能够并联连接的李兹线之间的磁通量之和。

附图说明

[0035] 为了可以详细理解本公开的上述特征的方式,本公开的更具体的描述(以上被简要概括)可以通过参考实施例而得到。附图涉及本公开的实施例,并且在下面进行描述:

[0036] 图1示出了根据本文描述的实施例的电气部件尤其是变压器的示意图;

[0037] 图2示出了根据本文描述的实施例的初级绕组部分在横截面中的详细示意性截面视图;

[0038] 图3示出了根据另一实施例的初级绕组部分横截面的详细示意性截面视图;

[0039] 图4A和图4B示出了根据本公开的围绕铁磁芯体的芯柱的初级绕组部分和次级绕组部分的不同实施例;

[0040] 图5A和图5B示出了根据实施例的初级绕组部分中的通量以及第一初级绕组部分

和第二初级绕组部分的导体的串联连接的示意图;以及

[0041] 图6A和图6B示出了根据另一实施例的初级绕组部分中的通量以及第一初级绕组部分和第二初级绕组部分的导体的串联连接的另一示意图。

具体实施方式

[0042] 现在将详细参考各种实施例,在每个图中示出了这些实施例的一个或多个示例。每个示例是以说明的方式提供的,并不意味着限制。例如,作为一个实施例的一部分示出或描述的特征可以用在任何其他实施例上或与任何其他实施例结合使用,以产生又另外的实施例。本公开旨在包括这样的修改和变化。

[0043] 在附图的以下描述中,相同的附图标记指代相同或相似的部件。一般来说,仅描述了关于各个实施例的差异。除非另外指明,否则一个实施例中的部分或方面的描述也可以适用于另一实施例中的相对应的部分或方面。

[0044] 示例性地参照图1,示出了电气部件。图1的电气部件是根据实施例的变压器,其可以与本文描述的其他实施例相结合。尤其是根据其他实施例,电气部件可以是电感器。电气部件包括:铁磁芯体10,该铁磁芯体具有第一芯柱11和第二芯柱12;初级绕组20,该初级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱11布置的第一初级绕组部分21和围绕铁磁芯体的第二芯柱12布置的第二初级绕组部分22;第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22各自包括能够并联连接的多个导体1、2、3、4、5、6,该多个导体在横截面中围绕铁磁芯体布置,导体在径向行位置处相对于彼此径向移位,其中第一初级绕组部分21的导体1、2、3、4、5、6的数量等于第二初级绕组部分22的导体1、2、3、4、5、6的数量,并且第一初级绕组部分21的导体1、2、3、4、5、6中的每一个与第二初级绕组部分22的一个相对应的导体1、2、3、4、5、6串联连接,由此第一初级绕组部分21的径向外部的导体1、2、3、4、5、6与第二初级绕组部分22的径向内部行的导体1、2、3、4、5、6串联连接,从而减小第一初级绕组部分21的能够并联连接的导体1、2、3、4、5、6与第二初级绕组部分22的能够并联连接的导体1、2、3、4、5、6之间的磁通量之和。

[0045] 图1的电气部件是变压器,并且还包括次级绕组30,该次级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱11布置的第一次级绕组部分31和围绕铁磁芯体的第二芯柱12布置的第二次级绕组部分32。初级绕组和次级绕组由绝缘隔开。

[0046] 由于绝缘,初级绕组部分21/22距次级绕组部分31/32和铁磁芯体10保持处于比次级绕组部分31/32和铁磁芯体10之间的距离更大的距离。绝缘距离在图1中示出。与次级绕组部分31/32的高度相比,这降低了初级绕组部分21/22的高度。在给定减小的高度的情况下,初级绕组20的径向厚度必须大于次级绕组30的径向厚度,以提供足够的导体横截面。因此,每个初级绕组部分21、22具有相对于彼此径向移位的两行或多行导体。

[0047] 铁磁芯体10适用于芯型变压器。铁磁芯体10的形状可以包括例如C-C、U-U、U-I或L-L形状,其中两个部件形成具有“0”形形状的环。铁磁芯体具有至少两个芯柱11、12,其中芯柱11、12不必彼此平行,尽管这是优选的。每个芯柱11、12为第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22限定了隔开的空间,使得第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22在空间上不重叠。

[0048] 根据又一实施例,电气部件也可以是电感器。通常,电感器只具有初级绕组20。不

需要次级绕组30。

[0049] 电气部件可以包括与第一初级绕组部分21的导体1、2、3、4、5、6串联连接的第一外部电气连接器41,以及与第二初级绕组部分22的导体1、2、3、4、5、6串联连接的第二外部电气连接器41,其中第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22位于第一外部电气连接器41与第二外部电气连接器42之间,如图1所示。全部导体1、2、3、4、5、6可以与外部电气连接器41、42串联连接,从而形成导体1、2、3、4、5、6的并联电路。

[0050] 在图1中,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22被布置成外部绕组,并且第一次级绕组部分31和第二次级绕组部分32被布置成内部绕组。优选地,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22两者是内部绕组或外部绕组。第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的对称性是优选的,因为如果磁通量范数相等并且如果磁通量指向相反的方向,则磁通量彼此抵消得最佳。

[0051] 根据实施例,初级绕组20是外部绕组和HV绕组。次级绕组30是内部绕组和LV绕组。

[0052] 图2和图3示出了布置在横截面中的能够并联连接导体的不同的两个实施例。示出了第一初级绕组部分21或第二初级绕组部分22的横截面。典型地,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22具有相同的结构。图2和图3示出了例如图1中示出的第一初级绕组部分21的左侧部分的更详细结构。

[0053] 在图2中,导体1、2、3、4是箔。箔1、2、3、4布置在横截面中。在图2的实施例中,初级绕组部分21包括2个匝,因此,横截面被示出两次。箔1、2、3、4在两个横截面中的径向位置是相同的。

[0054] 根据图3中示出的另一实施例,导体1、2、3、4是李兹线。李兹线1、2、3、4布置在由李兹线形成的线缆中。线缆具有如图3所示的横截面。第一初级绕组部分21包括布置成螺线形的几匝线缆。在每个匝中,横截面基本上是相同的,尤其是每条李兹线1、2、3、4的径向位置和轴向位置在每个横截面中是相同的。初级绕组部分21、22内没有导体1、2、3、4的换位。第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的导体1、2、3、4的串联连接在图5A至图6B中进一步描述。

[0055] 在图3的实施例中,第一初级绕组部分21包括布置成螺线形的几匝李兹线。根据其他实施例,第一初级绕组部分21可以包括线缆的形成内螺线形和外螺线形的或在彼此内径向移位的几个螺线形的另外的一个或多个径向匝。因此,第二初级绕组部分22可以具有相同的结构。

[0056] 图4A和图4B示出了根据实施例的围绕铁磁芯体10的芯柱11布置的第一初级绕组部分21和第一次级绕组部分31的不同实施例。这个实施例中的电气部件是变压器,并且还包括次级绕组30,该次级绕组具有围绕铁磁芯体的第一芯柱11布置的第一次级绕组部分31和围绕铁磁芯体的第二芯柱12布置的第二次级绕组部分32(未示出)。在图4A中,初级绕组20是外部绕组,并且次级绕组30是内部绕组。因此,第一次级绕组部分31被布置成比围绕第一次级绕组部分31布置的第一初级绕组部分21更径向靠近铁磁芯体10的第一芯柱11。

[0057] 在图4A和图4B中,第一初级绕组部分21示意性地包括2个匝,以使图简单。然而,第一和初级绕组部分21、22可以包括几个匝,例如在10和20个匝之间。

[0058] 在图4B中,初级绕组20是内部绕组,并且次级绕组30是外部绕组。因此,第一初级绕组部分21被布置成比第一次级绕组部分31更径向靠近铁磁芯体10的第一芯柱11。然而,

不管哪一个绕组20、30是内部绕组,通常第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22是相等的,即两个内部绕组部分或两个外部绕组部分。

[0059] 在初级绕组20和次级绕组30之间,存在指向绕组20、30轴向方向的杂散磁场,该杂散磁场垂直于图4B中的所示出的截面视图。根据安培定律,磁场从绕组20、30外部的零增加到绕组20、30之间的最大值。在内部绕组内,磁场在径向方向上从零增加到最大值。在外部绕组内,磁场减小回到零。在内部绕组中径向向外运动,在第一箔1之后有1的归一化场强,在第二箔2之后有2的归一化场强等。根据本发明,箔在第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22之间换位,使得通过由能够并联连接箔1、2、3形成的环路的磁通量抵消或至少被显著减少。

[0060] 在图4A/图4B的实施例中,箔1是径向最里面的箔,箔3是径向最外面的箔,并且箔2位于两者之间。一般而言,第一初级绕组部分21的径向外部的导体1、2、3、4、5、6与第二初级绕组部分22的径向内部行的导体1、2、3、4、5、6串联连接。因此,至少两个箔必须被换位。

[0061] 根据实施例,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22在包括M行导体1、2、3、4、5、6的横截面中围绕铁磁芯体布置,每个行布置在径向行位置处,其中径向最里面的行位置是行位置号1,并且径向最外面的行位置是行位置号M,其中第一初级绕组部分的m(其中 $1 \leq m \leq M$)行位置的每个导体1、2、3、4、5、6与第二初级绕组部分的M+1-m行位置的导体1、2、3、4、5、6串联连接。根据图4A/图4B中的编号,第一初级绕组部分21的箔1和第二初级绕组部分22的箔3、第一初级绕组部分21的箔2和第二初级绕组部分22的箔2、第一初级绕组部分21的箔3和第二初级绕组部分22的箔1分别串联连接。

[0062] 根据实施例,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22各自包括由李兹线1、2、3、4、5、6的组形成的线缆。

[0063] 图5A示出了第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22中的磁通量。轴向方向(z)在图5A中被示出为从底部到顶部,并且径向方向(r)被示出为从左部到右部。通量具有轴向分量(Hz)和径向分量(Hr)。由于到铁磁芯体10以及第一次级绕组部分31和第二次级绕组部分32的径向距离的不同,所以出现了轴向磁通。在图5A中,通量被颠倒示出,使得它指向相同的方向。导体1、2、3、4以螺线形的形式布置,并且形成第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22。

[0064] 图5B示出了第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的能够并联连接的导体之间的轴向分量和径向分量中的磁通量。如所示出的那样,磁通量指向不同的方向(被指示为正和负)。磁通量是反对称的。图5B还示出了导体1、2、3、4在第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22之间的连接。

[0065] 在这个实施例中,第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的李兹线1、2、3、4被连接成使得线1和4交换位置,并且线2和3交换位置,如图5A/5B所示,其中李兹线1和李兹线2处于内行位置,并且李兹线3和李兹线4处于外行位置。径向内部和外部李兹线1、2、3、4之间的位置的交换不一定包括顶部和底部李兹线1、2、3、4之间的交换。换句话说,线1和线4在两个初级绕组部分21、22中处于底部,而线2和线3在两个初级绕组部分中处于顶部。这种串联连接导致由4条平行李兹线1、2、3、4形成的所有环路之间的轴向磁通量和径向磁通量的完全抵消。因此,由这种通量引起的循环电流被消除。

[0066] 图6A和图6B示出了另一实施例,其中初级绕组包括六个导体1、2、3、4、5、6。与图5A

的实施例相比,图6A的实施例包括附加的两个导体5、6。导体1、2、3、4、5、6被布置在具有两个径向行和三个轴向行的横截面中。在导体的横截面中,导体1、导体2和导体3位于径向内部位置,并且导体4、导体5和导体6位于径向外外部位置。轴向通量的补偿如在图5A和5B中那样工作。如果没有轴向方向上的换位,径向通量的补偿就不再完美工作。这是因为径向通量的大小在轴向方向上从初级绕组的端部朝向中部减小。通量在附图6A中绘出。与图5A类似,图6A的右侧被颠倒示出。例如,在第一初级绕组部分21的底部处,李兹线{1,6}和李兹线{2,5}之间的径向通量大于李兹线{2,5}和李兹线{3,4}之间的径向通量。这由H-场向量的角度的变化指示。

[0067] 根据这个实施例,导体的横截面包括 $K \geq 3$ 个轴向行的李兹线1、2、3、4、5、6,如图6A所示。每个行布置在轴向行位置处,其中轴向端部行位置为行位置号1,并且相对的轴向端部行位置为行位置号K,其中第一初级绕组部分21的 k ($1 \leq k \leq K$) 行位置的每条李兹线1、2、3、4、5、6与第二初级绕组部分22的 $K+1-k$ 行位置的李兹线1、2、3、4、5、6串联连接,从而减小第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的能够并联连接的李兹线1、2、3、4、5、6之间的磁通量之和。

[0068] 图6B示出了第一初级绕组部分21和第二初级绕组部分22的导体1、2、3、4、5、6的串联连接。

[0069] 附图标记

[0070] 1 导体

[0071] 2 导体

[0072] 3 导体

[0073] 4 导体

[0074] 5 导体

[0075] 6 导体

[0076] 10 铁磁芯体

[0077] 11 第一芯柱

[0078] 12 第二芯柱

[0079] 20 初级绕组

[0080] 21 第一初级绕组部分

[0081] 22 第二初级绕组部分

[0082] 30 次级绕组

[0083] 31 第一次级绕组部分

[0084] 32 第二次级绕组部分

[0085] 41 第一外部电气连接器

[0086] 42 第二外部电气连接器

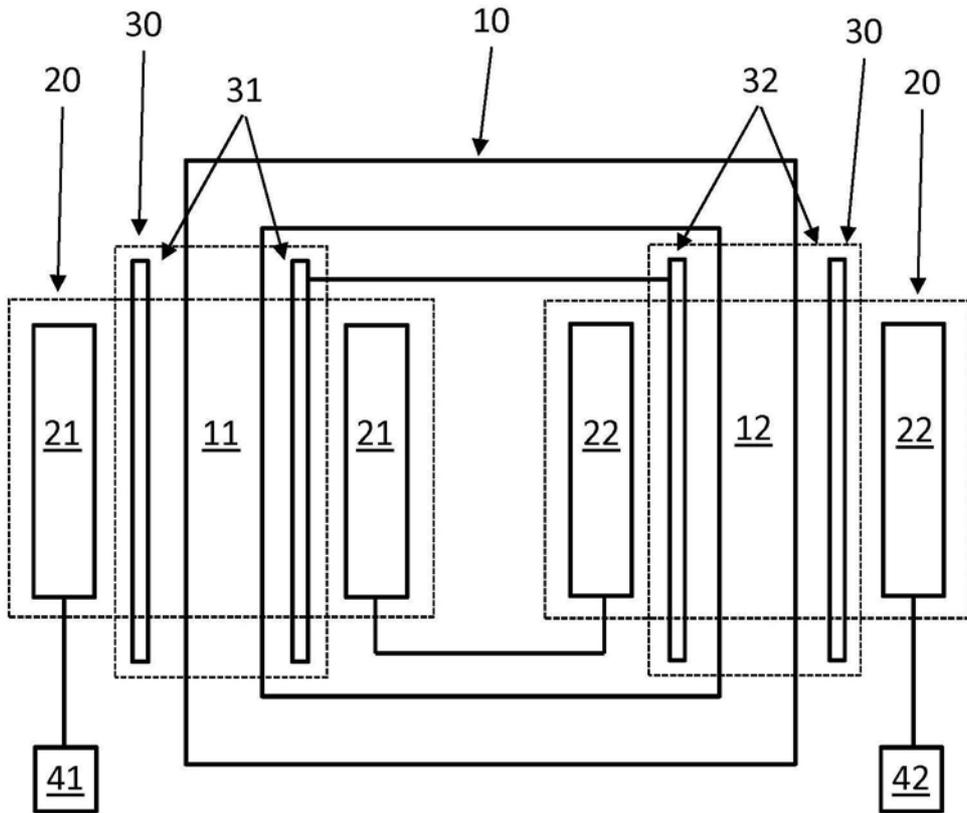


图1

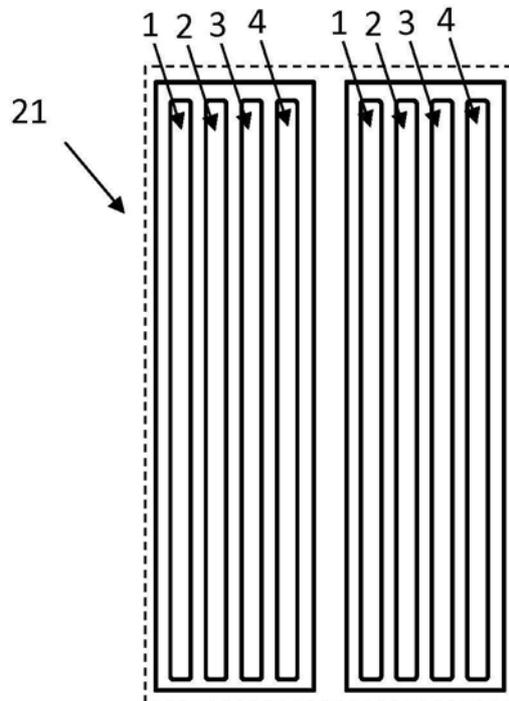


图2

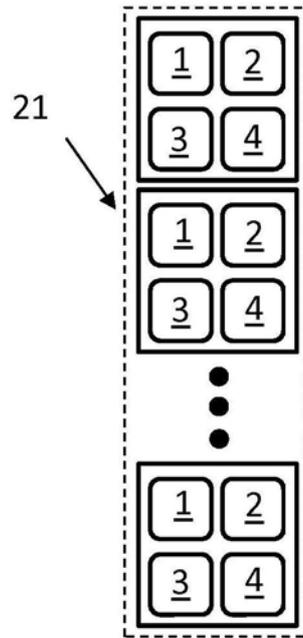


图3

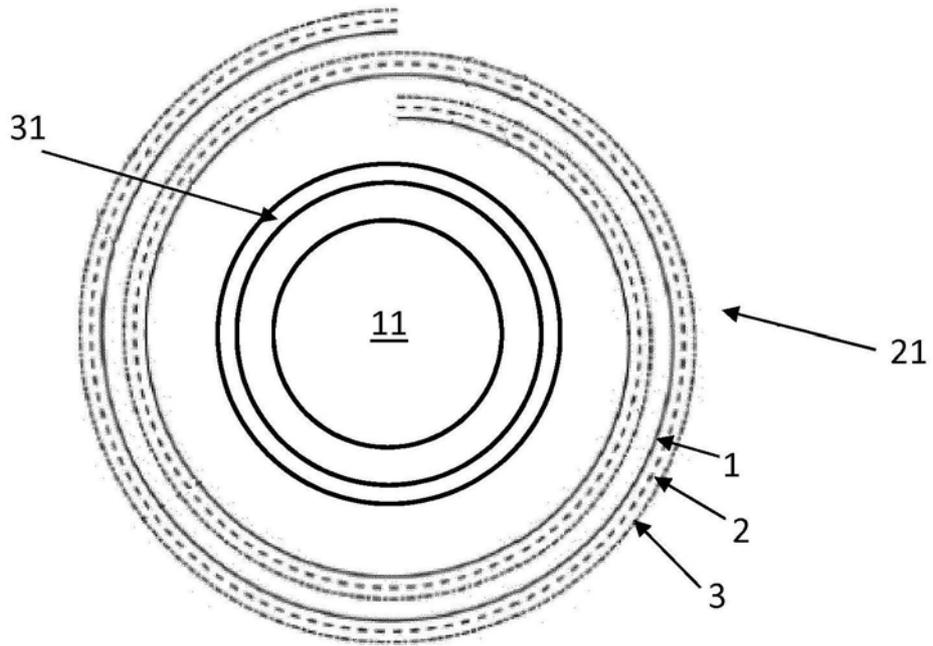


图4A

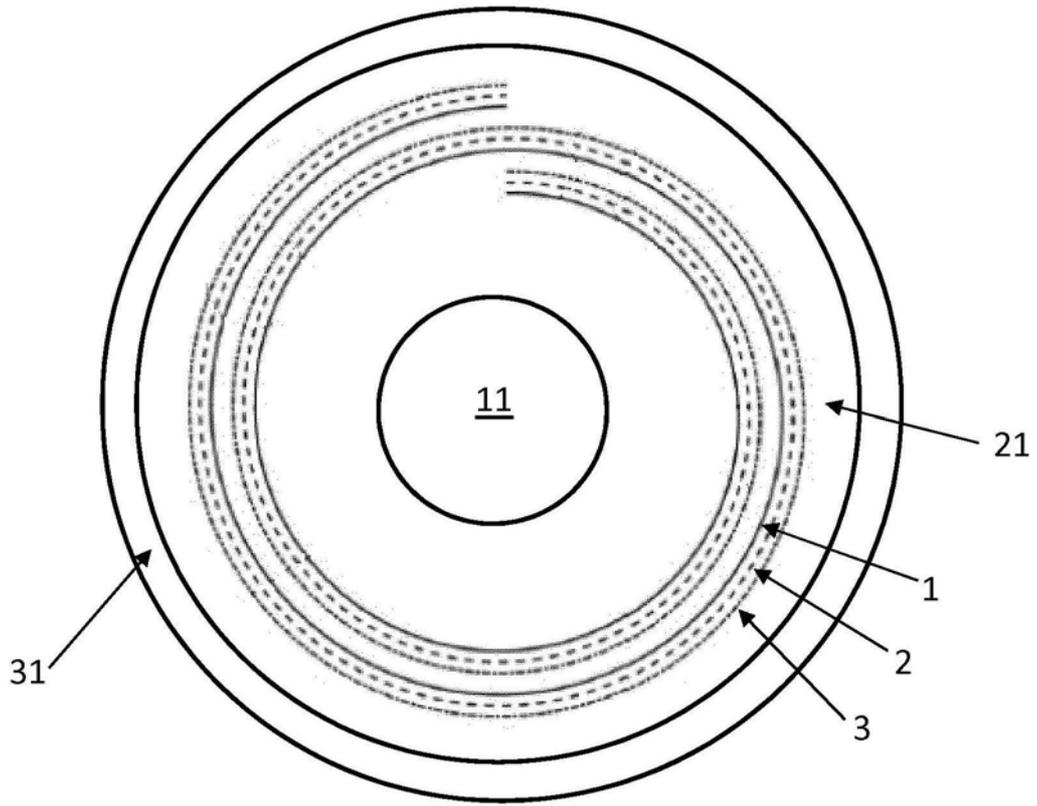


图4B

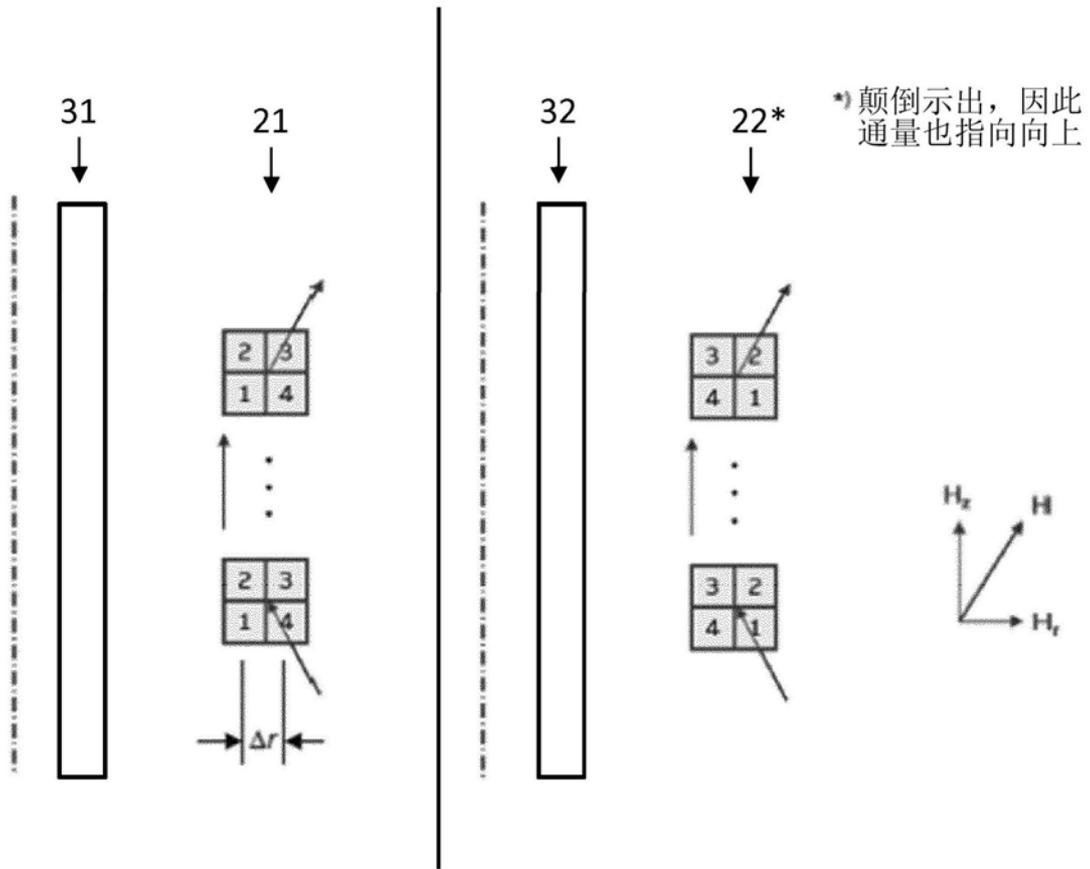


图5A

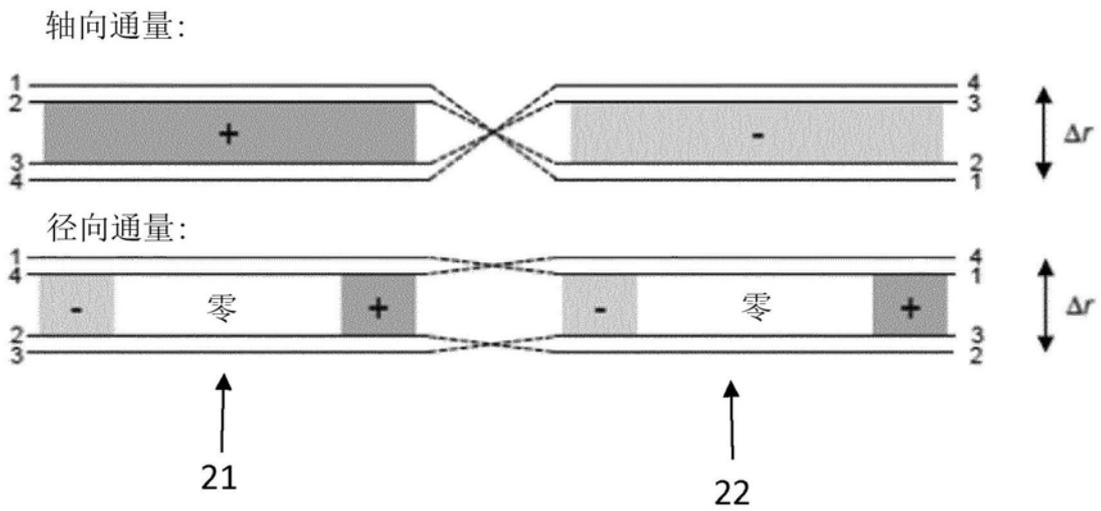


图5B

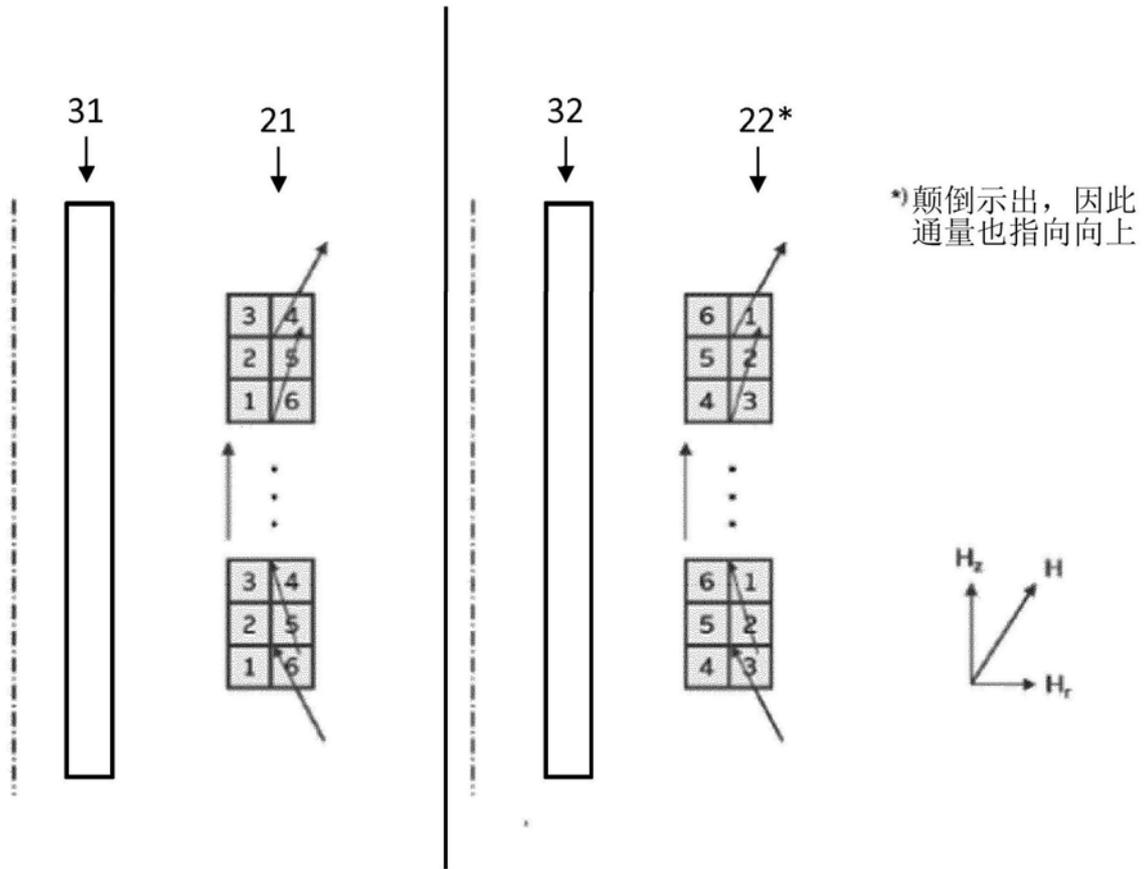


图6A

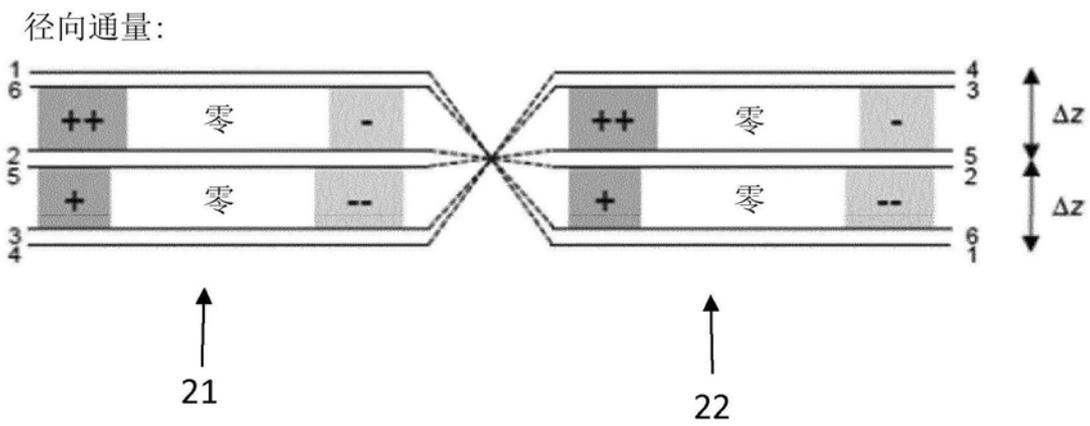


图6B