



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102575682 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201080036285. 4

(22) 申请日 2010. 07. 01

(30) 优先权数据

2009/0725 2009. 11. 24 BE
61/230, 885 2009. 08. 03 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 02. 16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/BE2010/000049 2010. 07. 01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/014934 EN 2011. 02. 10

(73) 专利权人 阿特拉斯·科普柯空气动力股份有限公司

地址 比利时维尔赖克

(72) 发明人 H·范德·桑德 C·T·菲利皮
U·帕纳

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所 11038

代理人 刘志强

(51) Int. Cl.

F04D 25/06(2006. 01)

F04D 29/58(2006. 01)

(56) 对比文件

KR 10-2004-0065521 A, 2004. 07. 22,

KR 10-2007-0092817 A, 2007. 09. 14,

US 2003/0116391 A1, 2003. 06. 26,

KR 10-0902118 B1, 2009. 06. 09,

US 2007/0228847 A1, 2007. 10. 04,

审查员 姚松勤

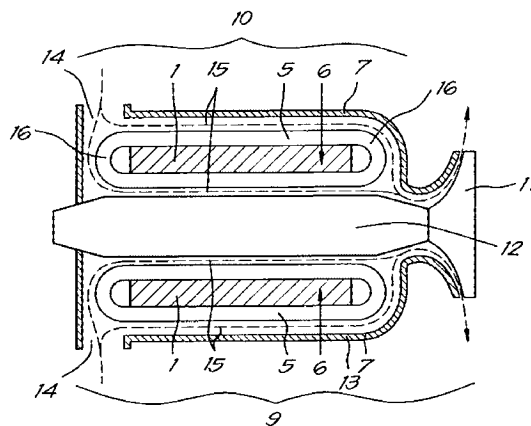
权利要求书2页 说明书11页 附图15页

(54) 发明名称

涡轮压缩机系统

(57) 摘要

涡轮压缩机系统 (9) 包括高速电动机 (10), 其具有按照相对于所述定子转动的方式安装的转子 (12), 在所述转子 (12) 上直接安装有一个或多个叶轮 (11), 所述定子包括有源电动机结构和外壳 (7), 所述有源电动机结构包括铁磁性定子磁芯 (6) 和构成为螺旋缠绕线圈 (5) 的绕组, 所述外壳 (7) 按照在所述定子磁芯 (6) 和所述外壳 (7) 之间形成敞开空间的方式构成, 从而构成冷却通道 (15), 处理气体在由所述一个或多个叶轮 (11) 压缩之前从冷却通道通过以便直接冷却所述有源电动机结构和转子 (12)。



1. 一种涡轮压缩机系统 (9), 包括具有多于一个相数的高速电动机 (10), 所述电动机 (10) 包括定子和相对于所述定子以转动的方式安装的转子 (12), 在所述转子 (12) 上直接固定一个或多个叶轮 (11), 所述定子包括有源电动机结构和外壳 (7), 所述有源电动机结构包括铁磁性定子磁芯 (6) 和绕组, 所述绕组被构成为围绕着所述定子磁芯 (6) 螺旋缠绕且在物理上分开以形成敞开空间的一系列线圈 (5), 所述外壳 (7) 以在所述定子磁芯 (6) 和所述外壳 (7) 之间形成额外的敞开空间的方式构成, 所述敞开空间构成冷却通道 (15), 所述冷却通道在内侧由所述转子 (12) 和所述定子磁芯 (6) 限定以及在外侧由所述定子磁芯 (6) 和所述外壳 (7) 限定, 在通过所述一个或多个叶轮 (11) 进行压缩之前, 所述冷却通道 (15) 用作让处理气体轴向地通过以直接冷却所述有源电动机结构 (6-5) 和所述转子 (12) 的管道。

2. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 呈现为多边形形状。

3. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 呈现为圆筒形管状。

4. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 被构成为单件铁磁性叠片 (1') 的层叠件。

5. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 被构成为一连串铁磁性磁芯段 (1)。

6. 如权利要求 5 所述的涡轮压缩机系统, 其中每个磁芯段 (1) 被构成为软磁性无取向的或晶粒取向的钢叠片层叠件或者无定形的或纳米晶体的带状件。

7. 如权利要求 5 所述的涡轮压缩机系统, 其中每个磁芯段 (1) 被构成为烧结软磁性粉末、软磁性复合材料或铁氧体部件。

8. 如权利要求 7 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述烧结软磁性粉末或所述软磁性复合材料的粒径小于 $500 \mu\text{m}$ 。

9. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 配备有向外延伸部 (8)。

10. 如权利要求 9 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述向外延伸部 (8) 形成在所述定子磁芯 (6) 和所述外壳 (7) 之间的连接部。

11. 如权利要求 9 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述向外延伸部 (8) 被形成为所述定子磁芯 (6) 的一体化部件。

12. 如权利要求 9 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述向外延伸部 (8) 被形成为刚性附连至所述定子磁芯 (6) 的单独部件。

13. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 具有向内延伸部, 所述向内延伸部被形成为所述定子磁芯 (6) 的一体化部件。

14. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述定子磁芯 (6) 具有向内延伸部, 所述向内延伸部被形成为刚性附连至所述定子磁芯 (6) 的单独部件。

15. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述外壳 (7) 被构成为单个实心部件。

16. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述外壳 (7) 被构成为实心部件的层叠件。

17. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述外壳 (7) 被构成为一连串段。

18. 如权利要求 10 所述的涡轮压缩机系统, 其中所述外壳 (7) 被构成为围绕着所述向

外延伸部 (8) 的套筒。

19. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 的数量为相位数量的整数倍或整数分之一。

20. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 用绞合导线缠绕。

21. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 用漆包绞线缠绕。

22. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 直接缠绕在所述铁磁性定子磁芯 (6) 上。

23. 如权利要求 5 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 直接缠绕在所述磁芯段 (1) 上。

24. 如权利要求 5 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 在所述磁芯段 (1) 上滑动并且固定在所述磁芯段上之前预先缠绕在电绝缘线轴上。

25. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述绕组为单层绕组。

26. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述绕组为多层绕组。

27. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述线圈 (5) 配备有电绝缘径向间隔件,所述电绝缘径向间隔件被构造成实现处理气体的一定切向流以提高所述线圈 (5) 的内部冷却。

28. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中所述转子 (12) 包括永磁体,以便与由在所述定子中的所述绕组中的电流产生出的旋转电磁场实现同步操作。

29. 如权利要求 1 所述的涡轮压缩机系统,其中一个叶轮 (11) 被固定在所述转子 (12) 上,使得处理气体在已经通过所述冷却通道 (15) 之后瞬时流进所述叶轮 (11)。

30. 一种构造涡轮压缩机系统 (9) 的方法,所述方法包括以下步骤:

提供电动机 (10) 的定子;

提供电动机的转子 (12) 的轴,所述轴通过在所述定子中产生的旋转磁场转动;

将一个或多个叶轮 (11) 安装在所述转子 (12) 的轴上,使得在所述涡轮压缩机系统 (9) 在使用期间时,处理气体在压缩之前通过电动机 (10) 以便直接冷却有源电动机结构之后立即受到压缩;

构造所述定子而使其包括有源电动机结构和外壳 (7);

构造所述有源电动机结构而使其包括绕组和铁磁性定子磁芯 (6),所述绕组被构成为一系列线圈 (5),所述线圈围绕着所述铁磁性定子磁芯 (6) 螺旋缠绕且在物理上分开以便形成敞开空间;以及

构造所述外壳 (7) 以便在所述铁磁性定子磁芯 (6) 和所述外壳 (7) 之间形成额外的敞开空间。

31. 如权利要求 30 所述的方法,所述方法还包括以下步骤:

给所述定子设置向外延伸部 (8);

将所述外壳 (7) 构造为通过由所述外壳 (7) 施加在所述向外延伸部 (8) 上的径向力将所述定子磁芯 (6) 牢固地保持。

涡轮增压器系统

技术领域

[0001] 本发明涉及包括高速电动机的涡轮增压器系统以及用于构造压缩机系统的方法。

背景技术

[0002] 在涡轮增压器中,一个或多个叶轮直接与轴连接。对于其操作而言,这些叶轮必须以非常高的转速例如 2000rpm 至 100000rpm 甚至更高的转速驱动。传统上,这些高速是通过将标准感应电动机和齿轮箱组合在一起来实现的,后者由较大的大齿轮和至少一个较小的行星小齿轮构成。在该齿轮箱中的损耗会相当大,从而对该系统效率造成负面影响。而且,这种齿轮箱较笨重,并且它构成整个系统占地面积的主要部分。

[0003] 同时,高速电动机的技术进步已经能够研发出直接驱动涡轮增压器。通过提高电动机速度,对于相同的功率输出所需的转矩更小。但是,由于已知的是电动机容量大致与转矩成比例变化,所以这也意味着更高功率和损耗密度。因此,高速电动机和直接驱动涡轮增压器的操作限制在很大程度上由冷却系统的性能和损耗受到控制的程度来决定。

[0004] 之前已经公布了许多用于冷却电动力学机器的技术。显然,这些想法已经在直接驱动涡轮增压器中得到采用。下面,对于具有内部转子的径向流机器给出了这些方法的概述。

[0005] 在机器外部上设置冷却鳍片是常见的。可以通过采用独立风扇进行强制对流或者在压缩机的情况下通过引导处理气体部分或全部在这些鳍片上流过来增强其操作。在直接驱动涡轮增压器的领域中,这例如在 US6675594B2、KR10/0572849B1 和 KR10/0661702B1 中可以找到。

[0006] 在包围着定子的外壳中采用让流体(最常见的是液体)从中流过的冷却通道或壳体是常见的方式。如果经过适当的设计,这样能够有效消除在定子中产生出的铜和铁损耗。尽管看起来简单,但是仍然存在一些结构上的问题需要尤其注意。例如,冷却通道往往要与系统的其它部分进行适当的密封。在冷却液体与定子外周直接接触的系统中,朝着定子内部的泄漏是不期望的。如果通过在定子叠片和冷却通道之间设置薄的互补性壳体来防止出现后面的问题,则引入了额外的热接触阻力。在涉及直接驱动涡轮增压器的许多专利中例如在 US5605045A、US5857348A、US6296441B1、US6579078B2、US6675594B2、US6685447B2、US7160086B2、US7240515B2、US2007/269323A1、US7338262B2、US7367190B2、KR10/0572849B1、W000/17524A1、W000/49296A1 和 W02008/138379A1 中都涉及这种类型的冷却。但是,在只是涉及电动机或发电机冷却的专利中例如在 US3184624A、US3480810A、US3567975A、US4516044A、US4700092A 中可以找到在这种冷却技术方面的许多现有技术。在 US2003/038555A1 和 US6507991B1 中,这种构思应用于无槽电动机设计,其中通过结合在磁芯中的径向向外鳍片来形成冷却通道。

[0007] 外部冷却通道或壳体不总是足以获得在热方面处于控制的系统。有时,定子和/或线圈因此要配备内部轴向的冷却通道。这些可以与其周围部件完全密封,从而例如使得能够用特定介质进行冷却。它们同样可以是敞开的,从而使得流体同样能够冷却其它结构例如末匝。在涡轮增压器领域中,例如在 US6471493B2、US2008/253907A1、W000/49296A1、

W02007/110281A1 和 EP1680855B1 中可以看到这种情况。

[0008] 以前的方法主要关注于将在定子磁芯和线圈内产生出的热量排出。在位于更深位置的系统元件例如转子和间隙（风阻损耗）中产生出的热量很难排出。因此，人们往往采取这样的方法，其中强制气体（通常是空气）按照某些方式流过在定子和转子之间的间隙。可以区分几种气流结构：气体在一个轴向端进入间隙并且在相对的轴向端离开间隙；气体在两个轴向端进入/离开间隙；以及通过线圈和/或定子径向离开/进入间隙，由此同样对这些结构进行冷却。在直接驱动涡轮机的领域中，在例如 US6579078B2、US6994602B2、US7160086B2、W095/08861A1、W02007/110281A1 和 W02008/138379A1 中可以找到这种冷却方法。Pal 等人（参见 US2007/018516A1）另外在转子和定子之间应用了一种迷宫结构以增强冷却。通过流经在定子和转子之间的间隙的强制气流来冷却电动机的想法可以在单独涉及电动机冷却的早先专利中例如在 US3110827A、US4544855A 或 GB772973A 中找到。

[0009] 在压缩机的情况下，驱动气体穿过间隙和/或其周围结构所需的压力可以源自单独风扇，源自直接安装在轴上或者一体化在轴中的小型鼓风机或者甚至源自在第一压缩级之后的抽头。Kim 等人（参见 KR2001/0064011A）在电动机的有源部分内一体化有一种鼓风机，利用在定子内表面或转子外表面处的薄螺旋凹槽。通过利用气体在进入间隙期间的切向加速来影响轴向压降。这是在高速电动机中要特别考虑的地方，其中转子的峰速极高。在这些情况下，需要相对较大的功率来实现这种强制对流，由此降低了整个系统的效率。可以通过增大间隙或者通过在狭槽顶部上留下一些自由空间来降低这种负面影响。显然，这两种建议同样都会影响电磁结构。

[0010] 如果应用需要，也可以通过强制一些流体或液体流过轴向和/或径向孔的特定结构来冷却转子的内部，例如参见 US5605045A、US6296441B1、US6685447B2 和 GB2454188A。

[0011] 除了在机器内的铁、铜和风阻损耗之外，大部分铜损耗产生在末匝中。这些同样可以通过强制对流来进行冷却。这可以独立地或与前面方法中的一种组合来实现。在例如 US6009722A、US6471493B2、US6675594B2、US7160086B2、US2008/253907A1、W000/49296A1、KR2001/0064011A、KR10/0661702B1 和 W02008/138379A1 中可以找到涉及涡轮机的这种方法的明确示例。例如在 US3932778A、US4246503A、US4306165A 和 CH397844A 中可以找到现有技术。

[0012] 另一种冷却末匝的方法是将它们倾倒在电绝缘但仍然导热的材料中，以便实现朝向另一种导热材料（通常是机器的外壳）的热桥。例如在 US4128527A、US4492884A、US6201321B1 和 US6445095B1 中可以找到该现有技术。

[0013] 迄今为止只是描述了用于消除损耗的技术。但是，设计者应该首先试图使得整个系统的损耗保持尽可能小。这对于高速电动机而言在其高功率和损耗密度方面而言尤为真实。下面讨论一些可选的选择方案。

[0014] 人们例如可以在不同电动机类型之间进行选择。用永磁体来激励的电子整流（EC）电动机例如永磁体同步电动机（PMSM）和无电刷直流电动机（BLDC）以与所施加的磁场相同的速度转动。所产生的转子损耗主要由定子开槽和/或电流谐波所导致。其数值相对较小，并且其存在对于机器的正确操作而言不是根本性的。在感应电动机中，通过由于滑动而在转子中感应出的电流产生出额外的损耗。还有，感应电动机的效率对于速度变化更加敏感，从而使之在其中要在相对较大范围上控制速度的应用上更加没有吸引力。

[0015] 在特点在于转矩相对较低的高速方面,感应机器的滑动能够非常小,并且其它性能会决定电动机类型的选择。例如感应机器已知相对成本较低并且操作方便,而具有包含在套筒内的表面安装磁体的 PMSM 机器相当复杂并且因此成本更高。另一方面,在针对高速操作时,转子动力学考虑甚至在感应机器的情况下迫使采用实心转子,从而这些机器需要其它设计方法。

[0016] 其它电动机类型例如开关磁阻电动机和传统的直流电动机更不适用于高功率高速用途,并且因此在该说明书中不会考虑。

[0017] 与根据其操作原理在电动机类型之间进行区分相互补的是,人们可以根据其定子结构在电动机之间进行选择。具有内部转子的大部分径向流电动机具有带槽定子。线圈由此可以集中在单个齿周围或者在定子上分布。集中绕组与分布式绕组相比更容易插入,但是其所得到的磁动力的空间分布在机器中造成更大的谐波损耗和齿槽转矩。这使得集中绕组更不适用于高速用途。

[0018] 但是,即使在配备有分布式绕组时,带槽结构与无槽结构相比在转子中导致更大的损耗,对于后者而言在定子和转子之间具有更大的磁隙。无槽机器由于相同的原因还表现出更小的齿槽转矩。这使得无槽机器对于高速用途尤其是在与永磁体转子相组合时更有吸引力。在 **Jörgen Engström** 的博士论文“Analysis and Verification of a Slotless Permanent Magnet Motor for High Speed Application”中可以找到无槽永磁体高速电动机的全面研究。

[0019] 另一种控制在电动机中的损耗的方式是在不同磁芯材料之间进行选择。如果采用层叠钢片,尽管会明显增大材料成本,但是也可以通过最大程度地减小叠片厚度来使得涡流损耗最小。紧接着厚度之后,钢号选择在损耗最小化方面也起到关键作用。在电动机中可以找到非取向型和取向型低损耗钢号。非取向型钢号因其同方向性能是最为常用的。但是,只要有可能就应当利用取向钢的各向异性磁特性。首先,与标准市售的非取向钢相比。标准市售晶粒取向钢能量的损耗明显更低(例如,与 $2.1 \rightarrow > 8\text{W/kg}$ 相比为 $0.73 \rightarrow 1.11\text{W/kg}$,所有数值都在 1.5T 峰值和 50Hz 下)。第二,标准市售晶粒取向钢比标准市售非取向钢更薄(与 $0.35 \rightarrow 0.65\text{mm}$ 相比为 $0.23 \rightarrow 0.35\text{mm}$)。因此,在假定成本、频率和磁通密度的情况下,晶粒取向钢的使用对于机器的效率产生有利影响。在 Philip Beckley 的书“Electrical Steels for Rotating Machines”中给出了电工钢性能的全面讨论。

[0020] 人们同样可以采用软磁性复合材料(SMC)粉末。由于其在较高频率下涡电流损耗相对较低,所以这些对于高速用途而言比较有吸引力。由于其 3D 各向异性磁和热性能,所以它们还能够很好地用在非传统电动机结构中。另一方面,其透磁性和饱和磁通密度小于传统电动机钢的性能,并且具有 SMC 的小规模连续生产不容易实现成本节约。在 Persson 等人的文献“Soft magnetic composites offer new PM opportunities”、Yunkai Huang 等人的“Comparative Study of High-Speed PM Motors with Laminated Steel and Soft Magnetic Composite Cores”和 Viarouge 等人的“Experience with ATOMET Soft Magnetic Composite Properties, Pressing Conditions and Applications”等中可以找到 SMCs 在电动机中的适用性的全面描述。

[0021] 还可以考虑采用无定形或甚至纳米晶条带。但是,由于这些材料非常薄且硬,制造

工具和模具磨损更快,从而增加了这些定子的成本。而且,这些材料较脆并且具有显著的磁弹性。因此,用这种材料制造的磁性定子受到在多种转动频率下变化的较大应力,从而很可能限制其使用寿命。因此在用在电动机中时应该采取特定的措施。然而,在 US4255684A、US6737784B2 和 US6960860B1 中可以发现一些用途。

[0022] 为了进一步降低电动机损耗,同样可以在电动机外面采取一些措施。一个常见的实例为正弦波过滤器。该装置过滤了在电动机电流中的更高谐波,该更高谐波原本会造成非同步旋转场以及因此在机器中的额外损耗。

[0023] 另一个外部实例为功率电子驱动装置,根据一些具体控制方案其基本上由在开和关之间连续切换的一组半导体构成。切换频率越小,输出电流的谐波含量越大,并且电动机损耗越高。显然,除了电动机的相数和 / 或磁极之外,具体切换图案自身(例如正弦波 PWM、空间矢量调制等)同样影响了这些损耗。

[0024] 从前面的非排它性说明可知,应该遵循高速电动机的声热管理只能根据经过仔细考虑的上述几种措施的组合来进行。实际上,高速电动机的设计者应该不单单考虑电动机而站在更好的层面上作出其决定。在压缩机单元的情况下,一个主要的关注点在于总系统效率。在那个方面,不足以在一些部件中获得低于某一值的损耗。还应该以可接受的成本并且根据整个系统来有效的实现。

[0025] 例如,在半导体中的较大切换频率对于电动机而言是有吸引力的,但是它们降低了驱动装置的效率。因此,必须进行一些平衡。在高速电动机的具体情况中,这会变成难以使用,因为机器的基本频率会很高,从而需要更高的切换频率以便仍然获得一些可接受的输出电流谐波水平。

[0026] 在另一个实施例中,可以将冷却气体引导穿过间隙和 / 或在机器中的一些管道。不论是通过单独风扇、通过直接安装在或一体化在轴中的小型鼓风机或者通过在第一压缩级之后的抽头来获得所需的压力,这涉及一些功率消耗,因此影响了整个系统效率。

[0027] 在一些用途中,处理气体在压缩之前完全在一系列鳍片上引导或者穿过围绕着定子的一种冷却壳体。这样避免了额外装置,但是也在系统水平上带来了一些效率损耗,因为必须通过这些压缩级中的更高压力比来补偿所带来的压力损耗,并且因为气体在压缩之前已经经过加热。然而,例如在 US6009722A、US6675594B2、US6774519B2、W000/49296A1、W002/50481A1、KR10/0572849B1、KR10/0661702B1 中可以找到这些方案。

[0028] 本发明涉及用于涡轮压缩机的径向流无槽电动机。因此,给出了现有技术径向流无槽电动机的概述。

[0029] 径向流无槽电动机可以通过其特定的线圈和磁芯结构来区分。通常,线圈构思相当普通,其中铁芯完全包围着铜导线。在这种类型之中,可以在接近在转子和定子铁芯之间的均质填充空间的线圈和不具有这种性能的线圈之间作出进一步的区分。但是,存在许多无槽设计,其中线圈螺旋缠绕在磁芯上。在这样情况下,铜出现在磁芯的径向两侧上。在这样的类型中,可以在具有构成为单个部件的定子磁芯的设计或者具有由一系列段构成的定子磁芯的设计之间进行区分。

[0030] 例如在专利 US4211944A、US5197180A、US5313131A、US5998905A、US6072262A、US6507991B1、US2003/038555A1、US6806612B2、US7269890B2、US2007/269323A1、W002/15229A1、W02004/098025A1、W02008/085466A1、EP0653112B1、CA1136200A1、

JP8154350A、JP2002/325404A、JP2002/345217A、JP2005/110454A 和 JP2006/288187A 中可以找到具有完全包围一组均匀分布的导线的磁芯的径向无槽电动机的示例。作为进一步参考,可以参考在 US2003/038555A1 和 US6507991B1 中所示的无槽电机构思也属于这种类型,但是同样具有由两个弧形部分构成的分段磁芯。

[0031] 例如在专利文献 US4563808A、US4818905A、US6894418B2、US7084544B2、W091/01585A1、W000/07286A1、EP1680855B1、GB2429849B、JP2001/333555A、JP2002/272049A、JP2003/102135A、JP2005/110456A、JP2007/014140A、JP2007/135392A、JP2007/336751A、RU2120172C1 和 RU2206168C2 中可以找到具有完全围绕一组非均匀分布的导线的磁芯的径向无槽电动机的示例。在所有这些构思之间的差异大体上涉及线圈和磁芯之间的结构和用于磁芯的材料。

[0032] 例如在 US4103197A、US4547713A、US4563606A、US5304883A、US5455470A、US6242840B1、US6344703B1、US6989620B2、US7145280B2、US2008/018192A1、US7391294B2、W000/49296A1、W02004/057628A2、EP1017151A2、EP0964498B1、EP1017153B1、EP1100177A1、DE3629423A1、GB2436268B、JP2008/048490A、KR2004/0065520A 和 KR10/0804810B1 中可以找到围绕着构成为单个部件的定子磁芯缠绕的螺旋线圈的径向无槽电动机的示例。它们所有的特点在于最终磁芯的环形形状。它们基本上通过线圈和磁芯构成的方式来区分。

[0033] 只有在几件专利中找到了具有围绕着构成作为一系列段的定子磁芯缠绕的螺旋线圈的径向无槽电动机的示例。Zhang 的 EP1324472A2 提出了由三个弧形段构成的环形磁芯。Choi 的 KR2004/0065521A、KR2004/0065529A 和 KR2004/0065531A 提出了由六个线性段构成的六边形磁芯。后者对于构造而言尤其有吸引力,但是它带来了非均匀间隙,因此造成一些齿槽转矩。

[0034] 用段构成定子磁芯的构思不是新的,尤其在大型电动机或发电机领域中不是新的。但是,它对于较小的电动机而言同样具有一些有吸引力的优点。例如,高速电动机的转子通常由实心钢基座构成。在这些情况下,带冲孔的叠片的内部部件要废弃。采用分段磁芯产生出明显的材料节约。有时,如前面所述一样 (US4672252A、US2006/043820A1) 进行分段以便明确允许使用具有吸引力特性的晶粒取向钢。除了后者之外,在单独冲齿和/或磁芯段 (GB1395742A、US2001/030486A1、W001/05015A2、W099/01924A1、W001/34850A2、DE102004029442A1) 时可以获得进一步的材料节约。分段也可以用于方便线圈的插入和/或整个制造过程 (US5986377A、US6507991B1、US6583530B2、US6781278B2、US7084545B2、US7122933B2、US2003/038555A1、US2005/269891A1、EP1322022B1、EP1901415A1、GB2394123B、DE102005055641A1、JP54041401A、KR2004/0065521A)。

发明内容

[0035] 本发明涉及涡轮压缩机系统,包括具有相数多于一个的高速电动机。该电动机包括定子和相对于所述定子按照转动的方式安装的转子。在所述转子上直接安装有一个或多个叶轮。所述定子包括有源电动机结构和外壳。所述有源电动机结构包括铁磁性定子磁芯和绕组。所述绕组构成为在绕着定子磁芯螺旋缠绕且物理上分开以形成敞开空间的一系列线圈。所述外壳按照在所述定子磁芯和所述外壳之间形成额外的敞开空间这样一种方式构成。所述敞开空间构成在内侧通过所述转子和所述定子磁芯限定出并且在外侧通过所述定

子磁芯和所述外壳限定的冷却通道。所述冷却通道用作在通过所述一个或多个叶轮进行压缩之前让处理气体轴向通过以便直接冷却所述有源电动机结构和所述转子的管道。

[0036] 通过这样构成涡轮压缩机系统,从而获得高集成系统。这种系统具有几个特性和相应的优点。

[0037] 处理气体自身用来在压缩之前冷却高速电动机。这造成处理气体受到一定程度加热以及一些额外的压降。但是,在更高系统水平上可以回收额外功率,这用于向后压缩气体,因为不需要任何辅助装置来实现其它冷却机制。本领域普通技术人员将如此设计该系统,从而使得在压缩之前的压降和温度升高最小化。

[0038] 定子设计有螺旋缠绕磁芯,意味着线圈被绕着定子磁芯而不是如在经典结构中那样绕着定子齿螺旋地缠绕。由此提供最大敞开的结构,由此在与铁磁性定子磁芯和线圈窄接触的同时获得冷却气体。

[0039] 定子磁芯优选构成为一系列段以使得材料废料最少,并且方便组装。相邻的段在相互固定之前甚至能够装配有线圈。

[0040] 定子磁芯段优选由薄且低损耗晶粒取向钢层叠而成,为此以可接受的成本水平最大程度地降低了磁损耗。

[0041] 定子磁芯段优选由单件叠片层叠而成并且具有向外延伸部,为此提高了对定子磁芯的冷却,为此避免了之后要将单独延伸部固定在定子磁芯上,并且为此提高了线圈的漏电感,由此降低了由于电流谐波而导致的损耗。

[0042] 壳体优选通过用一些预应力将柔性材料缠绕在向外延伸部上来构成,为此在向外延伸部上施加了径向力以自动地保持定子磁芯,所得到的多边形壳体防止了定子磁芯相对于壳体进行切向运动,该过程简单并且成本低廉,并且该结构避免了需要使用复杂并且可能昂贵的实心壳体。

[0043] 电动机为无槽类型,由此由于狭槽谐波导致的损耗实际上被消除,并且大大降低了由于电流谐波导致的损耗和磁动力谐波。

附图说明

[0044] 为了更好地展现本发明的特性,下面将参照附图对根据本发明的涡轮压缩机系统的一些优选实施方案按照实施例而不是进行限制的方式给出说明,其中:

[0045] 图 1 显示出定子磁芯的笔直磁芯段;

[0046] 图 2 显示出具有安装在其上的线圈的定子磁芯的笔直磁芯段;

[0047] 图 3 显示出由 12 个如图 1 所示的笔直磁芯段构成的多边形定子磁芯;

[0048] 图 4 至 6 显示出定子磁芯的具有弧形磁芯段的根据图 1 至 3 的变型;

[0049] 图 7 显示出根据本发明的无槽电动机的横截面,其具有转子和外壳;

[0050] 图 8 显示出在一侧具有径向向外的延伸部的定子磁芯的磁芯段;

[0051] 图 9 显示出在一侧具有径向向外延伸部以及通过另一侧安装在其上的线圈的一段定子磁芯;

[0052] 图 10 显示出在一侧设有延伸部的段采用了钢;

[0053] 图 11 显示出在两侧都具有径向向外延伸部的定子磁芯的磁芯段;

[0054] 图 12 显示出在两侧都具有径向向外延伸部以及通过直接缠绕方法安装在其上的

线圈的定子磁芯的磁芯段；

[0055] 图 13 显示在两侧都设有延伸部的磁芯段采用了钢；

[0056] 图 14 显示出由设有延伸部的 12 个磁芯段构成的多边形磁芯；

[0057] 图 15 显示出由设有延伸部的 12 个磁芯段构成的多边形磁芯, 3D 图；

[0058] 图 16 显示出由设有延伸部的 12 个磁芯段构成的多边形磁芯, 其具有周围的外壳；

[0059] 图 17 显示出根据本发明的单级压缩机的轴向横截面, 其具有相对安装的叶轮；

[0060] 图 18 显示出根据本发明的单级压缩机的轴向横截面, 其具有传统安装的叶轮；

[0061] 图 19 显示出根据本发明的两级压缩机的轴向横截面, 其具有用于低压级的相对安装叶轮和用于高压级的传统安装叶轮；以及

[0062] 图 20 显示出根据本发明的两级压缩机的轴向横截面, 其两个级都具有传统安装的叶轮。

具体实施方式

[0063] 根据本发明的高速电动机的定子磁芯优选由多个包括板状段底座 2 的软磁性磁芯段 1 构成。如图 1 所示, 段底座 2 可以是笔直的。

[0064] 优选的是, 所述磁芯段 1 还设有在该情况下呈凹槽和凸起形状的连接部件, 用于将所述磁芯段 1 相互连接。根据本发明的优选特征, 上述凹槽和凸起以沿着所述段底座 2 的纵向侧缘设置的燕尾状结构的形状来实现, 更具体地说为在段底座 2 的一个侧缘上的燕尾状沟槽 3 和在所述段底座 2 的相对侧缘上的燕尾状肋条 4。

[0065] 如图 2 所示的, 在连接之前, 将线圈 5 安装在每个单个段 1 上。至少存在安装该线圈 5 的两种方式。在第一种方法中, 可以提前将线圈 5 手动地和 / 或自动地缠绕在矩形绕轴上, 使得整个组件在磁芯段 1 上滑动, 并且将两者安装在彼此上。在第二种方法中, 可以将柔性绝缘体手动地和 / 或自动地缠绕在磁芯段 1 上, 然后将导线直接缠绕在该绝缘体的顶部上。在两种情况下, 与将导线手动插入在带齿定子中相比, 明显降低了损坏导线绝缘体的风险。而且, 这里很容易想到采用漆包绞线 (Litz wire)。漆包绞线被设计用在高频应用中, 因此在高速电动机中是更好选择。

[0066] 一旦所有磁芯段 1 都连接, 则获得了螺旋缠绕的软磁性定子磁芯 6。在该情况中, 如图 3 所示, 定子磁芯 6 的横截面为多边形。磁芯段 1 的总数量取决于几个主要因素。首先, 磁芯段 1 的数量为相位数量的整数倍或几分之一。第二, 在多边形定子磁芯 6 的特定情况下, 磁芯段 1 的数量取决于由在定子磁芯 6 和转子之间间隙的磁性不均匀性导致的最大允许齿槽转矩; 越大则越好。第三, 在将两层导线层缠绕在每个磁芯段 1 上以便实现双层绕组的情况下, 磁芯段 1 的数量取决于磁动力沿着定子磁芯 6 圆周的分布; 越多则越好。第四, 它取决于制造成本; 成本越低则越好。要找到在这些参数之间的平衡。

[0067] 为了减少在定子磁芯 6 中的损耗, 软磁性磁芯段 1 优选构成为层叠的晶粒取向钢叠片层叠件。各个叠片沿着轴向方向层叠。大部分磁力线遵循着定子磁芯 6 的横截面轮廓。因此, 如果采用笔直磁芯段 1, 所述晶粒取向钢叠片的优选磁化轴线优选应该与所述磁芯段 1 的切向中心线重合。

[0068] 图 4 显示出根据图 1 的磁芯段 1 的变型, 其中段底座 2 制成为弧形, 并且在该情况

下还包括呈燕尾连接形状的凹槽和凸起。

[0069] 图 5 显示出图 4 的弧形磁芯段 1, 线圈 5 安装在其上, 而图 6 显示出包括几个相互连接的图 4 的弧形磁芯段 1 的定子磁芯 6, 所述定子磁芯 6 的横截面具有中空圆筒形形状。

[0070] 为了在采用所述晶粒取向钢叠片层叠所述弧形段的特定情况下减小在定子磁芯 6 中的损耗, 所述晶粒取向钢叠片的优选磁化轴线应该与垂直于由所述磁芯段的切向边缘限定的夹角的平分线的直线重合。

[0071] 对于具有除了如上所述的笔直形状或弧形形状之外的其它形状的磁芯段 1 而言, 如将在下面更详细说明的一样, 所述钢叠片的最佳磁性优选取向将通过全面数值分析来限定。不论情况怎样, 其目的在于减小定子磁芯 6 对于遵循该定子磁芯 6 的轮廓的磁力线的磁阻。显然, 磁芯段 1 可以由无取向软磁性钢、无定形或纳米晶软磁性条带、软磁性粉末复合材料和 / 或其它软磁性材料制成。

[0072] 在本发明的另一个实施方案中, 可以通过将一系列多边形或管形的单件叠片层叠在一起构成定子磁芯 6。这提高了磁芯的刚度。但是, 这使得缠绕过程复杂, 由于钢叠片的中央部分没有使用并且它需要采用与取向钢相比吸附性能更差的无取向钢, 所以在冲切或切割这些叠片的同时产生出较大的材料废料。

[0073] 本发明的一个关键思想在于如图 7 所示一样通过外壳 7 以某种方式包围定子的有源部分, 图 7 显示出具有中央转子 12 和外围定子的电动机 10, 定子包括所述外壳 7 和通过所述定子磁芯 6 和由相互连接的线圈 5 构成的一个或多个绕组形成的有源电动机结构。

[0074] 外壳 7 可以构成为多个段, 但是这不是严格要求。外壳 7 可以由软磁性材料制成。在该情况下, 它提高了绕组的漏电感, 并且降低了电流的谐波含量, 如 Nilson 在 US6989620B2 中所述一样。它还产生出低阻传热通道。另一方面, 在这种外壳 7 中产生出铁损耗。这可以通过利用叠片层叠出外壳 7 或者利用软磁性导线缠绕外壳 7 来部分解决。外壳 7 还可以采用非磁性的但导电的材料例如铝来构成, 由此同样产生出低阻热桥。外壳 7 还可以由非导电材料例如实心塑料或玻璃纤维制成。另外给出了针对外壳 7 的结构讨论。

[0075] 参照图 7, 在从轴侧看时, 在尤其靠近外壳 7 的随后线圈 5 之间存在大量切向空间。在线圈 5 和外壳 7 之间的径向空间可以由设计者来选择。所得到的空间主要用于轴向管道地输送处理气体, 以便在压缩之前冷却有源定子部件。因此, 总是存在轴向压降, 这必须在各个压缩级的设计期间解决并且对于压缩所需的能量而言具有一定的负面影响。但是, 可以通过改变外壳 7 的内径来影响压降的大小。在适当设计时, 与整个系统的所期望的压缩比相比, 可以使得该压降非常小。

[0076] 通过在定子磁芯 6 的自由表面上进行强制对流来消除在图 7 中所示的定子磁芯 6 中产生出的大部分损耗。在线圈 5 下面的中央部分中产生出的损耗在通过对流径向地排除之前必须首先通过传导切向流动。为了提高对流表面并且因此实现更高的冷却能力, 如图 8 所示, 可以在磁芯段 1 上的一个边缘附近例如设置径向向外的延伸部 8。

[0077] 在该情况下, 所述磁芯段 1 包括基本上平坦的段底座 2, 其在所述段底座 2 的一个侧缘附近具有下弯部分, 以便获得具有两个腿部 2A 和 2B 的不对称 V 形横截面, 所述底座的所述下弯部分构成第一腿部 2A, 并且底座 2 的剩余部分形成另一个腿部 2B, 在该情况下这个腿部 2B 的长度明显大于所述腿部 2A 的长度。由所述腿部 2A 和 2B 所形成的夹角 A 相当大, 并且根据所采用的磁芯段 1 的数量, 其数值大约在 95 至 175 度的范围, 并且优选大约为

155 度。

[0078] 如上所述,向外朝向的延伸部 8(例如鳍片)设置在磁芯段 1 上的一个边缘附近,并且在该情况下设在段底座 2 中的弯曲部附近,在该实例中四个延伸部 8 在第一腿部 2A 上垂直延伸,而四个其它延伸部 8 在所述第二腿部 2B 上垂直延伸,从而在相应腿部 2A 和 2B 上的所述延伸部 8 呈现出大致 V 形形状。

[0079] 由于在第二腿部 2B 上的延伸部只是设在段底座 2 的弯曲部附近,同时在该腿部 2B 的自由边缘处,该腿部 2B 保持没有延伸部,所以绕轴可以通过该自由端在磁芯段 1 上滑动,如图 9 所示一样。如果这种磁芯段 1 采用了晶粒取向钢,则该钢的磁性优选取向很可能与周围线圈 5 的切向中心线不平行,即使钢的磁性优选取向将处于切向中心线附近。在该情况下只有数值分析才能够确定钢的最合适的磁性优选取向。

[0080] 如图 10 所示,在从较大钢卷中冲切或切割出叠片 1' 以便构成磁芯段 1 时会出现一些废料。因此,尤其优选的是,例如如图 11 所示一样,采用在每个段底座 2 的两个纵向侧缘处具有纵向延伸部 8 的磁芯段 1。在该情况下,将采用直接缠绕方法来手动或自动地缠绕线圈 5。在图 12 中显示出所得到的具有线圈 5 的磁芯段 1。如果采用晶粒取向钢,其各向异性磁导率得到更好的利用。如图 13 所示一样,在从较大钢卷中冲切或切割出叠片 1' 时所出现的废料更少。在任意情况下,与其定子叠片由单个部件制成并且其中没有采用中央部分的带齿定子的应用相比,废料更少并且成本效益明显,后者为在许多高速用途中的情况。

[0081] 在本发明的另一个实施方案中,延伸部 8 可以与定子叠片 1 分开制造,从而必须在另一个组装步骤中将延伸部 8 固定在定子叠片 1 上。与在图 13 中所示的实例相比,这使得设计者能够进一步减少废料。而且,它允许使用其它材料或材料组合以便针对冷却和 / 或漏电感实现最佳的性能。

[0082] 在本发明的另一个实施方案中,可以按照与向外延伸部 8(例如鳍片)类似的方式设置向内朝向的延伸部(例如鳍片或齿),以便影响电动机 10 的冷却和电磁性能。如果采用软磁性的向内延伸部,则该电动机不是无槽电动机。显然,可以将向内和向外延伸部组合在一起。

[0083] 在图 14 中显示出在采用在图 8 或 11 中所示的那种磁芯段 1 时整个定子磁芯 6 和线圈 5 的横截面。在图 15 中给出了三维视图。在图 16 中显示出所述定子磁芯 6,但是由多边形外壳 7 包围着。

[0084] 与没有延伸部的情况相比,延伸部 8 的存在稍微提高了针对处理气体的轴向压降。这对于压缩所需的功率具有一些负面影响。但是,其的存在能够得到较好的利用。首先,延伸部 8 可以用于将定子磁芯 6 机械固定在外壳 7 上。延伸部 8 的厚度必须确定为能够避免由转矩产生而引起的弯曲。在高速电动机中,这不是主要问题,因为转矩水平相对较低。第二,如果延伸部 8 为软磁性的,则它们会引起一些另外的杂散磁场。因此,电动机的电感增大,从而降低了滞流和损耗。第三,如果延伸部 8 为金属性的,它们不仅提高了冷却表面,而且还提供了从定子磁芯 6 到外壳 7 的低阻传热通道。在该用途所要求的情况下,这例如通过提供具有让液体流过的冷却通道的次级外壳而能够提供另外的冷却机构。

[0085] 提高冷却能力的另一种可选方式在于在导电层的一些或全部之间提供径向空间。这些空间理想地应该配备有小型气体偏离引导件,其目的在于让处理气体切向流经这些径向开口。这样提高了电动机的外径,但是内部尺寸不受影响。

[0086] 参照图 16, 外壳 7 可以具有中空圆筒形状。人们例如可以想到将整个磁芯组件压配在中空圆筒形外壳 7 内。如果要设置次级冷却外壳的话, 这是特别令人感兴趣的选择。但是, 对于具有多边形形状的外壳 7 还存在一些结构上的问题。首先, 由于从外壳 7 到电动机中心的距离不是恒定的, 所以由于转矩的产生而在定子磁芯 6 和外壳 7 之间出现的任何切向运动受到抑制。第二, 外壳 7 甚至可以在施加一些预应力的情况下缠绕, 其中延伸部 8 用作支撑结构。在该情况下, 设计者能够在例如软磁性导线和条带、其它金属导线、条带或片材、以及甚至非导电材料例如碳或玻璃纤维之间进行自由选择。

[0087] 图 17 显示出根据本发明的涡轮压缩机系统 9 的纵向截面, 所述涡轮压缩机系统 9 设有具有根据本发明的具体细节构成的定子磁芯 6 的高速电动机 10, 由此在将叶轮 11 直接安装到电动机 10 的转子 12 的轴上时, 在该实例中所述涡轮压缩机系统 9 构成直接驱动压缩机系统。

[0088] 转子 12 在线圈下面的那部分轴可以按照电磁方式设计以便实现永磁电动机或感应电动机。

[0089] 在图 17 的实施例中, 叶轮 11 相对地安装在转子 12 的轴上。外壳 7 整体形成电动机 10 的外壳 13 的一部分, 并且所述外壳 13 显示出用于气体的入口 14, 所述入口 14 优选设置在转子 12 的轴的一个端部附近, 而所述叶轮 11 优选安装在转子 12 的所述轴的另一个端部附近并且其叶片朝向电动机 10。

[0090] 一旦电动机 10 启动, 则转子 12 将开始转动, 并且叶轮 11 将吸入气体, 让气体穿过入口 14 和电动机 10, 穿过由转子 12 和定子磁芯 6 在内侧限定的并且由所述定子磁芯 6 和外壳 7 在外侧限定的通道 15。

[0091] 这样获得的涡轮压缩机系统 9 因此其特征在于, 通过在具有螺旋缠绕在定子磁芯 6 周围的线圈 5 的高速电动机 10 的定子的有源电动机结构 (例如线圈 5 和定子磁芯 6) 上沿着通道 15 引导处理气体来实现有源电动机结构和 / 或转子 12 的主要冷却。在压缩之前, 轴向压降和温度升高两者都影响了压缩功率, 并且因此应该在设计涡轮压缩机系统 9 期间适当地进行控制。轴向压降主要由径向横截面的尺寸来确定。可以通过适当设计电磁部件和在转子 12 和定子磁芯 6 之间的间隙来影响温度升高。

[0092] 仔细选择磁芯段 6 的材料的重要性在前面已经指出。根据本发明的包含软磁性磁芯的高速电动机 10 的优选实施方案 (可能具有软磁性向外延伸部分 8 (例如鳍片) 但是没有配备软磁性向内延伸部 (例如鳍片)) 属于无槽电动机类型。无槽电动机在一些方面具有额外的优点。

[0093] 首先, 在无槽电动机中, 在转子和定子磁芯之间的磁性距离与带槽电动机的情况相比更大。为此, 由于在定子中的电流和磁动力谐振而导致的转子损耗不会很容易形成。第二, 由于在转子 12 和定子磁芯 6 之间的磁性距离不管怎样都较大, 所以该距离的较小增加不会对电磁场分布有任何显著的影响, 如在带齿定子中的一样。因此, 该距离在设计过程期间扮演了不关键的角色。因此, 稍微增加该距离使得能够大幅度降低风阻损耗, 并且限制了轴向压降, 且不会降低磁通密度太多。

[0094] 在更高系统水平上考虑涡轮压缩机系统时, 显然由于在压缩之前的轴向压降和温度升高而导致的针对压缩的更高功率要求可以通过以下事实来补偿, 即不需要任何风扇来让一些气体轴向流动, 或者在高压侧处不需要任何抽头, 或者在次级壳体被认为不需要的

情况下不需要任何其它冷却介质。

[0095] 由于本发明的定子磁芯 6 被螺旋缠绕,所以末匝 16 的轴向长度相对较小,从而产生出更多的转子动力自由。这在高速电动机设计中是非常重要的特性,因为转子动态行为构成了在性能上的主要约束因素之一。在那个方面中,本发明的这个具体设置还有另一个优点。一旦处理气体已经通过有源定子部分,可以将它直接导入到相对安装的叶轮 11 上。这样,在叶轮 11 的背面处提供了支撑功能,使得虽然笨重的叶轮 11 更靠近轴向轴中心,这对于转子动力学是有益的。另外,不需要任何额外的管道,因此在管道中的总体压力损耗保持较小。

[0096] 结合有涡轮压缩机的现有电动机技术的用途不局限于单级压缩机。在图 18、19 和 20 中显示出一些其它单级和双级布置。

[0097] 本发明决不局限于已经通过实施例方式描述或者如在这些附图所示的这些实施方案形式,根据本发明的涡轮压缩机系统能够按照所有形状和尺寸来实现。

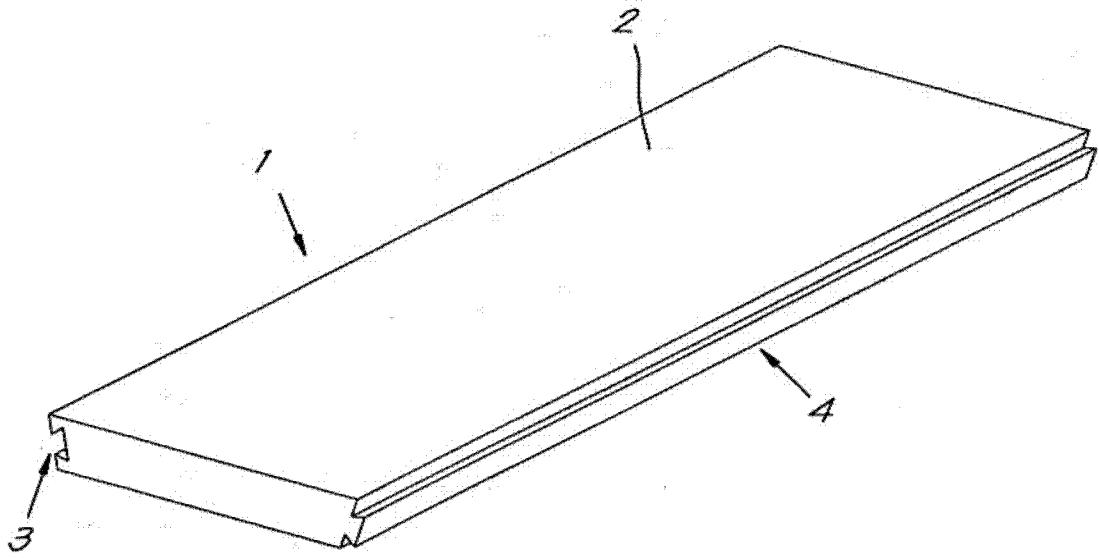


图 1

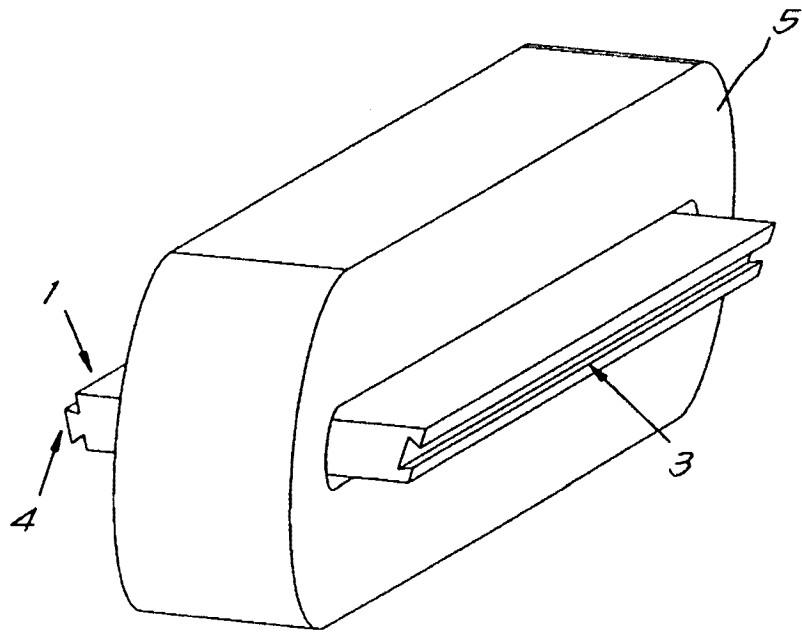


图 2

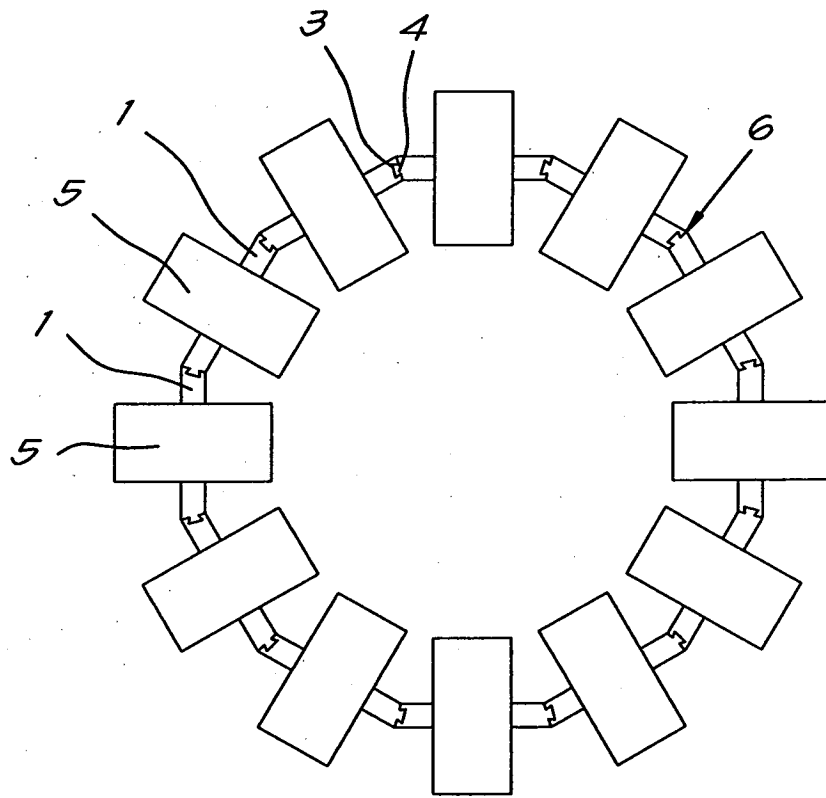


图 3

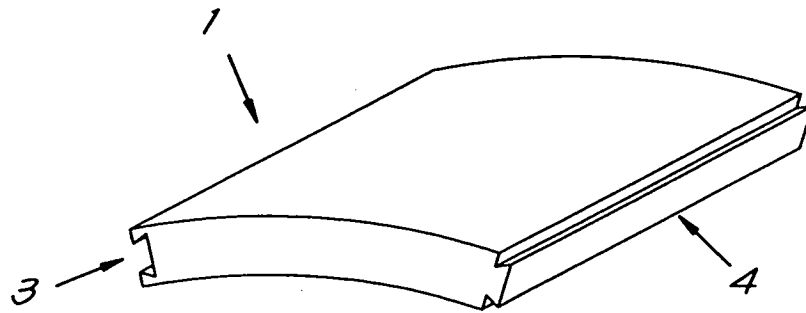


图 4

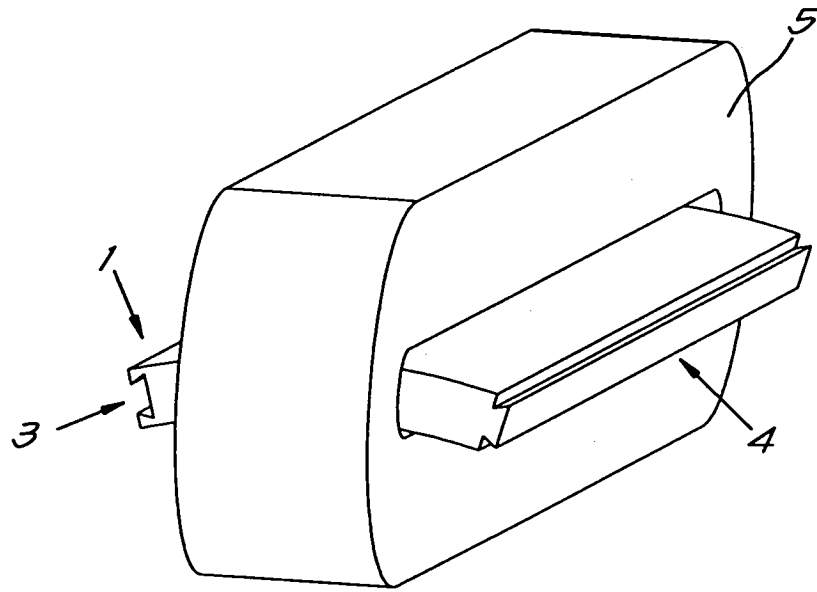


图 5

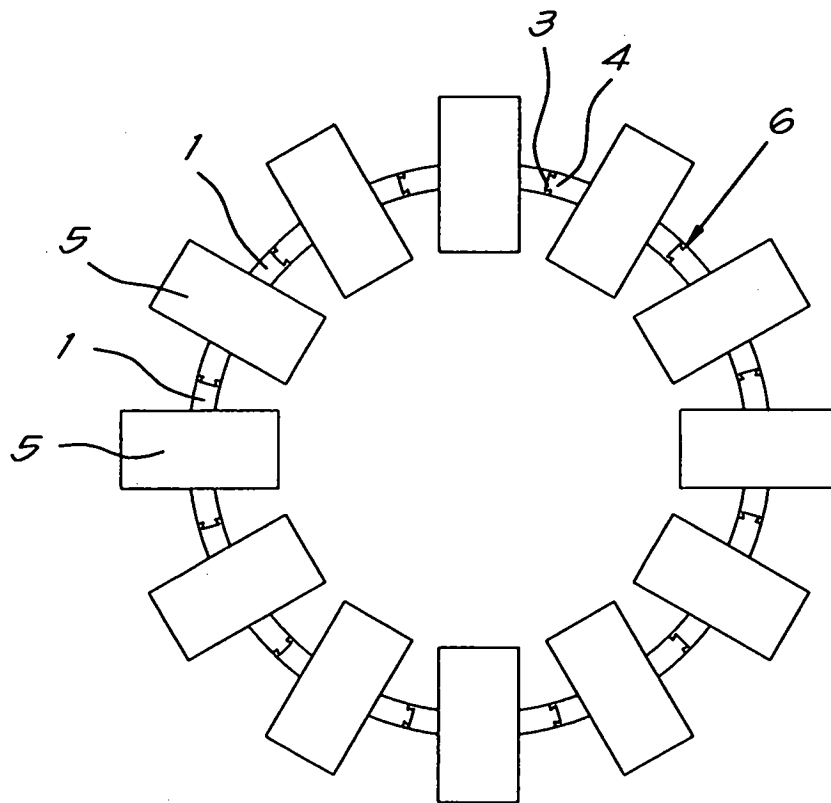


图 6

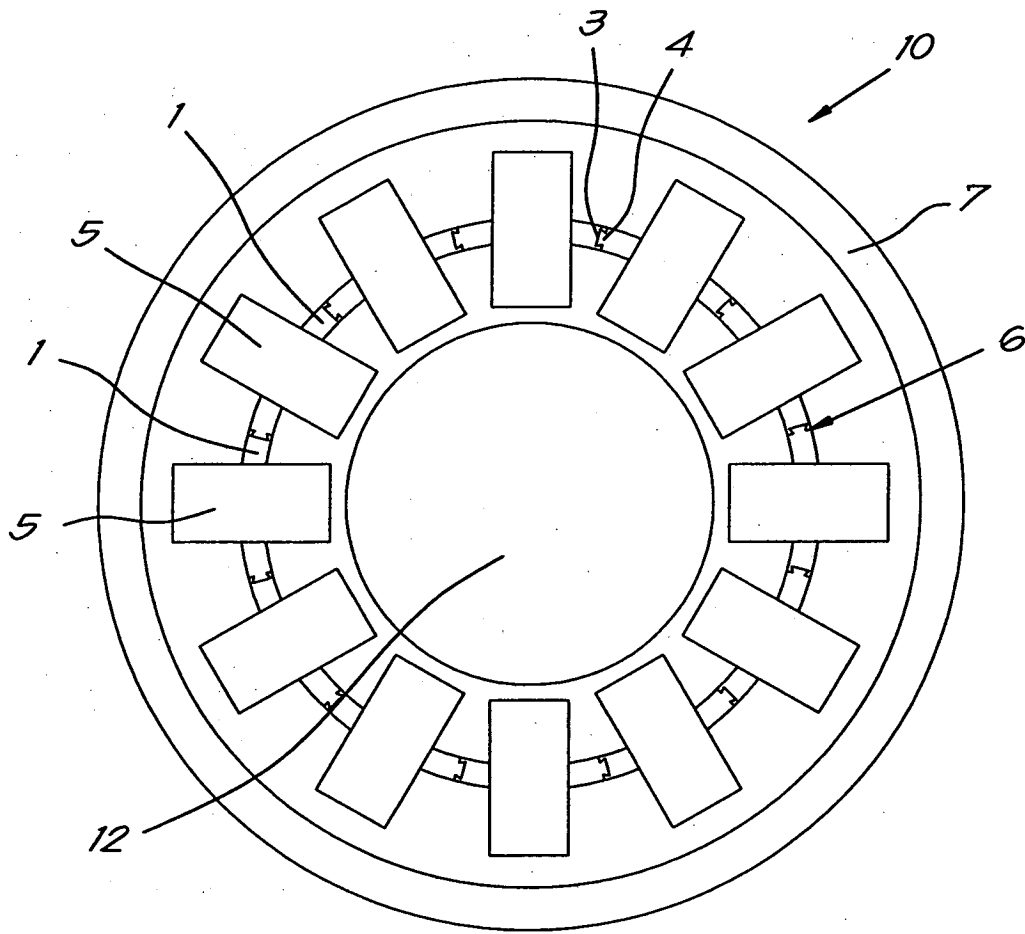


图 7

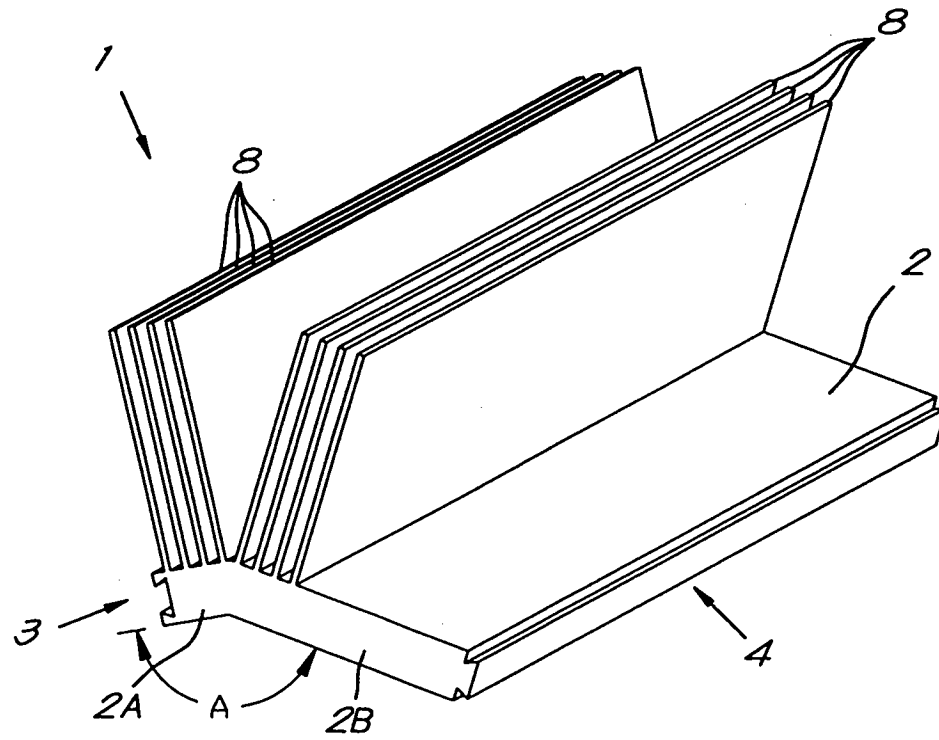


图 8

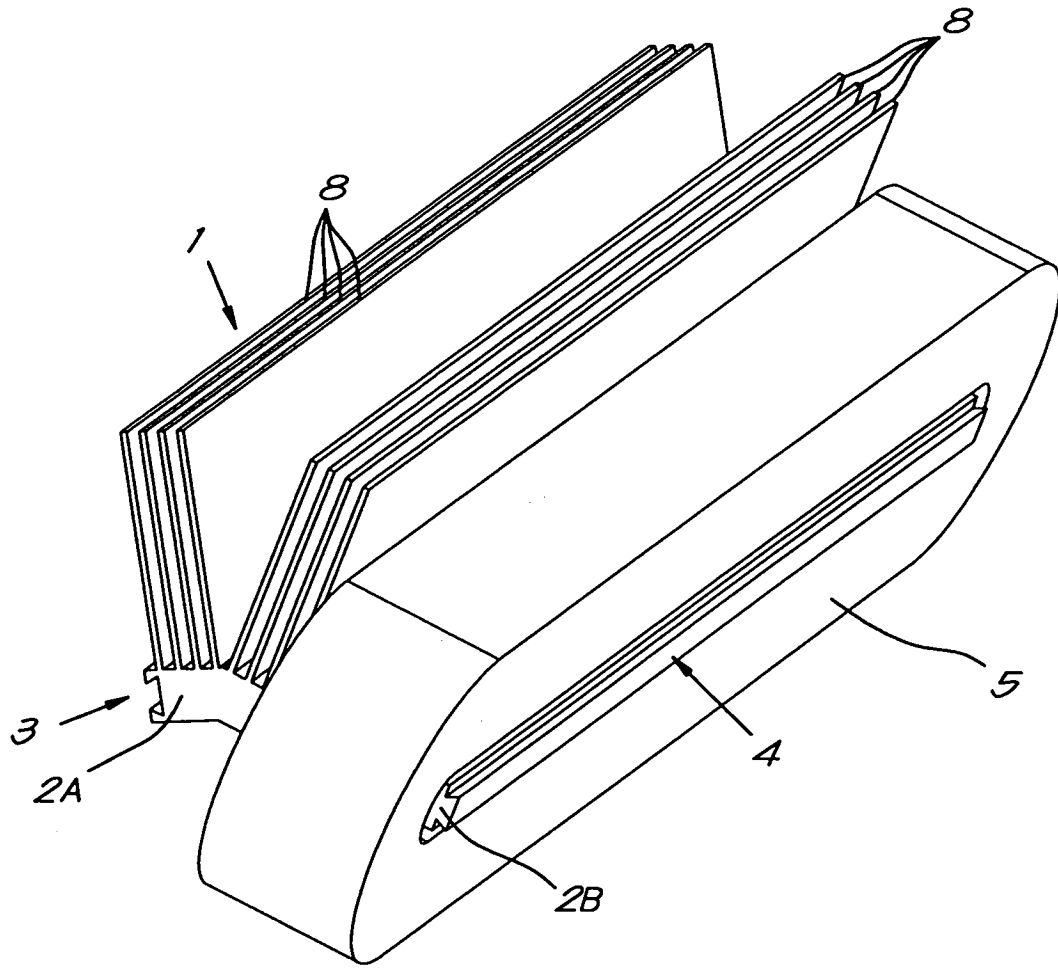


图 9

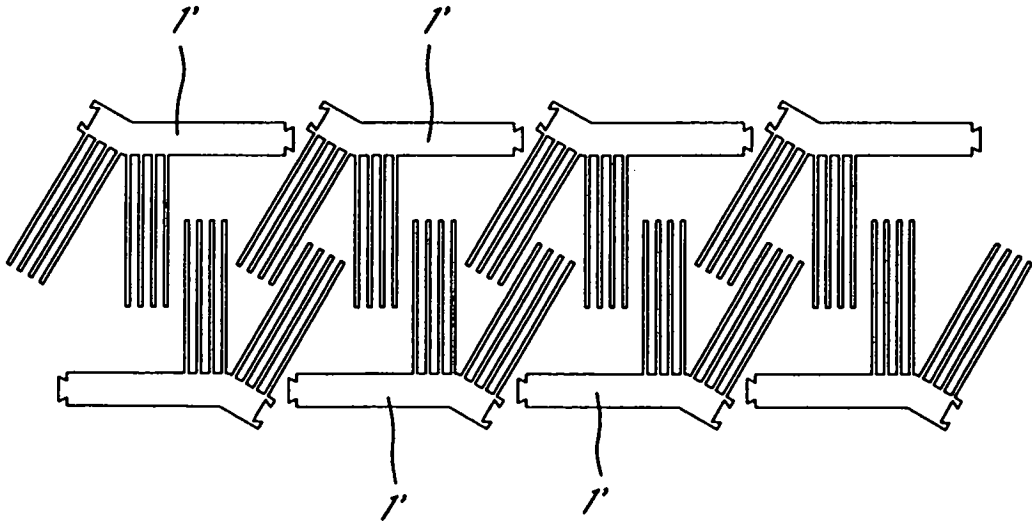


图 10

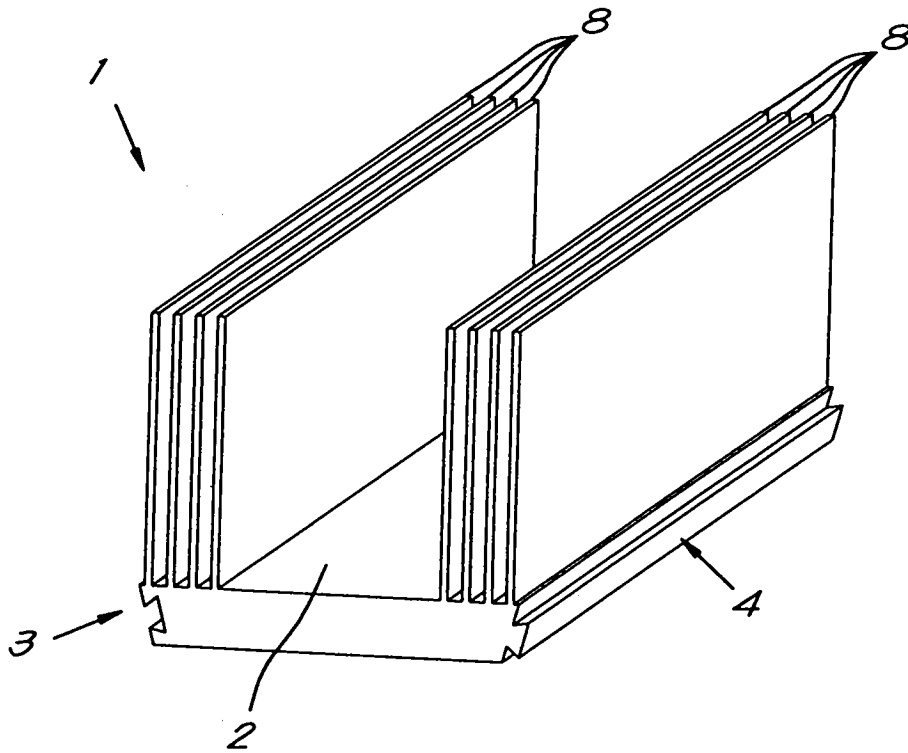


图 11

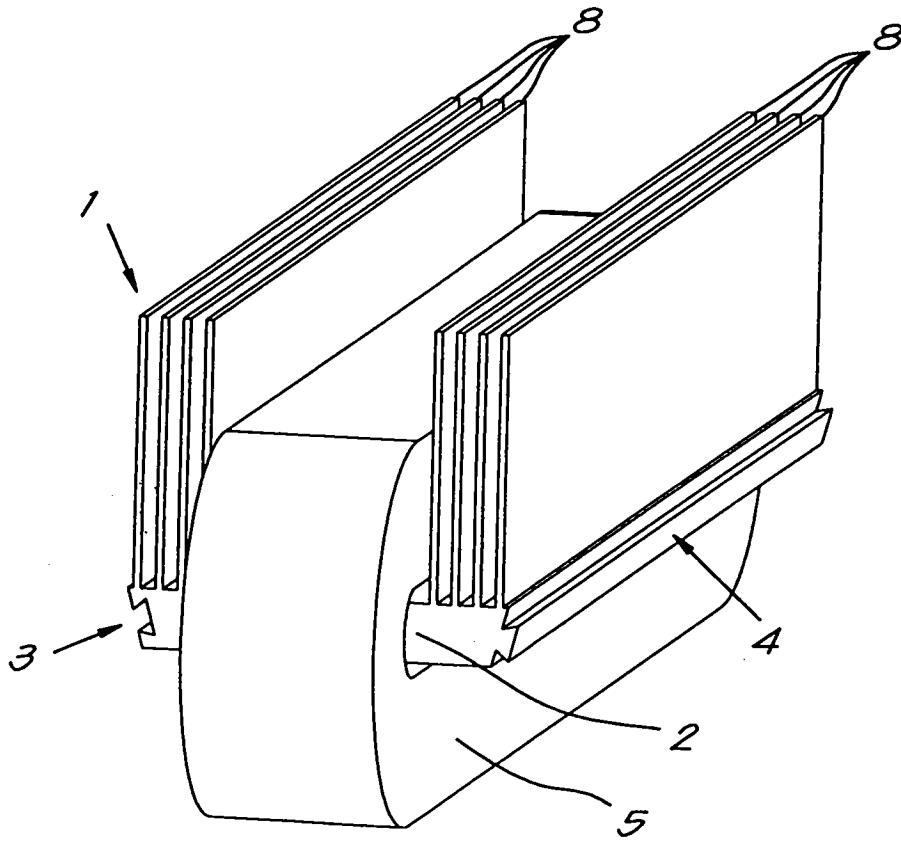


图 12

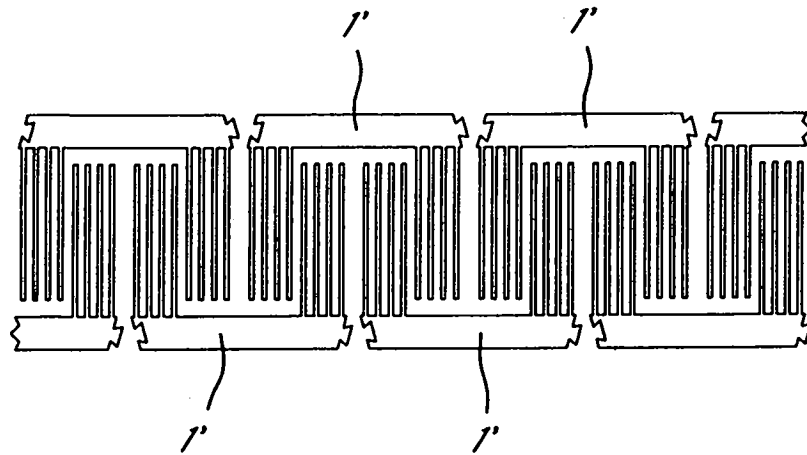


图 13

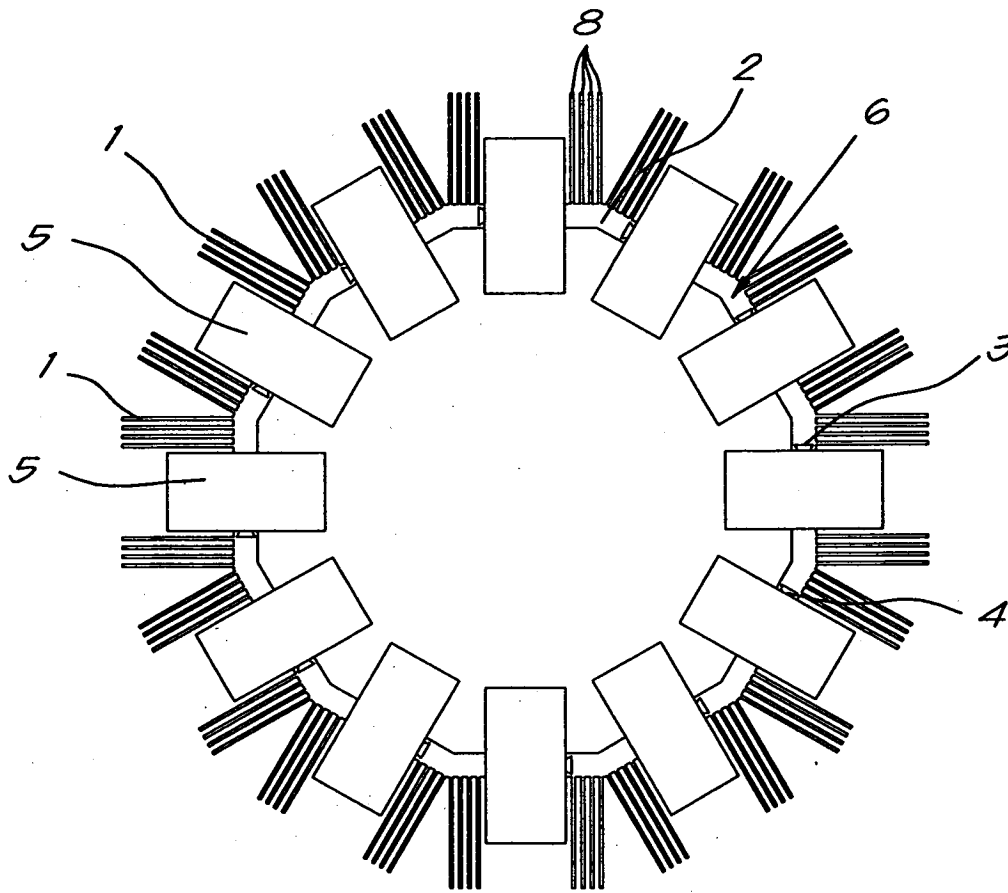


图 14

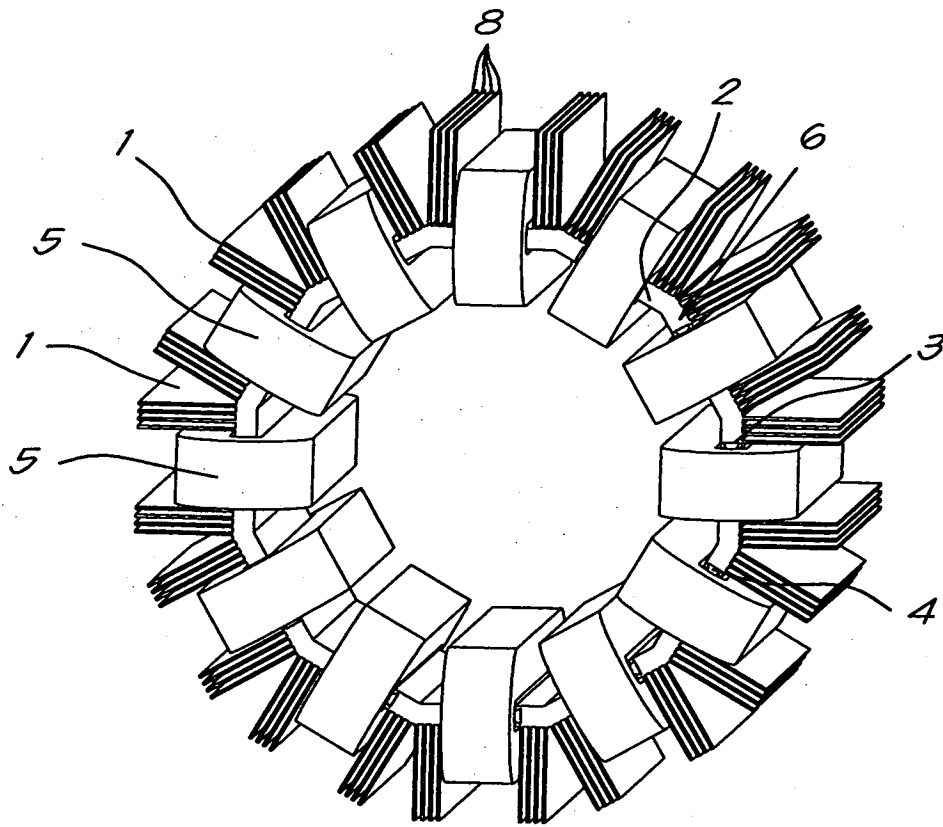


图 15

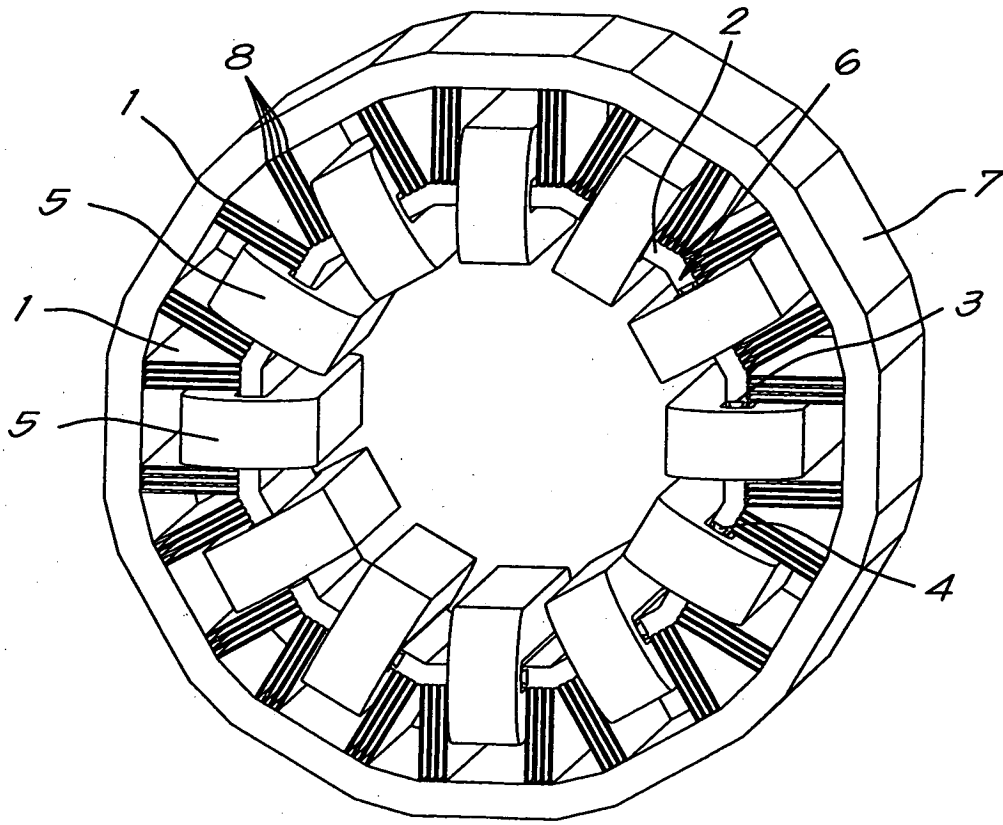


图 16

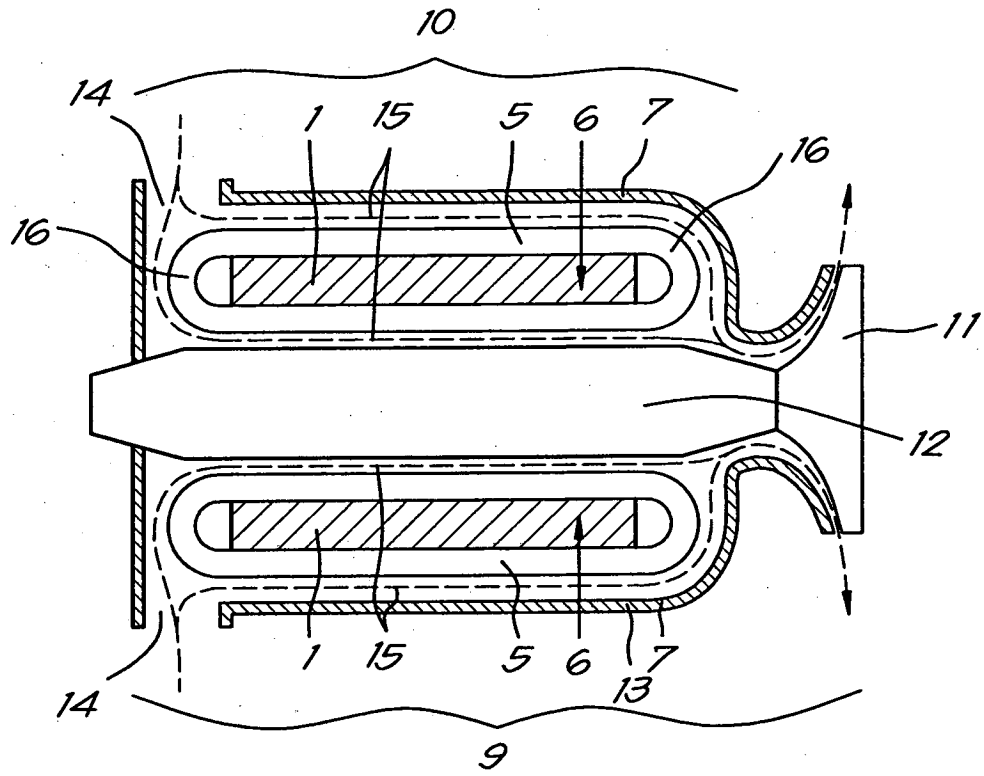


图 17

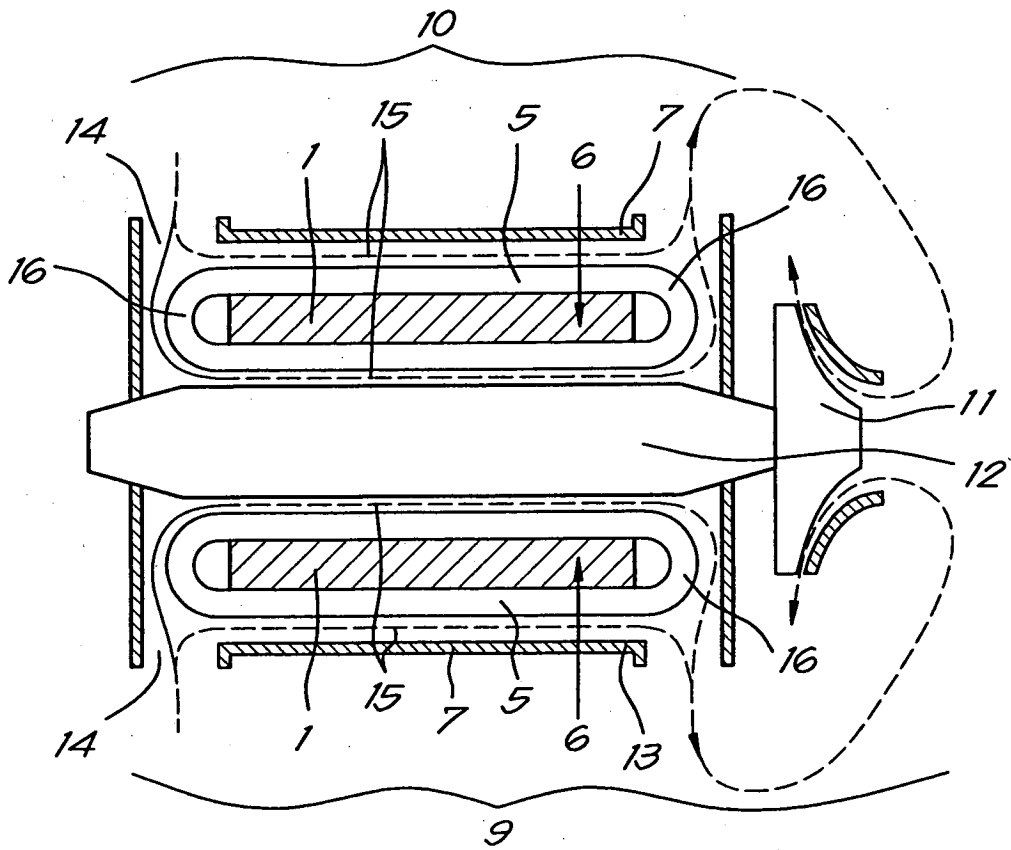


图 18

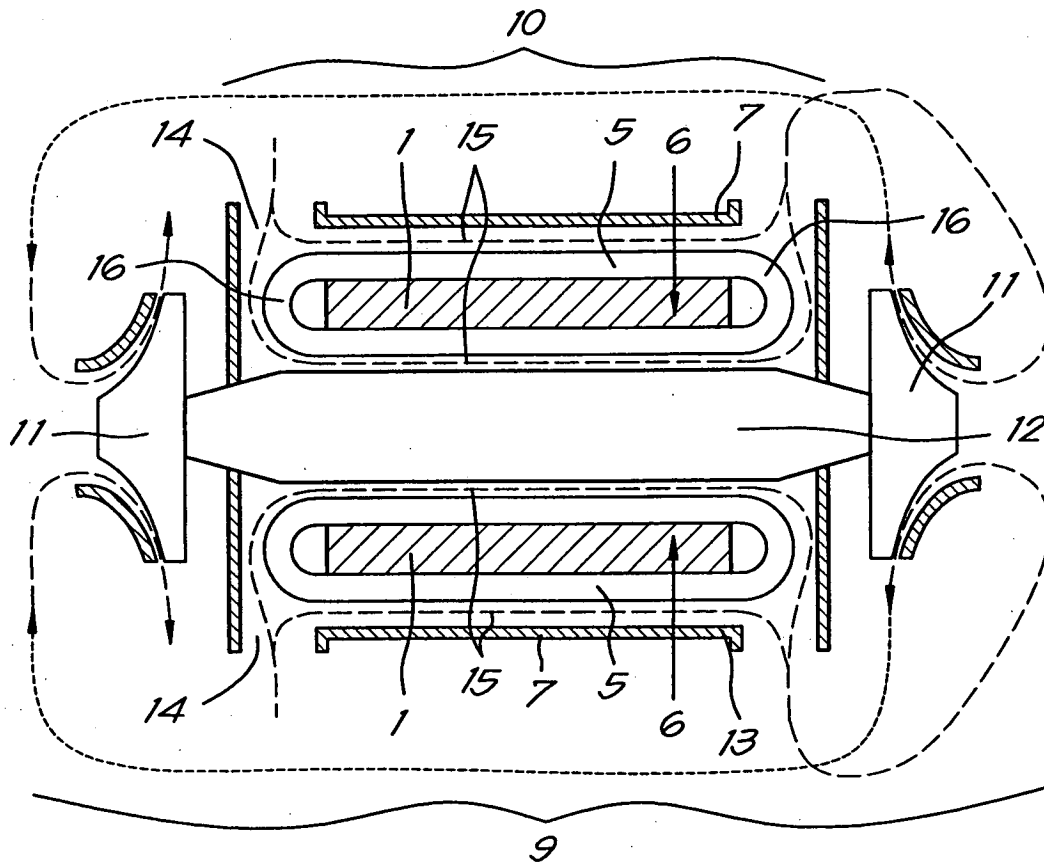


图 20