



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109660052 A

(43)申请公布日 2019.04.19

(21)申请号 201810482716.8

(22)申请日 2018.05.18

(30)优先权数据

62/570,441 2017.10.10 US

15/870,472 2018.01.12 US

(71)申请人 零意技术有限责任公司

地址 美国科罗拉多州

(72)发明人 托马斯·H·霍普金斯

费利佩·J·卡斯蒂略

斯科特·T·格雷厄姆

基思·W·克朗茨

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理

有限公司 44224

代理人 何冲 黄隶凡

(51)Int.Cl.

H02K 5/04(2006.01)

H02K 5/16(2006.01)

H02K 1/27(2006.01)

H02K 1/02(2006.01)

H02K 1/12(2006.01)

H02K 1/32(2006.01)

H02K 9/06(2006.01)

H02K 9/19(2006.01)

H02K 9/22(2006.01)

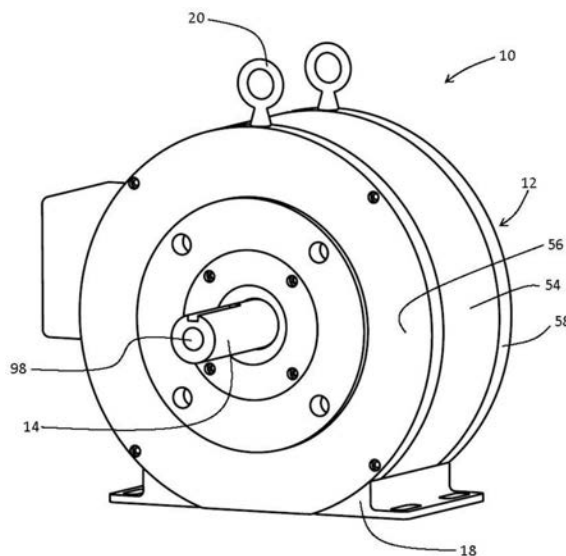
权利要求书4页 说明书18页 附图14页

(54)发明名称

电机定子冷却系统和方法

(57)摘要

一种电机,其具有转子、定子和壳体。转子包括径向安装的永久磁体阵列,并且定子包括围绕转子径向定位的多个电磁体。定子封装成使得定子密封剂与壳体结构,例如壳体端板,热接触。在一些实施例中,壳体的整个周边部分与定子或定子密封剂热接触。定子密封剂提供了从定子到壳体的装置鲁棒性和热传递。可以通过将添加剂混合到密封剂中以增加导热率来增强密封剂的导热率。



1. 一种电机,包括:
转子;
定子,所述定子包括:
多个径向定位的电磁体;
转子密封剂,所述转子密封剂封装所述电磁体;以及
壳体,所述壳体支撑所述转子和所述定子,其中所述壳体包括:
周边部分;
第一端板,所述第一端板在所述周边部分的一端处;以及
第二端板,所述第二端板在所述周边部分的相对端处,以及
其中,所述定子密封剂与所述第一端板和所述第二端板热接触。
2. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,所述定子密封剂接触所述第一端板和所述第二端板,使得所述第一端板的中心区域、所述第二端板的中心区域、以及定子内表面限定封闭的圆柱形转子空腔,所述封闭的圆柱形转子空腔基本上不具有从所述定子内表面、所述第一端板的中心区域、以及所述第二端板的中心区域,朝着所述周边部分延伸的空隙。
3. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,所述第一端板和所述周边部分包括集成壳体单元。
4. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,所述定子密封剂包括介电材料和添加剂,以增加所述定子密封剂的导热率。
5. 根据权利要求4所述的电机,其特征在于,所述介电材料包括聚合物,且所述添加剂包括氮化硼、碳化硅、硅、氧化铝、铝粉、铜粉、金属氧化物、陶瓷、石墨烯和基本上球形的颗粒中的一种或多种。
6. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,在所述壳体的所述周边部分的内表面与所述定子外表面之间的界面包含导热润滑剂。
7. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,还包括第一热传递结构,所述第一热传递结构与所述第一端板的中心区域以及所述第二端板的中心区域中的一个中心区域热接触,所述第一热传递结构延伸到所述转子空腔中。
8. 根据权利要求7所述的电机,其特征在于,还包括第二热传递结构,所述第二热传递结构与所述第一端板的中心区域以及所述第二端板的中心区域中的另一个中心区域热接触,所述第二热传递结构延伸到所述转子空腔中。
9. 根据权利要求8所述的电机,其特征在于,所述第一热传递结构和所述第二热传递结构中的至少一个热传递结构包括多个销或鳍。
10. 根据权利要求8所述的电机,其特征在于,所述第一热传递结构和所述第二热传递结构中的至少一个热传递机构包括表面处理,以增强来自所述转子空腔的热传递。
11. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,所述壳体包括一个或多个导热支脚,所述导热支脚附接到所述周边部分。
12. 根据权利要求11所述的电机,其特征在于,所述导热支脚包括位于所述导热支脚和安装表面之间的单独的热传递材料。
13. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,电磁体包括:
芯,所述芯包括一叠片组,所述叠片组限定齿和轭段;

绝缘线圈架,所述绝缘线圈架围绕每个叠片的所述齿的一部分;以及

导电绕组,所述导电绕组围绕所述线圈架的一部分,其中所述叠片组中的每个叠片通过所述线圈架保持抵靠相邻叠片。

14. 根据权利要求13所述的电机,其特征在于,多个电磁体的所述轭段与从所述第一端板延伸的肩部结构直接物理接触,所述肩部结构在远离所述第一端板的选定距离处支撑每个电磁体,使得在任何电磁体的绕组和所述第一端板之间没有物理接触。

15. 根据权利要求14所述的电机,其特征在于,在所述叠片组中的单个叠片包括:

相对的第一平坦表面和第二平坦表面;

热传递层,所述热传递层与所述第一平坦表面和所述第二平坦表面中的至少一个平坦表面热接触。

16. 根据权利要求14所述的电机,其特征在于,在所述叠片组的单个叠片包括:

相对的第一平坦表面和第二平坦表面;

介电层,所述介电层与所述第一平坦表面和所述第二平坦表面中的一个平坦表面物理接触;以及

热传递层,所述热传递层不同于所述介电层,所述热传递层与所述第一平坦表面和所述第二平坦表面中的另一个平坦表面热接触,导致所述叠片组中的相邻叠片之间的界面包括一个叠片的所述介电层和相邻叠片的所述热传递层。

17. 根据权利要求16所述的电机,其特征在于,所述热传递层包括石墨烯。

18. 根据权利要求14所述的电机,其特征在于,由叠片组限定的所述轭段进一步限定舌状结构和相对的凹槽结构,以与相邻电磁体的叠片组的舌状结构和凹槽结构相配合。

19. 根据权利要求1所述的电机,其特征在于,还包括:

轴,所述轴从所述转子穿过所述第一端板和所述第二端板中的一个或同时穿过这两个端板延伸;

轴承,所述轴承安装到所述第一端板和所述第二端板中的一个端板,以支撑所述轴;以及

轴承密封件,所述轴承密封件附接到所述轴承,其中所述轴承密封件包括具有比所述轴承更大的导热率的材料。

20. 根据权利要求19所述的电机,其特征在于,所述轴包括导热轴芯,所述芯包括具有与围绕所述轴心的所述轴的部分的不同成分的导热材料。

21. 根据权利要求20所述的电机,其特征在于,所述导热轴芯朝向所述轴与所述轴承接触所在的所述轴的外表面延伸。

22. 一种用于电机的电磁体,包括:

叠片组,所述叠片组限定齿和轭段;

绝缘线圈架,所述绝缘线圈架围绕每个叠片的所述齿的一部分,其中每个叠片通过线圈架保持抵靠相邻叠片;

导电绕组,所述导电绕组围绕所述绝缘线圈架的一部分;以及

密封剂,所述密封剂完全封装所述线圈架和绕组,其中所述密封剂包括介电材料和添加剂以增加密封剂的导热率。

23. 根据权利要求22所述的电磁体,其特征在于,所述介电材料包括聚合物,且所述添

加剂包括氮化硼、碳化硅、硅、铝粉、铜粉、金属氧化物、陶瓷和石墨烯中的一种或多种。

24. 根据权利要求22所述的电磁体,其特征在于,所述叠片组中的单个叠片包括:
相对的第一平坦表面和第二平坦表面;

热传递层,所述热传递层与所述第一平坦表面和第二平坦表面中的至少一个平坦表面热接触。

25. 根据权利要求24所述的电磁体,其特征在于,叠片组中的单个叠片还包括介电层,所述介电层与所述第一平坦表面和所述第二平坦表面中的一个平坦表面热接触,并与所述热传递层相对。

26. 一种冷却定子的方法,包括:

提供电机,所述电机包括:

转子;

定子,所述定子包括:

多个径向定位的电磁体

定子密封剂,所述定子密封剂封装所述电磁体;以及

壳体,所述壳体支撑所述转子和所述定子,其中所述壳体包括:

周边部分;

第一端板,所述第一端板在所述周边部分的一端;以及

第二端板,所述第二端板在所述周边部分的相对端;

将所述定子密封剂放置为与所述第一端板和所述第二端板热接触;并且

使热量从所述定子密封剂传导到所述第一端板和所述第二端板。

27. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,还包括:

将所述定子密封剂放置为与所述第一端板和所述第二端板热接触,使得所述第一端板的中心区域、所述第二端板的中心区域、和定子内表面限定封闭的圆柱形转子空腔;

提供热传递结构,所述热传递结构与所述第一端板的中心区域和所述第二端板的中心区域中的一个中心区域热接触,所述热传递结构延伸到所述转子腔中;以及

通过所述热传递结构,使热量从所述转子空腔传递到所述第一端板或所述第二端板。

28. 一种制造定子的方法,包括:

提供多个电磁体芯,其中每个电磁体芯包括:

叠片组,所述叠片组限定齿和轭段,其中由叠片组限定的所述轭段进一步限定舌状结构和相对的凹槽结构;

绝缘线圈架,所述绝缘线圈架围绕每个叠片的所述齿的一部分,其中每个叠片通过所述线圈架保持抵靠相邻的叠片;以及

导电绕组,所述导电绕组围绕所述绝缘线圈架的一部分;

通过将每个电磁体的所述舌状结构和所述凹槽结构与相邻的电磁体的相应的舌状结构和凹槽相配合,将所述多个电磁体组装到定子;以及

用导热密封剂将组装的所述定子封装。

29. 根据权利要求28所述的方法,其特征在于,还包括将添加剂添加到所述密封剂,以增加所述密封剂的导热率。

30. 根据权利要求28所述的方法,其特征在于,还包括将热传递层放置为与选定的电磁

体的选定的叠片的至少一个平坦表面热接触。

电机定子冷却系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年10月10日提交的标题为“Permanent Magnet Motor with Tested Efficiency Beyond Ultra-Premium/IE5Levels”的第62/570441号美国专利申请的优先权,该申请的内容以引用的方式全部并入 本文。

[0003] 版权声明

[0004] 本专利文件公开的一部分包含受版权保护的材料。版权所有者不反对任何人将专利文献或专利公开内容 进行复制,因为它出现在专利和商标局的专利文件或记录中,但在其他方面保留所有版权。

技术领域

[0005] 本发明大体上涉及用于冷却电机(例如电动机或发电机)的定子的方法、系统和装置。更具体地,本 发明涉及永磁(PM)电机的定子的冷却。

背景技术

[0006] 在商业和工业应用中使用的电机通常需要在100%的适用额定功率下运行,超过了通常是60000小时的 使用寿命。因此,在商业或工业环境中使用的电动机或其他电机必须既可靠又通用。机器的可靠性和使用 寿命可能受到许多因素的影响,包括但不限于:1) 导致热致部件失效的高温操作;2) 振动、加热、摩擦、不平衡操作、污染、不适当的材料选择或引起机械诱发组件失效的其他原因;或3) 电介质故障导致电气 短路或由于热量、不适当的材料选择或其他原因引起的开路。

[0007] 电机通常配备有机械冷却系统,例如风扇以及罩,所述罩配置为将空气引导到浇铸在机器壳体中的散 热片上。许多此类设备被归类为全封闭风扇冷却(TEFC)设备。由于电动机输出的总功率的一部分必须 用于转动冷却风扇,因而不能用于输出,因此TEFC电动机遭受固有的低效率。例如,附接到传送带的TEFC 电动机必须同时运行冷却风扇和传送带,因此转动风扇所需的电动机输出部分不可用于传送带。TEFC机 器的风扇和罩装置容易损坏,并且在典型的工业环境中存在安全风险。此外,由于TEFC机器在电机轴的 一侧驱动冷却风扇,因此将两台下游机器附接到单台TEFC电动机上是不可能的或困难的。

[0008] 传统的电机通常通过实施具有大而重的部件的机器而制成坚固且耐用。为了促进稳定的长期运行而需 要的较大和较重的部件会增加机器成本和重量。

[0009] 具有直接通风并因此部分敞开的壳体以促进冷却的其他电机,可能遭受水分和颗粒物质污染,这又会 导致机械部件退化和导线绝缘或电接点退化和过早失效。由于全封闭非通风(TENV)设备缺乏直接通风 或外部风扇以将空气移动到外部散热片上,因此全封闭非通风(TENV)电机面临独特的冷却挑战。

[0010] 本文公开的实施例被设计为将上述问题中的一个或多个问题最小化。

发明内容

[0011] 本文公开的实施例包括电机冷却装置和方法。其他实施例包括赋予电机增强的鲁棒性和耐久性的元件。如本文所使用的,被称为电机的设备类别同时包括发电机和电动机。本文描述的某些实施例是具有径向通量配置的永磁电机。许多公开的方法和装置也适用于传递热量或部分地传递鲁棒性到轴向通量机器、传递通量机器和线性机器。某些方法和装置可适用于非旋转转矩电动机、变压器或电感器。虽然示出了关于永磁电动机的许多具体实施例,但是本公开和权利要求不限于任何特定的装置配置并且可应用于任何类型的电机。

[0012] 本文公开的某些电机实施例将由永久磁体、转子背部组件、电磁芯或其他结构中的涡流引起的热量的产生最小化。此外,公开了利用通过机器的内腔和部件或子系统的各种热量路径的传导、对流和辐射从电机去除热量的方法和装置。

[0013] 本文公开的实施例是具有转子、定子和壳体的电机。转子包括限定纵向轴线的轴。轴由转子背部组件包围,该转子背部组件也称为背铁组件。转子还包括围绕转子背部组件的周边定位的径向安装的永久磁体阵列。机器定子包括围绕转子径向定位的多个电磁体,其在转子的永久磁体的外表面和定子的电磁体的内表面之间限定了气隙。

[0014] 转子和定子由壳体支撑并封闭在壳体内。在某些实施例中,壳体是完全封闭的不通风(TENV)壳体。在一个实施例中,定子和壳体在气隙内限定了大致圆柱形的转子空腔,并且由壳体端板或类似结构限制了转子空腔的边界。当转子定位在转子空腔内时,转子空腔可进一步分成第一空腔和第二空腔。具体地,在转子和位于转子的邻近壳体端板的一端处的壳体之间存在第一空腔。在转子和位于转子的邻近另一端板的另一端处的壳体之间存在第二空腔。壳体端板可以是附接到壳体周边部分的分离的板,可选地,端板和壳体周边中的一个可以是铸造的、机械加工的或以其他方式整体或共同形成的壳体元件。

[0015] 第一空腔和第二空腔通过气隙连接。另外,可以提供穿过转子背部组件的一个或多个通风通道,该通风通道从第一空腔延伸到第二空腔。因此,第一空腔和第二空腔、气隙以及通风通道限定围绕转子背铁外部且穿过转子背铁的流体通路。转子还可以包括延伸到第一空腔或第二空腔中的内部风扇。内部风扇是转子的一部分或连接到转子,并配置为在气隙或通风通道中的一处产生低压,且在气隙和通风通道中的另一处产生高压。因此,当转子旋转时,使空气或其他流体,例如空气和油混合物,围绕流体通路从一个空腔通过气隙流通到另一空腔并且通过通风通道返回到原始空腔。因此,在运行期间,转子中产生的热量可传递到在流体通路中流动的空气或其他流体以冷却转子。

[0016] 转子风扇可以是单独的结构,或者可以是形成在转子背部组件的外部表面中的转子风扇叶片。另外,转子背部组件、风扇叶片或风扇可以被处理以增强对流体通路的热辐射,并因此增强对第一空腔或第二空腔的热辐射。合适的表面处理包括但不限于表面粗糙化或表面阳极氧化。

[0017] 在电机运行期间,主要通过永久磁体中的磁感应涡流以及转子背部组件内的磁感应涡流和磁滞,在转子内产生热量。在某些实施例中,通过同时实施永久磁体和具有一组叠片的转子背部组件,可以减少转子内的热量产生。可以通过用面向气隙围绕磁体的外表面的固定带将永久磁体接合到转子背部组件,来提供结构支撑和有利的热传递特性。

[0018] 各种热传递结构可以促进从转子到流体通路的热传递和随后从第一空腔和第二空腔到机器壳体的热传递。一类热传递结构安装至面向第一空腔或第二空腔的转子。另一

类热传递热结构可以安装至壳体,典型地在端板处,面向第一空腔和/或第二空腔。这些热传递结构中的任何一个可以包括销、鳍、销/鳍的组合或其他结构的阵列以增加表面积和湍流,并且因此促进前往或来自附接的转子或壳体结构的有效热传递。另外,热传递结构可以由具有相对高导热率的材料(例如铝或铜)制成。热传递结构可以被纹理化、着色、具有表面处理,或者被制造成有效地将热量传递到流体通路或从流体通路传递热量。

[0019] 通过在相邻永久磁体之间的间隙中包括导热填料或密封剂材料,额外的热量可以被传递远离所述永久磁体。导热密封剂材料可以是例如环氧树脂的聚合物,该聚合物具有悬浮在聚合物基质内的添加剂,以将转子密封剂的导热率提高到高于聚合物、环氧树脂或其他转子密封剂材料的天然导热率。导热密封剂用于在转子运行期间,将朝向第一空腔和第二空腔,远离永久磁体的侧面传导热量。附接到转子的任何热传递结构可以被放置成与导热密封剂区域热接触以促进与流体通路的热交换。

[0020] 相邻永磁体之间的间隙中的导热密封剂还为转子提供了结构的刚性和鲁棒性。密封剂用于额外地将永久磁体固定到转子背部组件,并且防止磁体在负载下围绕转子的圆周滑动。在一些实施例中,转子背部组件可以限定在相邻永久磁体之间的锚定表面,该锚定表面用于更加可靠地将密封剂锚定到转子背部组件的。锚定表面可以是形成在从转子背部组件延伸出的部分中的凹槽、突起、键槽等。

[0021] 在永久磁体或转子背部组件中产生的一部分热量可传导至轴并从轴传导至驱动电机或由电机驱动的设备。机器轴通常由钢或其他高强度合金制成,所述合金可能不具有相对高的导热率。通过在轴上设置导热轴芯可以增强机器轴的导热率,该导热轴芯由例如铜等材料制成,该材料具有与轴的其他部分不同的成分,并且具有比轴的其他部分更高的导热率。

[0022] 在某些实施例中,热量同样可以从壳体传递到轴。轴典型地由转子两端的轴承支撑。轴承由壳体支撑。在一些实施例中,轴承结构的一些部分,例如轴承密封件,可以由具有增强的导热率的材料,例如铜制成。支承轴承的轴承凸缘或其他壳体元件也可以由具有增强的导热率的材料制成。在这样的实施例中,导热轴芯可以制成朝向轴和轴承接触所处的轴周边延伸。

[0023] 在某些实施例中将壳体密封可能是有利的。例如,TENV电动机可能被密封以防止内部污染。在这样的实施例中,可以从壳体外部触及轴承以促进轴承拆卸或更换,而不需要打开壳体。

[0024] 电机实施例还包括具有多个径向定位的电磁体的定子。在一些实施例中,定子被封装,使得定子密封剂与壳体结构,例如壳体端板,热接触。在一些实施例中,壳体的整个周边部分与定子或定子密封剂热接触。在一个实施例中,壳体包括周边部分,在第二端板处的第一端板。端板可以是分离的结构或与壳体的周边部分共同制造。定子密封剂可以接触第一端板和第二端板,使得第一端板的中心区域、第二端板的中心区域和定子内表面限定封闭的圆柱形转子空腔。在一些实施例中,基本上没有将从定子内表面、第一端板的中心区域以及第二端板的中心区域朝向周边部分延伸的空隙。

[0025] 定子密封剂提供了从定子到壳体的装置鲁棒性和热传递。可以通过将添加剂混合到密封剂中以增加密封剂的热导率,来提高密封剂的导热率。例如,密封剂可以是例如聚合物或环氧树脂的介电材料,并且添加剂可以是氮化硼、碳化硅、硅、氧化铝、铝粉、铜粉、

金属氧化物、陶瓷、石墨烯、基本上球形的颗粒 或这些或类似材料的组合。

[0026] 定子和壳体之间的热传递以及整机鲁棒性可以通过将定子紧密地装配到壳体的周边部分来增强。通过 用导热润滑剂或密封剂填充定子周边和壳体之间的任何间隙,可以进一步增强定子和壳体的周边部分之间 的热传递。

[0027] 通过提供与壳体或端板的中心区域热接触的一个或多个热传递结构可以促进由定子和壳体限定的转 子空腔的热传递。热传递结构可以包括销、鳍、销/鳍的组合或延伸到转子空腔中的其他结构以增加表面积, 空气湍流或以其他方式促进来自转子空腔的热传递。另外,任何热传递结构都可以着色、阳极氧化、或者 具有旨在促进有效热传递的表面处理。

[0028] 传递到壳体的热能可以通过传导、对流或辐射从电机移除。通过为壳体提供鳍、外部热传递结构、黑 色阳极氧化或其他装置,可以增强来自壳体的热传递。另外,壳体可以包括由具有高导热率的材料,例如 铝,制成的支脚。热量可以从支脚传递到安装表面,例如工厂地板、搁板或其他设备。通过在支脚和安装 表面之间提供具有高导热率的接触面,例如导热膏或铜,可以促进从支脚到安装表面的热传递。

[0029] 定子实施例包括径向电磁体阵列。在某些实施例中,每个电磁体包括具有有限定齿部和轭段的叠片组的 芯。围绕每个叠片的齿的一部分可以设置绝缘线圈架。接着,导电绕组围绕线圈架的一部分。在一个实施 例中,无需使用螺钉、焊接点、销、卷曲接头、胶水或其他紧固装置,仅通过来自线圈架的压力将这排叠 片中的每个叠片保持抵靠相邻的叠片。

[0030] 在一些实施例中,可以通过提供与由芯叠片限定的一个或两个平坦面热接触的热传递层,来增强来自 电磁芯的热传递。热传递层可以是具有比用于制造叠片的磁钢更高的导热率的任何材料。代表性的热传递 材料包括但不限于例如铜、镍、银等金属或例如石墨烯的材料。热传递材料必须与相关联的叠片热接触, 这意味着来自叠片的热量可直接传递到热传递材料。热接触可能是物理接触。可选地,热接触可以通过例 如导热膏等中间材料发生。在一些情况下,热传递材料可以被沉积、电镀、涂覆或以其他方式永久地接合 到叠片。

[0031] 电磁芯通常还包括位于叠片之间的介电层。在一个实施例中,叠片将具有施加于或接触一个平坦面的 介电层和与相对的平坦面热接触的热传递层。在该实施例中,相邻叠片之间的界面将包括来自一个叠片的 电介质层和来自另一个叠片的热传递层。

[0032] 在一些实施方式中,由叠片组限定的弧形轭段可以限定配置为彼此配合的舌状结构和相对的凹槽结 构。因此,可以通过将第一电磁体的舌状结构与相邻电磁体的凹槽结构接合,以此类推直到定子完成,从 而将多个电磁体组装成定子。在某些实施例中,多个电磁体的轭段直接由从壳体或壳体端板延伸出的肩部 结构支撑,从而提供机器鲁棒性和从定子到壳体的直接热通路。

[0033] 替代实施例包括冷却电机转子的方法、冷却电机定子的方法、冷却电机的方法、制造电机的方法、稳 定电机的方法以及制造用于电机的电磁体的方法。

附图说明

[0034] 通过参考说明书的其余部分和附图可以实现对特定实施例的性质和优点的进一步理解,其中相似的附 图标记用于指代相似的部件。在一些情况下,子标签与附图标记相

关联以表示多个相似组件中的一个。当提及没有对现有子标签进行说明的参考标号时,其意图是指所有这样的多个类似部件。

[0035] 图1是代表性电机——全封闭的不通风 (TENV) 永磁 (PM) 电动机的等距视图;

[0036] 图2是图1的电动机的等距横截面图;

[0037] 图3是转子的等距轴端 (SE) 视图,其示出了永久磁体和其他结构;

[0038] 图4是图3的转子的等距对立轴端 (OSE) 视图;

[0039] 图5是可选的转子实施例的等距对立轴端 (OSE) 视图;

[0040] 图6是图3的转子的等距SE视图,其示出了围绕转子结构的固定带;

[0041] 图7是图6的转子的等距OSE视图;

[0042] 图8是图1的电动机的侧视横截面视图;

[0043] 图9是图8的电动机的一部分的放大图,其示出了强制流体通路;

[0044] 图10是图1的电动机的部分壳体和定子的等距视图;

[0045] 图11是图1的电动机的部分壳体和定子的等距视图,其示出了定子密封剂;

[0046] 图12是图1的电动机去除了转子的等距横截面图;

[0047] 图13是图1的电动机去除了选择性电磁体部分的部分壳体和定子的等距视图;

[0048] 图14A是电磁体结构的等距视图;

[0049] 图14B是图14A的电磁体结构的分解等距视图;

[0050] 图15A是示出分层EM层叠结构的示意图;

[0051] 图15B是示出可选的分层EM层叠结构的示意图;

[0052] 图15C是示出可选的分层EM层叠结构的示意图;

[0053] 图16是图1的电动机的侧视横截面视图,其示出了壳体和定子之间的界面的细节。

具体实施方式

[0054] 概述

[0055] 本文公开的某些实施例是设计为在商业、运输、或工业环境中提供相对免维护、稳固、长期和高效的 服务的电机。如本文所使用的,被称为“电机”的设备类别同时包括发电机和电动机。本文描述的某些实施例是具有径向通量配置的永磁电动机。所公开的许多方法和装置也适用于改善轴向通量机、传输通量机 和线性机的总体鲁棒性和热性能。某些方法可能适用于非旋转力矩电动机、变压器或电感器的热管理或稳定性。尽管本文对于完全封闭的不通风 (TENV) 永磁电动机示出了许多具体实施例,但是本公开和权利 要求不限于任何特定装置配置并且可适用于任何类型的电机。

[0056] 电机在运行过程中会产生热量。如果散热不好,热量会显着缩短机器的寿命。高温下的持续操作会影响许多机器部件的物理性能,包括但不限于电绝缘、电接触、封装材料、磁体等。过热可能会使这些部件 在初热时变软,并且然后逐渐变脆,影响器件性能并导致过早失效。因此,设计稳固的电机的两个关键是 减少机器运行期间的热量产生,并增加对机器的散热。本文描述的许多方法和装置在运行期间提供了减少 热量产生和对机器有效散热中的一者或两者。所公开的技术和结构共同称为热管理方法或热管理装置。

[0057] 提供有利的热管理的一些方法和装置通常还增强机器的机械稳定性,并因此提供额外的机器鲁棒性和 耐用性。本文描述的其他方法和装置增强了机器稳定性和鲁棒性,而

不影响热性能。

[0058] 本文公开的某些TENV机器以设计用于增强热管理和机器鲁棒性的整体设备配置为特色。例如,代表性的TENV机器,图1的永磁电动机10,可以具有饼状,带有集中的电磁体绕组、最大化槽填充、表面安装的和超大尺寸的永久磁体和其他装置以增强热管理并如本文详述的提供整机鲁棒性。与具有相同额定功率的感应电动机相比,所公开的永磁TENV电动机10的具体实施例使用不到一半的铜并且不到一半的电钢。

[0059] 另外,几个公开的实施例利用积极但被动的冷却。机器中设计了多条热路径,以提供从内部结构到外部壳体的热量传递,其中通过进入环境空气的自然对流、通过辐射到周围物体、通过传导到机器安装表面、和/或通过驱动轴传导到从动装置(例如风扇、泵、传送带、轮子或其他装置),热量可以被消散。

[0060] 图1是代表性的电机——永磁TENV电动机10的等距外部视图。图2是电动机10的等距横截面视图,其示出了某些内部元件。所述电动机10包括围绕并支撑内部部件的壳体12和连接到转子16的轴14。壳体12可以连接到各种支撑结构或包括各种支撑结构,所述支撑结构可根据需要供应或改变。例如,壳体可以连接到支脚18、提升吊环螺栓20、C面、法兰面或其他支撑或附接结构,从而便于将电动机10放置和安装到操作环境中。

[0061] 如图2所示,轴14连接到转子16,使得轴14限定纵向轴线22,当操作电动机10时,轴14和转子16围绕纵向轴线22旋转。可选地,如果电机是发电机,则施加到轴14的外部扭矩可以使转子围绕轴线22旋转。轴14和转子16由固定在轴承凸缘28和30中的轴承24和26支撑。图1和图2所示的实施例的特征在于轴14仅从转子16的一侧延伸穿过壳体12。替代实施例可包括从转子16的两侧延伸穿过壳体12的轴14。由于冷却风扇,这种对于TEFC机器是不可行的替代实施例可以有利地一次驱动两个下游机器,其中一个下游机器附接到轴14的每个端部。在特征在于轴14仅从转子16的一侧延伸的实施例中,为了方便起见,电动机10的相对两端可以被称为轴端“SE”,以及相对的轴端“OSE”。因此,例如轴承24和凸缘28等元件在本文中可以分别被称为SE轴承24和SE轴承凸缘28。然而,重要的是要注意,本公开明确地涵盖具有从壳体12的一侧延伸的轴14、从壳体12的两侧延伸的轴14、或根本不从壳体12延伸的轴14的电机。

[0062] 转子16基本上被定子32包围。如在本文详细描述,转子16包括围绕轴线22布置但与其隔开的一组永久磁体34。永久磁体34由转子背部组件36支撑,有时转子背部组件36被称为背铁组件,因为这种组件通常由例如钢或其他类型的钢/铁合金的磁性材料构成。转子背部组件36机械地接合到轴14或与轴共同制造。

[0063] 定子32包括围绕转子16的一组电磁体38,使得电磁体38和永久磁体34通过气隙40彼此分开。高度简化地说,当交流电施加到电磁体38的绕组42时,发生电动机操作,导致由定子32形成的变化的磁场。在变化的磁场内,永久磁体34与电磁体38之间的磁吸引使转子16相对于定子32旋转。因此,扭矩可以传递到与轴14附接的任何装置,这与电动机的典型情况一样。在替代的发电机构造中,轴14可以通过外部扭矩源旋转,从而导致永久磁体34形成变化的磁场。然后变化的磁场可以在绕组42中引起交流电,由此产生电力。

[0064] 电机中热量的产生

[0065] 当电动机10或其他电机运行时,同时在转子16和定子32中产生热量。转子16中产生的热量的主要来源是永久磁体34中的涡流损耗和转子背部组件36中的涡流损耗或磁滞

损耗。在定子32中产生的热量的主要来源包括绕组42中的电阻以及相关电磁体芯44中的涡流/磁滞损耗。此外,当转子16在电动机10内旋转时,产生也被描述为风阻的阻力。风阻产生额外的热量。在轴承24和26的表面处的摩擦也在壳体12内部产生热量。如上所述,某类电机被描述为完全封闭且不通风的“TENV”机器或电动机。TENV电动机提供了某些优点,包括但不限于降低维护要求,因为内部电机元件基本上被密封以防止外部污染。在密封的TENV机器内部产生的热量必须散发出去,然而没有使壳体上方的空气流通的外部风扇,并且没有直接的通风口,来避免元件过早失效。

[0066] 所公开的促进电机中的热管理,并因此促进一般机器鲁棒性的装置和方法可以分为(a)用于最小化热量产生的方法和结构,或(b)在热量已经产生后,促进机器冷却的方法和结构。本文描述的几种热管理技术涉及通过转子16、定子32和/或壳体12输出热量。本文描述了几种可选的热管理策略。各种方法和装置可以根据需要以任何方式彼此组合、缩放或部分实施,以实现特定的热缓解目标。

[0067] 电机转子结构

[0068] 如上所述,在电机运行期间产生的热量是不可避免的,但在某些情况下可以减少。转子16中的热量产生的主要来源是永久磁体34内的磁感应涡流和转子背部组件36内的磁感应涡流或磁滞损耗。每种类型的磁涡流的大小和所产生的热量可以通过将永久磁体34和转子背部组件36实施为层叠结构而减小。

[0069] 例如,图3至图5是转子16的两个替代实施例的等距视图。如图3和图4所示,转子16的第一实施例是来自图2的转子16。该转子16的特征在于轴14仅从一侧延伸。替代实施例包括从转子16的两侧延伸的轴14。图3至图4的转子实施例以图3中的SE等距视图和图4中的OSE等距视图示出。图5的可选的转子16可以用单轴配置或双轴配置来实现。每个转子16的特征在于围绕轴14的一部分机械地接合的转子背部组件36。永久磁体34围绕转子背部36的周边安装,并且与转子背部36接触,使得永久磁体34围绕轴14径向地布置,但是与轴14间隔开。

[0070] 永久磁体34可以由任何数量的叠片44制成。叠片44由永磁材料制成,永磁材料可以是稀土磁体材料,例如钕铁硼磁体材料、钐钴磁体材料、铝镍钴磁体等,或例如铁氧体陶瓷等常规磁体材料。在一个代表性实施例中,如图5所示,转子16的永久磁体34具有二十四(24)个叠片46。每个叠片46是永磁材料的相对较薄的平坦部分,其中多个叠片堆叠成一个叠片叠在另一叠片上面,使得由相邻叠片之间的接触面限定的平面大致垂直于轴线22。永久磁体34的替代实施例可以包括任何数量的叠片46,例如永久磁体34可以包括2、4、8、12、16、20、24、28、32、36、40或更多叠片46,以减小磁感应涡流和热量产生的大小。永久磁铁34内的每个叠片46可以可选地通过绝缘体,例如漆、清漆、纸或其他相对较薄的绝缘材料,与相邻的叠片46分开。

[0071] 可以为转子16的永久磁体34选择相对高性能的稀土磁体材料。与其他永久磁体类型相比,稀土磁体具有更高的剩磁,更高的矫顽磁性和磁能积。因此,尽管如果采用了稀土永久磁体34,就必须采取措施来提高整机的鲁棒性和稳定性,但是可以提高具有稀土永磁体34的机器效率。

[0072] 具体地,如果稀土磁体变得太热,它们可能会被消磁,并且当磁体冷却时,稀土磁体的磁性不会恢复。因此,在最高额定功率输出的热稳定运行期间,必须以比永久磁体34

中预期的最高温度更高的温度额定值 来选择稀土磁体34。例如,如果根据选定的设计,永久磁体34的预期高温为130°C,那么建议使用额定温 度至少高出35%的稀土磁体34(根据UH等级),例如高达180°C,以提供运行余量。

[0073] 稀土永久磁体也可以通过定子绕组42中的大电流产生的过量磁通而消磁。因此,选择的电动机10的实 施例利用具有产生大的渗入系数以增加对基于磁通的退磁的抵抗力的几何结构的永久磁体34。例如,如图 3和图4所示,电动机10可以包括具有稀土永久磁体 34的转子12,所述稀土永久磁体34具有径向厚度尺寸w, 所述径向厚度尺寸w沿着从轴线向外延伸的半径线测量,所述径向厚度尺寸w是沿着相同的半径线测量的 磁性气隙的宽度的八(8)倍或更宽。具有高渗透系数的稀土永久磁体34的使用允许电机在远远超过额定 值的条件下运行而不会产生退磁威胁。这些条件中的一些可以包括在峰值扭矩下的运行、在利用弱磁的扩 展速度范围下的运行或两者的组合。

[0074] 转子背部组件36也可以由钢、铁、其他铁合金或其他合适的转子背部组件材料的 多个叠片组装而成。在一个代表性实施例中,如图5所示,转子背部组件36包括六(6)个叠 片50。每个叠片50是转子背部材料 的相对较薄的平坦的环形部分。多个叠片以一个叠片叠 在另一叠片上面的方式堆叠,其中由相邻叠片50之 间的接触面所限定的平面大致垂直于 轴线22。转子背部组件36的替代实施例可以包括任何数量的叠片50, 例如,转子背部36可 以包括2、4、8、12、16、20、24、28、32、36、40或更多叠片50,以最小化转子背 部组件36内的磁 涡流、滞后损失和产生的热量的大小。转子背部组件36中的每个叠片50可以可选地通过绝 缘体,例如漆、清漆、纸或其他相对较薄的绝缘材料,与相邻的叠片50分开。

[0075] 在运行期间,转子16以高速率旋转并且经受变化的磁通量。因此,重要的是要确保 永久磁体34牢固地 接合到转子背部组件36。粘合剂可以可选地用于将永久磁体接合到转 子背部组件36。在某些实施例中,如 图6和7所示,转子16包括面向气隙40和定子32,围绕转 子16的周边的固定带52。固定带52在运行期间可被 预加应力固定到永久磁体34和相邻结 构。另外,固定带52可以具体配置为当转子16旋转时使阻力最小化, 并由此使风阻的热量 产生最小化。

[0076] 在某些实施例中,固定带52由例如钢或石墨烯复合材料等磁性材料制成。在这样 的实施例中,可以从 多个分离的带中实现捆扎以最小化固定带52中的涡流的产生。另外, 捆扎可以用热传递材料浸渍或以其他方式处理以便于将来自永久磁体34的热量传递到带 52的外表面和气隙40。可选地,固定带52可以完全由选 择成具有增强的热传递性能的材料 制成,例如铜或铝。可选地,固定带52可以完全由碳纤维垫或碳纤维丝 制成,所述碳纤维垫 或碳纤维丝可以被预加应力,不产生涡流并且还具具有相对高的导热性能。

[0077] 转子冷却方法和装置

[0078] 使用上述技术可以减少运行的电机转子中的热量产生,但是一些热量产生是不可 避免的。因此,本文 公开了用于冷却电机转子的若干装置和方法。重要的是要注意,特别 是在TENV机器(例如电动机10)中 的转子16,基本上或完全地封闭在机器壳体12内并且被定 子32围绕。因此,在热量从电动机10输出前,冷 却转子16通常涉及热量传递到另一电动机 结构。在某些情况下,本文所述的转子冷却方法和装置与用于冷 却电动机10的其他部分、 定子32和/或壳体12的方法和装置结合使用。

[0079] A. 转子强制流体通路

[0080] 图8是图2所示的电动机10的侧视横截面视图。图9是图8所示的转子16、壳体12和定子32的一部分的放大图。在运行期间,必须允许转子16在定子32和壳体12内自由旋转。因此,转子16、定子32和壳体12共同限定了转子16在其内操作的某些空腔。例如,图1至图2和图8至图9的壳体12包括围绕定子32,且因此围绕轴线22的周边部分54。除了一个或多个密封轴开口外,壳体12的周边部分54基本上由在所述周边部分54的每个端部的第一端板56和相对端板58来闭合。因此,周边部分54、第一端板56和相对端板58限定了电动机10的整体饼状形状。周边部分54、第一端板56和第二端板58可以是结合在一起以形成壳体12的单独结构。可选地,周边部分54和一个端板56、58或其他壳体结构可以铸造、加工或以其他方式形成单个部件,其中周边部分54和端板56或58用于识别单个壳体结构的不同区域。

[0081] 图10和图11中最佳地示出了定子32的面向气隙40的部分和端板56、58限定了大致圆柱形的转子空腔60。如下所述,电动机10的某些实施例包括设计成迫使空气在整个圆柱形转子空腔60的不同区域之间循环。

[0082] 具体地,在圆柱形转子空腔60内,在转子16的一端62与壳体12的相邻部分之间的开放空间限定了基本上环形的第一空腔64。类似地,在圆柱形转子空腔60内,在转子16的相对端66与壳体12的相邻部分之间的开放空间限定了基本上环形的第二空腔68。此外,相对较薄的气隙40在转子16的外周边和定子32的面向内的表面之间延伸,以完成圆柱形转子空腔60。如图8和图9最佳地所示,通过向转子16提供内部风扇表面,例如内部风扇70,以及穿过定子32的一个或多个通风通道72,可以使空气、空气/油混合物、其他气体、液体或混合流体从其中一个空腔64、68循环到另一个空腔64、68并通过气隙40。

[0083] 具体地,如图3和图4中最佳地示出,可以设置穿过转子背部组件36的一组通风通道72。在所示的实施例中,每个通风通道72限定了围绕轴线22的弧的一部分,并且构成延伸穿过转子背部组件36的每个叠片50的开口。对于通风通道72的其他形状和配置,只要每个通风通道72具有与第一空腔64和第二空腔68流体连通的开口,则它们都在本公开的范围之内。

[0084] 第一空腔64、第二空腔68、气隙40和每个通风通道72一起限定了内部强制流体通路74,该内部强制流体通路74部分围绕转子16并延伸穿过转子16。空气、其他流体,或如下所述的空气和油混合物可以在内部风扇70的作用下而通过内部强制流体通路74流通。风扇70可以是转子16的一部分、附接到转子16或由转子16驱动,以使空气或其他流体在内部强制流体通路74内流通。具体地,如图4所示,风扇70包括多个风扇叶片76,当转子16以顺时针方向旋转时,风扇叶片76配置为在气隙40处产生相对低压区域,并且在第二腔室68处产生朝向轴14的相对高压区域。

[0085] 这种压差导致空气或其他流体通过通风通道72从第二空腔68循环到第一空腔64。同时,使空气或其他流体通过气隙40从第一空腔64流通到第二空腔,完成强制流体通路74。不同的风扇配置或不同的旋转方向可能导致空气或其他流体沿相反的方向流通。

[0086] 在图4的实施例中,风扇70延伸到第二空腔68中。在替代实施例中,风扇70可延伸到第一空腔64中,或者分开的风扇可同时延伸到空腔64和68中。在某些实施例中,风扇70和/或风扇叶片76是附接到转子16或由转子16驱动的单 独结构。在替代实施例中,风扇70可包括形成在转子背部组件36中的多个风扇叶片76,其形成在轴的一部分中,或以其他方式附接到转子16。在任何实施例中,风扇70使得空气或其他流体围绕转子16并且穿过转子

16流通,从而在转子旋转时完成强制流体通路74。

[0087] 如上所述,在强制流体通路74内流通的空气或其他流体被转子16内产生的热量加热,从而冷却转子16。被加热的流体可以将所述热量传递到其他结构,以最终冷却电动机10。促进从转子16到强制流体通路74的热传递的各种结构及其其他内容将在下面进行描述。另外,与转子相关联的各种结构可以具有设计成促进从转子16到强制流体通路74的有效热传递的表面处理。例如,任何转子结构,包括但不限于风扇70、风扇叶片76、轴14、转子背部组件36、固定带52或其他结构,可被粗糙化以增加表面积或例如通过黑色阳极氧化处理,以促进转子与强制流体通路74之间的热传递。

[0088] 辅助热传递结构可以促进从转子16到强制流体通路74,或从强制流体通路74到其他电动机结构,例如壳体12,并且最终远离电动机10的热传递。例如,如图5所示,转子背部组件36或其他转子结构可以放置成与一个或多个热传递结构(例如图5、图8和图9中所示的SE热传递结构78和OSE热传递结构80)热接触。如本文所定义,“热接触”意指两个或更多结构之间的接触,使得热能可从一个结构流动到另一个结构。彼此直接热接触的结构也彼此物理接触。可选地,热接触可以通过例如导热膏等中间材料发生。SE热传递结构78和OSE热传递结构80仅是许多热传递类型或配置的代表性示例,所示热传递结构可以安装到转子12、形成于转子12中或以其他方式热接触转子12。在每种情况下,转子热传递结构78或80在一侧与转子接触并且延伸到第一空腔64或第二空腔68中,以促进在转子16和强制流体通路74之间的热传递。

[0089] 其他热传递结构可以接合到壳体12或形成为与壳体12热接触,以促进从强制流体通路74到壳体12的热传递,并促进热量随后通过热辐射、传导或对流离开电动机10。例如,如图2、图8、图9和图10所示,一个、两个或更多热传递结构可以安装到壳体12,该壳体12朝向转子12延伸到第一空腔64或第二空腔68中。在图中所示的代表性但非限制性示例中,电动机10包括分别延伸到第一空腔64和第二空腔68中的SE壳体热传递结构82和OSE壳体热传递结构84。示出的每个热传递结构82、84基本上是环形的,然而其他形状和结构也在本公开的范围之内。

[0090] SE壳体热传递结构82和OSE壳体热传递结构84仅是许多热传递结构类型或配置的代表性示例,所示热传递结构类型或配置可以安装到壳体12、形成于壳体12或以其他方式热接触壳体12。在每种情况下,壳体热传递结构82或84在一侧接触壳体12且延伸到第一空腔64或第二空腔68中,以促进从强制流体通路75到壳体12的热传递。

[0091] 在图中所示的几个实施例中,热传递结构78、80、82或84可以形成为具有多个销、鳍,销/鳍86的组合或设计成增加表面积和湍流的其他结构。销/鳍86远离壳体12或定子32延伸并且进入相邻的空腔64或68中。热传递结构78、80、82或84可以被粗糙化以增加表面积或例如通过黑色阳极氧化被处理,以促进热传递至热传递结构和强制流体通路74或来自热传递结构和强制流体通路74传递热量。另外,一个或多个热传递结构78、80、82或84可由例如铜或铝等具有高热导率的材料制成。可以使用导热膏或其他接触面将热传递结构78、80、82或84接合到相邻的转子或壳体结构,促进从热传递结构78、80、82或84到强制流体通路74的有效热传递,或促进来自强制流体通路74的有效热传递。

[0092] B. 转子封装和稳定性

[0093] 在某些实施例中,例如如图5所示,相邻的永久磁体34被间隙88分开。来自转子16

并且特别是来自每个永久磁体34的侧面的额外热传递可以通过用导热转子密封剂90填充全部或部分间隙88来提供。如下面详细描述,导热转子密封剂90还减少了风阻并且向转子16提供了机械稳定性。导热转子密封剂90的代表性示例包括,但不限于环氧树脂、工程聚合物、聚酯、氨酯、硅树脂或其他塑料、适于填充间隙88的可流动或可成形材料。热管理可通过向导热转子密封剂90提供添加剂来增强,以使无需改变就可将密封剂材料的热导率提高到高于密封剂的天然热传导率。用于增强热导率的代表性添加剂包括,但不限于氮化硼、碳化硅、二氧化硅、氧化铝、铝、铜、其他金属、其他金属氧化物、陶瓷、石墨烯等的悬浮颗粒。如果悬浮颗粒是球形的,具有径向取向的纤维或者具有设计成有利于导热率的其他形状或取向,则密封剂90的导热率可以进一步提高。

[0094] 可选地,导热转子密封剂90的特定部分或区域可以由具有相对高的热透射率的物质制成。例如,间隙88可以填充有结合在金属壳92(例如铜或铝壳)内的环氧树脂或其他聚合物,其中壳具有比聚合物更高的导热率。在另一个实施例中,间隙88可以填充有围绕热传导率更好的芯(例如铝芯或铜芯)的环氧树脂或其他聚合物,该芯通过密封剂与永久磁体34、转子背部组件36、和/或强制流体通路74接触。在任何实施例中,导热转子密封剂应具有显着高于预期电动机运行温度的玻璃化转变温度和最大运行温度。

[0095] 导热转子密封剂90还用于向转子12提供机械强度,并且因此增强电动机10的整体鲁棒性。例如,导热转子密封剂90可以在相邻的永久磁体34之间,与转子背部组件36接触和/或接合到转子背部组件36,以机械地锚定永久磁体34且防止它们在重载下围绕转子背部组件36周向滑动。通过在转子背部组件36和导热转子密封剂90的表面之间的界面处,在转子背部组件36上设置槽94、凹槽、键槽、粗糙化表面、孔、突起、或其他结构,可以机械地增强导热转子密封剂90和转子背部组件36之间的接合。

[0096] 如图3和图4最佳地所示,导热转子密封剂90可以在一端或两端与一个或多个转子侧辅助热传递结构接触。图3和图4的特定实施例包括与导热转子密封剂90热接触并延伸到第一空腔64中的SE热传递元件78阵列。另外,图3至图4的实施例包括与导热转子密封剂90的另一端热接触并延伸到第二空腔68中的OSE热传递元件80阵列。

[0097] 热传递结构78和80仅是许多热传递结构中的代表性示例,这些热传递结构可以安装到导热转子密封剂90中的一端或另一端、形成于导热转子密封剂90中的一端或另一端、或以其他方式与导热转子密封剂90中的一端或另一端热接触。在每种情况下,热传递结构78、80延伸到第一空腔64或第二空腔68中,以促进在转子16和强制流体通路74之间的热传递。

[0098] 在替代实施例中,热传递结构78、80、82或84中的一个或多个热传递结构也可形成用作风扇70。例如,图5中的热传递结构78的销/鳍86的组合可成角度或以其他方式形成以导致通过强制流体通路74引起流体流通的压力梯度。

[0099] C. 热传递油

[0100] 在某些实施例中,可以通过利用与空气结合或不同于空气的热传递流体来提高电动机10内的热传递效率。例如,一定量的变压器油或其他热传递流体可以被添加到第一空腔64和/或第二空腔68中。当电动机没有运行时,油将在每个空腔64、68的底部中聚集并填充,例如气隙40的底部扇形区。当转子16旋转时,永久磁体34顺序地浸没在油浴中,并且可以从永久磁体34和固定带52的所有暴露面吸收热量。

[0101] 如下面详细描述的那样,定子密封剂可以被添加在定子32和壳体12之间,部分地确保添加到内部的空腔64、68的油必须聚集并与转子16接触。例如参见,图11的定子密封剂96。可以将足够的油添加到空腔64、68以覆盖气隙40和/或一个或多个热传递结构78、80、82、84或其他热传递结构中的浸没部分。空腔64、68 和气隙40是转子空腔60的互连区域。因此,添加到一个空腔的热传递流体将流向其他腔体。加入空腔64、68的油或其他热传递流体的量可以等于或小于空腔64和68的总体积的50%、等于或小于空腔64和68的总体积的25%,或其他合适的体积。

[0102] 当转子16以相对较高的速度旋转时,转子16和/或热传递结构78、80的作用可引起油或其他热传递流体的飞溅和雾化,从而改善强制流体通路74的热性质。任何固定带52可以装配有多孔涂层或薄网表面以确保当转子16移动通过油浴时的湍流和低阻力。

[0103] D. 转子背部组件热输出

[0104] 通常如上所述,转子背部组件36将从面向轴线22的永久磁体34的边缘传导热量,并且通过转子背部组件36本身内的涡流和滞后损失产生一些热量。传导至转子背部组件36或在转子背部组件36内产生的热量可径向传导至通风通道72。可选地,传导至转子背部组件36或在转子背部组件36内产生的热量可轴向传导至SE热传递结构78、OSE热传递结构80、其他热传递结构或风扇70,其中热量可被传送到强制流体通路74。面向空腔64、68的转子背部组件36的表面可被结构化、纹理化、阳极氧化或其他处理以增强从转子16到强制流体通路74、定子32、壳体12或其他结构的热量输出,热量可以从这些结构消散到环境中。

[0105] 本文公开的装置和方法包括但不限于通风通道72、热传递结构78、80和导热转子密封剂90,确保了在电动机运行期间,转子背部组件36相对于永久磁体34更冷。该温度梯度导致从永久磁体34到转子背部组件36,且穿过轴14、强制流体通路74和壳体12或如本文所述的其他输出路径,从电机出去的热量流动。

[0106] E. 轴热输出

[0107] 用于将转子的热量传递出来的其他路径利用轴14。轴14通常利用金属与金属的接触牢固地连接到转子背部组件36。因此,来自永久磁体34、转子背部组件36或其他转子结构的热量可以被传导至轴14。通过在轴14上设置具有相对较高的导热芯98,或由与周围的钢轴材料相比具有相对较高的导热率的材料(例如率或铜)制成的其他轴结构,可以增强通过所述轴的热输出。轴14连接到被驱动的设备主体,例如,风扇、泵、驱动辊或材料加工机器。因此,轴14,特别是如果它具有导热芯98,可以将热量传导到从动机器,在该从动机器处,热量可以通过对流、传导或辐射而消散。

[0108] 定子冷却方法和装置

[0109] 定子32中的热量产生的主要来源是电磁铁38的金属芯44内的磁感应涡流和绕组42中的电阻损失。定子32中产生的热量可以通过最大化绕组42的线规来减少,以最大化槽填充且减少AC电阻损失。另外,矩形线可以用于绕组42以增加槽填充且减少电阻损失。如下面详细描述,通过由电绝缘叠片制造每个芯,可以使钢电磁体芯44内的磁感应涡流最小化。

[0110] 公开了几种用于冷却电机定子并消散机器热量的装置和方法。重要的是要注意,定子32,特别是在TENV机器中的定子32,完全封闭在机器壳体12内。因此,冷却定子32通常涉及在热量从电动机10消散前,将热量传递到其他电动机结构,例如壳体12或轴14。在某

些情况下,本文描述的定子冷却方法和装置与用于冷却电动机10的其他部分、转子16和/或壳体12的方法和装置结合使用。各种热管理方法和装置可以以任何方式组合、缩放或部分实施以实现期望的热管理和机器耐久性目标。

[0111] A. 电磁体结构

[0112] 如图10、图13和图14所示,代表性电机定子32包括围绕机器(例如电动机10)的轴线径向定位的多个电磁体38。如图14A、以及图14B的分解图最佳地示出,电磁体38包括磁性金属(典型地为钢合金)的芯44。通过由堆叠的相似或相同形状和相对较薄的叠片46制造芯44,可以减小磁感应涡流。图15中所示的特定叠片形状包括齿部100和轭段102。当多个叠片46被堆叠以形成电磁芯44时,齿部100直接或间接地支撑绕组42,而轭段102为定子32提供结构、通向定子32外部的热传递路径和附加的磁芯质量。

[0113] 有必要在相邻的叠片46之间提供电绝缘,以减少芯44中的磁感应涡流。因此,每个叠片46的相对平坦表面可以涂有漆、环氧树脂、塑料、绝缘漆、纸或其他介电层或涂层,以在堆叠多个叠片来制造电磁芯44时,在相邻叠片46之间提供电绝缘。传统的叠片绝缘方法倾向于使每个叠片热绝缘并限制在芯44内或在围绕的绕组42内产生的热量的流动。

[0114] 用于芯叠片46的磁性钢合金通常具有相对较低的导热率。可以通过涂覆或以其他方式将磁性钢叠片46与具有比磁性钢相对更高的热导率的材料相关联,来提高电磁芯44的热性能以及电机的热性能。例如,部分或全部钢叠片46的外表面可以涂覆、电镀、沉积或以其他方式与相对薄的金属(例如镍、镍银、铜、铝、石墨烯、或具有比钢叠片内部更高导热率的其他金属)传递层104相关联。电绝缘层106可以被添加在热传递层104上,以当叠片46被堆叠成可操作配置时,使涡流最小化。在某些实施例中,如果所选择的材料是介电材料并且具有比用于叠片的磁性钢更高的导热性,则一个层既可以用作绝缘体又可以用作热传递层。例如,各种氧化石墨烯可以用作同时提供增强的热传递和电绝缘的单层。

[0115] 在图15A中示出了具有比单绝缘钢叠片更高的导热率的分层叠片结构的一个示例。在这个实施例中,首先,钢叠片46被涂敷有热传递层104,所述热传递层104具有比下层叠片46的钢更高的导热率。然后,所述热传递层104可以被涂敷有电介质绝缘层106或以其他方式与电介质绝缘层106相关联。

[0116] 可选地,如图15B所示,叠片46的仅一个平坦表面可以涂敷有介电绝缘层106或以其他方式以介电绝缘层106来绝缘。所述叠片46的相对平坦表面可以被涂覆、接触到、接合到、电镀有或者或以其他方式与金属的热传递层104相关联,所述金属的热传递层被选为促进将热量传递远离所述电磁芯44。如果芯44由以这种方式制备的多个叠片46制造,则热传递层104不需要提供电绝缘,因为如图15B所示,如果每个叠片以相同的方式取向,则直接相邻的叠片46的介电绝缘层106将两个叠片彼此电绝缘。

[0117] 热传递层104可以是,例如,具有比沉积在叠片46上的钢高得多的热导率的金属。具有比钢高的热导率的代表性金属包括但不限于铜、镍、金、银、或铝。其他材料,例如石墨烯或石墨氧化物,可作为热传递层104沉积在叠片46上。可以使用上述材料的组合。例如,如图15C所示,芯44可以用一组内部钢叠片46制成,该叠片46具有沉积或以其他方式与钢叠片46的一个表面相关联的电介质涂层106,该钢叠片46在相对表面上涂有金属104a,例如镍银,随后用石墨烯层104b涂覆。当这种模式在整个组重复时,每个叠片46与相邻叠片绝缘,然而每个叠片也与一个或多个热传导层104接触,以提供来自芯44的热输出。

[0118] 形成电磁芯44的堆叠的叠片46必须在组装和运行期间保持在一起并与绕组42绝缘。传统的电磁芯通常通过胶、漆、螺钉、螺栓、销钉、波纹表面、其他紧固件、焊接接头或其他装置保持在一起。绝缘可以由胶或漆、补充结构(如胶带或纸)、或者仅用绕组绝缘来提供。所公开的实施例可以用前述组装和绝缘技术中的任何一种来实现。可选地,如图14所示,叠片46组和任何叠片涂层104、106可以紧密地压缩在一起,以形成具有优良热性能的芯44,其中电介质线圈架108围绕着芯44中的每个叠片46的齿部100中的顶部、底部、和侧部。电介质线圈架108可以通过例如由塑料、尼龙或类似材料的注射成型来制造。将线圈架108用作将叠片面压缩在一起的装置,促进了热传递层104的使用,其可能通过使用替代的叠片附接方法而受到损害,所述替代的叠片附接方法包括但不限于每个叠片面之间的胶或漆、穿过相邻叠片的螺栓或螺钉、沿叠片组的一侧或多侧定位的焊接接头、叠片之间的机械压接连接、凹口或其他固定方法。

[0119] 具体地,线圈架108确保横跨电磁芯44中的每个叠片46的齿部100上恒定的、均匀地分布的压力。均匀分布的压力使叠片46或层104、106之间的间隙最小化,并且因此促进将热量从每个叠片46传递到任何相关的热传递层104。此外,使用线圈架108将叠片46和相关的层104、106压缩成芯44,避免了螺栓、螺钉、波纹、焊接或其他机械紧固件造成一个或多个叠片46之间短路,且因此损害芯44的电磁特性的可能性。在某些实施例中,线圈架108是将相邻叠片保持在一起的唯一结构。

[0120] 同样如图14所示,线圈架108支撑绕组42。绕组42的某些部分延伸穿过相邻电磁芯44之间的槽。绕组42的其他部分是桥接相邻槽的端匝109,穿过每个电磁芯44。

[0121] 如图14所示,每个叠片的轭段102可以分别形成为相对的公燕尾榫和母燕尾榫、舌部和凹槽、或其他配合结构110和112。因此,如图13中最佳地示出,当一组电磁体38组装到定子中时,相邻的公母舌部110和凹槽112结构为定子32提供机械支撑。此外,每个齿部100的锥形形状,线圈架108和绕组42形成集中绕组线圈,该绕组线圈渐缩成槽的形状,从而提供高的槽填充。高的槽填充导致电阻的降低,并且从而降低损耗并减少热量产生。

[0122] B. 定子/壳体接触面

[0123] 多个轭段102的堆叠的、面朝外的表面限定了定子32的外表面114。如图13所示,定子外表面114紧密配合在壳体12的周边部分54内。特别地,如果热传递层104设置在如上所述的叠片46上或在叠片46之间,热量可以在每个芯44内流动到定子外表面114。通过在定子外表面114和壳体12的周边部分54的内表面116之间提供导热润滑剂,可以促进从定子外表面114到壳体12的周边部分54,以及随后到外部环境的热量传递。代表性的导热润滑剂包括但不限于热脂、石墨烯或氮化硼粉末。

[0124] 通过将定子32小心地连接到壳体12上,还可以进一步提高整机的鲁棒性和热性能。例如,如图12、图13和图16所示,端板56、58中的一个或多个端板可以在端板56、58上限定唇部和肩部结构,该唇部和肩部结构接触轭段102。唇部/肩部结构120接合每个电磁芯44的轭段102,稍微偏离端板56、58的平衡。因此,唇部/肩部结构120在端板中产生了为绕组42的端匝109提供间隙的凹座。唇部/肩部结构120的高度(在图16中标记为h)可以被选择成减小从端匝109到端板56、58的距离,从而促进热传递。如下面详细描述,剩余的间隙可以用导热密封剂或其他结构或材料填充以促进热传递。另外,可根据需要增加唇部/肩部结构120的高度h,以最小化在端板56、58中的任何磁滥用电流的形成。

[0125] 可以通过在外表面114处或在外表面114中向选定的电磁芯44提供接合结构122, 来增强附加的机器鲁棒性。壳体12可包括与接合结构122相对的配合接合结构124。接合结构122和124可以是配置成使定子32的外表面114与壳体12的内表面116机械地配合, 并且因此防止定子32在负载下的旋转或其他运动的任何形状或尺寸。图13所示的接合结构122、124的具体实施例包括形成在电磁芯44中的圆形槽和形成在壳体12的周边部分54中的对应圆形槽。每个槽可以与销接合以使定子32与壳体12接触。通过将定子32的外表面紧密地装配到壳体12的内表面116上以提供额外的鲁棒性, 以提高壳体的硬度且保护电磁体38免受冲击、振动、或其他力的影响。

[0126] C. 定子密封剂和稳定性

[0127] 来自定子32的一些部分或其他机器结构的附加的热传递以及增强的定子鲁棒性可以设置有导热定子密封剂、热传输结构、或封装材料。例如, 某些实施例可以包括封装多个定子结构的导热定子密封剂96。在图11的特定实施例中, 导热定子密封剂96包封除了定子外表面114和面向气隙的部分或全部磁芯44的内表面126以外的整个电磁体组件38。此外, 导热定子密封剂96直接接触一个或两个壳体端板56、58或其他壳体结构, 从而提供从定子32到壳体12的直接热通路。

[0128] 可选结构可以用来代替全部或部分定子封装或与全部或部分定子封装结合。这些可选结构在本公开的范围内。例如, 可以通过将单独热接触结构, 例如导热、可压缩的或适合的固体材料, 放置为接触定子32的一些部分以及壳体12, 或放置在定子密封剂96的一部分和壳体12之间, 来提供来自定子的热传递。热接触结构可以基本上是实心的、或者具有蜂窝结构、波形垫圈结构等。热接触结构可由导热毡、泡沫、金属、涂覆金属、适形环氧树脂、复合材料, 例如具有氧化铝填料的硅基垫, 或任何其他合适的导热化合物、材料或材料组合制成。

[0129] 在定子32和壳体12之间的间隙部分地或基本上被定子密封剂96填充的实施例中, 例如, 在定子密封剂96基本上填充壳体12的周边部分的实施例中, 提供了超过热管理的结构益处。在定子密封剂96中的电磁体38封装物理地防止电磁体38被水分或颗粒物污染。这种污染会导致绝缘老化并最终导致相邻导线之间的短路。此外, 介电密封剂96提供了对导线绝缘中的制造缺陷的增强保护。因此, 密封剂96可以提供对线对线短路的冗余保护, 补充绕组42上的绝缘。在某些实施例中, 密封剂96还封装线圈相电连接, 这为相间短路和导线或电气连接处产生的缺陷提供额外的保护。

[0130] 密封剂96还减小定子32内的导线振动。振动会降低绕组42的完整性和寿命。因此, 定子密封剂96提供增强的热管理和增强的机器鲁棒性。包括但不限于一个或多个热量和振动传感器的各种传感器85可以嵌入到定子密封剂96中, 使得任何热量累积的增加或定子或转子振动的增加都可以被检测到。传感器85可以是有线的、无线的、物联网(IoT)或其他各种各样的监控传感器或其他适合类型的传感器。通过一个或多个传感器监控电机运行情况, 以允许远程检测机器性能的任何恶化情况, 并允许采取预防措施。

[0131] 在一个实施例中, 如下所述, 定子密封剂96包括围绕整个定子结构并接触壳体的相对刚性的外部部分。然而, 如图10所示, 在相邻的电磁体38的绕组42之间存在相对较小的空间, 因此用相对流体的内部灌封材料灌封定子32的内部部分是有利的。如下面详细描述, 具有任何合适稠度的任何类型的定子密封剂96可以被处理为具有增强的导热率, 从

而促进从定子32向壳体12的热输出。

[0132] 如上所述,图1至图2和图8至图13的壳体包括围绕定子32的周边部分54。通过使定子密封剂96与端板 56和58中的一个端板或这两个端板物理接触,可以促进从定子32到壳体12的热传递。在图8的具体实施例中,定子密封剂96接触每个端板56和58的整个环形内表面。

[0133] 壳体12可以包括单独的周边部分54、单独的第一端板56以及单独的第二端板58,它们接合在一起以形成壳体12。然而,重要的是要注意,可以根据替代方法来形成壳体。例如,在替代实施例中,周边部分54 和一个端板56、58可以铸造、加工或以其他方式形成成为单个部件。因此,在一些实施例中,端板和周边部分可以是统一的结构。在这样的实施例中,定子密封剂96可以与统一壳体结构的端板区域直接或间接地接触。

[0134] 在图11所示的结构中,定子密封剂96和某些电磁芯44的内侧面126限定了面向气隙40的基本上圆柱形的定子内表面128,其中定子内表面128的每个端部均通过第一端板56和第二端板58的中心部分界定。共同地,端板和定子内表面128限定了闭合的圆柱形转子空腔60。在某些实施例中,电动机10包括位于任何定子结构和壳体之间的最小空隙,该最小空隙没有被定子密封剂96填充。

[0135] 因此,定子密封剂96连同与定子114的外表面和壳体116的周边部分的内表面接触的任何导热润滑剂一起,导致除了在气隙40处的定子内表面128以外,定子32潜在的所有表面都与壳体12的一个或多个部分直接热接触。

[0136] 定子密封剂96的导热率可以通过在密封剂基质内包含特定材料来增强。无论密封剂是基本刚性的外部密封剂还是相对流体的内部封装材料,都可以包括这些材料。例如,定子密封剂96可以是以液体状态施加的介电材料,以基本填充转子空腔60外部的所有空隙。在某些实施例中,作为液体施加的材料将完全或部分硬化成或多或少刚性的定子密封剂96。适合于热增强定子封装材料的代表性的介电材料包括但不限于氮化硼、碳化硅、二氧化硅、氧化铝、铝、铜、其他金属、其他金属氧化物、陶瓷、石墨烯等的悬浮颗粒。如果悬浮颗粒是球形的,具有径向取向的纤维或具有设计为有利于导热率的其他形状或取向,则密封剂96的导热率可以进一步提高。

[0137] 可选地,代替悬浮颗粒的使用或与悬浮颗粒的使用相结合,较大比例的结构可与定子密封剂96相关联以增强密封剂导热率。例如,具有比密封剂更高热导率的固体部分,例如金属或陶瓷环,可以被嵌入密封剂中以形成具有比密封剂自身更高的热导率的复合体。

[0138] 如上所述,面向转子的电磁芯面126和定子密封剂96的内表面暴露在气隙40处。这些结构与端板56、58一起限定了封闭的转子空腔60。从定子32到转子空腔60传递的热量尚未从机器输出。此外,机器转子16在转子空腔60内运行,将向该空间增加额外的热量。热量可以从转子空腔60通过壳体端板56、58传递到外部环境。通过制造或使其中一个端板56、58或这两个端板的中心区域与延伸到转子空腔60中的一个或多个热传递结构相接触,可以促进从转子空腔60到端板的热传递。

[0139] 例如,如图2、图8和图10至图13所示,每个端板56、58的中心部分可分别与热传递结构82、84热接触。热传递结构82和84的结构是热传递结构的多种类型或配置的代表性示例,所述热传递结构可以安装到端板 56、58、形成于端板56、58、或以其他方式热接触端板

56、58。在每种情况下，热传递结构82或84在一侧 接触端板并且在相反侧延伸到转子空腔60中。

[0140] 热传递结构82或84可以形成为具有多个销、鳍、销/鳍86的组合或设计成增加表面积并促进热传递的其 他结构。销/鳍86远离端板56、58延伸并进入转子空腔60中。热传递结构82或84的内表面也可以被粗糙化，以增加表面积或者例如用黑色阳极氧化处理以促进热传递。另外，热传递结构82或84可以由具有高导热率 的例如铜或铝的材料制成。热传递结构82或84可以使用导热膏或促进有效热传递的其他方法接合到端板 56、58或其他壳体结构。示出的每个热传递结构82、84基本上是环形的，然而其他形状和构造也在本公开 的范围内。

[0141] 从壳体输出热量

[0142] 通过在壳体设置支脚18或其他结构来促进从壳体到建筑楼面、建筑墙体、安装支架、机械零件、或电 动机10安装所处的其他外部结构的热传递，从而可以增强从壳体12到外部环境的热输出。可以通过由具有 高导热率的材料，例如铝、铜、热传导性复合材料等，制造支脚，从而增强通过支脚18的热输出。另外，支脚18与外部结构之间的界面130可以与材料接触或涂覆有材料，以增强从支脚18到外部结构的热能的传 导。例如，界面130可以涂覆有导热膏或具有比支脚18更高导热率的其他材料，例如铜。

[0143] 通过在壳体12的外部设置鳍、销或其他热传递结构，可以促进从壳体输出额外的热量。壳体12的一些 部分可以粗糙化以增加表面积或者例如用黑色阳极氧化或导热涂料进行处理，以促进热传递。另外，壳体 12可以由具有相对高导热率的材料，例如铝，制成。

[0144] 通过轴从定子输出热量

[0145] 如上所述，用于将热量从转子16传递出的一个路径利用轴14。此外，从定子32传导到壳体端板54、56， 或其他电机结构的热量可以传导到轴14。通过在轴14上设置由具有相对高导热率的材料，例如铝或铜，制 成的导热芯98、或其他轴结构，可以增强通过轴14的热输出。轴14连接到正在驱动的装置的主体，例如风 扇、泵、驱动辊、或材料加工机。因此，特别是如果轴14具有导热芯94，则轴14可以将热量传导到从动装 置，在该从动装置中热量可以通过对流、传导、或辐射而消散。

[0146] 此外，轴14由支承在轴承凸缘28、30中的轴承24、26支撑。通过实施轴承24、26和/ 或带有具有相对高 导热率的材料(例如铜或铝)的轴承凸缘28、30中的一个或多个中的部分，可以促进从壳体12到轴14的热 传递。在一个具体实施例中，轴承24、26包括由铜制成的轴承密封件132、134以促进从壳体12到轴14的热 传递。轴承凸缘28、30也可以由铜或具有相对高的热透射率的其他材料制成。另外，导热芯98可以在轴14 接触轴承24和/或26或轴 承密封件132、134的区域中横向延伸到轴表面或靠近轴表面。

[0147] 在某些实施例中，壳体54的周边部分、第一端板56以及第二端板58可以共同制造、 焊接在一起或以其 他方式制造以防止进入壳体。因此，轴承凸缘28、30或其他壳体结构可以支撑应用于轴承24、26的轴承衬 套，轴承衬套可以从壳体外部更换。因此，与电动机10的其他运动部件相比，承受加速的机械磨损的轴承 24、26可以在不进入壳体12的内部的情况下被更换，因此提高了整机鲁棒性。

[0148] 方法

[0149] 可选实施例包括但不限于冷却电机转子的方法、冷却电机定子的方法、冷却电机

的方法、制造电机或电机部件的方法、稳定电机的方法,以及制造用于电机的电磁体的方法。完全基于本文公开的装置的各种方法对于本领域技术人员将是显而易见的。

[0150] 代表性的方法包括冷却转子16或冷却具有转子16和定子32的电动机10的方法。该方法包括使转子16相对于定子32旋转,以驱动内部风扇70。内部风扇70使流体,例如空气或空气和油的混合物,在邻近转子16的第二腔室68和第一空腔64之间的流体通路74中流通以冷却转子16。传递到流体通路74的热量可以随后被传递到机器壳体12,并且然后从机器10传递出。

[0151] 另一代表性实施例是通过放置定子密封剂96与定子32和机器壳体区域12(例如第一端板56或第二端板58)热接触来冷却定子32或电动机10的方法。可以通过将添加剂与密封剂96混合以提高热导率,来增强定子密封剂96的导热率。因此,定子32中产生的热量可以从定子32通过密封剂96传导到壳体12。

[0152] 另一代表性实施例是制造定子32或具有带有电磁芯44的多个电磁体38的电动机10的方法。多个电磁芯44可以形成为包括限定齿部100和轭段的一组叠片46。每个轭段还可以限定舌状结构110和相对的槽结构112。通过将每个电磁体38的舌状结构110和槽结构112与相邻电磁体38的相应的舌状结构110和槽结构112相配合,电磁体38可以组装到定子32中。因此,在电磁体组装之后,可以用导热密封剂96封装定子32。

[0153] 另一代表性的实施例是稳定电动机10的方法。该方法包括稳定具有与相邻的永久磁体34相接触的导热电介质转子密封剂90的转子16,并且稳定具有与相邻电磁体38相接触的导热电介质定子密封剂96的定子32。

[0154] 在不偏离本发明的范围的情况下,可以对所讨论的实施例进行各种修改和添加。例如,虽然上述实施例涉及特定特征,但是本发明的范围还包括具有不同特征组合的实施例和不包括所有上述特征的实施例。

[0155] 此外,虽然为了描述的方便而以特定顺序描述了本文中所描述的方法和步骤的过程,但除非上下文另有指示,否则根据各种实施例可以对各种过程进行重新排序、添加和/或省略。此外,关于一种方法或步骤描述的过程可以并入其他所描述的方法或步骤中;同样地,根据特定结构体系构架和/或关于一个系统的描述的系统部件可以组织在替代结构体系构架中和/或并入其他所描述的系统内。因此,虽然为了便于描述而描述了具有或不具有特定特征的各种实施例,并且以说明这些实施例的示例性方面,本文所描述的关于特定实施例的各种部件和/或特征可以被替换、添加和/或从其他所描述的实施例中减去,除非上下问另有指示。因此,尽管以上描述了几个示例性实施例,但应该理解的是,本发明旨在涵盖在所附权利要求的范围内的所有修改和等同物。

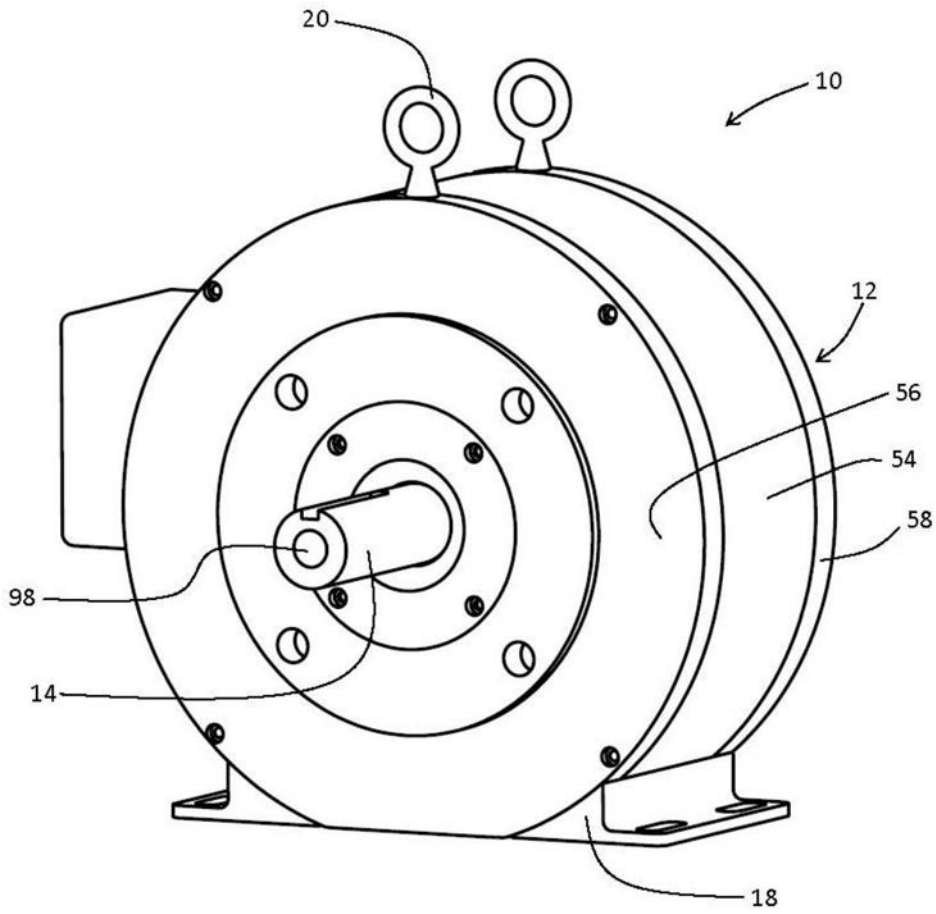


图1

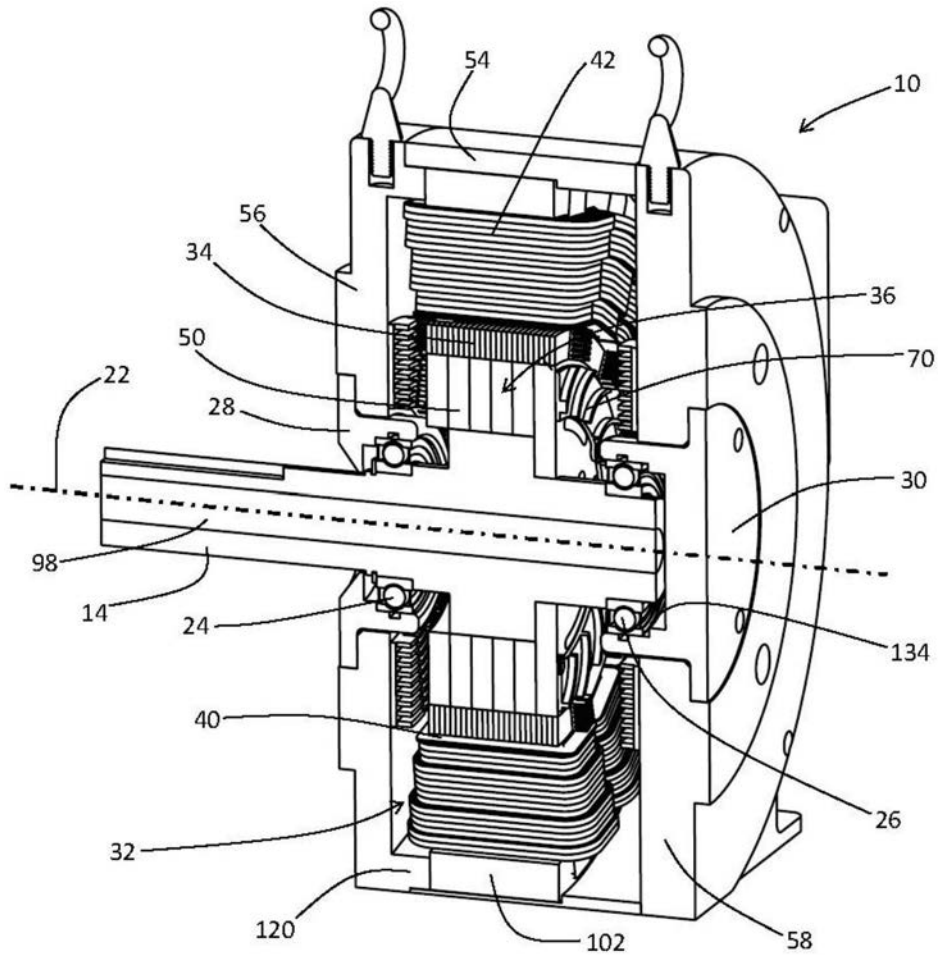


图2

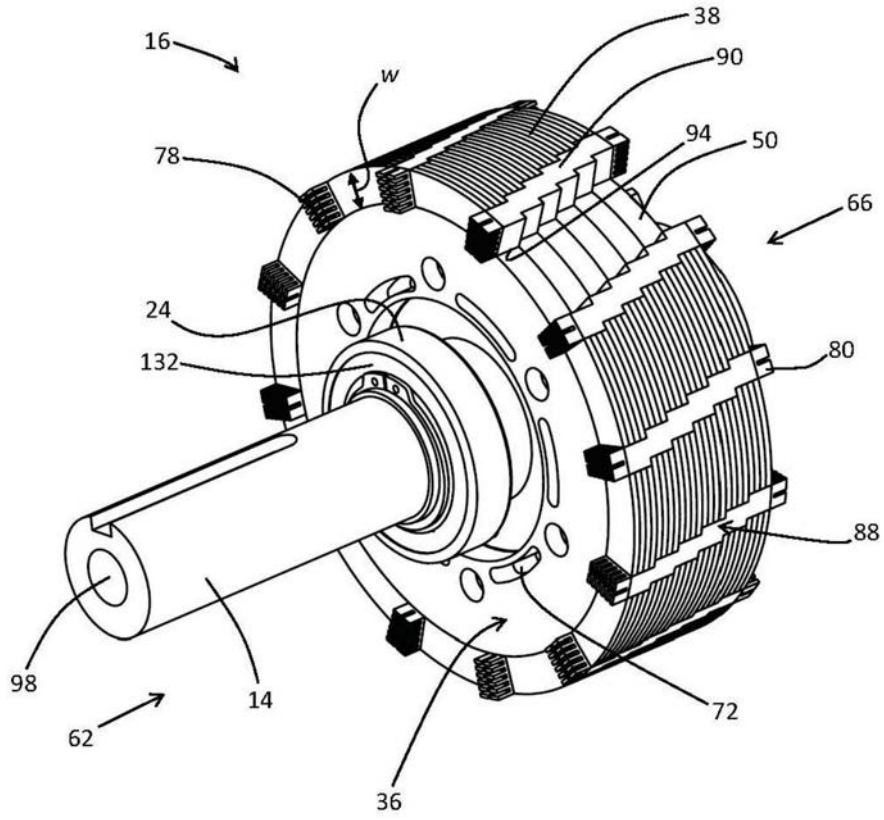


图3

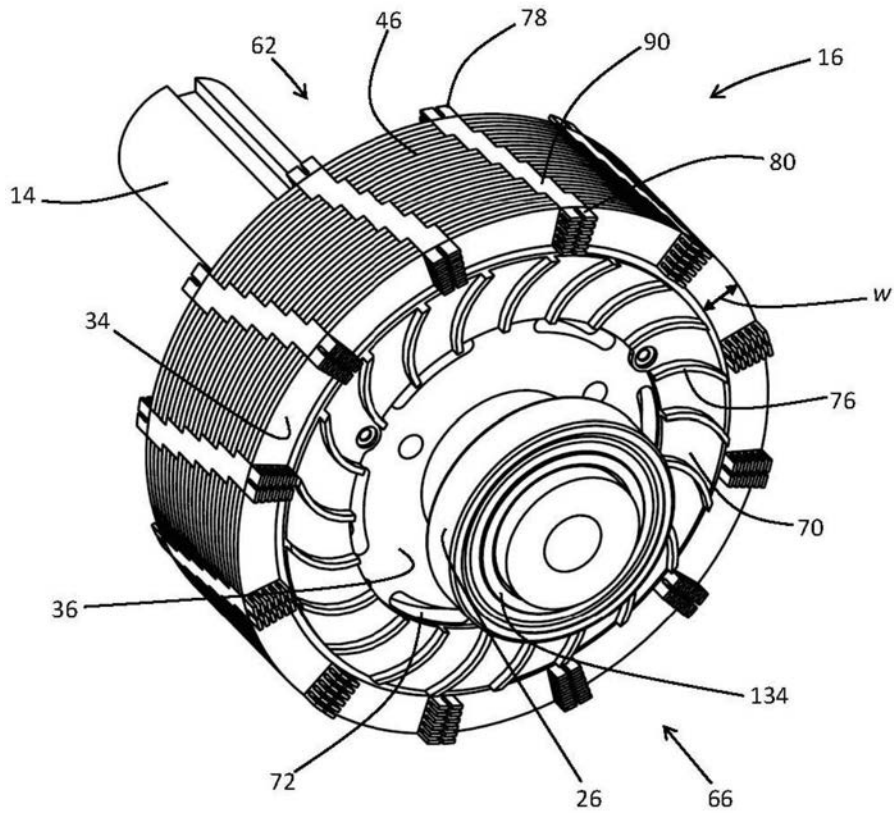


图4

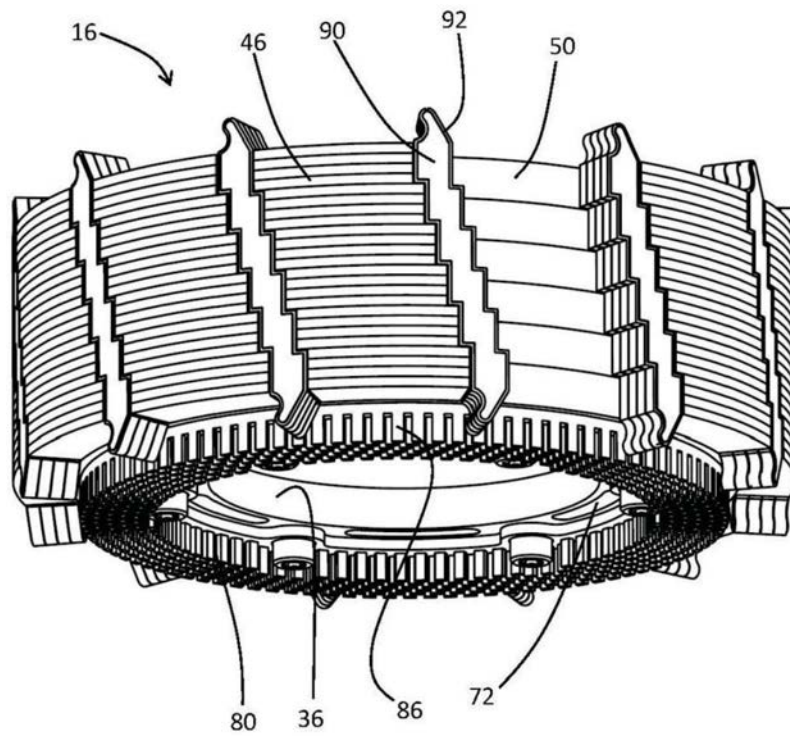


图5

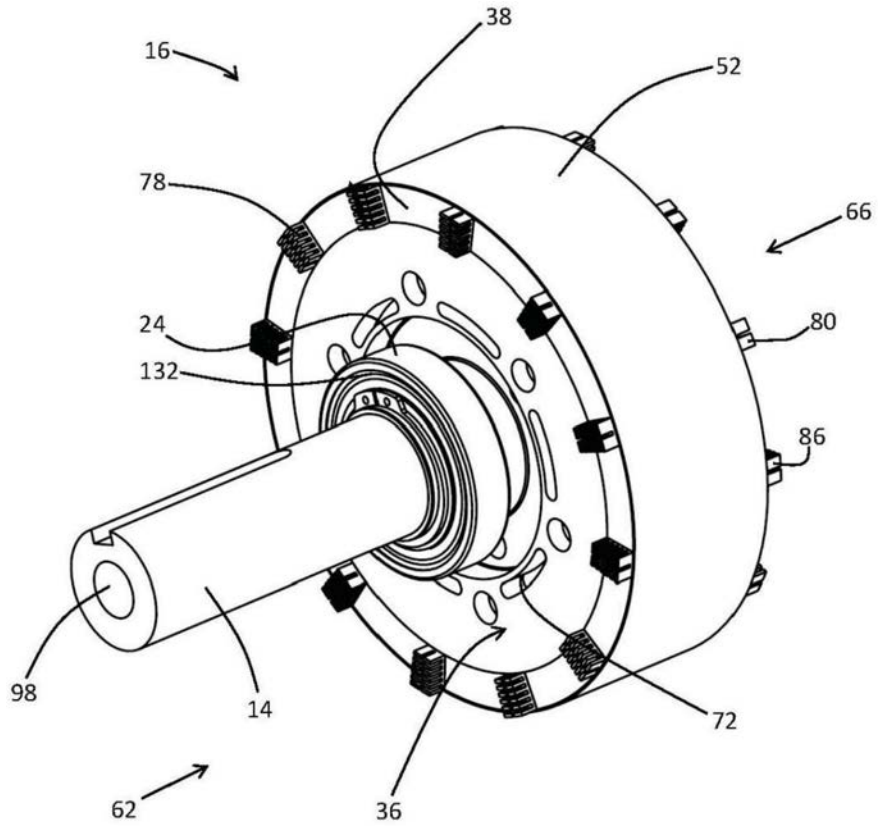


图6

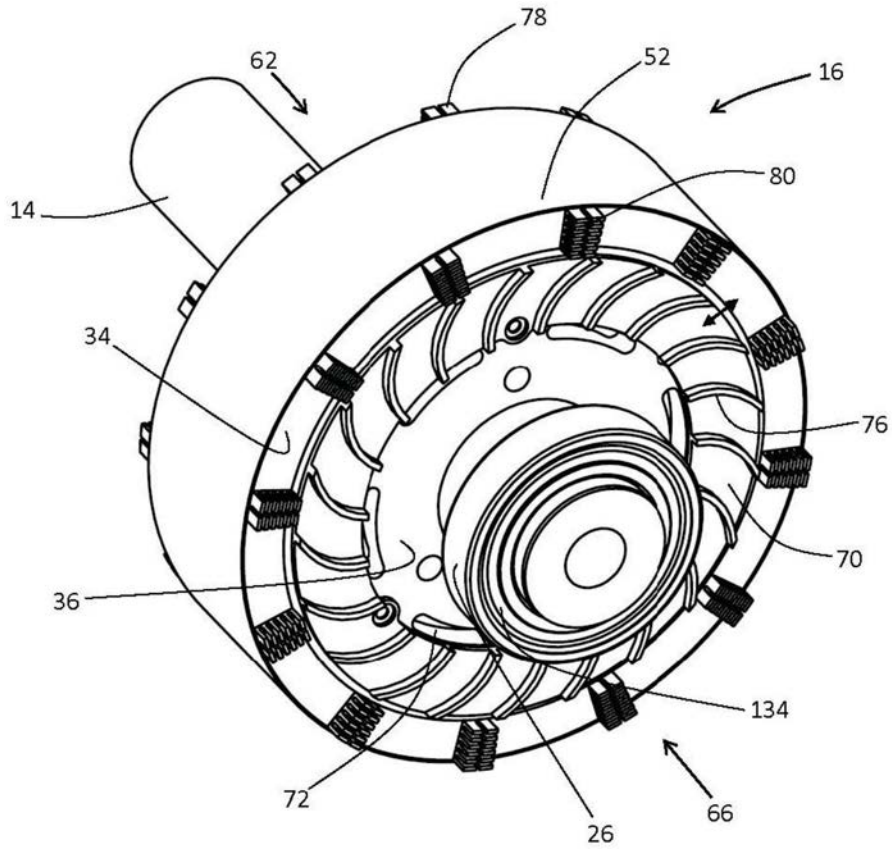


图7

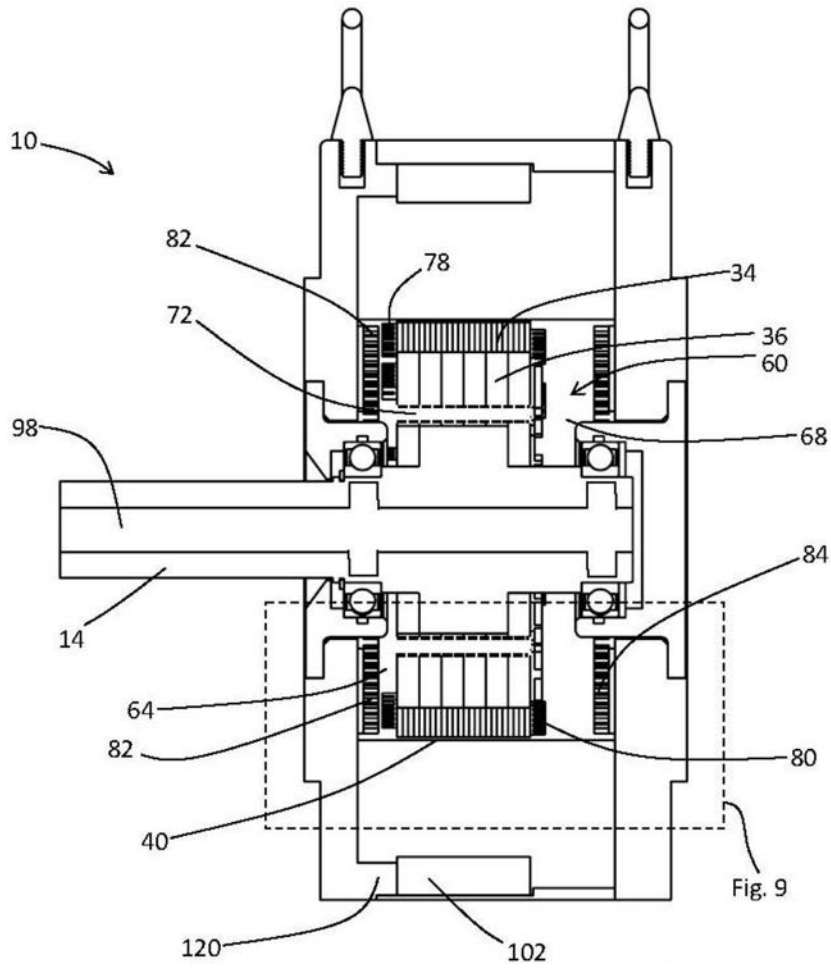


图8

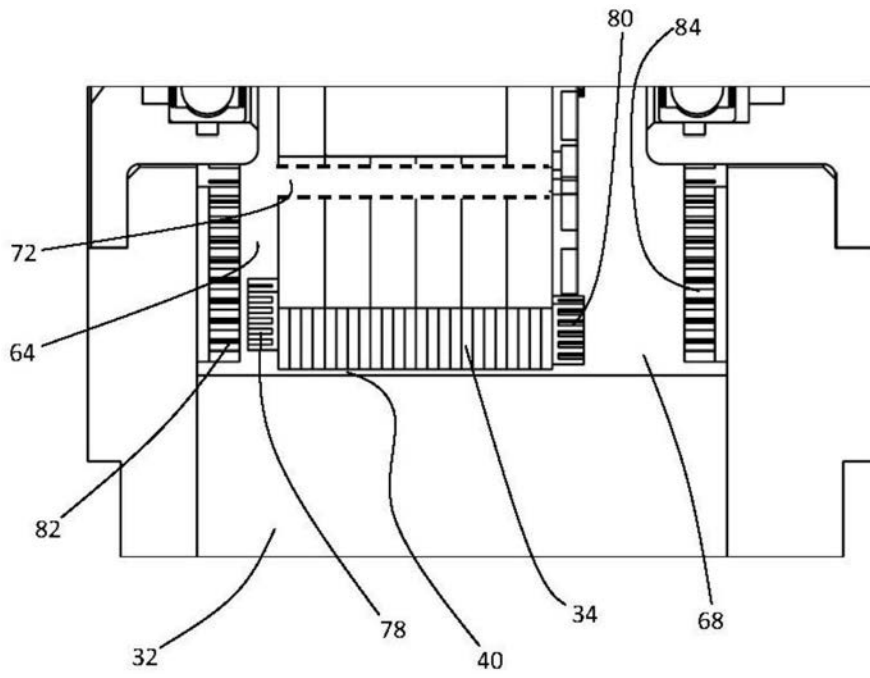


图9

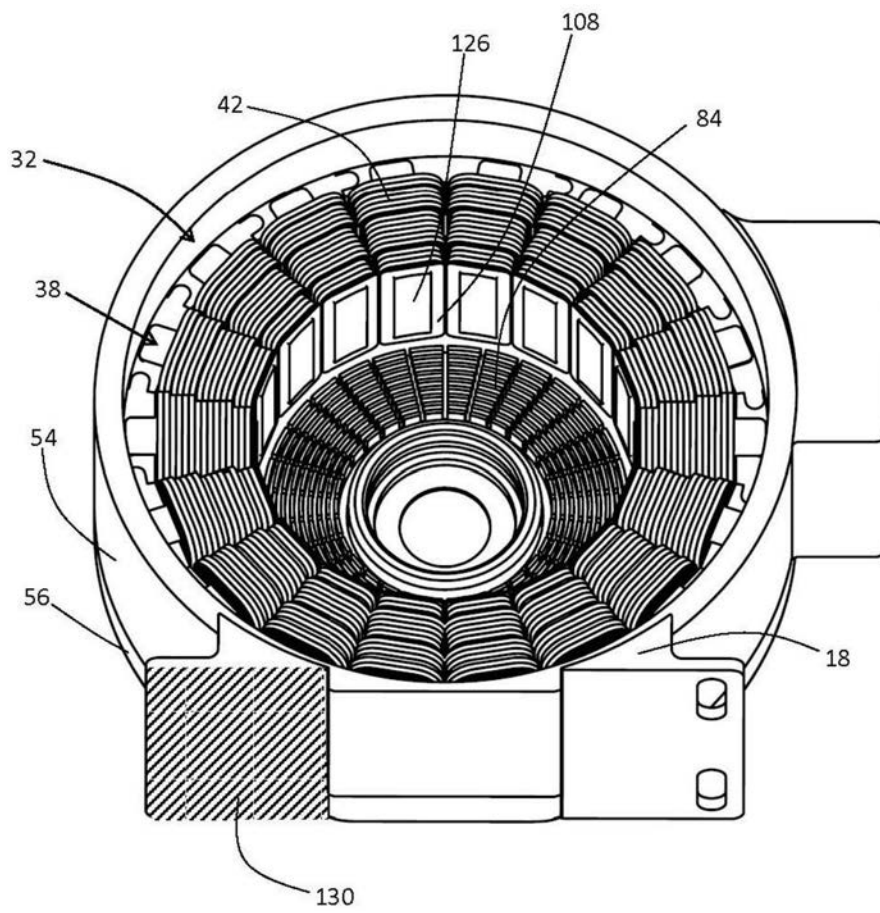


图10

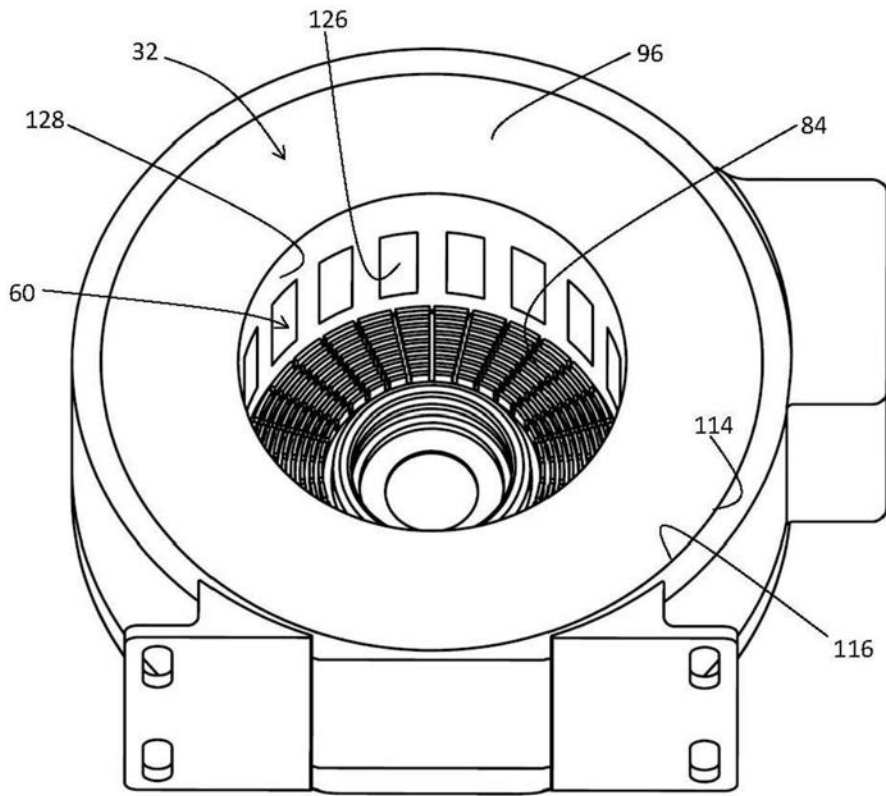


图11

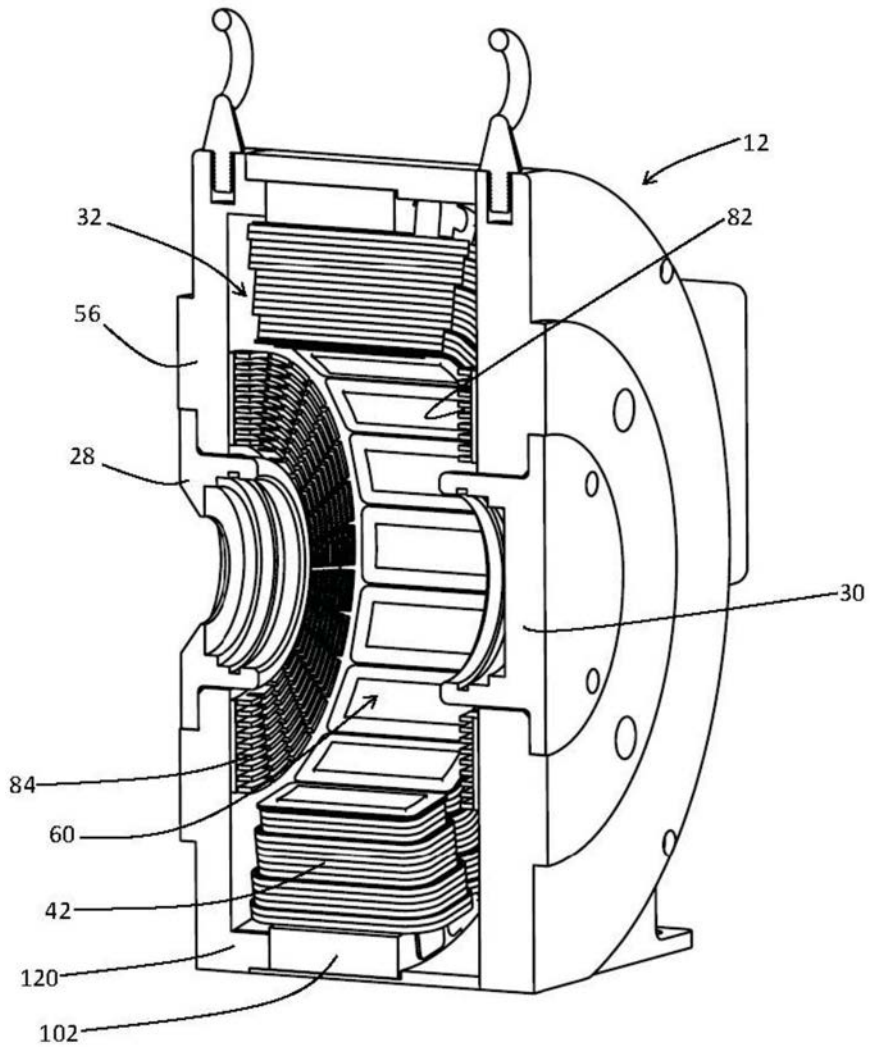


图12

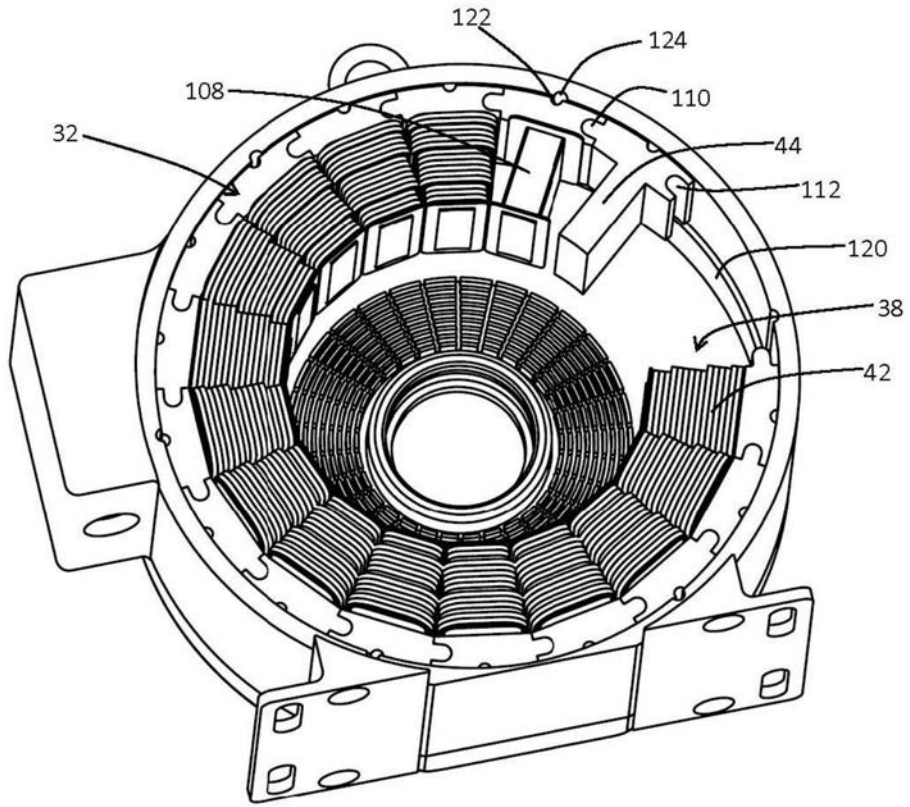


图13

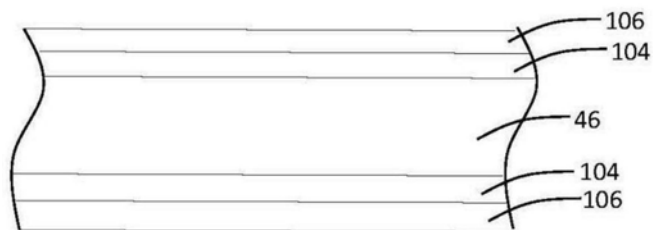
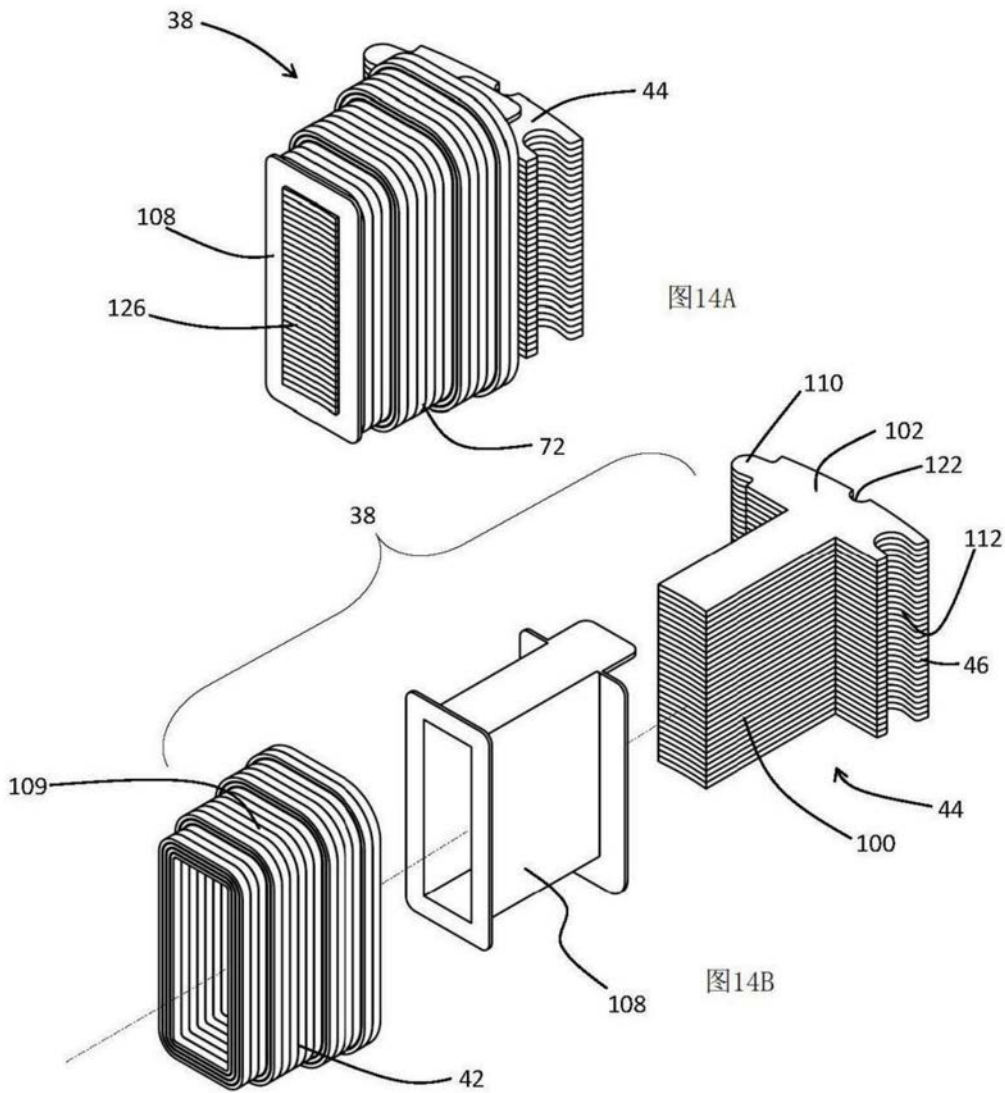


图15A

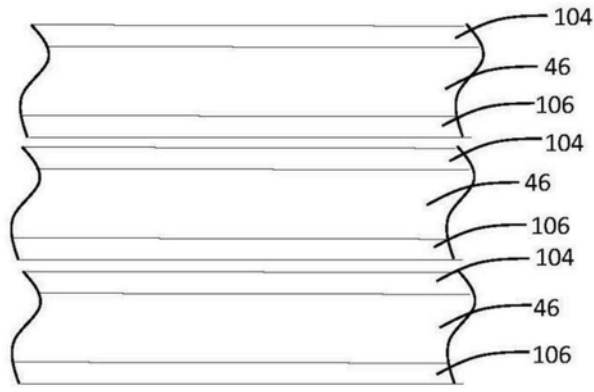


图15B

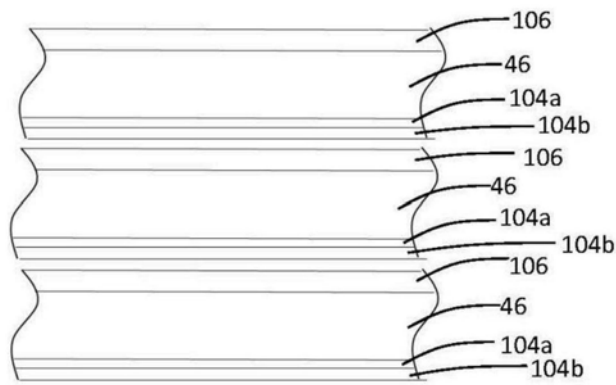


图15C

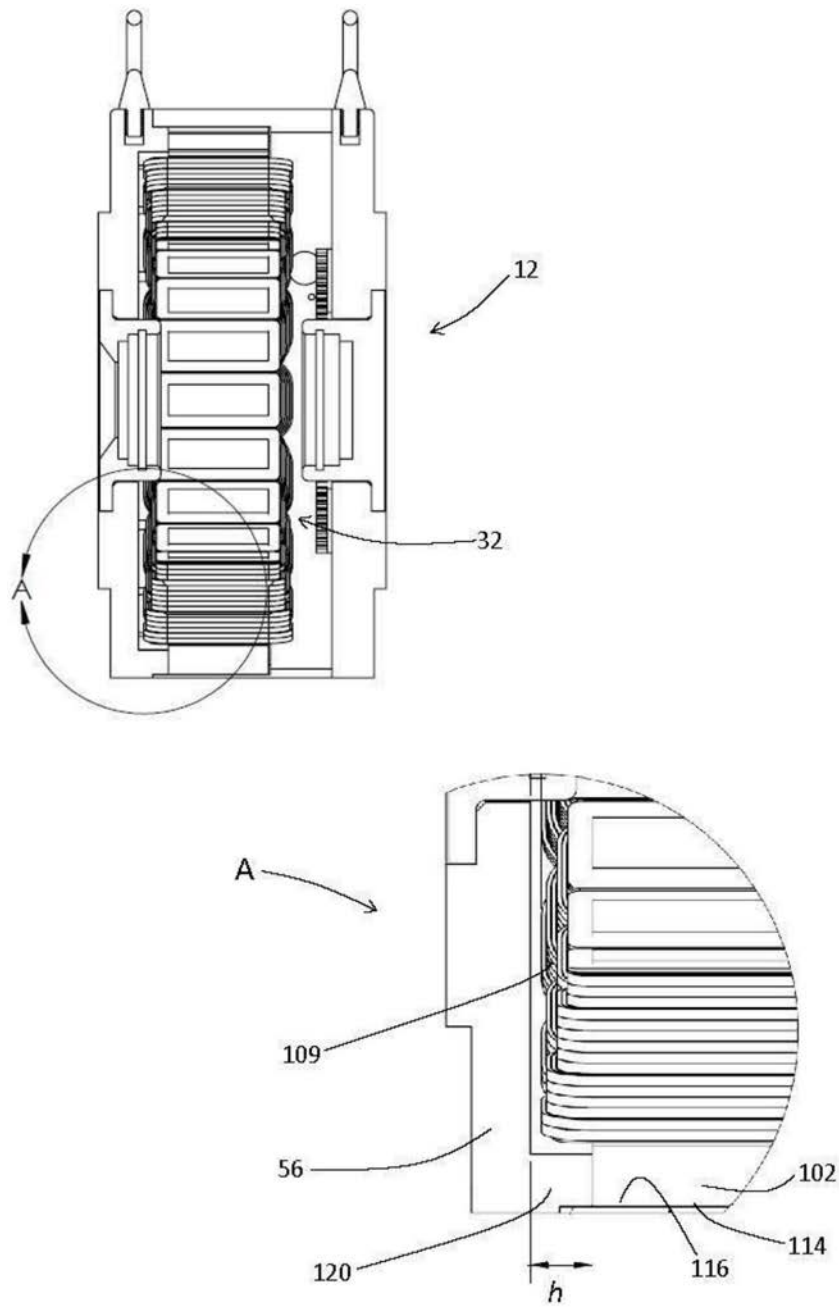


图16