



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119585984 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 07

(21) 申请号 202280098371.0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.07.22

H02K 3/47 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2025.01.20

H02K 55/04 (2006.01)

H02K 7/18 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2022/038027 2022.07.22

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02024/019737 EN 2024.01.25

(71) 申请人 通用电气可再生能源西班牙有限公司

地址 西班牙巴塞罗那

(72) 发明人 J·M·富加蒂 C·M·赫伯特

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 金飞 王磊

权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54) 发明名称

用于超导机器的纤维增强复合电枢绕组支撑结构

(57) 摘要

一种旋转机器包括励磁绕组组件和具有多个绕组模块的电枢绕组组件。多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构。电枢绕组支撑结构包括主体和限定在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口。多个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集。电枢绕组支撑结构进一步包括布置在主体内的多个支撑杆和固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

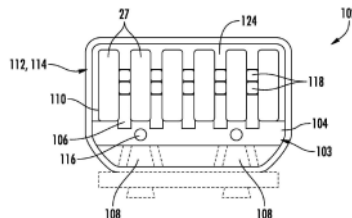


图 5

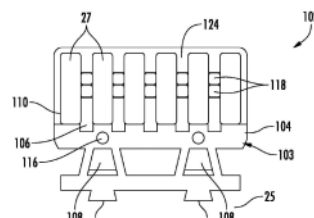


图 6

1. 一种旋转机器,包括:  
励磁绕组组件;  
电枢绕组组件,其包括多个绕组模块,所述多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构,所述至少一个电枢绕组支撑结构包括:  
主体;  
限定在从所述主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口,所述多个槽口在其中接收并支撑所述多个导电线圈的子集;  
布置在所述主体内的多个支撑杆;以及  
固定在所述多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。
2. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述主体由一个或多个磁性叠层构成。
3. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述多个支撑杆由金属或金属合金构成,所述多个支撑杆中的一个或多个延伸所述多个绕组模块中的一个的整个轴向长度,以便将作用在所述纤维增强复合结构上的力沿轴向传递到所述旋转机器的可旋转构件。
4. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述纤维增强复合结构包括一个或多个纤维增强复合带。
5. 根据权利要求4所述的旋转机器,其中,所述一个或多个纤维增强复合带由下者中的至少一个构成:玻璃纤维、合成纤维、聚合物纤维、木纤维、陶瓷纤维、金属纤维、碳纤维或它们的组合。
6. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述纤维增强复合结构缠绕在所述主体和所述多个导电线圈的所述子集周围并且在其上固化,以形成所述多个绕组模块中的一个。
7. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述多个绕组模块中的各个进一步包括一个或多个沿轴向延伸的螺柱,用于向相应的绕组模块提供压缩。
8. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述多个绕组模块中的各个进一步包括布置在所述多个导电线圈附近或内的一个或多个冷却通道。
9. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述相邻的齿包括布置在形成于所述主体中的多个凹部内的多个楔形齿。
10. 根据权利要求9所述的旋转机器,进一步包括线圈盖结构,所述线圈盖结构在所述纤维增强复合结构内部在所述多个导电线圈周围延伸。
11. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述多个绕组模块中的各个延伸所述电枢绕组组件的圆周的约10度至约20度。
12. 根据权利要求1所述的旋转机器,其中,所述励磁绕组组件和所述电枢绕组组件中的至少一个是具有超导线圈的超导绕组组件。
13. 一种电枢绕组组件,包括:  
多个绕组模块,所述多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构,所述至少一个电枢绕组支撑结构包括:  
主体;  
限定在从所述主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口,所述多个槽口在其中接收并支撑所述多个导电线圈的子集;  
布置在所述主体内的多个支撑杆;以及

固定在所述多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

14. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述主体由一个或多个磁性叠层构成。

15. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述多个支撑杆由金属或金属合金构成,所述多个支撑杆中的一个或多个延伸所述多个绕组模块中的一个的整个轴向长度,以便将作用在所述纤维增强复合结构上的力沿轴向传递到所述旋转机器的可旋转构件。

16. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述纤维增强复合结构包括一个或多个纤维增强复合带,其中所述一个或多个纤维增强复合带由下者中的至少一个构成:玻璃纤维、合成纤维、聚合物纤维、木纤维、陶瓷纤维、金属纤维、碳纤维或它们的组合。

17. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述纤维增强复合结构缠绕在所述主体和所述多个线圈的所述子集周围并且在其上固化,以形成所述多个绕组模块中的一个。

18. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述多个绕组模块中的各个进一步包括一个或多个沿轴向延伸的螺柱,用于为相应的绕组模块提供压缩。

19. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述相邻的齿包括布置在形成于所述主体中的多个凹部内的多个楔形齿,并且其中所述电枢绕组支撑结构进一步包括在所述纤维增强复合结构内部在所述多个线圈周围延伸的线圈盖结构。

20. 根据权利要求13所述的电枢绕组组件,其中,所述多个绕组模块中的各个延伸所述电枢绕组组件的圆周的约10度至约20度。

## 用于超导机器的纤维增强复合电枢绕组支撑结构

### 技术领域

[0001] 本公开大体上涉及超导机器,并且更具体地涉及用于超导机器的电枢绕组支撑结构。

### 背景技术

[0002] 作为一种对环境安全且相对廉价的替代能源,风力涡轮已受到越来越多的关注。随着这种日益增长的兴趣,人们已做出相当大的努力来开发可靠且高效的风力涡轮。大体上,风力涡轮包括经由转子毂联接到涡轮的主轴的多个转子叶片。转子毂位于管状塔或基座的顶部上。公用级风力涡轮(即,设计来向公用电网提供电功率的风力涡轮)可以具有大型转子(例如,直径为100米或更大)。转子叶片将风能转换成旋转扭矩或力,旋转扭矩或力驱动旋转地联接到转子的发电机。

[0003] 正在探索将低电抗机器(例如,超导发电机)用于风力涡轮设施中,特别是离岸设施中。在这种机器中,低电抗是气隙绕组(在下面讨论)的自然结果,气隙绕组在异常事件(诸如绕组或连接到绕组的设备上发生电气故障)期间会在电枢绕组中产生更高的力和扭矩。必须管理这些更高的力和扭矩,使得不发生绕组导体的破坏性运动。这些机器使用超导励磁绕组和电枢线圈组件、冷却系统和设置在电枢中的线圈之间的非磁性齿。在特定设计中,超导发电机包括电枢绕组组件,与常规机器(例如,常规的非超导发电机)配置不同,该电枢绕组组件在超导励磁组件内旋转,超导励磁组件包括低温恒温器,低温恒温器内有超导励磁线圈。

[0004] 此外,旋转电机(诸如马达和发电机)中的电枢绕组典型地将包括电枢绕组的导体嵌入铁结构(诸如磁芯)中,铁结构包含轴向槽口以接收导体。铁结构配置成增强电机的性能并为绕组提供机械支撑。在励磁绕组中采用超导线圈的电机中,超导线圈和电枢绕组之间的气隙中的磁场可能足够强,以使该磁芯的齿磁饱和。在那些情况下,通常会移除最靠近励磁线圈的磁芯的部分,仅留下环形环。然后将没有任何磁性材料的电枢绕组在环和励磁线圈之间的空间中附接到环形环。在这种情况下,绕组可以称为气隙绕组。

[0005] 在某些情况下,气隙绕组可能与某些问题相关联。例如,在转子上产生制动扭矩的磁力通常作用在包含电枢绕组的铁齿上。然而,在气隙绕组中,这些磁力作用在导体本身上。此外,没有齿意味着必须通过其他手段来实现线圈的支撑。设计和制造可靠的电枢绕组的潜在原理是最小化或消除组件中的空间,使得振动或运动(热膨胀除外)不会发生。如果有空间可用,导体最终将移动到该空间中。此外,移动导致磨损、产生更多空间和故障。

[0006] 特别地,电枢绕组中有可能导致绕组故障的多个运动源,包括热膨胀、正常振动和故障力。每次发电机改变其产生的功率时,都会施加热膨胀力。更高的功率输出对应于绕组中更大的电流、更大的损耗和更高的温度。该温度的升高导致绕组膨胀,最明显的是在轴向方向上。驱动该膨胀的热力是不可避免的,但可以准确计算,并且它们会在几秒到几分钟的时段内施加在绕组上。绕组的正常振动是由直接作用在导体上的磁力引起的,该磁力将比热力小一个数量级,但以电频率的两倍的频率发生。故障力不经常且出乎意料地发生。然

而,当故障力发生时,其幅度可能是热力的幅度的100倍,并且可能高到足以破坏电枢导体上的绝缘或使这些导体从其正常位置移开。

[0007] 鉴于上述情况,本领域正在不断寻求新的且改进的发电机,且更具体地说,用于超导发电机的电枢绕组支撑结构。

### 发明内容

[0008] 本发明的方面和优点将在下面的描述中部分阐述,或可以从描述中显而易见,或可以通过实践本发明而获知。

[0009] 在一个方面,本公开涉及一种旋转机器。旋转机器包括励磁绕组组件和具有多个绕组模块的电枢绕组组件。多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构。电枢绕组支撑结构包括主体和限定在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口。多个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集。电枢绕组支撑结构进一步包括布置在主体内的多个支撑杆和固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

[0010] 在另一方面,本公开涉及一种电枢绕组组件。电枢绕组组件包括多个绕组模块。多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构。电枢绕组支撑结构包括主体和限定在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口。多个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集。电枢绕组支撑结构进一步包括布置在主体内的多个支撑杆和固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

[0011] 参照以下描述和所附权利要求,本发明的这些和其他特征、方面和优点将变得被更好地理解。并入本说明书并构成其一部分的附图示出了本发明的实施例,并与描述一起用于解释本发明的原理。

### 附图说明

[0012] 针对本领域的普通技术人员,在说明书中阐述了本发明的完整且能够实现的公开,包括其最佳模式,说明书参考了附图,其中:

[0013] 图1示出了根据本公开的具有发电机的风力涡轮的一个实施例的透视图;

[0014] 图2示出了根据本公开的具有超导发电机的风力涡轮的机舱的一个实施例的内部透视图;

[0015] 图3示出了根据本发明的方面的发电机的侧视图;

[0016] 图4示出了根据本公开的发电机的电枢绕组组件的实施例的正视图;

[0017] 图5示出了根据本公开的用于发电机的电枢绕组组件的电枢绕组支撑结构的绕组模块的实施例的正视图;

[0018] 图6示出了根据本公开的用于发电机的电枢绕组组件的电枢绕组支撑结构的绕组模块的另一个实施例的正视图;

[0019] 图7示出了根据本公开的电枢绕组支撑结构的绕组模块的主体的实施例的正视图;

[0020] 图8示出了根据本公开的电枢绕组支撑结构的主体的另一个实施例的正视图;

[0021] 图9示出了根据本公开的用于发电机的电枢绕组组件的电枢绕组支撑结构的绕组模块的实施例的侧视图;

[0022] 图10示出了根据本公开的用于发电机的电枢绕组组件的电枢绕组支撑结构的绕组模块的实施例的正视图,特别地示出了作用在绕组模块上的径向力和切向力;

[0023] 图11示出了根据本公开的用于发电机的电枢绕组组件的电枢绕组支撑结构的绕组模块的另一个实施例的正视图,特别示出了作用在绕组模块上的径向力和切向力;以及

[0024] 图12示出了根据本公开的通过电枢绕组支撑结构的各种构件将径向力传递到发电机的旋转构件的实施例的简化视图。

[0025] 本说明书和附图中参考字符的重复使用旨在表示本发明的相同或类似的特征或元素。

### 具体实施方式

[0026] 现在将详细参考本发明的实施例,其一个或多个示例在附图中示出。各个示例都以解释本发明而非限制本发明的方式提供。事实上,对本领域技术人员将明显的是,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可以在本发明中做出各种修改和变型。例如,作为一个实施例的一部分示出或描述的特征可以与另一个实施例一起使用以产生又一个实施例。因此,本发明旨在涵盖在所附权利要求及其等效物范围内的此类修改和变型。

[0027] 除非本文另有规定,否则术语“联接”、“固定”、“附接到”等既指直接联接、固定或附接,也指通过一个或多个中间构件或特征间接联接、固定或附接。

[0028] 大体上,本公开涉及具有励磁绕组组件和电枢绕组组件的旋转机器,电枢绕组组件具有多个绕组模块。多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和多个电枢绕组支撑结构。电枢绕组支撑结构中的各个包括主体、在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间限定的多个槽口、布置在主体内的多个支撑杆以及固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。多个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集。

[0029] 因此,在一个实施例中,电枢绕组组件被布置成在可旋转构件的表面上产生例如交替的南北磁极。在一个实施例中,每对南北极(本文中称为绕组模块)可以包括典型地由薄铁叠层制成并由若干轴向压缩螺柱保持压缩的磁性铁芯。此外,绕组模块包括以产生南北磁效应的方式连接的一组导电线圈、在那些导电线圈周围的电绝缘、冷却通道和/或填料材料。此外,在一个实施例中,绕组模块可以包括线圈楔形齿、对于绕组的完整有效长度范围在线圈之间向内突出的非金属线圈盖结构以及用以容纳模块构件的纤维增强复合带。

[0030] 因此,本公开提供了现有技术中不存在的许多优点。例如,利用导电线圈、轴向楔块、冷却通道和/或全长径向齿的适当构造,可以消除绕组模块内将允许导电线圈运动的任何空间。此外,鉴于本公开的一些实施例与具有类似电气额定值的传统发电机相比可能非常大,因此必须预期大型结构的微小偏转,或组件尺寸的微小变化的累积(这可能导致绕组内的过大间隙)。作为示例,对于相同的功率和扭矩,发电机旋转得越慢,发电机就必须越大。作为示例,高速(例如,3600rpm)发电机典型地具有约0.3米至约1.2米的转子直径。任何东西都会具有过大的机械应力。因此,具有较低速度(诸如8rpm左右)的风力涡轮具有大约5-10米的发电机转子直径,比传统发电机大一个数量级。但是,仅放置在绕组组件的两个极周围的本公开的带更有效地限制了否则可能会累积的间隙。因此,在一个实施例中,放置在绕组模块的部分周围的带可以确保紧密的包装保持在原位,从而导致对电枢线圈的有效和可靠的支撑。此外,使用纤维增强复合带是成本有效的,并且制造绕组模块的过程可以自动

化以实现纤维增强复合带的均匀应用,以确保可靠的产品。

[0031] 在进一步实施例中,当发电机组装在风力涡轮顶部时,单独的绕组模块可以从旋转构件上移除以进行维修和/或更换。具体地,在一个实施例中,本公开涉及一种绕组模块,其中模块的全部内容(例如,铁叠层、导电线圈、冷却通道、非金属支撑等)都完全包含在该模块内。这种包含便于将绕组模块从旋转构件上移除,以便于维修和/或更换。

[0032] 参照附图,图1示出了风力涡轮10的透视图。如所提到的,本公开涉及一种发电机,尽管不限于这种用途,但其特别适合用于风力涡轮10。虽然图1描绘的是“陆上”(陆基)风力涡轮10设施,但应认识到,本发明不限于陆上风力涡轮,并且正好同样适用于“离岸”(水基)风力涡轮设施。

[0033] 尽管图中描绘了并在本文中描述了超导发电机,但应理解,本发明不限于超导发电机,并且适用于具有旋转构件的任何发电机配置。例如,发电机可以配置成使得电枢绕组组件围绕静止励磁组件旋转。在备选发电机配置中,励磁组件可以围绕固定电枢绕组组件旋转。在又一备选发电机配置中,发电机可以包括具有较便宜的永磁材料的旋转永磁体。

[0034] 仍参考图1,风力涡轮10包括从支撑表面14延伸的塔12、安装在塔12上的机舱16和联接到机舱16的转子18。转子18包括可旋转的毂20和联接到毂20并从毂20向外延伸的至少一个转子叶片22。例如,在示出的实施例中,转子18包括三个转子叶片22。然而,在备选实施例中,转子18可以包括多于或少于三个转子叶片22。各个转子叶片22可以围绕毂20间隔开,以方便使转子18旋转,从而能够将动能从风转换为可用的机械能,并且随后转换为电能。例如,毂20可以可旋转地联接到位于机舱16内的发电机(未显示),以允许产生电能。

[0035] 现在参考图2,示出了根据本公开的机舱16的实施例的内部透视图,机舱16中容纳有超导发电机23。此外,如显示的,支撑管40直接连接到毂20并支撑电枢绕组组件24。因此,电枢绕组组件24被视为发电机23的旋转构件,其具有呈导电线圈27(具有端匝28)的形式的旋转第一电磁构件配置,导电线圈27围绕具有第二电磁构件配置(诸如超导励磁绕组组件26)的静止励磁组件26旋转。

[0036] 静止励磁组件26包括超导线圈63,其可以是一组形成为跑道形状的导线。如本文所用,“跑道”形状大体上是指由长方形或正方形构成的二维形状,其在一对相对端处具有半圆形。因此,在某些实施例中,超导线圈63被限制为保持跑道形状。此外,如显示的,各个超导线圈63被支撑在壳71中的凹部/通道83中,壳71可以通过氦浴冷却至低温温度或通过低温工程领域已知的其他方法冷却。因此,壳71可以被支撑在固定到基管44的低温恒温器壳体56中。因此,如所示出的实施例所显示,安装件47可以将基管44支撑在机舱16内。

[0037] 仍参考图2,超导线圈63可以并排布置成在壳71周围延伸的环形阵列。例如,在一个实施例中,三十六(36)个线圈可以形成环形励磁绕组阵列,其用作发电机23的定子励磁绕组。此外,在一个实施例中,超导线圈63可以各自由(NbTi或其他超导)导线形成,导线以螺旋状缠绕在可以包括用于氦气的冷却导管的跑道形式周围。

[0038] 在附加实施例中,冷冻剂再冷凝器60、64可容纳在机舱16中,前提是再冷凝器60、64中的冷冻剂冷却液至少部分地升高到超导励磁绕组上方,以便给绕组提供冷冻剂的重力供给。备选地,再冷凝器60、64可安装在机舱16的顶部上。

[0039] 现在参考图3,示出了超导发电机23的实施例的横截面,其中环形旋转电枢绕组组件24(“电枢24”)径向地位于静止励磁组件26的内部。具体而言,如显示的,电枢24本质上是

内环形环配置(图4),其在静止励磁组件26内旋转。电枢24包括导电线圈27,例如线圈或条,其沿着电枢24的长度纵向布置,并在电枢24的内圆柱表面上。导电线圈27可在其相对端处通过导电端匝28相互连接。纵向导电线圈27之间的端匝连接28取决于其数量和布置,以及导电线圈27中产生的电相。电枢绕组的内圆柱表面与静止励磁组件26的外表面间隔开空气隙(例如约10-25毫米)。

[0040] 因此,在一个实施例中,电枢24可以配置成与具有旋转电磁构件配置(例如,导电线圈27和端匝28)的发电机转子25(图4)一起旋转,而静止励磁组件26可以构成具有静止电磁构件配置(超导线圈63(图2))的静止构件。

[0041] 大体上参考图3-8,电枢24包括圆柱形轭或主体30(本文中称为“主体”),其支撑导电线圈27。具体地,导电线圈27包含在槽口110(图5-6)中,槽口110限定在从主体30沿径向延伸的相邻的齿106之间。主体30和齿106可以是分层的层压结构。例如,在一个实施例中,主体30的分层结构可以包括用于通常认可的电磁目的的磁性钢片材(例如,约0.5毫米厚)。此外,在一个实施例中,齿106可以包括模制而形成该形状的玻璃纤维层或其他合适的非金属材料结构。主体30的内表面固定到随电枢24旋转的圆柱形壳体29。壳体29装配到支撑壳体29和电枢24的圆形盘34。

[0042] 圆形盘34固定到旋转圆柱形支撑管40上。在支撑管40的外表面上,滑环组件41设有用于发电机23产生的AC功率的各个相的触头。滑环41电联接到旋转电枢24的导电线圈27并与支撑管40一起旋转。例如碳刷(未显示)的静止连接将来自滑环41和电枢24的电传导到导线导体,导线导体延伸到电子功率转换器和升压变压器,然后下塔,并联接到功率公用电网、工厂或其他电功率负载。

[0043] 一对环形轴承42朝向支撑管40的相对端布置并且将支撑管40可旋转地支撑在静止基管44上,该静止基管44附接到安装件47,安装件47由机舱16的地板支撑。

[0044] 低温恒温器壳体56隔离超导线圈,使得它们可以冷却至接近绝对零度,例如冷却至10开尔文(K),且优选冷却至4K。为了冷却绕组,低温恒温器壳体56可以包括一个或多个绝缘导管58,以接收液氦(He)或其他类似的低温液体(称为冷冻剂)。常规的两级再冷凝器60安装在机舱16的上部区域中、机舱16的顶部上或塔12的顶部上以及励磁绕组上方,以使用重力进料提供冷冻剂,例如液氦。第二再冷凝器64经由导管66向低温恒温器壳体56的内热屏蔽件提供第二冷却液体,例如液氮或氖。

[0045] 现在参考图4-12,示出了根据本公开的方面的用于电枢绕组组件24的纤维增强复合电枢绕组支撑件100的实施例的各种构件。具体地,如图4中显示,示出了根据本公开的发电机23的电枢绕组组件24的实施例的正视图。更具体地,如显示的,发电机23包括支撑励磁绕组组件(诸如静止励磁组件26)的非旋转构件,以及可旋转构件(诸如其上安装有电枢绕组组件24的发电机转子25),可旋转构件定向为在发电机23运行期间相对于静止励磁组件26旋转。因此,在某些实施例中,例如,电枢绕组组件24固定地联接到发电机转子25,以便在发电机23运行期间与其一起旋转。

[0046] 如提到的,电枢绕组组件24包括多个导电线圈27。更具体地,如图4-6中显示,电枢绕组组件24具有多个绕组模块102。多个绕组模块102中的各个包括多个导电线圈27和至少一个电枢绕组支撑结构103。更具体地,如图4中显示,多个绕组模块102围绕可旋转构件(即,发电机转子25)沿周向布置。在某些实施例中,例如,多个绕组模块102中的各个可延伸

电枢绕组组件24的圆周的约10度至约20度,诸如约18度。

[0047] 特别参考图5和6,示出了绕组模块102中的一个的两个轴向横截面。为清楚起见,图5和6示出了具有六个导电线圈27的绕组模块102,然而,应理解,本文描述的绕组模块102可以包括任何合适数量的导电线圈27,诸如24个或更多。此外,图5示出了其中模块构件由如本文所描述的纤维增强复合带114包含而不附接到发电机转子25的横截面,而图6示出了其中绕组模块102例如经由燕尾连接128固定到发电机转子25的点处的不同横截面。

[0048] 如图5-8中大体显示,电枢绕组支撑结构103包括可由一个或多个铁叠层构成的主体104。此外,图5示出了具有带有第一铁叠层配置的主体104的绕组模块102的实施例的正视图,而图6示出了具有带有不同的第二铁叠层的主体104的绕组模块102的另一个实施例的正视图。具体地,图7中所示的主体104具有沿径向设置在主体104和发电机转子25之间的支撑结构126,而图8缺少支撑结构126并且用在由本文所描述的纤维增强复合带114缠绕的区域中。

[0049] 此外,如显示的,电枢绕组支撑结构103包括多个槽口110,这些槽口110限定在从主体104沿径向延伸的相邻的齿106之间。例如,如显示的,相邻的齿106可以包括多个楔形齿,这些楔形齿布置在形成于主体104中的多个凹部120(图7-8)内,以便为导电线圈27提供横向(切向)支撑。在这样的实施例中,如显示的,多个槽口110在其中接收并支撑多个导电线圈27的子集。

[0050] 此外,在一个实施例中,如图5-6和9-10中显示,各个绕组模块102可包括线圈盖结构124,该线圈盖结构124在纤维增强复合结构112内部在多个导电线圈27周围延伸。因此,在一个实施例中,导电线圈27可在齿106之间放置在主体104的外表面上。在另一个实施例中,线圈盖结构124可包括多个全长非金属线圈帽,其可插入导电线圈27的径向外部分上方和之间。因此,在一个实施例中,线圈盖结构124可由合适的材料模制或加工而成,其周边跨度为两个或更多个导电线圈27。因此,线圈帽可与楔形齿106区分开来,楔形齿106仅占据导电线圈27之间的单个空间。

[0051] 此外,如图5、9和10中显示,各个绕组模块102包括固定在多个绕组模块102中的各个周围的纤维增强复合结构112。例如,在一个实施例中,如显示的,纤维增强复合结构112可以包括一个或多个纤维增强复合带114,诸如多个纤维增强复合带114,如图9中显示。因此,如图9中显示,纤维增强复合带114可以缠绕在各个主体104和多个导电线圈27的子集周围,并在其上固化以形成绕组模块102中的一个。特别地,图9示出了绕组模块102中的一个的侧视图,其中若干有带部分与用于附接到发电机转子25的部分交错。这样,可以确定由纤维增强复合带114支撑的长度部分和附接到发电机25的长度部分,使得适当地考虑到所有机械力。

[0052] 在特定实施例中,纤维增强复合带114可以由例如玻璃纤维或碳纤维构成。在这样的实施例中,纤维增强复合带114不会阻止热力引起的轴向膨胀。相反,纤维增强复合带114可以不受约束地起作用并限制导电线圈27的径向和切向运动。因此,在一个实施例中,驱动该运动的力将是负载扭矩、正常操作振动和/或故障力。

[0053] 在附加实施例中,如显示的,各个绕组模块102包括布置在主体104内的多个支撑杆108。在这样的实施例中,支撑杆108可以由例如金属或金属合金构成。因此,在一个实施例中,支撑杆108可以包括位于绕组模块102的径向内部上的一组全长轴向部件(“键杆”),

以便将作用在模块102的有带部分上的力沿轴向传递到附接到发电机转子25的那些部分。

[0054] 在进一步实施例中,如图5-6和9-10中显示,电枢绕组支撑结构103还可以包括一个或多个沿轴向延伸的螺柱116,用于向相应的绕组模块102提供压缩。因此,如图7和8中显示,电枢绕组支撑结构103的主体104可以包括一个或多个通孔122,用于接收沿轴向延伸的螺柱116。

[0055] 此外,在一个实施例中,如图5-6和9-10中显示,各个绕组模块102可以进一步包括布置在各个导电线圈27之间的一个或多个冷却通道118。在这样的实施例中,冷却通道配置成从导电线圈27移除热量。

[0056] 特别参考图10和11,示出了分别施加在图5和6的绕组模块102上的切向力 $F_{\theta}$ 和径向力 $F_r$ 。这些力在绕组模块102的轴向有效长度上基本均匀,使得力施加在有带区段上以及无带区段上。因此,在一个实施例中,楔形齿106和非金属线圈盖结构124配置成将力从无带区段传递到相邻的有带区段。

[0057] 此外,并且参考图12,一组示例自由体图显示了本文所描述的绕组模块102上的径向力最终如何传递到发电机转子25。具体地,如显示的,各种箭头示出了导电线圈27、支撑杆108和绕组模块102中的一个的主体104之间的径向力。

[0058] 此外,本领域技术人员将认识到来自不同实施例的各种特征的可互换性。类似地,本领域的普通技术人员可以将所描述的各种方法步骤和特征以及各个此类方法和特征的其他已知等效物混合和匹配,以根据本公开的原理构建附加系统和技术。当然,应当理解,不一定所有上面描述的此类目的或优点都可以根据任何特定实施例实现。因此,例如,本领域技术人员将认识到,本文描述的系统和技术可以以实现或优化如本文教导的一个优点或一组优点的方式体现或执行,而不一定实现如本文可教导或建议的其他目的或优点。

[0059] 本发明的进一步方面由以下条款的主题提供:

条款1.一种旋转机器,包括:

励磁绕组组件;

电枢绕组组件,其包括多个绕组模块,多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构,至少一个电枢绕组支撑结构包括:

主体;

限定在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口,多

个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集;

布置在主体内的多个支撑杆;以及

固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

条款2.根据条款1所述的旋转机器,其中,主体由一个或多个磁性叠层构成。

条款3.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,多个支撑杆由金属或金属合金构成,多个支撑杆中的一个或多个延伸多个绕组模块中的一个的整个轴向长度,以便将作用在纤维增强复合结构上的力沿轴向传递到旋转机器的可旋转构件。

条款4.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,纤维增强复合结构包括一个或多个纤维增强复合带。

条款5.根据条款4所述的旋转机器,其中,一个或多个纤维增强复合带由下者中的至少一个构成:玻璃纤维、合成纤维、聚合物纤维、木质纤维、陶瓷纤维、金属纤维、碳纤维或

它们的组合。

条款6.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,纤维增强复合结构缠绕在主体和多个导电线圈的子集周围并且在其上固化,以形成多个绕组模块中的一个。

条款7.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,多个绕组模块中的各个进一步包括一个或多个沿轴向延伸的螺柱,用于向相应的绕组模块提供压缩。

条款8.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,多个绕组模块中的各个进一步包括布置在多个导电线圈附近或内的一个或多个冷却通道。

条款9.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,相邻的齿包括布置在形成于主体中的多个凹部内的多个楔形齿。

条款10.根据条款9所述的旋转机器,进一步包括线圈盖结构,线圈盖结构在纤维增强复合结构内部在多个导电线圈周围延伸。

条款11.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,多个绕组模块中的各个延伸电枢绕组组件的圆周的约10度至约20度。

条款12.根据前述条款中的任一项所述的旋转机器,其中,励磁绕组组件和电枢绕组组件中的至少一个是具有超导线圈的超导绕组组件。

条款13.一种电枢绕组组件,包括:

多个绕组模块,多个绕组模块中的各个包括多个导电线圈和至少一个电枢绕组支撑结构,至少一个电枢绕组支撑结构包括:

主体;

限定在从主体沿径向延伸的相邻的齿之间的多个槽口,多个槽口在其中接收并支撑多个导电线圈的子集;

布置在主体内的多个支撑杆;以及

固定在多个绕组模块中的各个周围的纤维增强复合结构。

条款14.根据条款13所述的电枢绕组组件,其中,主体由一个或多个磁性叠层构成。

条款15.根据条款13至14所述的电枢绕组组件,其中,多个支撑杆由金属或金属合金构成,多个支撑杆中的一个或多个延伸多个绕组模块中的一个的整个轴向长度,以便将作用在纤维增强复合结构上的力沿轴向传递到旋转机器的可旋转构件。

条款16.根据条款13至15所述的电枢绕组组件,其中,纤维增强复合结构包括一个或多个纤维增强复合带,其中,一个或多个纤维增强复合带由下者中的至少一个构成:玻璃纤维、合成纤维、聚合物纤维、木纤维、陶瓷纤维、金属纤维、碳纤维或它们的组合。

条款17.根据条款13至16所述的电枢绕组组件,其中,纤维增强复合结构缠绕在主体和多个线圈的子集周围并且在其上固化,以形成多个绕组模块中的一个。

条款18.根据条款13至17所述的电枢绕组组件,其中,多个绕组模块中的各个进一步包括一个或多个沿轴向延伸的螺柱,用于向相应的绕组模块提供压缩。

条款19.根据条款13至18所述的电枢绕组组件,其中,相邻的齿包括布置在形成于主体中的多个凹部内的多个楔形齿,并且其中电枢绕组支撑结构进一步包括在纤维增强复合结构内部在多个线圈周围延伸的线圈盖结构。

条款20.根据条款13至19所述的电枢绕组组件,其中,多个绕组模块中的各个延伸

电枢绕组组件的圆周的约10度至约20度。

[0060] 本书面描述使用示例来公开本发明,包括最佳模式,并且还使本领域技术人员能够实践本发明,包括制造和使用任何装置或系统以及执行任何结合的方法。本发明的可专利范围由权利要求书限定,并且可以包括本领域技术人员想到的其他示例。如果这些其他示例包括与权利要求书的文字语言没有差异的结构元素,或者如果它们包括与权利要求书的文字语言没有实质性差异的等效结构元素,则这些其他示例旨在属于权利要求书的范围内。

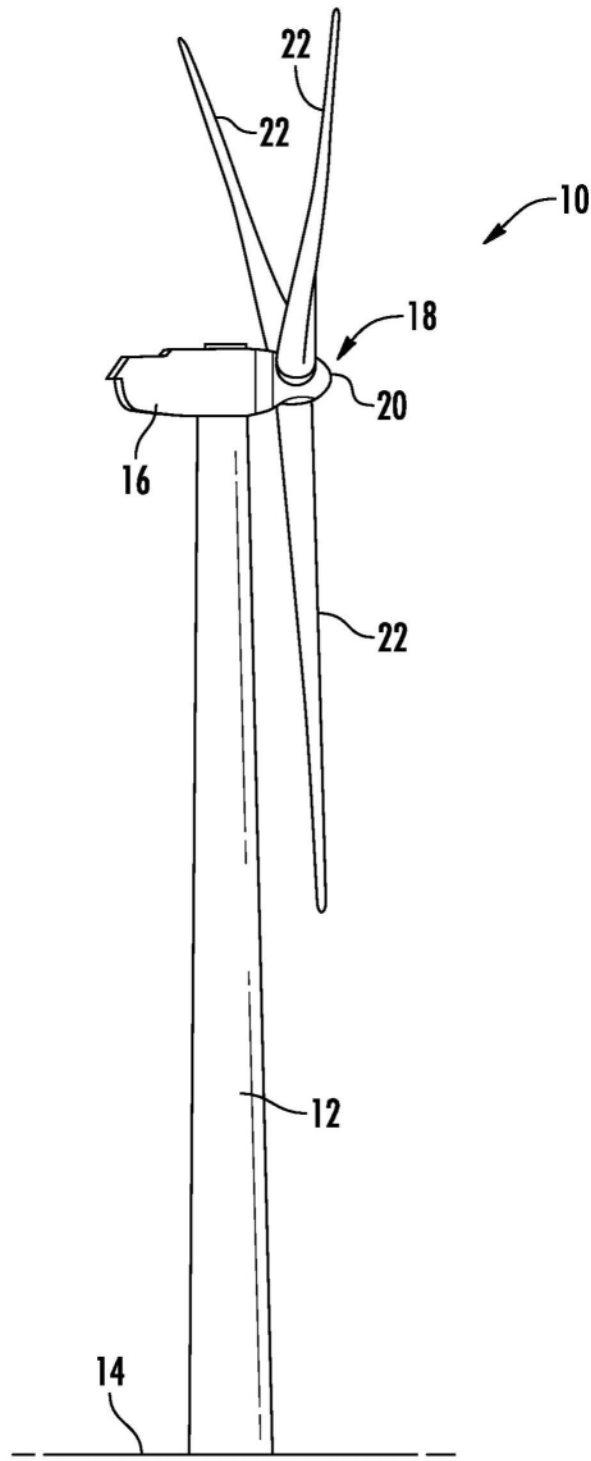


图1

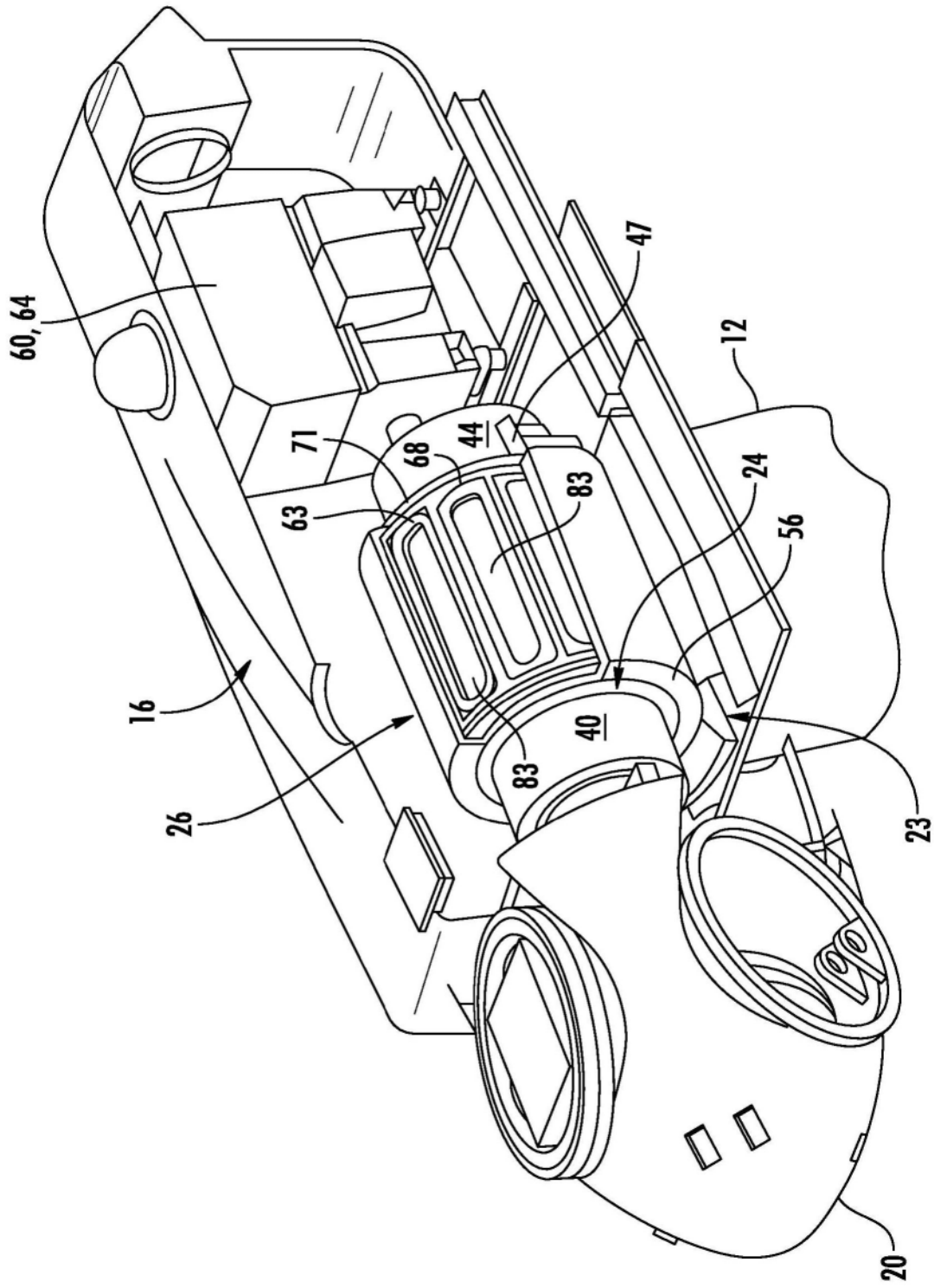


图2



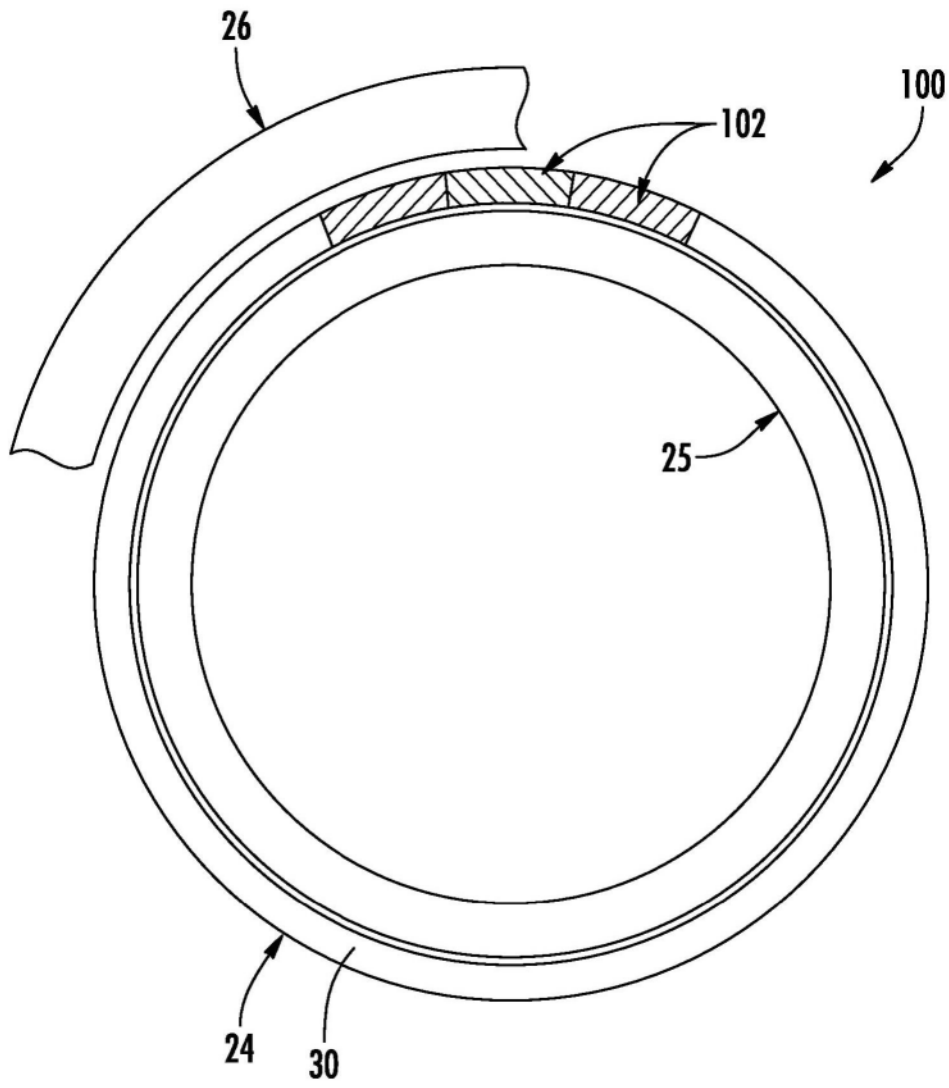


图4

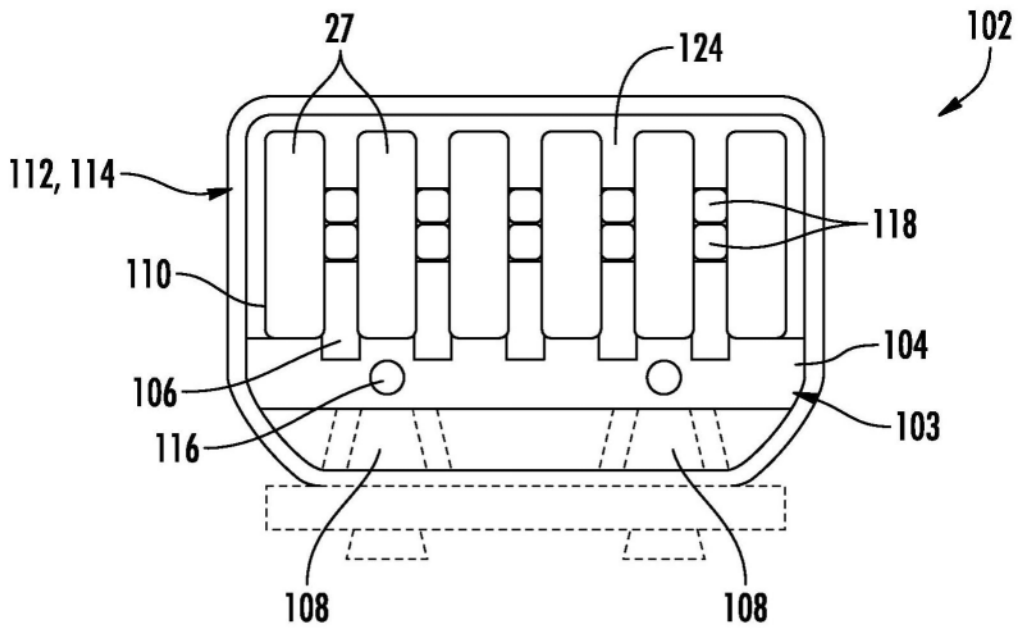


图5

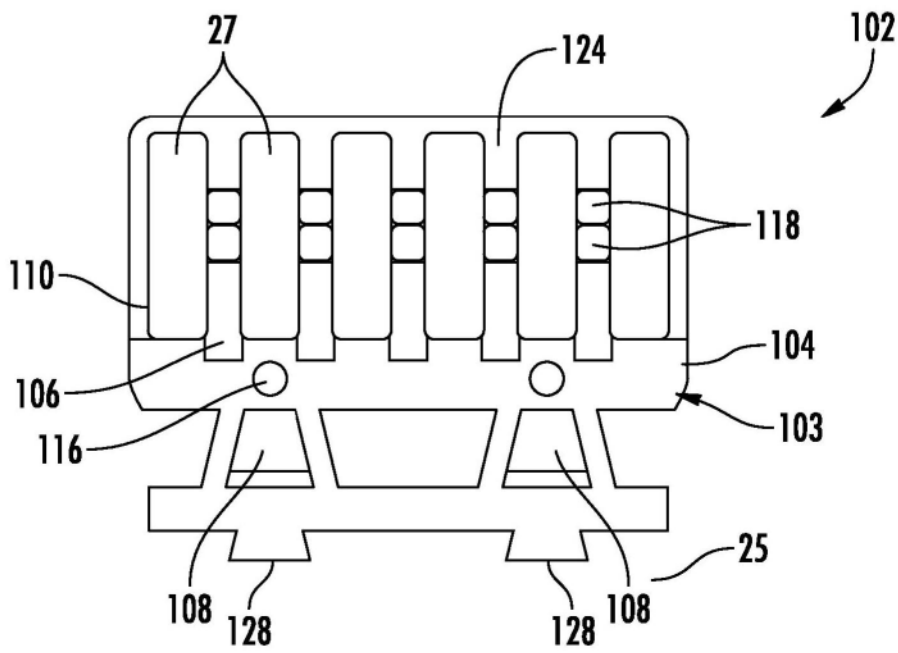


图6

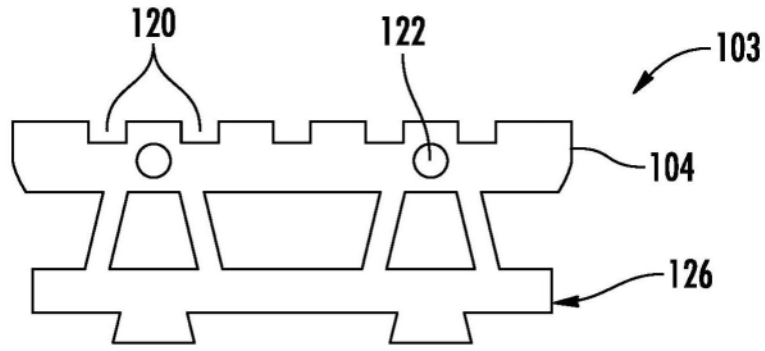


图7

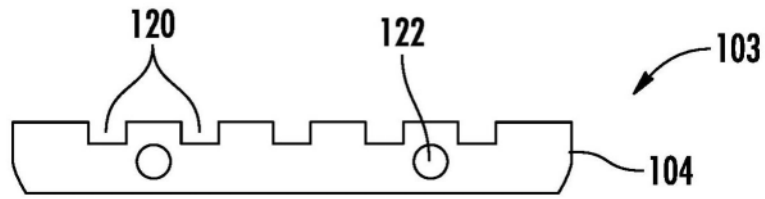


图8

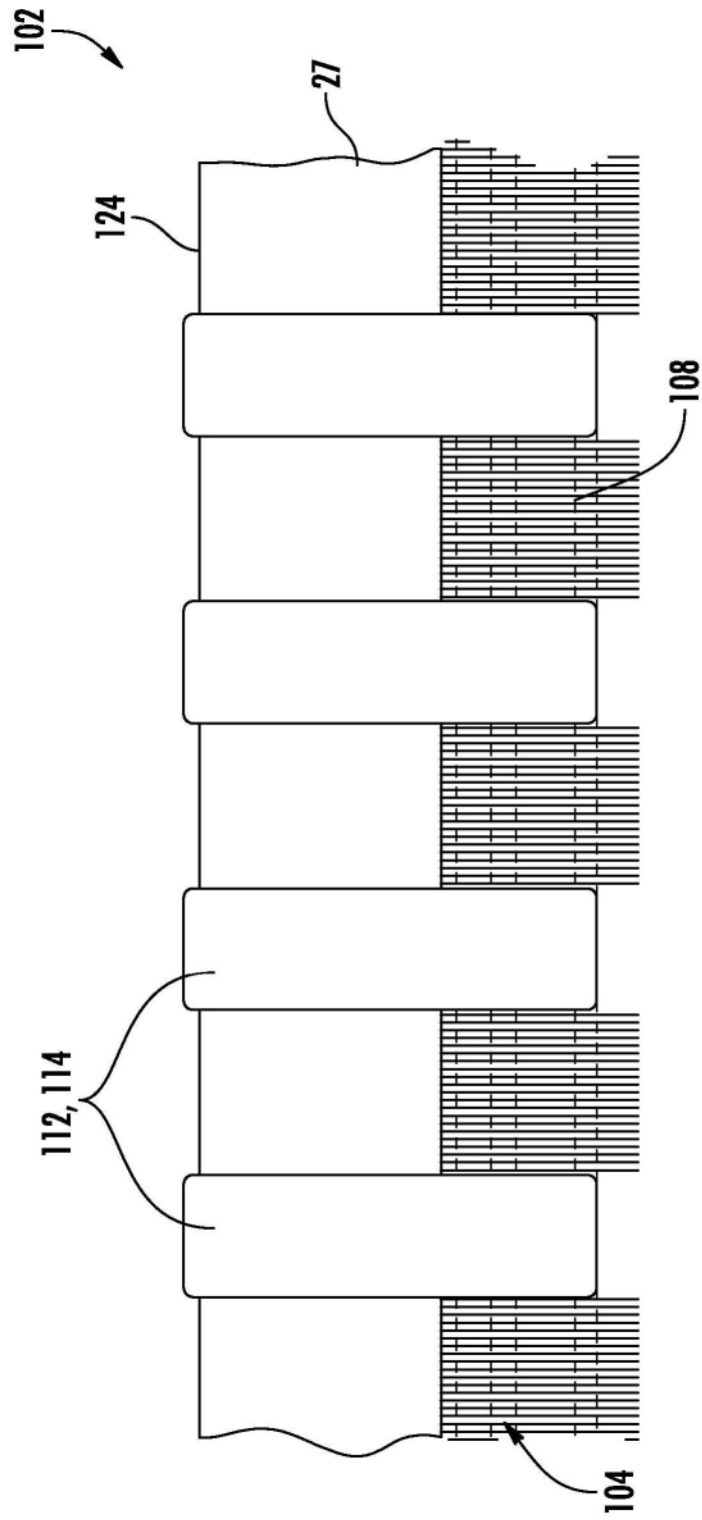


图9

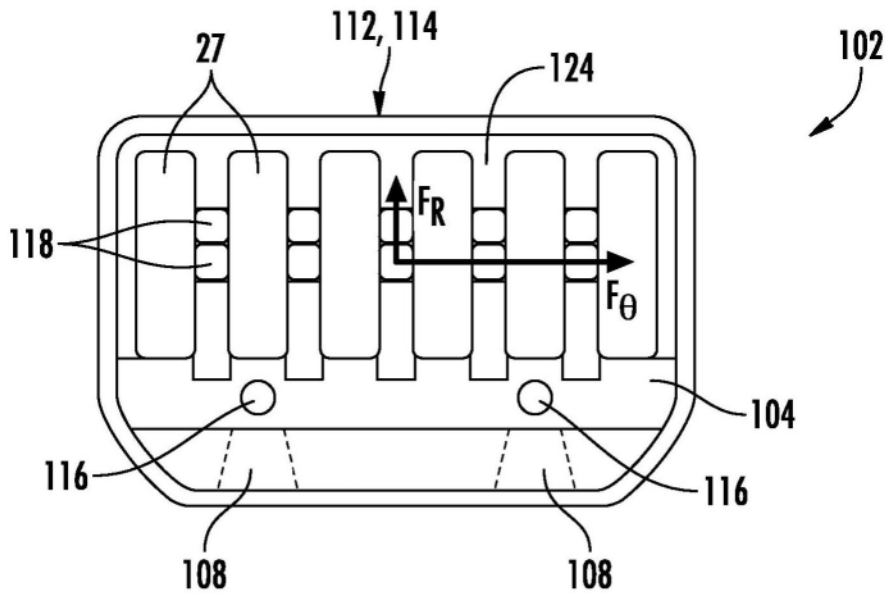


图10

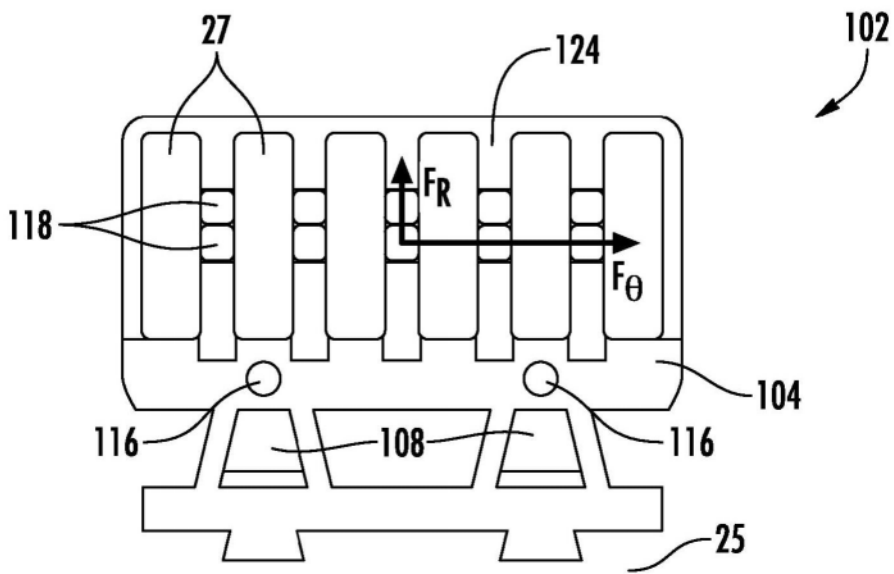


图11

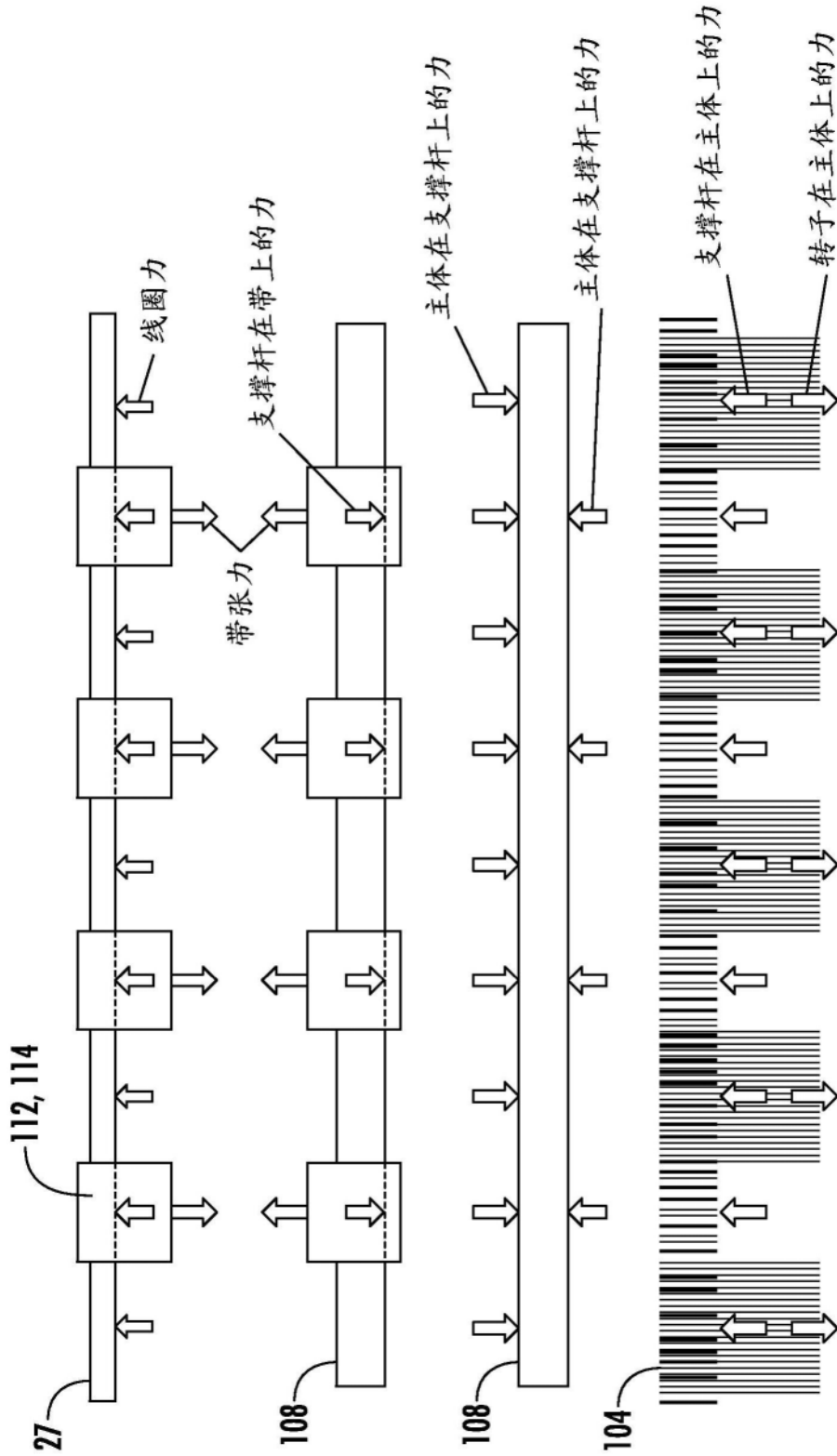


图12