

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102235297 A

(43) 申请公布日 2011.11.09

(21) 申请号 201110118194.1

(22) 申请日 2011.04.28

(30) 优先权数据

12/768880 2010.04.28 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 L·邦内

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 肖日松 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

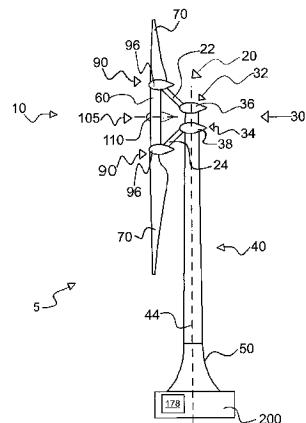
权利要求书 1 页 说明书 11 页 附图 8 页

(54) 发明名称

具有整体设计的风力涡轮和控制方法

(57) 摘要

提供具有整体设计的风力涡轮和控制方法。该风力涡轮(5)包括：塔架(40)，包括偏航界面(30)；带叶片的转子(10)，包括能够响应于风冲击于至少一个叶片上而旋转的至少一个叶片(70)；以及梁结构(20)，配置成支承带叶片的转子(10)。梁结构(20)包括至少两个梁部件(22, 24)。至少两个梁部件(22, 24)中的每一个由至少一个接头元件(32, 34)联接到偏航界面(30)，使得带叶片的转子(10)能够绕风力涡轮(5)的偏航轴线(44)旋转。接头元件(32, 34)中的至少两个沿着塔架(40)的纵向轴线间隔开。另外还提供包括偏航界面的另一风力涡轮(5)和用于控制风力涡轮(5)的偏航角的方法。



1. 一种风力涡轮 (5), 包括 :

a) 塔架 (40), 其包括偏航界面 (30) ;

b) 带叶片的转子 (10), 其包括至少一个叶片 (70), 至少一个叶片 (70) 能够响应于风冲击于所述至少一个叶片上而旋转; 以及

c) 梁结构 (20), 其被配置成支承所述带叶片的转子 (10), 所述梁结构 (20) 包括至少两个梁部件 (22, 24), 所述至少两个梁部件 (22, 24) 中的每一个由至少一个接头元件 (32, 34) 联接到所述偏航界面 (30), 使得所述带叶片的转子 (10) 能够绕所述风力涡轮 (5) 的偏航轴线 (44) 旋转;

其中, 所述接头元件 (32, 34) 中的至少两个沿着所述塔架 (40) 的纵向轴线间隔开。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述至少两个接头元件 (32, 34) 包括至少一个轴承装置 (82, 84)。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述接头元件 (32, 34) 中的至少一个由包括流线型壳体的整流元件 (36, 38) 遮盖。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的风力涡轮, 其特征在于, 还包括偏航控制系统 (178), 其被配置成调整所述带叶片的转子 (10) 的偏航角。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的风力涡轮, 其特征在于, 还包括用于发电的环形发电机 (62), 所述环形发电机 (62) 包括发电机定子 (120) 和发电机转子 (130), 其中:

所述带叶片的转子 (10) 刚性地联接到所述发电机转子 (130);

所述发电机定子 (120) 可旋转地支承所述发电机转子 (130) 使得所述发电机转子能够绕转子轴线旋转; 以及

所述发电机定子 (120) 由所述梁结构 (20) 径向支承。

6. 根据权利要求 5 所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述环形发电机 (62) 包括至少一个滚动元件 (140), 用于允许所述发电机转子 (130) 相对于所述发电机定子 (120) 旋转。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述至少一个叶片 (70) 通过第一叶片界面 (90) 联接到所述发电机定子 (120) 使得所述叶片 (70) 的至少一部分能够绕变桨轴线旋转。

8. 根据权利要求 7 所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述第一叶片界面 (90) 包括轴承装置 (94), 所述轴承装置 (94) 包括至少一个滚动元件用于所述至少一个叶片 (70) 绕所述变桨轴线旋转。

9. 根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的风力涡轮, 其特征在于, 所述至少一个叶片 (70) 通过第二叶片界面 (105) 联接到中央轭件 (100), 所述第二叶片界面 (105) 可选地适于允许所述至少一个叶片 (70) 绕所述变桨轴线旋转。

10. 一种用于控制风力涡轮 (5) 的偏航角的方法, 所述风力涡轮包括: 塔架 (40); 带叶片的转子 (10); 梁结构 (20), 其包括支承所述带叶片的转子 (10) 的多个梁; 以及放置于所述塔架 (40) 中的多个轴承, 所述轴承中的每一个沿着所述塔架的纵向轴线间隔开, 所述多个轴承联接到所述梁结构 (20), 所述方法包括:

a) 测量偏航误差; 以及

b) 调整所述带叶片的转子 (10) 的偏航角以减小所述偏航误差; 其中通过所述多个轴承将扭力联接到所述多个梁来调整所述带叶片的转子 (10) 的偏航角。

## 具有整体设计的风力涡轮和控制方法

### 技术领域

[0001] 本公开特别地但非排它性地涉及适合于发电的风力涡轮。更特定而言，本文的公开描述了一种风力驱动涡轮，其预期用于很大转子大小，诸如超过 100 米的转子大小。

### 背景技术

[0002] 多兆瓦风力涡轮的领域在近些年经历了重要发展。特别地，多兆瓦风力涡轮的大小每五年大约加倍。这种发展的目标是为了降低电力成本（即，每千瓦时多少美分），其可通过提供更高能量转换来实现。为了实现高能量转换，可改进涡轮的空气动力效率或者可增加转子大小。后者为增加风力涡轮的能量转换的直观方案。

[0003] 特别地，通过增加转子大小，增加了扫掠面积且也因此增加了风力涡轮的功率输出。但是，增加转子大小通常涉及机械大小的显著增加。特别有问题的是在大型风力涡轮中实施机舱，这归因于其大质量。另一问题在于在变桨和偏航轴承上的高载荷，这归因于弯曲力矩或推力。在大型风力涡轮的情况下，这种载荷可超过轴承的承担限度。此外，大型风力涡轮通常涉及轴承中滚动元件的高动态载荷。在大型风力涡轮的设计中，叶片与塔架的空隙也可为一问题。

### 发明内容

[0004] 鉴于上文所述，提供一种便于较大转子大小的风力涡轮。另外，提供一种风力涡轮塔架。此外，还提供一种用于控制风力涡轮的偏航角的方法。

[0005] 在一方面，提供一种风力涡轮。该风力涡轮包括：塔架，其包括偏航界面；带叶片的转子，其包括至少一个叶片，至少一个叶片能够响应于风冲击于至少一个叶片上而旋转；以及梁结构，其被配置成支承带叶片的转子。梁结构包括至少两个梁部件。至少两个梁部件中的每一个由至少一个接头元件联接到偏航界面，使得带叶片的转子能够绕风力涡轮的偏航轴线旋转。接头元件中的至少两个沿着塔架的纵向轴线间隔开。

[0006] 在另一方面，提供用于通过风能生成电能的另一种风力涡轮。该风力涡轮包括塔架、安置于塔架上部的偏航界面。偏航界面包括沿着塔架的纵向轴线间隔开的多个轴承。该风力涡轮还包括：环形结构，其包括转子部分和静态部分；和带叶片的转子，其包括至少一个叶片，至少一个叶片能够响应于风冲击于至少一个叶片上而旋转。带叶片的转子由转子部分支承。环形结构联接到偏航界面使得带叶片的转子能够绕偏航轴线旋转。

[0007] 在又一方面，还提供一种用于控制风力涡轮的偏航角的方法。该风力涡轮包括：塔架；带叶片的转子；梁结构，其包括支承带叶片的转子的多个梁；以及放置于塔架中的多个轴承。轴承中的每一个沿着塔架的纵向轴线间隔开且多个轴承联接到梁结构。该方法包括测量偏航误差，且调整带叶片的转子的偏航角以减小偏航误差。通过多个轴承将扭力联接到多个梁来调整带叶片的转子的偏航角。

[0008] 通过从属权利要求、说明书和附图，另外的方面、优点和特征将显而易见。

## 附图说明

- [0009] 在说明书的其余部分中并参考附图,向本领域技术人员更具体描述了全面并可实施的公开内容,包括其最佳方式,在附图中:
- [0010] 图1示出根据本文所述的实施例的风力涡轮的示意图;
- [0011] 图2从平面A-A(在图1中示出)示出图1的示范性风力涡轮的侧视图;
- [0012] 图3示出根据本文所述的实施例的另一风力涡轮的带叶片的转子的示意图;
- [0013] 图4示出根据本文所述的实施例的又一风力涡轮的带叶片的转子的示意图;
- [0014] 图5示出根据本文所述的实施例的再一风力涡轮的塔架的示意图;
- [0015] 图6示出根据本文所述的实施例联接到另一风力涡轮的梁结构的环形发电机的截面的示意图;
- [0016] 图7示出根据本文所述的实施例联接到又一风力涡轮的梁结构的环形发电机的一部分的示意图;以及
- [0017] 图8示出根据本文所述的实施例的一风力涡轮的梁部件的空间分布的示意图。

## 具体实施方式

[0018] 现将详细地参考各个实施例,其一个或多个实例在附图中示出。每个实例以说明的方式提供且并不意味着限制。举例而言,说明或描述为一个实施例的部分的特征可用于其它实施例或者结合其它实施例使用以得到又一实施例。预期本公开包括这些修改和变型。

[0019] 如在本公开中所描述的风力涡轮涉及最佳地处置通常由转子叶片的较大跨距和塔架的较大高度而产生的较大载荷。另外,如本文所述的风力涡轮通常预期向很大结构设计来扩大传统风力涡轮设计。

[0020] 风力涡轮包括具有偏航界面的塔架。一般而言,偏航界面用于相对风来转动风力涡轮转子构件。根据某些实施例,偏航界面置于塔架上部。

[0021] 另外,风力涡轮包括带叶片的转子,其具有至少一个叶片,至少一个叶片能够响应于风冲击于叶片上而旋转。根据典型实施例的风力涡轮具有三叶片配置。但是,根据本公开的实施例的风力涡轮可配备任意数目的叶片。

[0022] 另外,根据本公开的实施例,风力涡轮具有典型地包括两个梁部件的梁结构。或者,梁结构可包括多于两个梁部件。典型地,梁结构包括三个或更多的上梁,和下梁。典型地,梁结构用作风力涡轮转子构件的支承件。特别地,根据本公开的实施例中至少某些的梁结构代表置于塔架顶部的标准机舱的轻重量结构替代。另外,这种梁结构典型地向置于风力涡轮顶部的构件提供牢固的结构支承。典型地置于风力涡轮顶部的构件为带叶片的转子或者风力涡轮发电机。特别地,这种梁结构能有效地吸收源自附连到其上的不同风力涡轮元件的较大弯曲力矩和扭矩。

[0023] 典型地,根据本公开的风力涡轮的梁结构在风力涡轮的转子的旋转轴线方向上与风力涡轮的塔架间隔开地延伸。由此,根据本公开的风力涡轮典型地允许相对于已知风力涡轮更大的叶片与塔架空隙(即,在叶片与塔架之间沿着转子的旋转轴线的距离)。

[0024] 在典型实施例中,梁结构的梁部件由接头元件附连到偏航界面,接头元件沿着塔架的纵向轴线间隔开。因此,由涡轮转子产生的力矩可沿着塔架的纵向长度分布。由此,可

延伸转子直径且因此延伸叶片跨距和涡轮扫掠面积。另外,由于塔架中的弯曲扭矩减小,可实现更大的塔架高度,这是由于 i) 通过使用诸如梁结构的轻重量构件而降低了总载荷分布;以及 ii) 通过使用多个接头元件使作用于塔架顶部的较大弯曲力矩沿着其轴线分布。更大塔架高度通常允许风力涡轮增加的功率输出,因为风速通常随着距地面更远而增加。

[0025] 在某些特定实施例中,塔架被设计成具有较宽基部。较宽塔架基部便于承载大型风力涡轮典型的更大重量且支承塔架更大的弯曲力矩。由此,本公开的典型实施例提供具有延伸的扫掠面积和延长的塔架高度的风力涡轮。

[0026] 偏航界面可包括沿着塔架的纵向轴线间隔开的多个轴承装置。特别地,塔架可包括上偏航轴承和下偏航轴承。在偏航界面中的多个轴承装置使得能在特定情形下在轴承装置中滚动元件的能力内承载较大塔架顶部弯曲力矩。

[0027] 另外,根据本文所述的实施例的至少某些的风力涡轮便于梁结构的模块化设计。梁结构的模块化设计显著地简化了风力涡轮的现场组装。

[0028] 在典型实施例中,梁结构支承带叶片的转子。梁结构支承带叶片的转子在本公开中理解为表示转子叶片的重量主要由该梁结构承载。举例而言,梁结构可直接支承带叶片的转子,或者带叶片的转子可由梁结构通过诸如环形结构的中间结构来支承。特别地,带叶片的转子可由梁结构径向支承。

[0029] 还设想到带叶片的转子还包括旋转轴线,旋转轴线连接到梁结构。梁结构典型地在三个空间方向上延伸。特别地,带叶片的转子还可包括旋转轴线,诸如但不限于旋转轴或旋转轮毂。旋转轴线可整合到能量发生器或者为能量发生器的部分。根据某些方面,旋转轴线可连接到梁结构。典型地,梁结构具有至少两个梁部件。同样典型地,梁部件也在三个空间方向上延伸。梁结构因此可向转子的旋转轴线提供牢固且轻重量支承。

[0030] 梁结构的强结构性质便于相对于塔架水平地延伸该带叶片的转子的放置。由此,本文所述的实施例提供一种便于更大叶片与塔架空隙的风力涡轮。更大的叶片与塔架空隙得到更大空间用于使叶片响应于风而弯曲。典型地,更大叶片直径意味着其更大弯曲且因此需要更大的叶片与塔架空隙。因此,本公开的至少某些实施例提供一种能实施较大叶片直径和因此较大涡轮扫掠面积的风力涡轮。而且,较大叶片与塔架空隙增添了以下有益结果:减小了塔架对带叶片的转子的风影效应。

[0031] 在本公开中,术语“径向支承”应被理解为包括特定元件的重量由与特定元件的中心轴线同心安置的元件承载。根据某些实施例,带叶片的转子被径向支承,即,带叶片的转子的重量主要是在与带叶片的转子的中心轴线同心的位置处被承载。以此方式支承带叶片的转子不同于其中主轴附连到主转子轮毂上的风力涡轮的标准配置。径向支承带叶片的转子便于承载更大叶片弯曲力矩。此外,通过径向支承带叶片的转子,改进了转子抵抗恶劣风条件和源自较大叶片跨距的极端载荷的总体稳定性。

[0032] 根据实施例中至少某些的风力涡轮便于相对于传统风力涡轮概念扩大涡轮的尺寸的能力。特别地,根据某些实施例,转子叶片具有至少大约 50 米或至少 80 米或更大的长度。另外,根据某些实施例,塔架高度为至少 100 米或至少 180 米或更大。一般而言,如上文所述,风力涡轮的能量俘获与转子大小成比例。典型地,考虑诸如材料性质或制造技术的不同因素来确定涡轮的最佳大小。这些因素特别地与确定制造成本相关。

[0033] 典型地,发电机转子和发电机定子都是用于通过第一叶片界面支承叶片的风力涡

轮的主要加强装置的部分。第一叶片界面可由轴承装置组成或者包括轴承装置。

[0034] 在典型实施例中,提供对环形发电机和中央轭状件(yoke)的双支承。这种配置的目标大体上为通过延伸的叶片跨距来延伸风力涡轮的扫掠面积。另外,当通过轴承装置来实施双支承时,那么偶尔在塔架顶部产生的较大弯曲力矩可在轴承装置中滚动元件的能力内承载。

[0035] 在下文附图描述中,相同的附图标记指代相同构件。通常仅描述关于个别实施例的差别。

[0036] 图1示出根据本文所述的实施例的风力涡轮5的示意图。示范性风力涡轮5包括具有塔架基部50的塔架40。塔架基部50典型地建置于地基元件200上。典型地,塔架基部50被设计成比塔架上部显著更宽。另外,具有叶片70的带叶片的转子10放置于塔架40上部。塔架40的上部具备环形结构60,环形结构60具有转子部分和静态部分。典型地,带叶片的转子10可旋转地联接到环形结构60。根据某些实施例,环形结构60是环形发电机62。

[0037] 典型地,风力涡轮被设计成使得塔架高度并不超过最小操作高度。典型地,塔架的最小操作高度为叶片长度与相对于塔架地基的水平面的涡轮接近区高度之和。

[0038] 典型地,梁结构通过环形结构来支承带叶片的转子。在环形结构为环形发电机的典型情况下,带叶片的转子通常联接到环形发电机的发电机转子部分。而且典型地,环形发电机的发电机静态部分径向支承发电机转子。在典型实施例中,发电机定子由梁结构径向支承。特别地,梁部件典型地通过在发电机定子上的多个接头而联接到发电机定子,多个接头沿着发电机定子间隔开。根据本公开的实施例,风力涡轮的某些元件由整流元件遮盖。举例而言,图1的示范性风力涡轮5包括外叶片整流罩,其遮盖叶片70与环形结构60的接头。而且,示范性风力涡轮5还包括上整流罩36、下整流罩38和中央整流元件110,其将在下文中详细地讨论。

[0039] 图2示出图1的示范性风力涡轮5的侧视图。示范性风力涡轮5还包括梁结构20,梁结构20典型地具有上梁22和下梁24。典型地,在梁结构20中的梁中的每一个分别由上接头元件32和下接头元件34附连到塔架40。在典型实施例中,上接头元件32和下接头元件34沿着塔架40的纵向轴线间隔开。特别地,上接头元件32和下接头元件34可形成偏航界面30的部分,偏航界面30允许梁结构20绕塔架40的偏航轴线170旋转。典型地,偏航轴线基本上与塔架40的纵向轴线重合。上接头元件32和下接头元件34可为焊接接头或类似物,夹持单元或类似物,或者轴承元件或类似物。

[0040] 上接头元件32和下接头元件34可个别地布置,使得在它们之间的塔架40的部分在涡轮构件的偏航旋转时保持固定。或者,上接头元件32和下接头元件34可通过沿着塔架40的纵向轴线安置的可旋转元件连接。典型地,可旋转的元件包括中空管,其封闭在上接头元件32与下接头元件34之间的塔架40的分段。可旋转元件通常通过轴承可旋转地联接到塔架40。可旋转元件可在特定情况下沿着塔架40的纵向轴线更好地分布载荷,从而减小材料应力。

[0041] 典型地,上接头元件32和下接头元件34分别由上整流罩36和下整流罩38遮盖。上整流罩36和下整流罩38典型地被设计为形成流线型壳体,通常具有平滑线形状。上整流罩36和下整流罩38在偏航角的调整中减小空气动力阻力干扰。另外,上整流罩36和下

整流罩 38 也有助于减小塔架 40 上部的空气动力载荷,从而减小塔架 40 中的材料疲劳。另外,上整流罩 36 和下整流罩 38 典型地被设计成优化带叶片的转子周围的风场。一般而言,上整流罩 36 和下整流罩 38 也被设计成避免由外部污染物玷污上接头元件 32 和下接头元件 34 中的元件,或者保护它们免于恶劣的外部条件。

[0042] 在典型实施例中,梁结构 20 的每个梁刚性地附连到环形结构 60 的外部。典型地,梁中的每一个附连到环形结构 60 上的不同位置。总系统更高的稳定性典型地在梁到环形结构 60 的附连位置沿着其外部等距分布时实现。在环形结构 60 是环形发电机 62(参看图 6)的情况下,梁典型地附连到环形发电机 62 的发电机定子 120 上。

[0043] 典型地,叶片 70 中的每一个具有双支承件。典型地,这些支承件之一通过第一叶片界面 90 附连到环形结构 60 上,环形结构 60 在典型实施例中包括环形发电机 62。典型地,叶片 70 的另一支承件通过第二叶片界面 105 联接到中央轭部件 100(在图 3 中示出)。叶片 70 的双支承结构允许更好地处置典型地源自较大叶片跨距的较大载荷。特别地,叶片 70 跨距上的双支承(通常具有双轴承系统)便于风力涡轮的延伸的扫掠面积。在特定情况下,具有双轴承系统的叶片 70 的双支承件便于在轴承中滚动元件的能力内承载较大叶片弯曲力矩。

[0044] 典型地,叶片 70 附连到环形结构 60 使得它们能够响应于风冲击于它们上面旋转。特别地,通常叶片 70 可绕水平转子轴线旋转。在此情况下,通常叶片 70 附连到环形结构 60 的转子部分上,此转子部分由环形结构 60 的静态部分以可旋转方式支承。由于环形结构 60 连接到梁结构 20,故带叶片的转子 10 可通常绕偏航轴线旋转。

[0045] 在典型实施例中且如图 2 所示,中央轭部件 100 和第二叶片界面 105 由中央整流元件 110 遮盖。中央整流元件 110 典型地被设计成形成中央轭部件 100 和第二叶片界面 105 上的流线型壳体。特别地,中央整流元件 110 典型地具有平滑线形状以减小叶片 70 上的形状阻力和干扰阻力、转子的轴向载荷和在偏航角的调整中的干扰。另外,中央整流元件 110 也被设计成避免由外部污染物玷污中央轭部件 100 和第二叶片界面 105,或者保护它们免于恶劣的外部条件。

[0046] 还典型地由外叶片整流罩 96 遮盖第一叶片界面 90。典型地,外叶片整流罩 96 被设计成形成流线型壳体,通常为平滑线形状。由此,可减小在叶片 70 上的形状阻力和干扰阻力。另外,第一叶片界面 90 和外叶片整流罩 96 被设计成优化作用于叶片 70 上的推力载荷通过梁结构 20 传输到塔架。这样导致的转移的载荷便于风力涡轮的偏航操作。此外,外叶片整流罩 96 减小由作用于塔架 40 上部上的弯曲力矩所致的空气动力载荷。在典型实施例中,外叶片整流罩 96 有助于避免封闭于第一叶片界面 90 中的元件的玷污。另外,外叶片整流罩 96 可被设计成优化作用于叶片 70 上的风场。

[0047] 根据某些实施例,梁部件以锥形方式布置,即,在梁部件之间的距离在给定方向,典型地在到塔架的方向上增加。以此方式,梁结构的强度增加,在梁结构中的力矩更好地分布,且可实现叶片力矩和推力到塔架的有效传输。

[0048] 图 8 示出梁部件 28 相对于偏航轴线 170(即,带叶片的转子的竖直旋转轴线)和垂直于带叶片的转子 176 的水平旋转轴线的水平轴线 172 的定向。图 8 示出梁部件 28 与轴线 170 形成角度  $\alpha$ 。另外,梁部件与水平轴线 172 形成角度  $\beta$ ,即,由其水平投影 28' 与水平轴线 172 形成方位角  $\beta$ 。

[0049] 梁部件可相对于带叶片的转子的水平旋转轴线以对称布局或以非对称布局布置。在梁部件以对称布局布置的情况下,典型地,梁与带叶片的转子的旋转轴线形成至少3度,更典型地至少5度,或小于55度,更典型地小于45度的角度 $\alpha$ 。在梁部件以非对称布局布置的情况下,典型地,放置于带叶片的转子的旋转轴线上方和下方的梁部件形成 $\pm\alpha$ 和 $\pm(\pi/2-\alpha)$ 的余角, $\alpha$ 为至少5度,或典型地小于45度。

[0050] 典型地,形成梁结构的部分的梁部件的至少一个的纵向轴线相对于带叶片的转子的水平旋转轴线形成至少5度的角。

[0051] 梁部件可相对于偏航轴线以对称或非对称布局布置。在梁部件以对称布局布置的情况下,典型地,梁形成至少3度,更典型地至少5度,或小于55度,更典型地小于45度的方位角 $\beta$ 。在梁部件以非对称布局布置的情况下,梁部件中的至少两个被布置成使得它们中的每一个形成不同的方位角。在不对称配置中的典型方位角为至少3度,更典型地至少5度,或小于55度,更典型地小于45度。

[0052] 在梁结构20中的梁的锥角典型地导致带叶片的转子10的旋转平面与塔架40的外表面之间的显著偏移。由此,根据本文所述实施例的风力涡轮便于在正常操作载荷下以及在导致叶片相对于中央轭组件100较大偏斜的极端操作载荷下足够的空隙。

[0053] 还设想到叶片70可不连接到中央轭组件100。举例而言,叶片70可仅在靠近水平旋转轴线的叶片部分或者在任何中间叶片分段处连接到环形结构60。或者,中央轭组件100可由放置于环形结构60或其外部的额外环形主体替换,叶片70可通过第二叶片界面105联接到该额外环形主体。

[0054] 在典型实施例中,塔架基部50比塔架上部42更宽。由此,塔架基部50和塔架40的地基可更好地承载大型风力涡轮的典型大质量以及可在风力涡轮的操作期间产生的较大力矩。

[0055] 典型地,塔架40和塔架基部50被设计成中空的以减小风力涡轮结构的重量。因此,塔架40可被设计成中空壳的形式。典型地,风力涡轮还包括在塔架与塔架基部之间的第一界面。典型地,塔架被设计为中空壳,塔架基部是中空壳的延伸部,且第一界面具有至少两个不同的曲率值。

[0056] 还设想到风力涡轮可包括塔架地基和在塔架基部与塔架地基之间的第二界面。另外,塔架基部可被设计为塔架地基的延伸部。第二界面的外表面可具有至少两个不同的曲率值。典型地,塔架基部可为塔架地基的整体部分。或者,塔架基部可沿着纵向轴线以分段方式构造。

[0057] 典型地,根据带叶片的转子的静态载荷和动态载荷考虑在塔架壳中的强度分布和在塔架基部与塔架地基之间的界面中的力分布来设计塔架基部的分段。典型地,基于具有柱形、锥形、多边形、双曲面形、悬链曲面形、指数形或类似的轮廓函数使用主要分段轮廓来设计塔架基部截面。此外,塔架基部截面可形成有上文所列出的轮廓函数的任何组合。可使用上文所列出的轮廓函数来优化在塔架壳中的强度分布。

[0058] 根据本公开的方面,界面可插置于塔架与塔架基部之间。典型地,界面表面的曲率沿着其轴线变化。由此可优化塔架和塔架基部的表面的过渡使得塔架基部牢固地承载来自塔架的重量和载荷。典型地,当塔架被设计为中空壳时采用这种界面。

[0059] 塔架和基部的轴向截面可被设计为轴对称或非轴对称。典型地,轴向截面与三维

表面放样组合以获得沿着高度轴线的轮廓函数。典型地，塔架高度至少为塔架直径的十倍或者至少为特征性塔架宽度的十倍。选择塔架直径以向风力涡轮提供足够牢固的结构支撑，同时保持塔架重量较低。

[0060] 塔架基部的高度典型地被设计为向风力涡轮提供牢固支承同时考虑材料成本。典型地，基部高度为塔架半径的至少 25% 或者特征性塔架宽度一半的至少 25%。基部高度可高于塔架高度的 10%，基部高度有助于塔架高度。

[0061] 典型地，塔架基部适于联接到岸上地基或离岸地基。不同于标准风力涡轮，大型风力涡轮可特别适合于离岸风力。为了实现相同的功率输出，利用标准风力涡轮建置的风电场通常需要比利用大型风力涡轮的风电场更大量的单元。但是，地基成本并不随机器大小成比例地升高，且维护成本在很大程度上不依赖机器大小。因此，大型风力涡轮当用于离岸风电场时可特别具有成本效益。

[0062] 根据本公开的方面，基部 - 地基界面可插置于塔架基部与塔架地基之间。典型地，基部 - 地基界面的曲率沿着界面的轴线变化。由此，可优化塔架基部和塔架地基之间的过渡使得地基牢固地承载来自风力涡轮的重量和载荷。

[0063] 塔架基部可形成为塔架地基的整体部分。或者，塔架基部可沿着纵向轴线以分段方式构造。更具体而言，塔架基部可由彼此联接的整体区段形成。区段可由不同材料制成或者具有不同的表面曲率或表面形状。为塔架地基的整体部分的塔架基部典型地增加涡轮构造的牢固性。分段塔架基部便于优化重量和载荷转移到塔架地基。

[0064] 图 3 示出根据本公开的实施例的风力涡轮的带叶片的转子 10 的示意图。在示意图中，省略了外叶片整流罩 96 和中央整流元件 110。叶片 70 典型地包括内变桨轴承 92 和外变桨轴承 94 用于绕变桨轴线 72（即，叶片的纵向轴线）旋转叶片 70 或其部分。即，内变桨轴承 92 和外变桨轴承 94 典型地用于调整叶片的桨距角。典型地，叶片的双轴承配置在轴承元件上更好地分布载荷且便于具有较大跨距的叶片的变桨操作。特别地，双轴承配置典型地减小在轴承中滚动元件上的个别载荷。以此方式，典型地，延长了轴承的平均操作寿命。

[0065] 典型地，内变桨轴承 92 插置于叶片 70 中每一个与中央轭部件 100 之间。在典型布置中，内变桨轴承 92 的内环和外环分别栓接到叶片 70 和中央轭部件 100。典型地，外变桨轴承 94 安置于叶片的中间分段，与内变桨轴承 92 间隔开且联接到环形结构 60 中的转子部分。在环形结构 60 包括环形发电机 62 的情况下，外变桨轴承 94 的外环典型地附连到发电机转子 130 上。一般而言，可使用任何类型的可用轴承，诸如例如，单列滚柱轴承、单列滚珠轴承、双列滚珠轴承或三列滚柱轴承。轴承类型典型地被选择为具有在风力涡轮的载荷要求内的能力。

[0066] 在典型实施例中，风力涡轮包括用于控制叶片 70 的桨距角的变桨控制装置（未图示）。通常变桨控制装置响应于风速和风力涡轮的功率输出来调整叶片 70 的桨距角。一般而言，变桨控制装置包括计算机，其通常处理与功率输出、风速或风向相关的数据。根据此数据，计算机可调整叶片 70 的桨距以保持转子叶片在最佳角度。由此，可根据不同风速最大化功率输出。另外，变桨控制装置可用于保护风力涡轮免于极端风力条件。

[0067] 在典型实施例中，变桨控制装置便于增加能量俘获且提供空气动力制动能力。除此之外，变桨控制装置典型地用于减小在停机时作用于风力涡轮上的极端载荷。变桨控制

装置的后一种功能特别合乎大型风力涡轮的需要。可采用多种变桨促动系统，包括每个叶片具有其自己的促动器的布置和单个促动器使所有叶片变桨的布置。

[0068] 叶片 70 可被配置成个别地促动。在每个叶片 70 具备促动器（未图示）的情况下，典型地将叶片变桨促动器定位于发电机的安装界面 160 中。因此可通过外变桨轴承 94 来促动叶片。作为替代，叶片变桨促动器可位于中央轭状件 100 中，使得可通过内变桨轴承 92 来促动叶片。

[0069] 在风力涡轮中的变桨促动典型地通过直接液压、气动、机械或电气促动装置来执行。或者，在风力涡轮中的变桨促动可通过来自电磁或机械扭矩促动的间接传输而执行，电磁或机械扭矩促动由风力驱动发电机转子相对于发电机定子的旋转而产生。

[0070] 变桨控制装置通常包括闭环控制系统，典型地基于 PI、PID 控制器、或者最佳反馈方法（诸如自调控制器、LQG 和 H 控制方法），模糊逻辑控制器或神经网络方法。

[0071] 载荷传感装置可布置于叶片、叶片变桨促动器，或者内轴承或外轴承中的任一个中，内轴承或外轴承具有或不具有用于传感叶片的角定向的装置。典型地，这些传感装置可用于控制系统以主动地阻尼带叶片的转子的旋转，减小叶片的总体或个别水平横向方位风载荷，和 / 或由于动态载荷而作用于叶片上的个别叶片科里奥利 (Coriolis) 力分量。典型地，这些控制系统的总体任务是最大化总体或个别叶片空气动力效率。

[0072] 图 4 示出根据本文所述的实施例的风力涡轮的带叶片的转子 10 的示意图。示范性带叶片的转子 10 包括封闭带叶片的转子 10 的中央轭状件 100 的中央整流元件 112。在示范性实施例中，内变桨轴承 92 安置于中央整流元件 112 外部。在中央整流元件 112 的这种配置中，典型地，内变桨轴承 92 也由额外整流罩（未图示）遮盖。或者，内变桨轴承 92 可由具有环形形式的单个整流元件（未图示）遮盖。根据本公开的某些实施例，带叶片的转子 10 的中央部的这些配置中的任一个典型地改进风力涡轮的空气动力特性。

[0073] 图 5 示出根据本文所述的实施例的风力涡轮的塔架的示意图。示范性塔架 40 包括偏航界面 30。塔架 40 典型地包括用于遮盖塔架 42 的偏航界面 30 的元件的上整流罩 36 和下整流罩 38（在图 5 中省略）。偏航界面 30 典型地安置于塔架 42 上部中。典型地，偏航界面 30 包括沿着塔架 40 的偏航轴线 44 间隔开的多个轴承 82、84。还典型地，轴承 82、84 中的至少一个可连接到接头元件（未图示），接头元件适于将梁附连到塔架 40，使得梁可绕偏航轴线旋转。典型地，风力涡轮塔架 40 还包括联接到偏航界面用于调整偏航角的至少一个促动装置（未图示）。

[0074] 偏航界面 30 典型地包括能绕偏航轴线 44 旋转的下偏航轴承 82 和上偏航轴承 84。典型地，梁结构的上梁 22 和下梁 24 分别联接到下偏航轴承 82 和上偏航轴承 84 使得梁结构 20 能绕偏航轴线旋转。

[0075] 如上文所述，典型地，偏航界面 30 的元件的至少某些由整流罩遮盖。典型地，这些整流罩实施为使得它们与联接到偏航界面的梁结构 20 中的梁一起旋转。整流罩可连接到梁结构的多于一个梁部件。典型地，上整流罩 36 连接到两个或三个梁部件且下整流罩 38 连接到单个梁部件。典型地，每个梁的终端通过至少一个栓接的凸缘界面、至少一个焊接的界面、至少一个结合的界面、至少一个层压的界面、至少两个铸件的组件、至少两个 FRP 纤维加强塑料的组件中的任一个而个别地连接到相应的上整流罩或下整流罩。

[0076] 典型地，偏航界面 30 用于旋转风力涡轮的上部以便保持涡轮朝向风。通常，风力

涡轮的上部包括带叶片的转子 10、环形结构 60 或环形发电机 62 和梁结构 20。

[0077] 典型地，下偏航轴承 82 和上偏航轴承 84 沿着竖直方向间隔开。典型地，考虑梁结构的配置（即，梁部件的长度和空间定向）来选择轴承之间的距离。通常，此距离至少对应于塔架顶部的半径。典型地，此距离小于发电机定子的直径。或者，轴承可布置成使得在它们之间的距离比发电机定子的直径甚至更大。典型地，偏航轴承的外环附连到相应的梁，而内环附连到塔架。如本文所述的双偏航轴承配置典型地实现载荷在轴承元件上更好的分布且便于较大风力涡轮的偏航操作。而且，典型地减小在轴承中滚动元件上的个别载荷。因此，双偏航轴承配置典型地延长轴承的平均操作寿命。

[0078] 本公开中的偏航界面认为包括允许风力涡轮中的结构绕竖直轴线（典型地被称作偏航轴线）旋转的任何类型的布置。偏航界面可被配置成允许转子自由旋转。或者，偏航界面被配置成调整至预定偏航角。另外，偏航界面可组合允许该结构自由旋转的元件和设置该结构的偏航角约束的其它元件。

[0079] 下偏航轴承 82 和上偏航轴承 84 可配备有制动装置以在几乎任何情形下防止不希望的偏航运动。制动装置可被配置成以固定偏航来操作该风力涡轮。偏航轴承可被设计成响应通过环形结构 60 和梁结构 20 传输到它且由于叶片 70 上的载荷差引起的偏航力矩。为了应对这些典型较大的产生力矩，设想到不同策略。这些策略可包括无源偏航系统，诸如固定偏航、摩擦阻尼偏航、软偏航或阻尼自由偏航 (damped free yaw)。典型地，这些策略包括主动控制的自由偏航。

[0080] 在典型实施例中，风力涡轮包括用于调整带叶片的转子 10 的偏航角的偏航控制系统 178（在图 2 中示出）。还设想到带叶片的转子 10、环形结构 60 或环形发电机 62 和梁结构 20 自由偏航的设计。通常，在自由偏航设计中，风力涡轮将自然地保持朝向风。但是，可能出现偏航误差且在这些情况下，可使用偏航控制装置来最大化风力涡轮的能量俘获。在本公开中，偏航误差被认为是带叶片的转子的水平旋转轴线与主要风向之间的角度。另外，偏航控制装置可用于启动风力涡轮。典型地，偏航控制装置在轴承上引起更高偏航载荷。特别是对于大型风力涡轮的情况，更典型地使用双偏航轴承配置，因为作用于轴承上的载荷和力矩可更好地分布。

[0081] 典型地，风力涡轮还包括联接到偏航界面用于调整偏航角的促动装置。通常，促动装置基于直接液压、气动、机械或电气促动。促动装置可直接联接到形成偏航界面的部分的轴承。特别地，促动装置可仅联接到轴承的一部分。举例而言，偏航界面可具有上轴承和下轴承，其中，上轴承联接到促动装置以传输绕偏航轴线的扭矩且其中下轴承允许绕偏航轴线自由旋转。另外，典型地，促动装置受到偏航控制系统的控制。这些促动装置典型地便于通过偏航控制系统以精确方式来控制偏航角。

[0082] 在典型实施例中，通过测量偏航误差来控制偏航角。典型地，通过多个梁传输力扭矩到带叶片的转子来调整转子的偏航角。典型地，偏航误差通过利用诸如风向标的至少一个直接或间接风向传感器来传感风向而被测量。在某些情况下，可传感作用于偏航界面中轴承上的扭矩以优化偏航角的控制或实施安全性测量。当这些传感装置中的任何传感装置检测到过量力矩作用于偏航界面中轴承之一上时，那么风力涡轮可断开连接，或者可修改偏航角以减小扭矩。

[0083] 典型地，偏航控制系统通过处理来自安装于风力涡轮顶部上的风向标的偏航误差

信号和计算偏航角的设置点来进行操作。此设置点通常传输到偏航促动器系统以校正风力涡轮的偏航角。由于偏航控制系统典型地具有缓慢响应,简单的死区 (dead-band) 控制器可足够。但是,对于某些特定应用,更复杂的控制算法可为方便的。举例而言,这些控制算法可基于 PI 或 PID 控制器、前馈回路、最佳反馈方法 (诸如自调控制器、LQG 和 H 控制方法)、模糊逻辑控制器、基于状态的控制、基于线性或非线性物理等效模型的控制或者神经网络方法。复杂控制算法更典型地在风力涡轮在大风下操作时使用。

[0084] 在本公开的典型实施例中,发电机和转子是整体的。图 6 示出根据本文所述的实施例联接到风力涡轮的梁结构 20 的环形发电机 62 的截面的示意图。图 6 所示的示范性梁结构 20 包括三个梁部件,上梁 22、下梁 24 和第三梁 26。上梁 22 和第三梁 26 典型地联接到上接头元件 32,上接头元件 32 典型地由上整流罩 36 遮盖。在图 6 所示的典型配置中,上梁 22 和第三梁 26 相对于偏航轴线 44 对称地布置且与之形成角度  $\alpha$  (也参看图 8)。下梁 24 联接到下接头元件 34,下接头元件 34 可由下整流罩 38 遮盖。上整流罩 36 和下整流罩 38 典型地用于减小风力涡轮上的空气动力阻力,如上文所述。典型地,上接头元件 32 和下接头元件 34 形成偏航界面 30 的部分。在图 6 所示的配置中,偏航界面 30 用于实施梁结构 20 和因此由它支承的元件绕偏航轴线 44 的偏航旋转。

[0085] 发电机与转子的整合,如在图 6 中示范性地示出,目标为通过组合不同构件的功能而形成风力涡轮的轻重量结构设计。特别地,这种构件功能的整合便于建置风力涡轮而无需巨大元件,诸如例如机舱。

[0086] 环形发电机 62 包括发电机定子 120 和发电机转子 130,其典型地也具有环形形状。在本公开中,术语“环形发电机”被理解为包括在发电机的中心具有贯通开口或空隙的发电机。在典型实施例中,发电机定子 120 由梁结构 20 径向支承,典型地横跨发电机定子 120 的周边的等距的点处。即,典型地,上梁 22、下梁 24 和第三梁 26 的连接点沿着发电机定子 120 的周边等距分布。在典型实施例中,发电机定子 120 连接到梁结构 20 的至少两个梁部件。典型地,梁通过至少一个栓接的凸缘界面、至少一个焊接的界面、至少一个结合的界面、至少一个层压的界面、至少两个铸件的组件、或至少两个 FRP 纤维加强塑料的组件中的任一个在第一叶片界面 90 连接到发电机定子 120。

[0087] 典型地,带叶片的转子 10 附连到发电机转子 130。特别地,带叶片的转子 10 典型地附连到发电机转子 130 使得它们都同步地旋转。特别地,叶片 70 安装到发电机转子 130 上,其中第一叶片界面 90 联接到发电机安装界面 160 上。典型地,用于将个别叶片联接到发电机转子 130 的发电机安装界面 160 的每个部分是附连到发电机转子 130 的单独构件的模块化组件或者至少一个整体铸造的或一个整体 FRP 纤维加强部分。一般而言,如上文所述,第一叶片界面 90 包括外变桨轴承 94。图 6 示范性地描绘了横跨发电机定子 120 的圆周分布的三组滚动元件 140。滚动元件 140 可分布成完全地或部分地覆盖发电机定子 120 的圆周。

[0088] 在典型实施例中,发电机定子 120 旋转地支承发电机转子 130。特别地,发电机转子 130 可被配置成通过滚动元件 140 而相对于发电机定子 120 旋转。典型地,滚动元件 140 由两列滚动元件组成,诸如滚珠、滚柱、机械轴承系统或类似物。典型地,滚动元件 140 组装到环形发电机 62 内使得滚动元件 140 的位置相对于发电机转子 130 保持固定。

[0089] 图 7 示出根据本文所述的实施例联接到风力涡轮的梁结构 20 的环形发电机 62 的

部分的示意图。其中示出发电机转子 130 可放置成与发电机定子 120 邻接。特别地，发电机转子 130 可安装到滚动元件 140 上使得其可相对于发电机转子 130 旋转。此外，图 7 示出上梁 22 和下梁 24 以对称布局布置，与风力涡轮的偏航轴线形成角度  $\alpha$ 。

[0090] 本领域技术人员熟知的已知发电机技术的元件可用于本文所述的实施例，而不在此处详细地描述这样的元件。

[0091] 典型地，根据本公开的实施例的风力涡轮如下操作。风力涡轮典型地被配置成具有变桨促动叶片，其由中央轭状件支承且安装于形成环形发电机的部分的发电机转子上。响应于冲击于叶片上的风，可产生转子扭矩。由于转子扭矩，发电机转子可通过滚动元件在发电机定子内绕转。如上文所述，滚动元件的位置典型地相对于发电机定子保持固定。作用于带叶片的转子上的推力载荷典型地通过梁结构而传输到塔架，梁结构可包括多个梁。由此，推力载荷典型地以最佳方式传输到偏航操作的塔架。

[0092] 通常，发电机转子包括至少一个永磁体。典型地，发电机转子包括横跨发电机转子分布的一系列永磁体。另外，典型地，发电机定子包括至少一个多极电绕组或类似物。因此，永磁体可相对于该多极电绕组旋转且由此在输出系统上产生交流电流。典型地，输出系统包括一系列电极相输出。特别地，交流电流典型地随着风速而变化。

[0093] 典型地，风力涡轮包括安置于梁结构中或塔架中的功率转换器系统。典型地，功率转换器系统将由环形发电机产生的交流电流转换成通常固定为处于标准电系统频率（诸如 50Hz 或 60Hz）的高电压，或者风电场的其它网络频率。

[0094] 虽然本发明的各种实施例的具体特征可能在某些附图中示出但未在其它附图中示出，但是这只是出于方便目的。根据本发明的原理，附图的任何特征可组合任何其它附图的任何特征进行参考和 / 或主张。

[0095] 该文字描述使用示例以公开实施例，包括最佳实施方式，并且也使本领域技术人员能够实践实施例，包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何包括在内的方法。尽管描述了各种特定实施例，但是本领域技术人员将认识到本公开可利用在权利要求的精神和范围内的改变进行实践。特别地，上面描述的实施例的相互不排斥的特征可彼此组合。专利范围由权利要求限定，并且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果这种其它示例具有与权利要求的字面语言没有不同的结构元件，或者如果它们包括具有与权利要求的字面语言无实质差别的等同结构元件，则这种其它示例意图在权利要求的范围内。

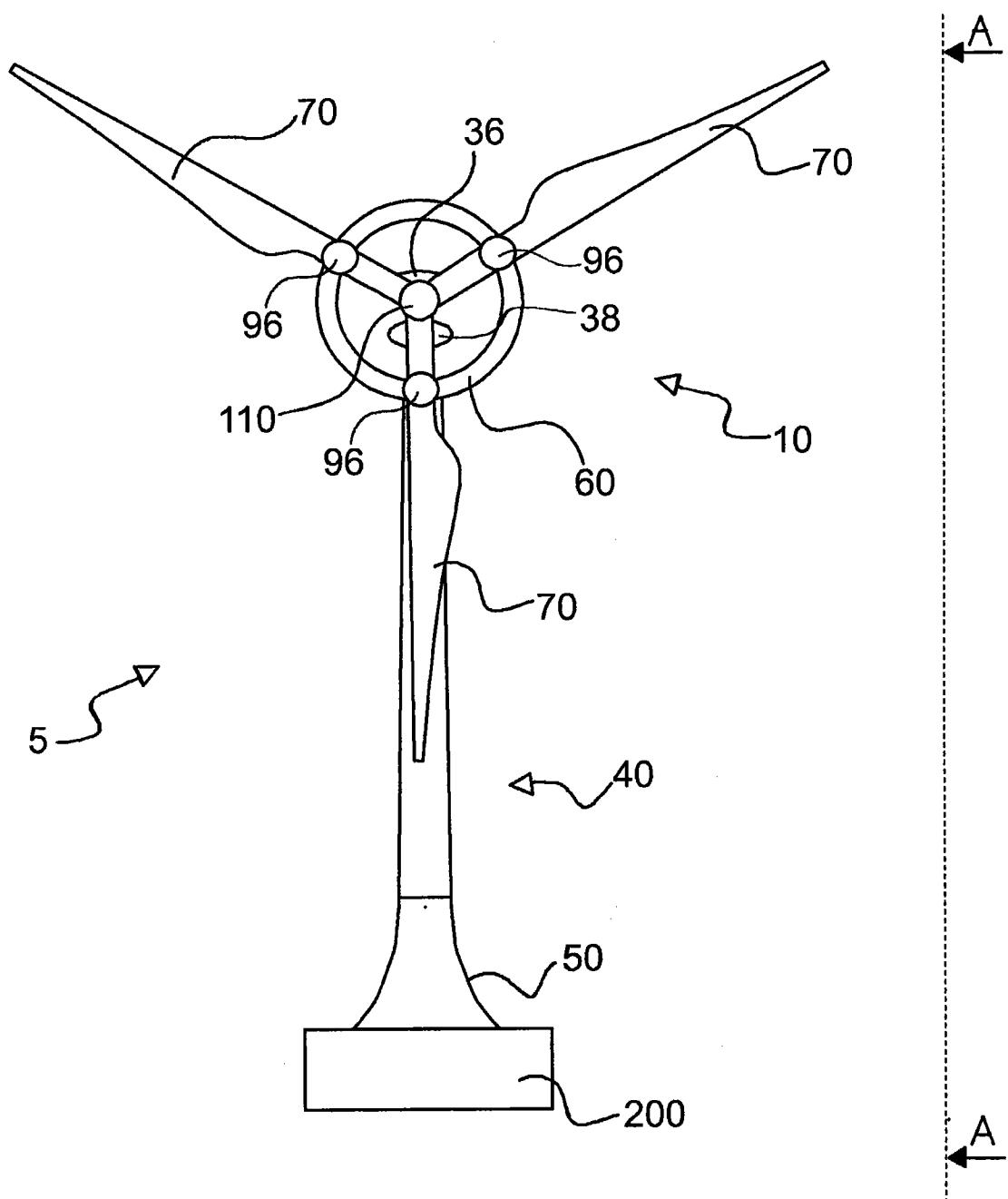


图 1

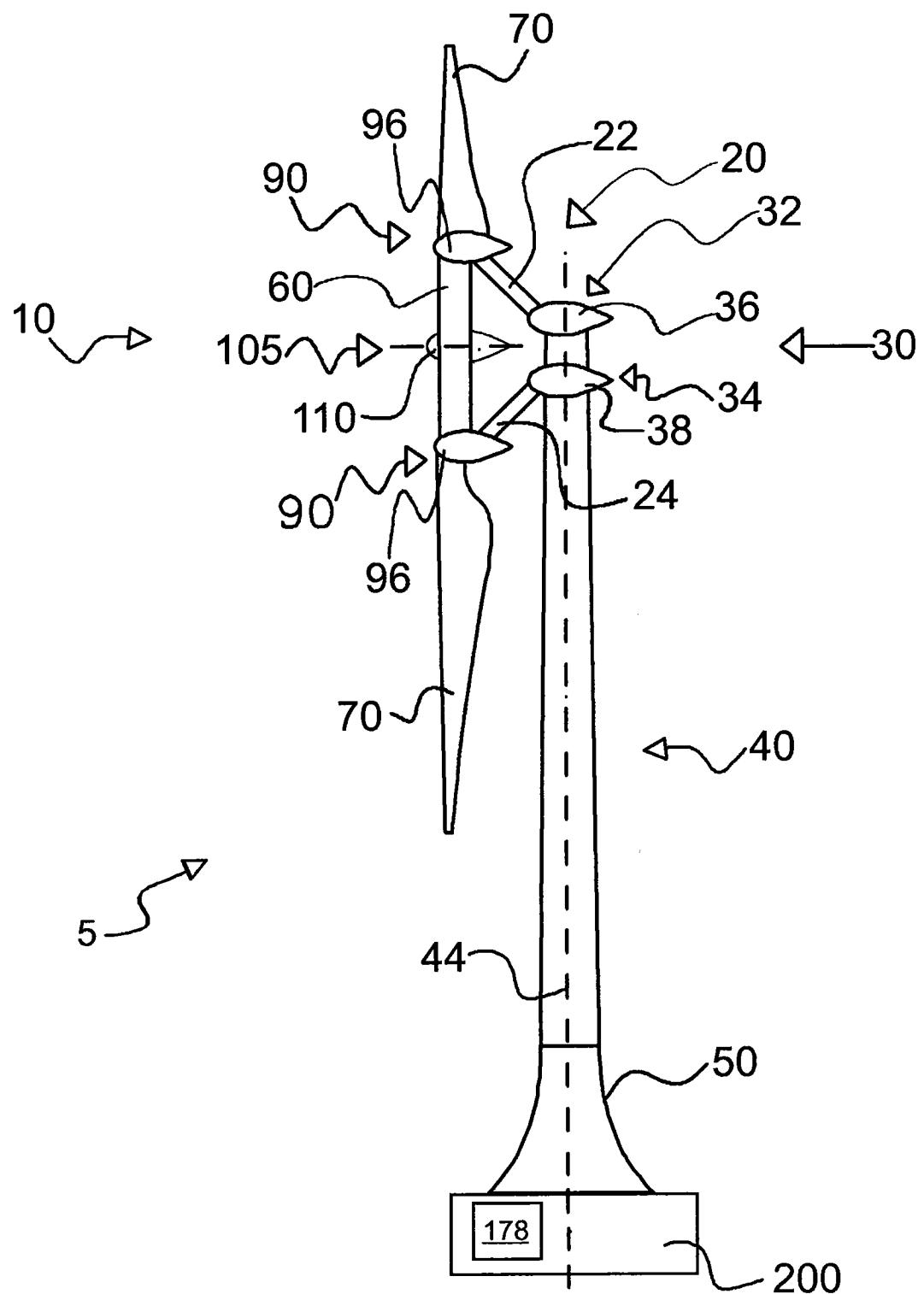


图 2

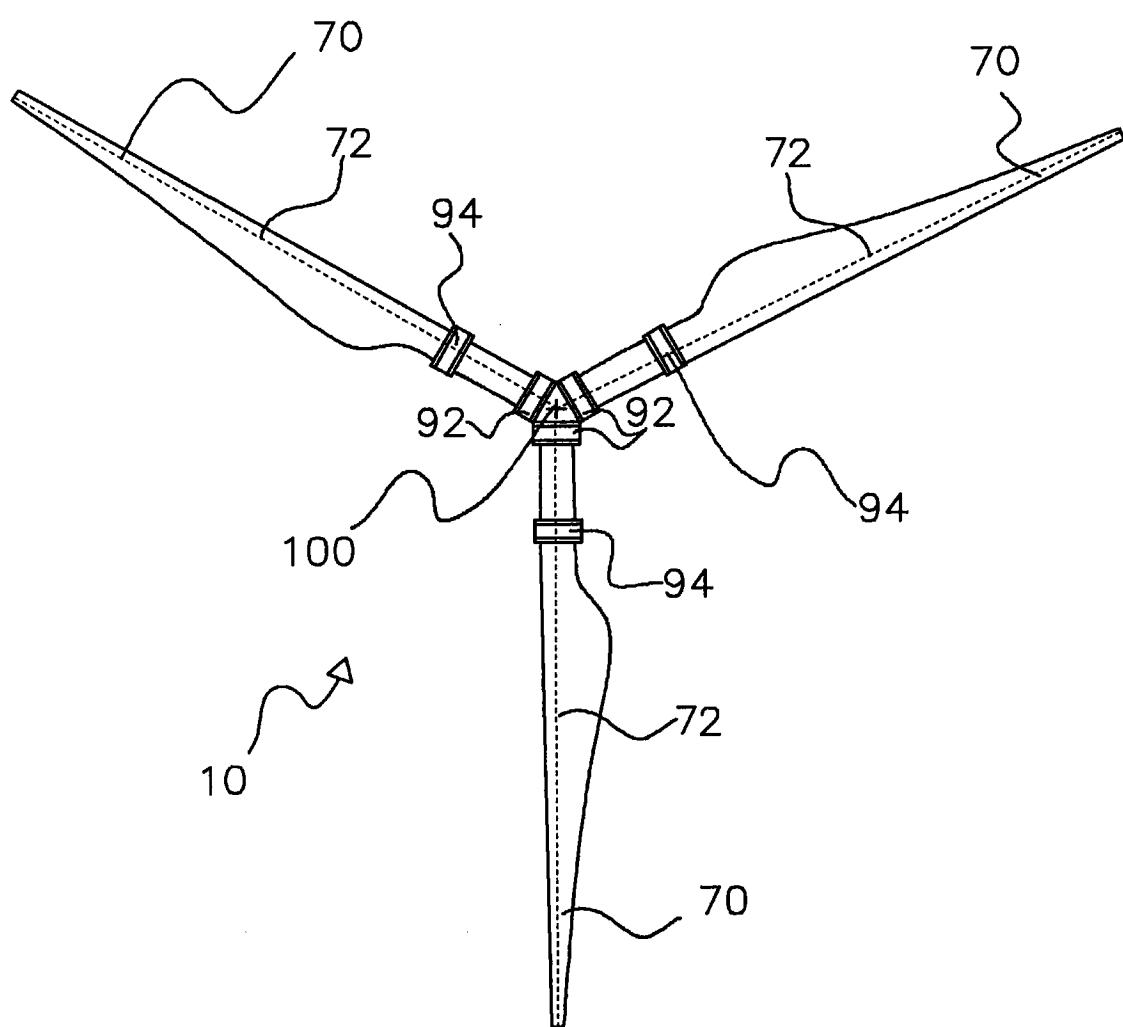


图 3

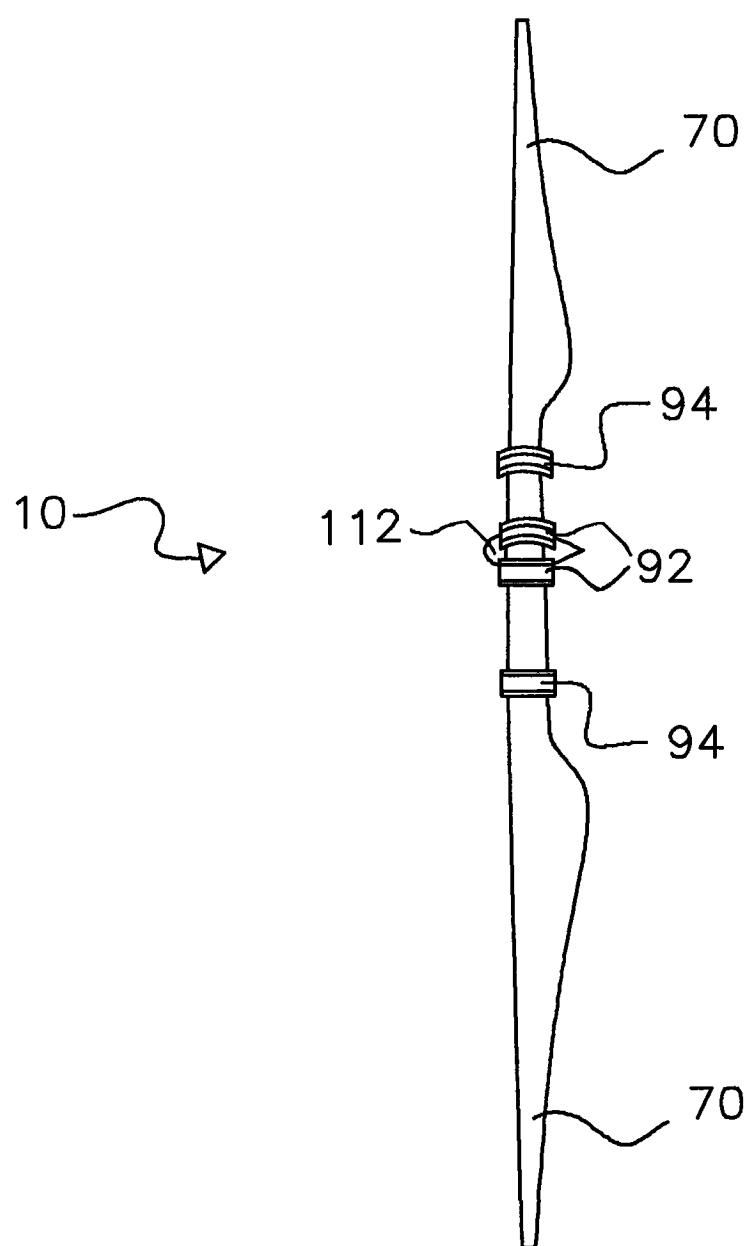


图 4

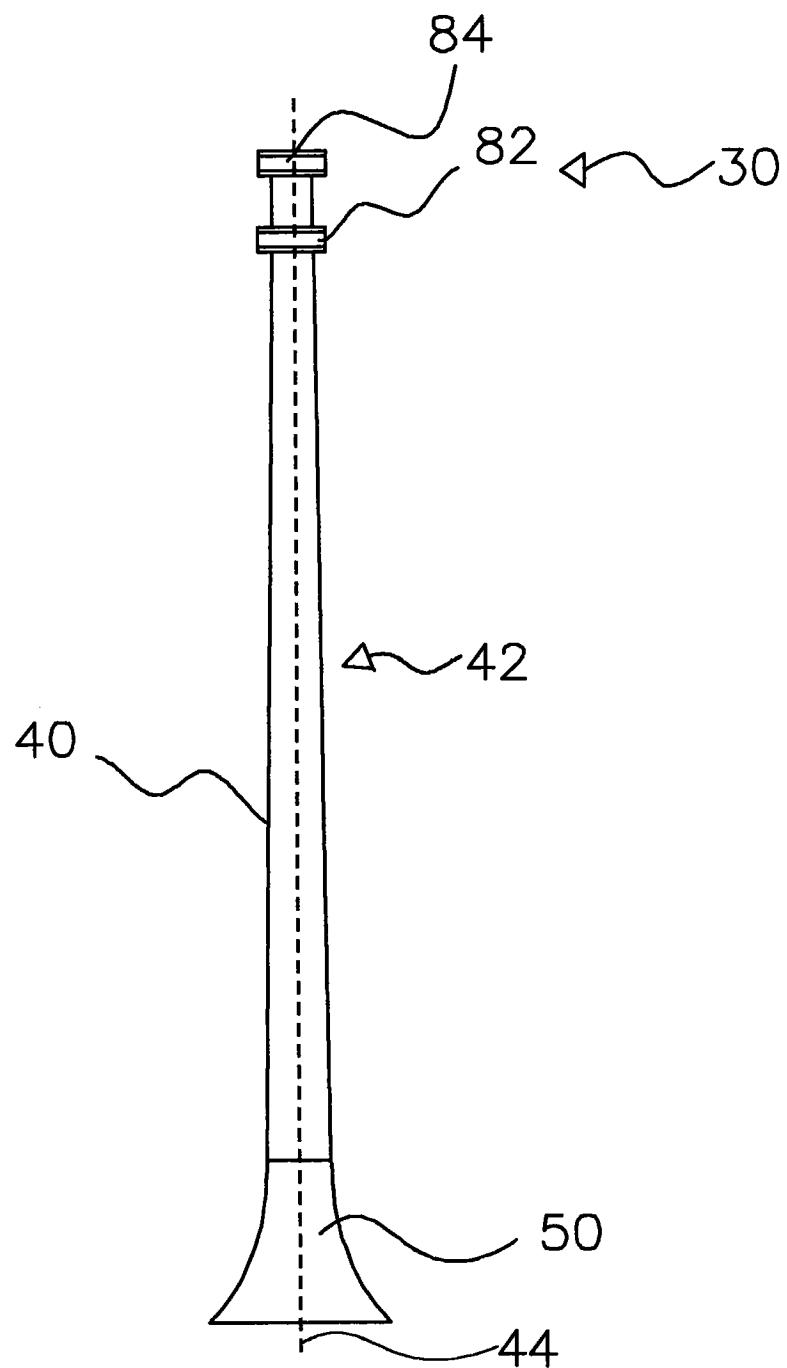


图 5

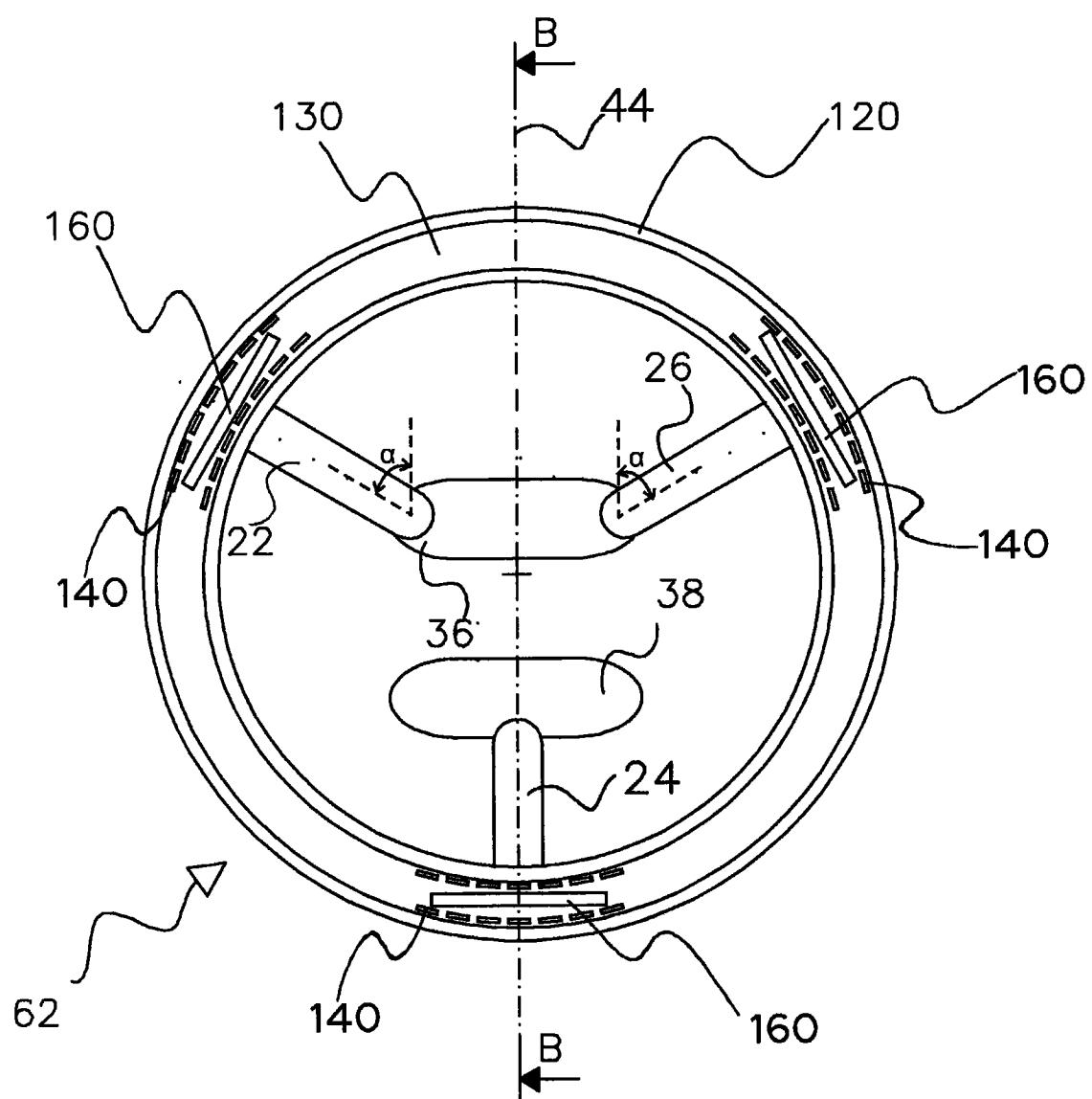


图 6

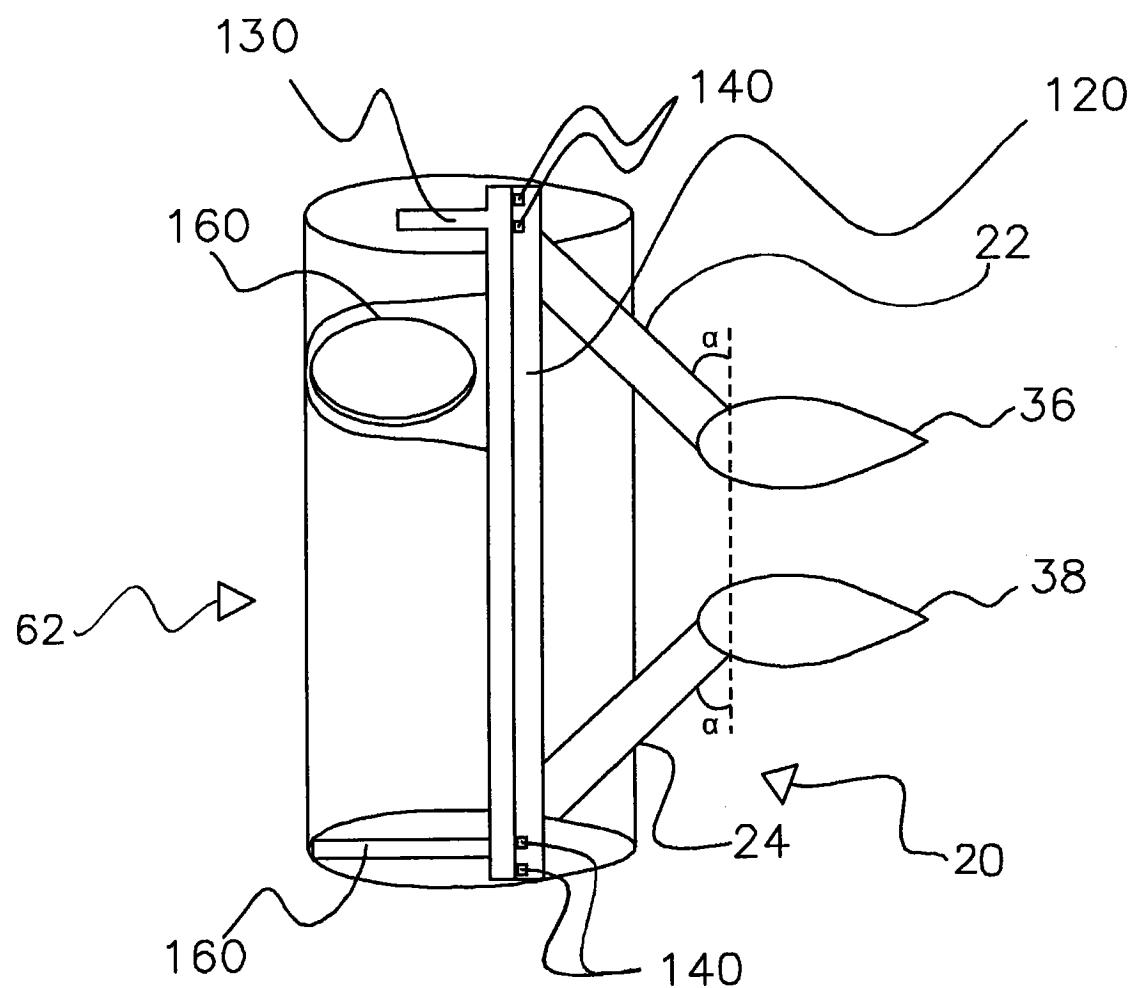


图 7

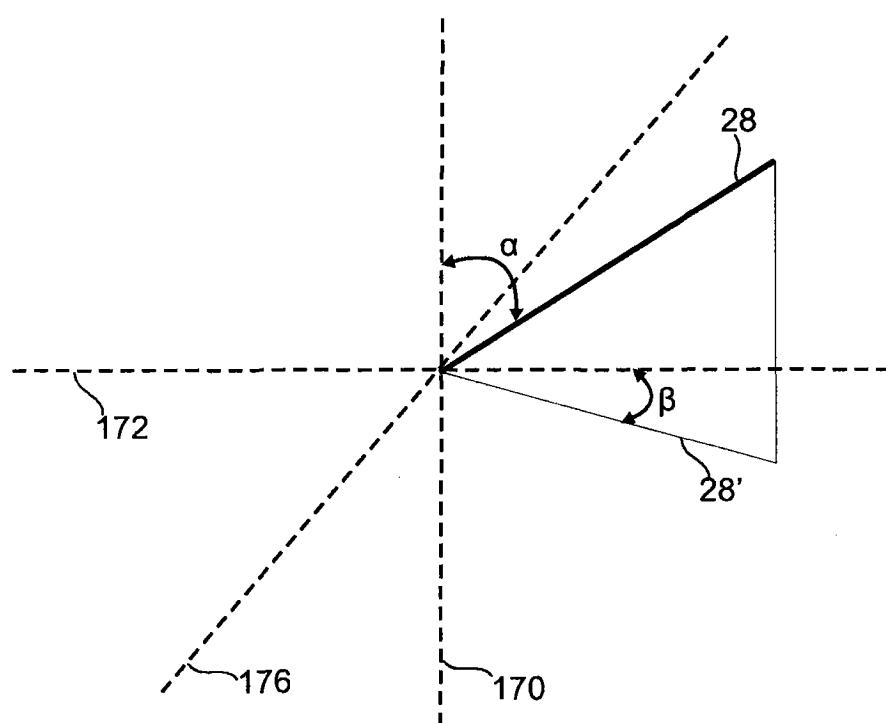


图 8