



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102297080 A

(43) 申请公布日 2011.12.28

(21) 申请号 201110184937.5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011.06.21

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 11/02 (2006.01)

(30) 优先权数据

12/820760 2010.06.22 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 E·V·S·J·安朱里 B·纳努库坦
J·罗加纳桑 S·赫尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 严志军 谭祐祥

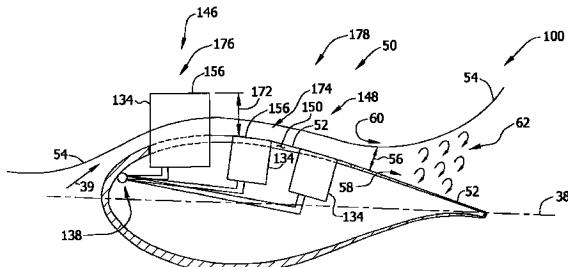
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 7 页

(54) 发明名称

涡流发生器组件和用于组装风力涡轮机转子叶片的方法

(57) 摘要

本发明涉及涡流发生器组件和用于组装风力涡轮机转子叶片的方法。具体而言，提供了一种用于风力涡轮机转子叶片(22)的涡流发生器组件(50)。风力涡轮机转子叶片具有前缘(120)和轴向间隔的后缘(122)，该涡流发生器组件包括：联接至风力涡轮机转子叶片的至少一个涡流发生器(134)，涡流发生器包括至少一个侧壁(110)，侧壁(110)从风力涡轮机转子叶片的外表面(52)向外延伸一定径向距离，涡流发生器组件可选择性地定位在第一位置(174)与第二位置(176)之间；联接至该至少一个涡流发生器的促动器(138)，促动器设置为用以将所述至少一个涡流发生器定位在第一位置与第二位置之间；以及，控制系统(36)，其能操作地联接到至少一个涡流发生器上，以用于在第一位置与第二位置之间移动涡流发生器。



1. 一种用于风力涡轮机转子叶片(22)的涡流发生器组件(50)，所述风力涡轮机转子叶片具有前缘(120)和轴向间隔的后缘(122)，所述涡流发生器组件包括：

至少一个涡流发生器(134)，所述涡流发生器被联接至所述风力涡轮机转子叶片，所述涡流发生器包括至少一个侧壁(110)，所述侧壁(110)从所述风力涡轮机转子叶片的外表面(52)向外延伸一定径向距离，所述涡流发生器能选择性地定位在第一位置(174)与第二位置(176)之间；

促动器(138)，所述促动器被联接至所述至少一个涡流发生器，所述促动器设置为用以将所述至少一个涡流发生器定位在所述第一位置与所述第二位置之间；以及，

控制系统(36)，所述控制系统(36)能操作地联接到所述至少一个涡流发生器上，以用于在所述第一位置与所述第二位置之间移动所述涡流发生器。

2. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述至少一个涡流发生器(134)能在第一径向距离与第二径向距离之间选择性地定位。

3. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述风力涡轮机转子叶片(22)具有限定在所述前缘(120)与所述后缘(122)之间的弦向轴线(38)，所述至少一个涡流发生器(134)能沿所述弦向轴线在第一弦向位置(146)与第二弦向位置(148)之间选择性地移动，所述第一弦向位置比所述第二弦向位置更靠近所述前缘。

4. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述风力涡轮机转子叶片(22)具有限定在根部部分(24)与末端部分(26)之间的展向轴线(108)，所述至少一个涡流发生器(134)能沿所述展向轴线在第一展向位置(152)与第二展向位置(154)之间选择性地移动，所述第一展向位置比所述第二展向位置更靠近所述根部部分。

5. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述侧壁(140)在前部(142)与后部(144)之间延伸，所述前部比所述后部定位得更靠近所述前缘，所述后部能绕所述前部旋转。

6. 根据权利要求1所述的涡流发生器(50)，其特征在于，所述至少一个涡流发生器(134)包括形状记忆合金。

7. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述涡流发生器组件(50)还包括第一涡流发生器(180)和定位在所述第一涡流发生器外侧的第二涡流发生器(182)，所述第一涡流发生器从所述前缘(120)朝所述尾缘(122)朝向所述第二涡流发生器会合。

8. 根据权利要求1所述的涡流发生器组件(50)，其特征在于，所述侧壁(140)从前部(142)到后部(144)延伸，所述后部具有比所述前部的径向高度更大的径向高度(170)。

9. 一种风力涡轮机(10)，其包括：

塔架(12)；

机舱(16)，所述机舱(16)联接到所述塔架上；

中心体(20)，所述中心体(20)能旋转地联接至所述机舱；

至少一个转子叶片(22)，所述转子叶片(22)联接到所述中心体上，所述转子叶片具有前缘(120)以及轴向间隔的后缘(122)；以及，

涡流发生器组件(50)，所述涡流发生器组件(50)联接到所述转子叶片上，所述涡流发生器组件包括：

至少一个涡流发生器(134)，所述涡流发生器联接到所述转子叶片上，所述涡流发生器包括至少一个侧壁(140)，所述侧壁(140)从所述转子叶片的外表面向外延伸一定径向距离(172)，所述涡流发生器能选择性地定位在第一位置(152)与第二位置(154)之间；以及，

控制系统(36)，所述控制系统(36)能操作地联接到至少一个涡流发生器上，以用于在第一位置与第二位置之间移动所述涡流发生器。

10. 根据权利要求9所述的风力涡轮机(10)，其特征在于，所述转子叶片(22)具有限定在所述前缘(120)与所述后缘(122)之间的弦向轴线(138)，所述至少一个涡流发生器(134)能沿所述弦向轴线在第一弦向位置(146)与第二弦向位置(148)之间选择性地移动，所述第一弦向位置比所述第二弦向位置更靠近所述前缘。

涡流发生器组件和用于组装风力涡轮机转子叶片的方法

技术领域

[0001] 本文所述的主题大体上涉及风力涡轮机，并且更具体地说，涉及用于风力涡轮机转子叶片的涡流发生器组件 (vortex generator assembly)。

背景技术

[0002] 至少一些已知的风力涡轮机包括固定在塔架顶上的机舱，其中，该机舱包括通过轴联接到发电机上的转子。在已知的转子组件中，多个叶片从转子延伸。叶片被定向得使经过叶片的风转动转子并且使轴旋转，从而驱动发电机来发电。当风流过转子叶片的外表面时，在外表面上形成边界层，其有助于产生跨过转子叶片的升力。

[0003] 至少一些已知的转子叶片包括根部部分，该根部部分有助于将转子叶片联接到中心体 (hub) 上。至少一些已知的根部部分包括圆柱形形状的外表面。当风流过至少一些已知的转子叶片根部部分时，边界层从转子叶片外表面分离并减小跨过转子叶片的升力。升力的这样的减小还降低转子叶片的整体空气动力效率，其导致风力涡轮机的年发电量的减少。

发明内容

[0004] 一方面，提供了一种操纵跨过风力涡轮机转子叶片的边界层的方法。该方法包括将至少一个涡流发生器联接到转子叶片上。涡流发生器包括至少一个侧壁，其从转子叶片的外表面向外延伸一定径向距离。涡流发生器可选择性地定位在第一位置与第二位置之间。控制系统计算边界层的条件。涡流发生器基于所计算的边界层条件而定位在第一位置和第二位置的其中一个位置处。

[0005] 另一方面，提供了一种用于风力涡轮机转子叶片的涡流发生器组件。该风力涡轮机转子叶片具有前缘和轴向间隔的后缘。该涡流发生器组件包括联接到风力涡轮机转子叶片的至少一个涡流发生器。涡流发生器包括至少一个侧壁，其从风力涡轮机转子叶片的外表面向外延伸一定径向距离。涡流发生器可选择性地定位在第一位置与第二位置之间。控制系统能操作地联接到至少一个涡流发生器上，以用于在第一位置与第二位置之间移动涡流发生器。

[0006] 还有另一方面，提供了一种风力涡轮机。该风力涡轮机包括塔架、联接到塔架上的机舱、可旋转地联接到机舱上的中心体，以及联接到中心体上的至少一个转子叶片。转子叶片具有前缘和轴向间隔的后缘。涡流发生器组件被联接到转子叶片上。涡流发生器组件包括联接到转子叶片上的至少一个涡流发生器。该涡流发生器包括至少一个侧壁，其从转子叶片的外表面向外延伸一定径向距离。涡流发生器可选择性地定位在第一位置与第二位置之间。控制系统能操作地联接到至少一个涡流发生器上，以用于在第一位置与第二位置之间移动涡流发生器。

附图说明

- [0007] 图 1 是一示例性风力涡轮机的一部分的透视图。
- [0008] 图 2 是适合用于图 1 中所示风力涡轮机的一示例性转子叶片的透视图。
- [0009] 图 3 是图 2 中所示的示例性转子叶片的截面图。
- [0010] 图 4 是适合用于图 1 中所示风力涡轮机的备选涡流发生器组件的截面图。
- [0011] 图 5 是图 2 中所示的示例性转子叶片的顶视图。
- [0012] 图 6 是适合用于图 1 中所示风力涡轮机的备选涡流发生器的截面图。
- [0013] 图 7 是适合用于图 1 中所示风力涡轮机的一示例性控制系统的框图。
- [0014] 项目列表
- [0015]

10	风力涡轮机
12	塔架
14	支撑面
16	机舱
18	转子
20	可旋转的中心体
22	转子叶片
24	叶片根部部分
26	叶片末端部分
27	负载传递区
28	方向
30	旋转轴线
32	变桨调节系统
34	变桨轴线
36	控制系统
38	弦向轴线
39	风的流入方向
40	传感器

42	偏航轴线
44	气象桅杆
46	传感器
50	涡流发生器组件
51	处理器
52	外表面
54	边界层
56	边界层高度
58	表面区
60	自由流区
62	涡流
100	转子叶片
102	根部部分
104	末端部分
108	纵向展向轴线 (longitudinal spanwise axis)
110	叶片侧壁
112	内表面
114	腔
116	第一叶片段
118	第二叶片段
120	前缘
122	后缘
124	弦向宽度
128	内侧部分 (inboard portion)

130	外侧部分 (outboard portion)
134	涡流发生器
138	促动器
140	涡流发生器侧壁
142	前部 (leading portion)
144	后部 (trailing portion)
146	第一弦向位置
148	第二弦向位置
150	第一槽
151	第二槽
152	第一展向位置
154	第二展向位置
156	上表面
158	下表面
160	高度
162	长度
166	后径向高度
168	中间段
170	径向高度
172	径向距离
174	第一径向位置
176	第二径向位置
178	排
180	第一涡流发生器

182	第二涡流发生器
184	前部
186	后部
188	前部
190	后部
192	涡流组 (vortex set)
194	第一涡流组
196	第二涡流组
197	截面形状
198	截面形状
200	控制器
202	存储器
204	通信模块
206	传感器接口

[0016]

[0017]

具体实施方式

[0018] 本文所述的实施例有助于组装转子叶片，该转子叶片可增加风力涡轮机的年能量产量。更具体而言，本文所述的转子叶片包括涡流发生器组件，其可选择性的地定位在流过转子叶片外表面的边界层中。该涡流发生器组件有助于在边界层中形成涡流，其增加边界层的动量 (momentum)，从而减轻边界层与转子叶片外表面的分离。涡流发生器组件有助于将动量从边界层的自由流区传递到边界层的分离区，以容许边界层的重新附着，其中，邻近转子叶片外表面产生层状流。另外，涡流发生器组件可与转子叶片外表面大体上齐平定位，以有助于减小跨过转子叶片外表面的阻力，以及有助于增加转子叶片的空气动力效率。如本文所用的用语“年能量产量”指在一个日历年度期间由风力涡轮机所产生的累积电能。

[0019] 图 1 是一示例性风力涡轮机 10 的透视图。在该示例性实施例中，风力涡轮机 10 是水平轴线式风力涡轮机。或者，风力涡轮机 10 可为垂直轴线式风力涡轮机。在该示例性实施例中，风力涡轮机 10 包括从支撑面 14 延伸的塔架 12，安装在塔架 12 上的机舱 16，以及可旋转地联接到机舱 16 上的转子 18。转子 18 包括可旋转的中心体 20 以及至少一个转

子叶片 22，该至少一个转子叶片 22 联接到中心体 20 上并且从中心体 20 向外延伸。在该示例性实施例中，转子 18 具有三个转子叶片 22。在备选实施例中，转子 18 包括多于或少于三个转子叶片 22。在该示例性实施例中，塔架 12 由管状钢制成，从而在支撑面 14 与机舱 16 之间限定腔（未在图 1 中示出）。在备选实施例中，塔架 12 是具有任何合适高度的任何合适类型的塔架。

[0020] 转子叶片 22 绕中心体 20 间隔开以有助于使转子 18 旋转。转子叶片 22 包括叶片根部部分 24 和叶片末端部分 26，并且通过在多个负载传递区 27 将叶片根部部分 24 联接至中心体 20 而配合到中心体 20 上。负载传递区 27 具有中心体负载传递区和叶片负载传递区（均未在图 1 中示出）。被引至转子叶片 22 的负载通过负载传递区 27 传递至中心体 20。

[0021] 在该示例性实施例中，转子叶片 22 具有从大约 30 米 (m) (99 英尺 (ft)) 至大约 120m(394ft) 范围的长度。或者，转子叶片 22 可具有能使风力涡轮机 10 如本文所述而作用的任何合适长度。例如，叶片长度的其它非限制性示例包括 10m 或更小，20m，以及 37m，或者大于 120m 的长度。当风从方向 28 冲击转子叶片 22 时，转子 18 绕旋转轴线 30 旋转。当转子叶片 22 旋转并且经受离心力时，转子叶片 22 还经受多个力和力矩。因此，转子叶片 22 可从中间或非挠曲位置挠曲和 / 或旋转到挠曲位置。变桨调节系统 32 使转子叶片绕变桨轴线 24 旋转 22，以用于相对于风的方向 28 调节转子叶片 22 的定向。可通过相对于风矢量调节至少一个转子叶片 22 的定向来控制转子 18 的旋转速度。在该示例性实施例中，每个转子叶片 22 的迎角或桨距由控制系统 36 单独地控制。如本文所用的用语“迎角”指转子叶片 22 的弦向轴线 38（在图 3 中示出）相对于风的流入方向 39（在图 3 中示出）的定向。或者，对于所有转子叶片 32，叶片桨距可由控制系统 36 同时控制。变桨调节系统 32 包括传感器 40，其用于将指示转子叶片 22 的迎角的信号传送到控制系统 36。此外，在该示例性实施例中，当方向 28 变化时，可绕偏航轴线 42 控制机舱 16 的偏航方向，以相对于方向 28 定位转子叶片 22。机舱 16 还包括至少一个气象桅杆 44，气象桅杆 44 包括风向标和传感器 46（例如风速计）。传感器 46 设置为用以感测风的风向和 / 或风速，以及将指示风向 28 和 / 或风速的信号传送到控制系统 36。涡流发生器组件 50 被联接至至少一个转子叶片 22 以有助于增加风力涡轮机 10 的年能量产量。控制系统 36 能操作地联接到涡流发生器组件 50 上，以便在风力涡轮机 10 的操作期间启动涡流发生器组件 50。

[0022] 在该示例性实施例中，控制系统 36 被显示为居中设置在机舱 16 内，但是，控制系统 36 可为贯穿风力涡轮机 10、在支撑面 14 上、在风电场内和 / 或在远程控制中心处的分布式系统。控制系统 36 包括设置为用以执行本文所述的方法和 / 或步骤的处理器 51。此外，本文所述的许多其它构件包括处理器。如本文所用的用语“处理器”不限于本领域中被称为计算机的集成电路，而是广泛地指控制器、微控制器、微型计算机、可编程逻辑控制器 (PLC)、专用集成电路和其它可编程电路，并且这些用语在本文中可互换使用。应当理解，处理器和 / 或控制系统还可包括存储器、输入通道和 / 或输出通道。

[0023] 在本文所述的实施例中，存储器可包括但不限于计算机可读的媒介（例如随机存取存储器 (RAM)）和计算机可读的永久性媒介（例如快速存储器）。或者，还可使用软盘、压缩盘 - 只读存储器 (CD-ROM)、磁光盘 (MOD) 和 / 或数字化通用光盘 (DVD)。而且，在本文所述的实施例中，输入通道包括但不限于传感器和 / 或与操作者介面相关联的计算机外围设

备,例如鼠标和键盘。此外,在该示例性实施例中,输出通道可包括但不限于控制装置、操作者界面监控器和 / 或显示器。

[0024] 本文所述的处理器处理从多个电气装置和电子装置传送的信息,这些装置包括但不限于传感器、促动器、压缩机、控制系统和 / 或监控装置。这样的处理器可物理地定位在例如控制系统、传感器、监控装置、台式计算机、便携式计算机、可编程逻辑控制器 (PLC) 柜和 / 或分布式控制系统 (DCS) 柜中。RAM 和存储装置存储和传递信息以及待由处理器执行的指令。RAM 和存储装置还可被用来在通过处理器执行指令期间存储和提供临时变量、静态(即,不变的)信息和指令或其它中间信息至处理器。执行的指令可包括但不限于风力涡轮机控制系统控制命令。指令序列的执行并不限于硬件电路和软件指令的任何特定组合。

[0025] 在风力涡轮机 10 的操作期间,风被引导越过转子叶片 22 的外表面 52,从而跨过转子叶片 22 形成边界层 54(在图 3 中示出)。边界层 54 具有从转子叶片外表面 52 向外延伸的边界层高度 56。边界层 54 包括在外表面 52 处或附近的表面区 58,以及相对于外表面 52 从表面区 58 向外限定的自由流区 60。自由流区 60 具有比表面区 58 的动量更大的动量。当风速跨过转子叶片 22 增加时,迎角增加,从而导致表面区 58 与自由流区 60 之间的压力梯度增加,其可引起边界层 54 从外表面 52 分离。当边界层 54 从外表面 52 分离时,控制系统 36 操作以使涡流发生器组件 50 从外表面 52 向外延伸并且到边界层 54 中。涡流发生器组件 50 设置为用以有助于在涡流发生器组件 50 下游形成涡流 60,用以给风施加涡旋,以便将风流从自由流区 60 朝表面区 58 引导。涡流 62 有助于从自由流区 60 传递动量至表面区 58 以增加边界层 54 的动量,以及有助于边界层 54 中的附着流。

[0026] 图 2 是适合用于风力涡轮机 10 的一示例性转子叶片 100 的透视图。图 3 是图 2 中的弦向截面线 3-3 处的转子叶片 100 的截面图。图 4 是涡流发生器组件 50 的备选实施例的截面图。图 5 是图 2 中所示的转子叶片 100 的顶视图。在图 3 到图 5 中所示的等同构件利用图 2 中所用的相同参考标号而标识。在该示例性实施例中,转子叶片 100 包括设置为用以有助于将转子叶片 100 安装到中心体 20 上的第一或根部部分 102,以及与根部部分 102 相对的第二或末端部分 104。转子叶片 100 的叶片侧壁 110 在根部部分 102 与末端部分 104 之间延伸并且沿纵向展向轴线 108 延伸。叶片侧壁 110 具有内表面 112,内表面 112 至少部分地限定从根部部分 102 朝末端部分 104 延伸的腔 114。在该示例性实施例中,叶片侧壁 110 包括第一叶片段 116(例如吸力侧叶片段)以及相对的第二叶片段 118(例如压 力侧叶片段)。在该实施例中,第一叶片段 116 沿前缘 120 和轴向间隔的后缘 122 联接至第二叶片段 118。转子叶片 100 具有沿弦向轴线 38 延伸的弦向宽度 124,弦向轴线 38 被限定在前缘 120 与后缘 122 之间。在该示例性实施例中,转子叶片 100 包括内侧部分 128 以及沿展向轴线 108 从内侧部分 128 向外延伸的外侧部分 130。在内侧部分 128 处,叶片侧壁 110 具有大体上圆形截面的形状,以有助于将转子叶片 100 联接至中心体 20(在图 1 中示出)。在外侧部分 130 处,叶片侧壁 110 从邻近内侧部分 128 的过渡点朝向末端部分 104 具有大体上翼型截面的形状,例如图 3 中所示的那样。在一个实施例中,内侧部分 128 具有长度 L_2 ,长度 L_2 不超过如从根部部分 102 到末端部分 104 所测量的转子叶片 100 的纵向长度 L_1 的大约 30%。在备选实施例中,内侧部分长度 L_2 大于长度 L_1 的 30%。如本文所用的用语“纵向长度”指转子叶片 100 沿纵向展向轴线 108 的长度。

[0027] 在该示例性实施例中,涡流发生器组件 50 包括联接到第一叶片段 116 的至少一个

涡流发生器 134 以及能操作地联接至涡流发生器 134 的促动器 138。促动器 138 设置为用以相对于外表面 52 移动涡流发生器 134。涡流发生器 134 包括在侧壁 140 的前部 142 与后部 144 之间延伸的至少一个侧壁 140。前部 142 定位得相比后缘 122 更靠近前缘 120，从而使侧壁 140 沿弦向轴线 38 从前缘 120 朝后缘 122 延伸。或者，涡流发生器 134 可联接至第二叶片段 118 和 / 或第一叶片段 116。

[0028] 在该示例性实施例中，多个第一槽 150 限定穿过第一叶片段 116 并且沿弦向轴线 38 延伸。涡流发生器 134 被定位在内侧部分 128 中并且至少部分地被插入第一槽 150 内。涡流发生器 134 可在第一槽 150 内移动并且可沿着弦向轴线 38 选择性地定位在第一弦向位置 146（在图 3 中示出）与第二弦向位置 148（在图 3 中以虚线示出）之间。第一弦向位置 146 比第二弦向位置 148 更靠近前缘 120。在一个实施例中，涡流发生器 134 可定位在如从前缘 120 朝后缘 122 所测量的弦向宽度 124 的大约 10% 至大约 30% 之间。在备选实施例中，涡流发生器 134 可沿弦向宽度 124 的整个宽度从前缘 120 到后缘 122 定位。

[0029] 在一个实施例中，多个第二槽 151 限定穿过第一叶片段 116 并且从至少一个第一槽 150 朝末端部分 104 沿展向轴线 108 延伸。涡流发生器 134 还设置为可在第二槽 151 中移动并且可沿展向轴线 108 选择性地定位在第一展向位置 152 与第二展向位置 154（在图 2 中示出）之间。第一展向位置 152 比第二展向位置 154 更靠近根部部分 102。在一个实施例中，促动器 138 被定位在腔 114 内并且被联接至涡流发生器 134，以有助于将涡流发生器 134 定位在第一弦向位置 146 与第二弦向位置 148 之间，以及在第一展向位置 152 与第二展向位置 154 之间。

[0030] 进一步参见图 3，在该示例性实施例中，涡流发生器侧壁 140 在上表面 156 与下表面 158 之间延伸，并且具有从下表面 158 到上表面 156 测量的高度 160。侧壁 140 具有在前部 142 与后部 144 之间测量的长度 162。在一个实施例中，长度 162 等于大约 2 倍的高度 160 与大约 4 倍的高度 160 之间。前部 142 具有在下表面 158 与上表面 156 之间延伸的前径向高度或第一径向高度 164。后部 144 具有在下表面 158 与上表面 156 之间延伸的后径向高度或第二径向高度 166。在一个实施例，涡流发生器 134 具有比后径向高度 166 小的前径向高度 164，从而使涡流发生器 134 具有介于大约 0.1 与 1 之间的梯形比，该梯形比被限定为前径向高度 164 除以后径向高度 166 的比率。在一个实施例中，梯形比大体上等于 1。

[0031] 在该示例性实施例中，涡流发生器侧壁 140 从叶片侧壁 110 向外延伸，从而使上表面 156 从外表面 52 延伸一定径向距离 172。侧壁 140 大体上垂直于外表面 52 定向。在备选实施例中，侧壁 140 大体上倾斜于外表面 52 定向。在该示例性实施例中，涡流发生器 134 可选择性地定位得使上表面 156 大体上与外表面 52 齐平或者以大约 3.0 倍的边界层高度 56 的径向距离 172 定位。涡流发生器 134 可选择性地定位在第一径向位置 174（在图 4 中示出）与第二径向位置 176（在图 4 中示出）之间。在第一径向位置 174 中，上表面 156 大体上与外表面 52 齐平定位。在第二径向位置 176 中，上表面 156 以等于大约 0.1 倍至大约 5.0 倍的边界层高度 56 的径向距离 172 定位。

[0032] 参见图 4，在备选实施例中，涡流发生器组件 50 包括多个成排 178 排列的涡流发生器 134，排 178 沿弦向轴线 38 定向，弦向轴线 38 在第一弦向位置 146 与第二弦向位置 148 之间延伸。控制系统 36 设置为用以选择性地启动各涡流发生器 134，以及基于边界层高度 56 将各涡流发生器 134 定位在第一径向位置 174 或第二径向位置 176 处。

[0033] 参见图 5, 在该示例性实施例中, 涡流发生器侧壁 140 倾斜于弦向轴线 38 定向, 从而在侧壁 140 与弦向轴线 38 之间限定角度 α_1 。侧壁 140 可绕前部 142 旋转, 从而使后部 144 绕前部 142 旋转。在该示例性实施例中, 涡流发生器 134 可选择性地旋转, 从而使角度 α_1 相对于弦向轴线 38 为从大约 0 度到大约 30 度, 并且, 在某些实施例中, α_1 相对于弦向轴线 38 在大约 10 度至大约 20 度之间。

[0034] 在该示例性实施例中, 涡流发生器组件 50 包括第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182。第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182 各自具有高度 160(在图 3 中示出)。第一涡流发生器 180 比第二涡流发生器 182 定位得更靠近根部部分 102。第一涡流发生器 180 具有前部 184 和后部 186。第二涡流发生器 182 具有前部 188 和后部 190。第一涡流发生器 180 相对于第二涡流发生器 182 定位使得在后部 186 与后部 190 之间限定距离 d_1 。在一个实施例中, 距离 d_1 等于大约 1 倍的高度 160 与大约 6 倍的高度 160 之间。

[0035] 在该示例性实施例中, 第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182 被定向得从前缘 120 朝后缘 122 朝向彼此会合。在备选实施例中, 第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182 被定向得从前缘 120 到后缘 122 彼此远离发散。在另一备选实施例中, 第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182 彼此平行定向。

[0036] 在一个实施例中, 第一涡流发生器 180 和第二涡流发生器 182 形成涡流组 192。在该实施例中, 涡流发生器组件 50 包括第一涡流组 194 和至少一个第二涡流组 196。第一涡流组 194 比第二涡流组 196 定位得更靠近根部部分, 从而在第一涡流组 194 与第二涡流组 196 之间限定涡流组距离 d_2 。在该示例性实施例中, 涡流组距离 d_2 等于大约 1 倍的距离 d_1 与大约 8 倍的距离 d_1 之间。

[0037] 在一个实施例中, 涡流发生器 134 由形状记忆合金形成。如本文所用的用语“形状记忆合金”包括设置为用以对温度或电磁场响应而改变形状、刚度、位置、固有频率和其它机械特性的金属。形状记忆合金的示例包括(但不限于)镍-钛合金、铜-铝-镍合金、铜-锌-铝和铁-锰-硅合金。在该示例性实施例中, 涡流发生器 134 在第二径向位置 176 处的延伸状态与第一径向位置 174 处的收回状态之间起作用。在风力涡轮机 10 的操作期间, 控制系统 36 操作促动器 138 以在延伸状态与收回状态之间移动涡流发生器 134。在该示例性实施例中, 促动器 138 操作以有助于选择性地增加被引导通过涡流发生器 134 的电流, 以有助于增加涡流发生器 134 的电阻和 / 或温度, 从而改变涡流发生器 134 的机械特性。

[0038] 在备选实施例中, 在涡流发生器组件 50 的操作期间, 控制系统 36 操作促动器 138 以增加涡流发生器 134 上的电阻, 从而使涡流发生器 134 的形状从第一截面形状 197 变为不同于第一截面形状 197 的第二截面形状 198。在一个实施例中, 第一截面形状 197 包括大体上平面的侧壁 140, 并且第二截面形状 198 包括大体上曲形的侧壁 140, 例如凹形或凸形的侧壁 140。

[0039] 图 6 是涡流发生器组件 134 的备选实施例的截面图。图 6 中所示的等同构件利用图 3 中所用的相同参考标号而标识。在该备选实施例中, 上表面 156 从前部 142 到后部 144 曲形地延伸。在还有一可选方案中, 上表面 156 具有延伸了径向高度 170 的中间段 168, 径向高度 170 大于前径向高度 164 和后径向高度 166。

[0040] 图 7 是示例性控制系统 36 的框图。在该示例性实施例中, 控制系统 36 包括控制

器 200、存储器 202 和通信模块 204。控制系统 36 可包括能使控制系统 36 如本文所述而作用的任何合适装置。在该示例性实施例中，通信模块 204 包括传感器接口 206，传感器接口 206 有助于容许控制器 200 与安装在风力涡轮机 10 上或内或外的任何合适位置处的至少一个传感器通信。在一个实施例中，传感器接口 206 包括模数转换器，其将由传感器所产生的模拟电压信号转换成可由控制器 200 使用的多位数字信号。在备选实施例中，通信模块 204 可包括任何合适的有线和 / 或无线通信装置，其有助于将信号传送到位于风力涡轮机 10 上或内或外和 / 或距风力涡轮机 10 较远的任何合适装置，和 / 或从这样的装置接收信号。在该示例性实施例中，存储器 202 可包括任何合适的存储装置，包括（但不限于）快速存储器、电子可擦除可编程存储器、只读存储器（ROM）、可移动媒介和 / 或其它易失性或永久性存储装置。在一个实施例中，可执行的指令（即，软件指令）被存储在存储器 202 中以用于被控制器 200 来控制涡流发生器组件 50，如下面所述的那样。

[0041] 在该示例性实施例中，控制器 200 是实时控制器，其包括任何合适的基于处理器或基于微处理器的系统（例如计算机系统），其包括微控制器、精简指令集电路（RISC）、专用集成电路（ASIC）、逻辑电路和 / 或能执行本文所述功能的任何其它电路或处理器。在一个实施例中，控制器 200 是微处理器，其包括只读存储器（ROM）和 / 或随机存取存储器（RAM），例如，诸如带有 2 兆位 ROM 和 64 千位 RAM 的 32 位微型计算机。如本文所用的用语“实时”指在输入中的变化影响结果之后，在基本上短的时期出现结果，其中这段时期是可基于结果的重要性和 / 或系统处理输入来产生结果的能力而选择的设计参数。

[0042] 在风力涡轮机 10 的操作期间，控制器 200 从传感器 46 接收指示风速的信号，并且从传感器 40 接收指示转子叶片 22 的迎角或桨距的信号。控制器 200 设置为用以基于风速和转子叶片 22 的迎角来计算转子叶片 22 上方的边界层 54 的情况。控制器 200 还设置为用以至少部分地基于所计算的边界层 54 的情况来定位涡流发生器 134，以有助于操纵边界层 54。在一个实施例中，控制器 200 设置为用以基于风速和转子叶片 22 的迎角来计算转子叶片 22 上方的边界层 54 的高度。在另一实施例中，控制器 200 设置为用以计算自由流区 60 的动量与表面区 58 的动量之间的差别动量。在这样的实施例中，控制器 200 设置为用以比较所计算的差别动量与预先限定的动量，以便判断是否发生了边界层 54 与转子叶片 22 的流分离。如果发生了流分离，控制器 200 操作涡流发生器组件 50 用以将涡流发生器 134 定位在边界层 54 内，以有助于形成涡流 62，从而有助于将边界层 54 附着到外表面 52 上。如果控制器 200 确定未发生流分离并且边界层 54 被附着到外表面 52 上，控制器 200 操作涡流发生器组件 134 用以使涡流发生器 134 与外表面 52 大体上齐平定位，从而使涡流发生器 134 不定位在边界层 54 内，因此减小转子叶片 22 的阻力。

[0043] 上面所述的系统和方法有助于组装转子叶片，其包括有助于增加风力涡轮机的年能量产量的涡流发生器组件。更具体而言，本文所述的转子叶片包括涡流发生器组件，其可选择性地定位在转子叶片的外表面上方所形成的边界层中。此外，涡流发生器组件有助于在边界层中形成涡流，以有助于使边界层附着到转子叶片上。另外，通过提供涡流发生器组件，可组装转子叶片，其有助于通过增加转子叶片的空气动力效率而降低风力涡轮机的整体操作成本。

[0044] 上面详细地描述了用于风力涡轮机转子叶片的涡流发生器组件以及用于组装该转子叶片的方法的示例性实施例。该方法和组件并不限于本文所述的特定实施例，相反，该

组件的构件和 / 或该方法的步骤可独立于或单独于本文所述的其它构件和 / 或步骤而利用。例如，该方法还可与其它转子叶片系统和方法结合使用，并且不限于如本文所述的仅仅与风力涡轮机组件一起而实践。相反，该示例性实施例可结合许多其它转子叶片应用来实施和利用。

[0045] 虽然本发明的各种实施例的特定特征可能在一些附图中示出但未在其它附图中示出，但是，这只是出于方便的目的。根据本发明的原理，附图的任何特征可与任何其它附图的任何特征结合来参考和 / 或进行权利要求。

[0046] 该书面描述用示例来公开包括最佳模式的本发明，并且还允许本领域技术人员来实施本发明，包括制造和使用任何装置或系统，以及执行任何包括在内的方法。本发明的可专利范围由所附权利要求所限定，并且可包括本领域技术人员想到的其它示例。如果这些其它示例具有与所附权利要求的字面语言没有不同的结构元件，或者如果它们包括与所附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所附权利要求的范围内。

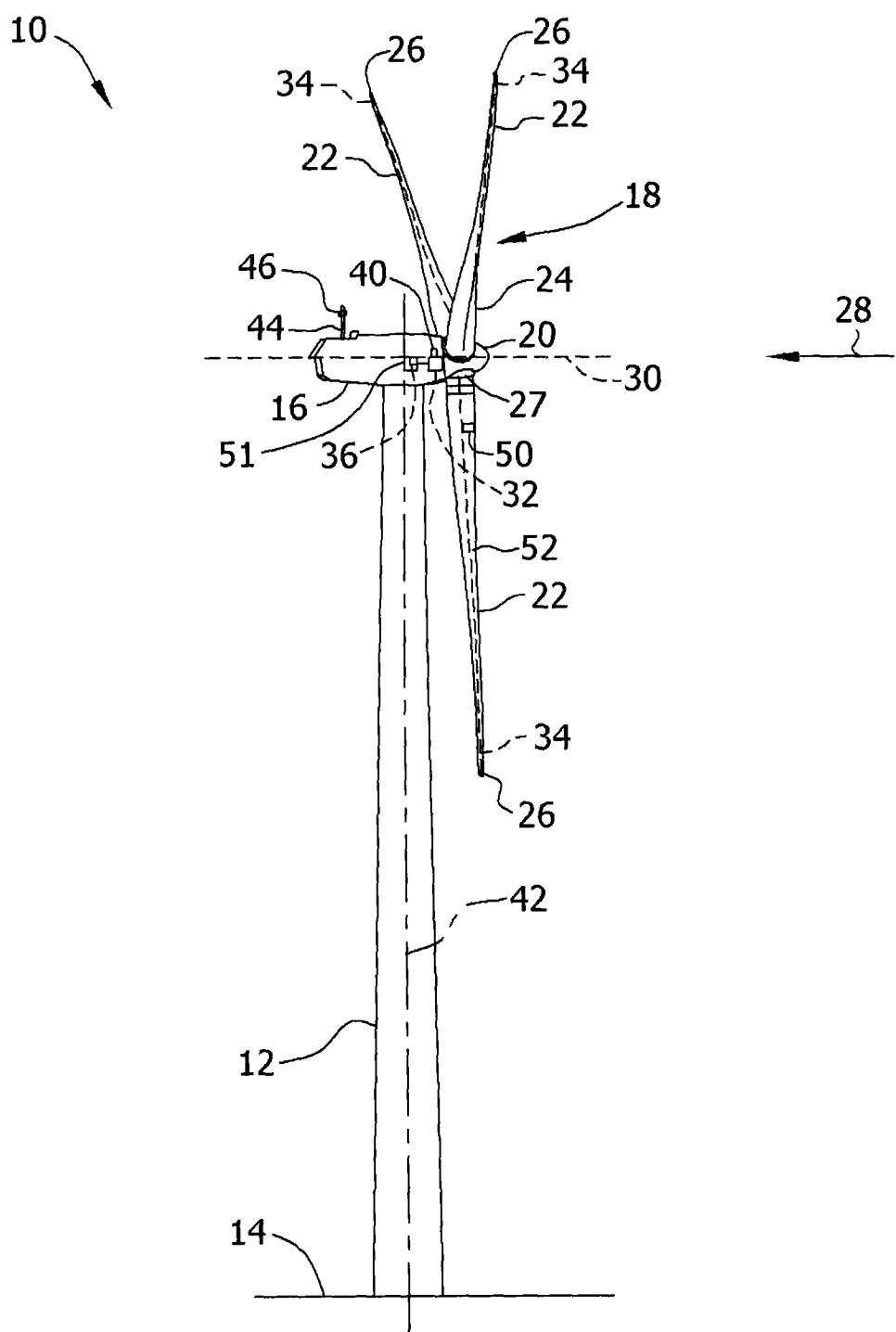


图 1

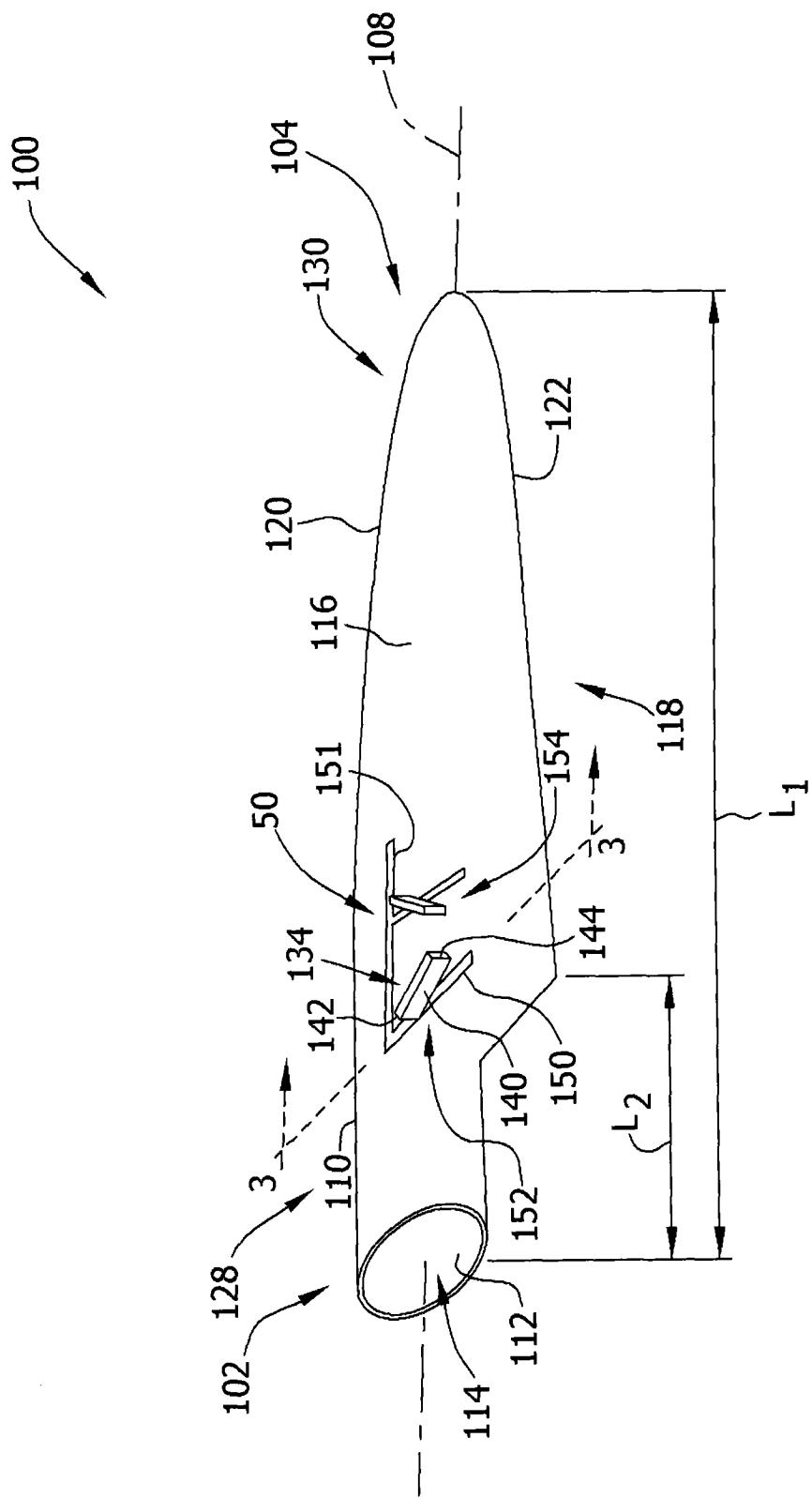


图 2

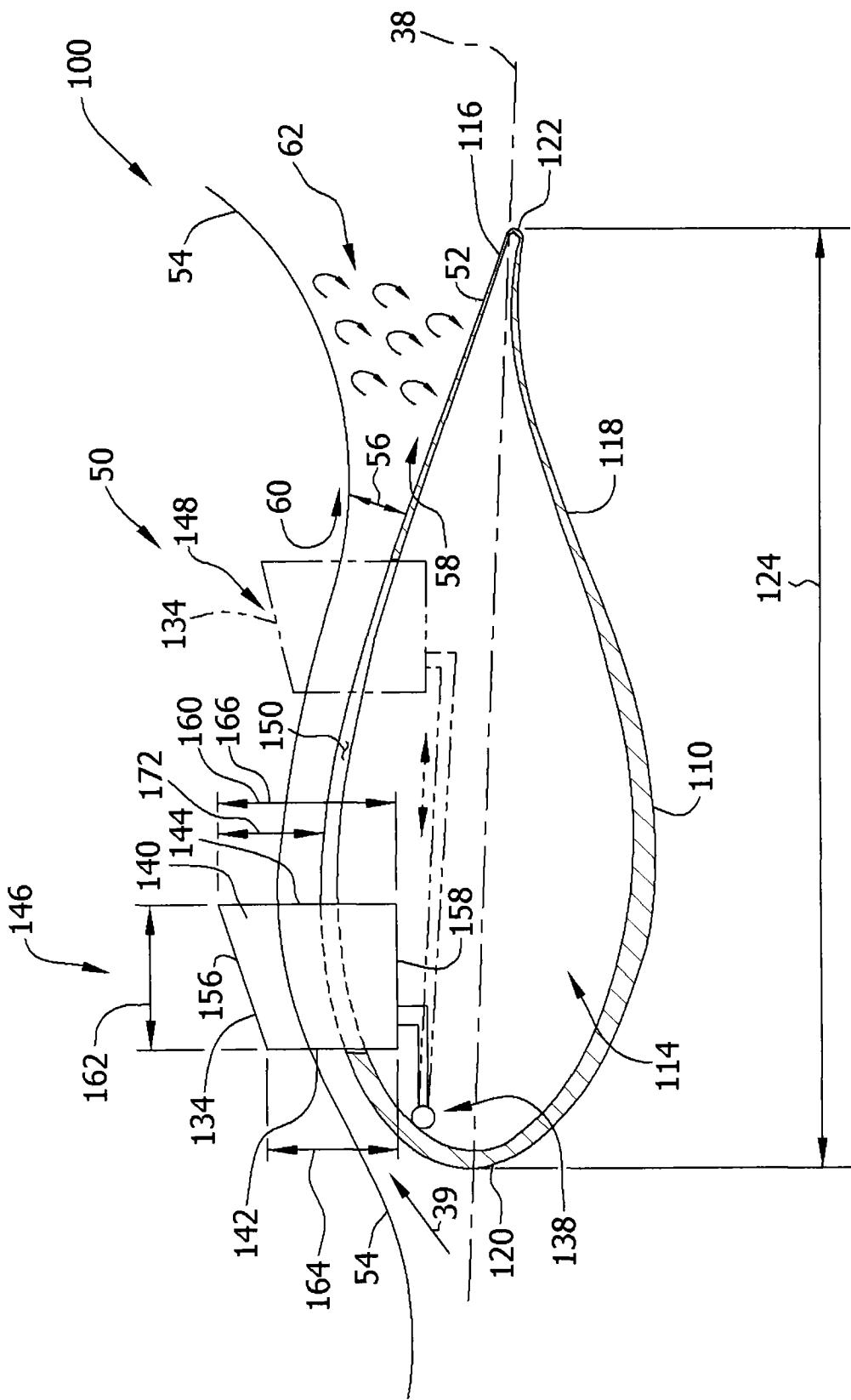


图 3

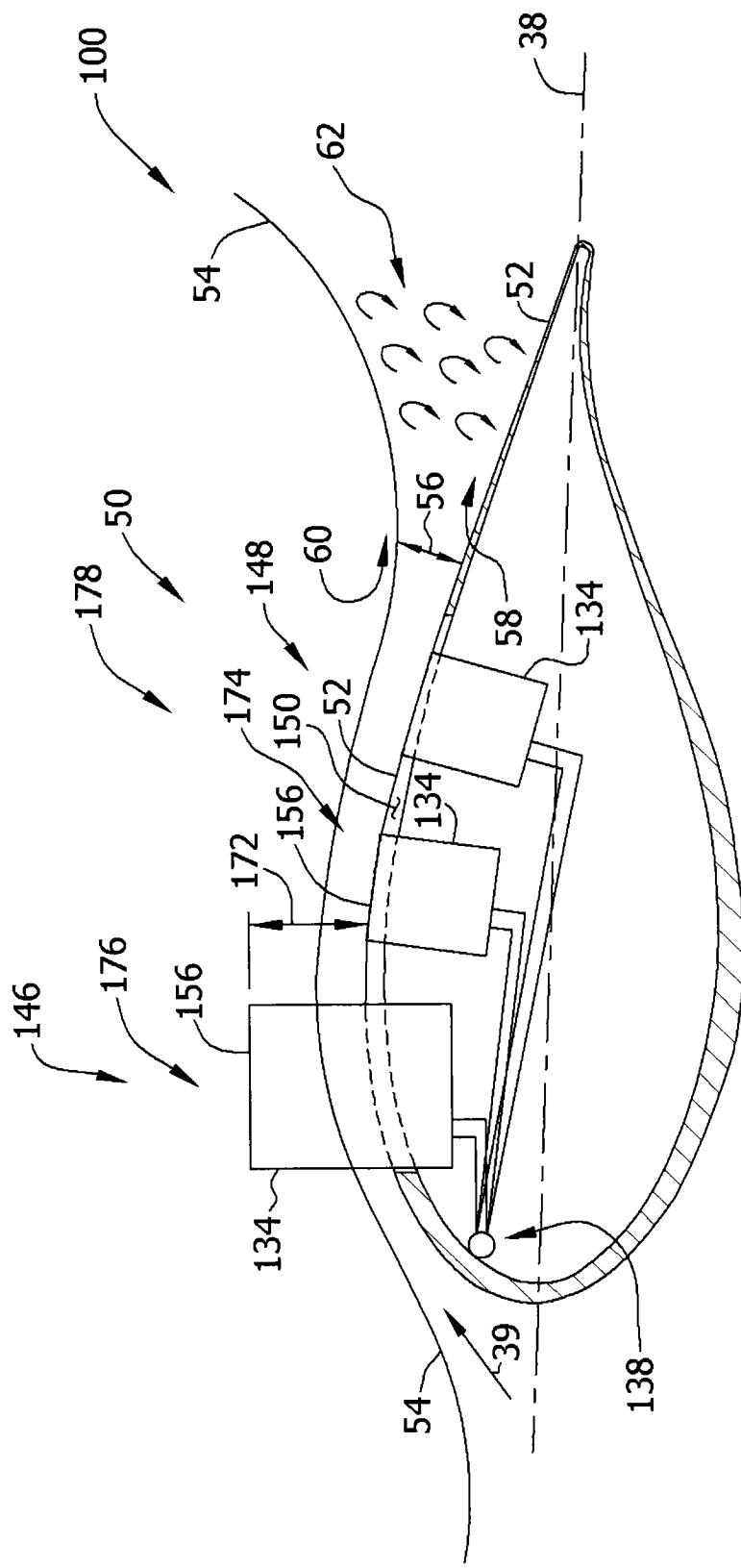


图 4

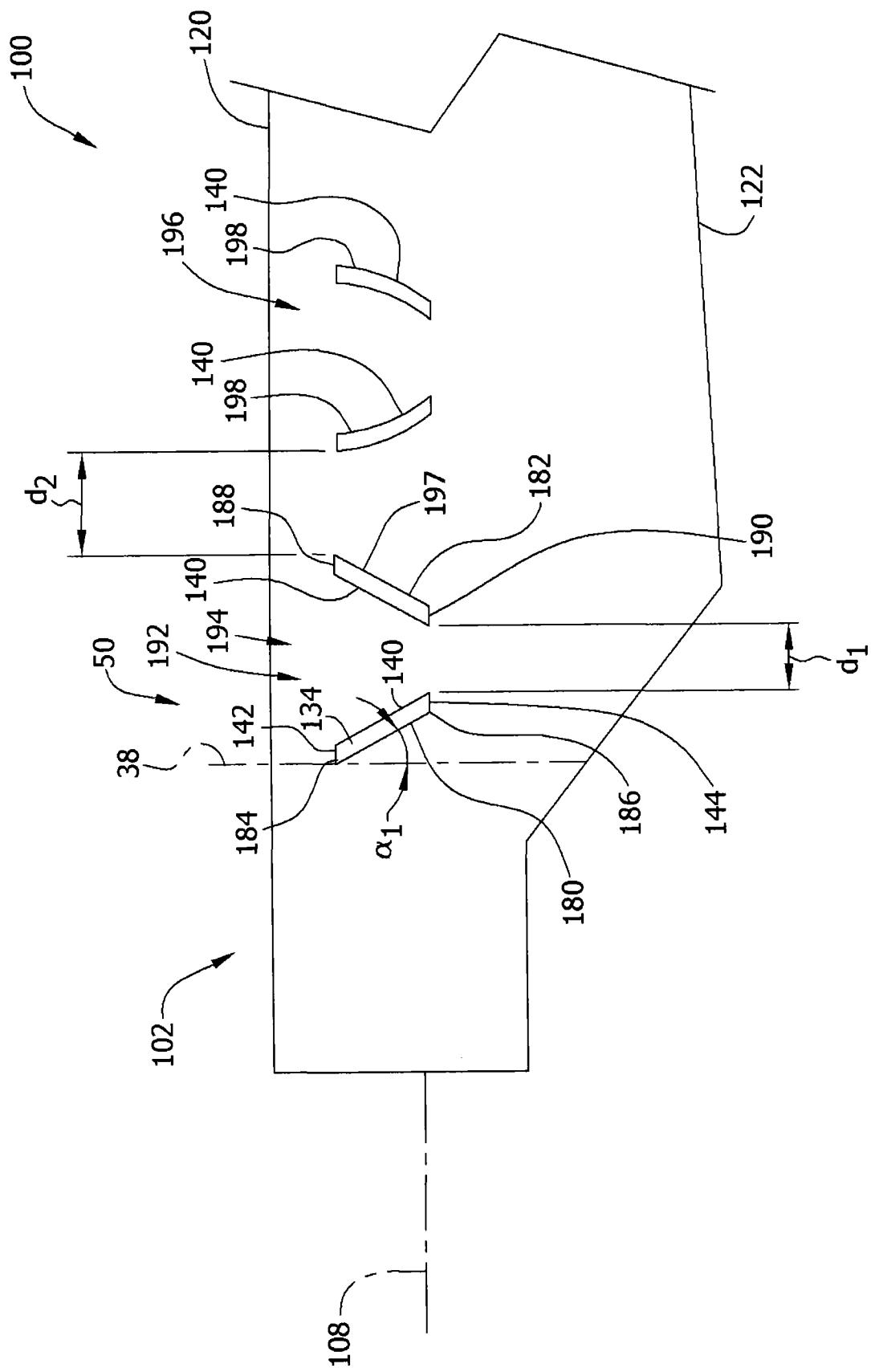


图 5

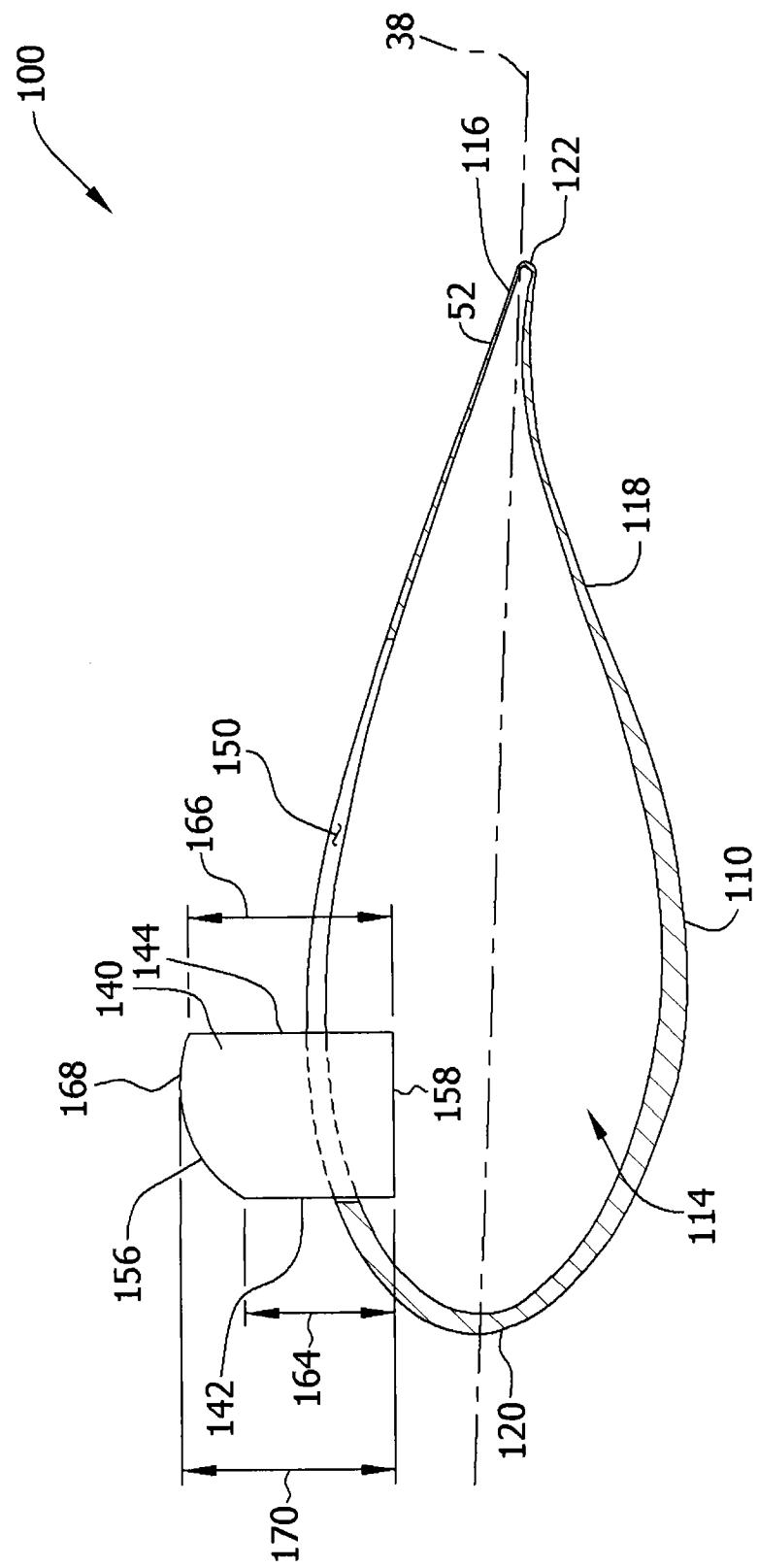


图 6

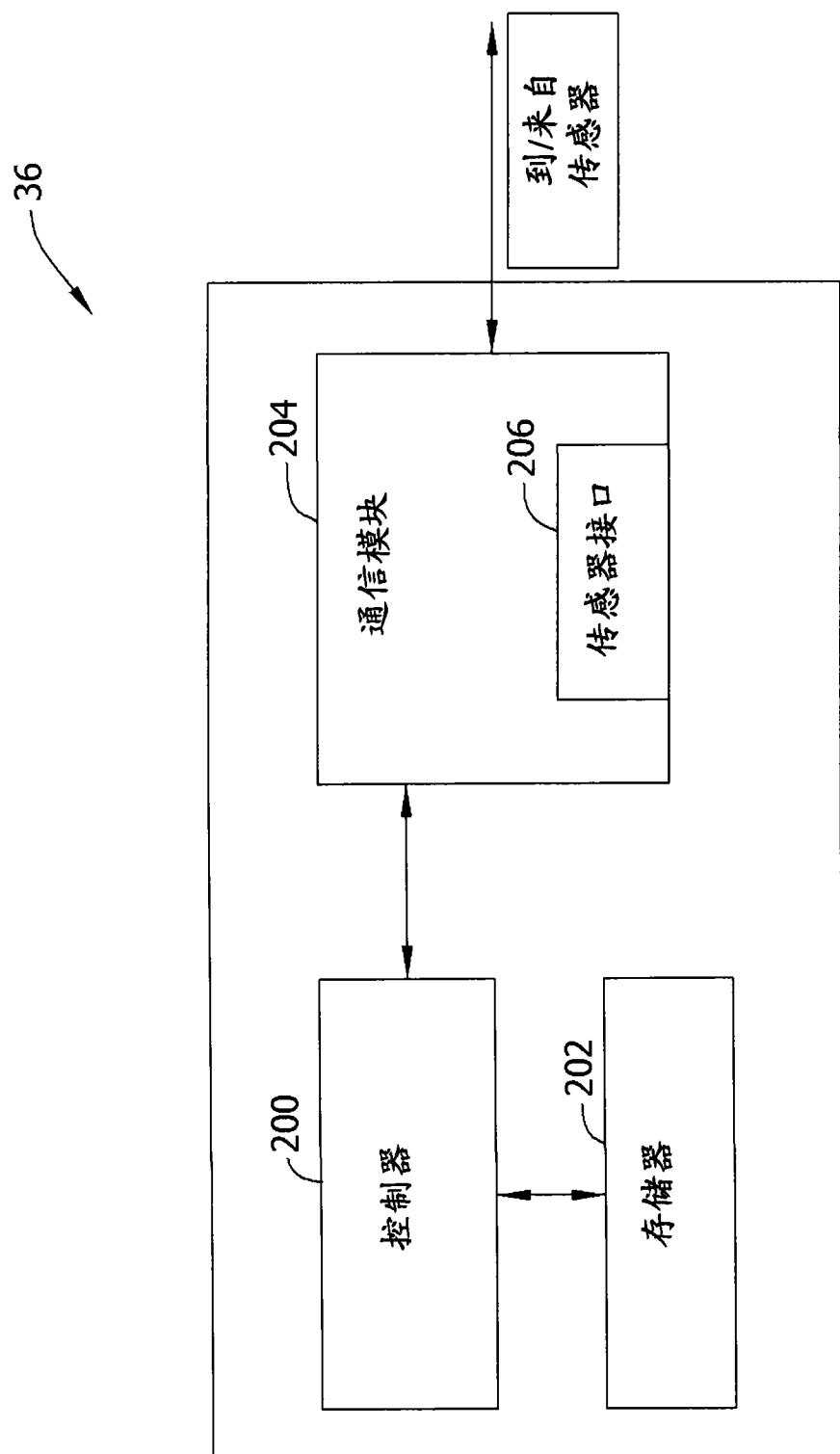


图 7