



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103987622 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 13

(21) 申请号 201280045333. 5

(22) 申请日 2012. 07. 20

(30) 优先权数据

11175052. 7 2011. 07. 22 EP

1202894. 0 2012. 02. 21 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 03. 18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2012/064301 2012. 07. 20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/014082 EN 2013. 01. 31

(71) 申请人 LM WP 专利控股有限公司

地址 丹麦科灵

(72) 发明人 J. 梅森 I. 维尔特 R. 汉森

O. 米勒

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 谭佐晞 何逵游

(51) Int. Cl.

B64C 23/06(2006. 01)

F03D 1/06(2006. 01)

F03D 7/02(2006. 01)

F03D 11/00(2006. 01)

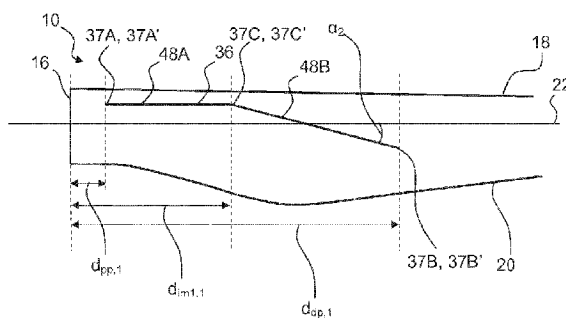
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54) 发明名称

包括涡流发生器的风力涡轮机叶片

(57) 摘要

本发明公开了一种风力涡轮机叶片(10)和用于改造风力涡轮机叶片(10)的方法,该风力涡轮机叶片(10)在纵向方向(r)上沿俯仰轴线延伸且具有尖部端(16)和根部端(14)以及叶片长度(L),风力涡轮机叶片(10)还包括成形轮廓,该成形轮廓包括压力侧(52)和吸力侧(54),以及具有带有在其间延伸的弦长(C)的翼弦(60)的前缘(56)和后缘(58),该成形轮廓在受到入射空气流冲击时生成升力,其中风力涡轮机叶片的吸力侧(54)设有沿安装线(36)定位的多个涡流发生器,该安装线具有最靠近根部端的近侧端点(37A)和最靠近尖部端的远侧端点(37B),其中安装线(36)从风力涡轮机叶片(10)的后缘(58)看为凹线。



1. 一种用于具有基本水平的转子轴线的风力涡轮机 (2) 的转子的风力涡轮机叶片 (10), 所述转子包括轮毂 (8), 当安装到所述轮毂 (8) 上时, 所述风力涡轮机叶片从所述轮毂 (8) 基本在径向方向上延伸, 所述风力涡轮机叶片在纵向方向 (r) 上沿俯仰轴线延伸且具有尖部端 (16) 和根部端 (14) 以及叶片长度, 所述风力涡轮机叶片还包括成形轮廓, 其包括压力侧和吸力侧以及具有翼弦的前缘 (18) 和后缘 (20), 所述翼弦具有在所述前缘与所述后缘之间延伸的弦长, 所述成形轮廓在受到入射空气流冲击时生成升力, 其中所述风力涡轮机叶片的所述吸力侧设有沿安装线 (36) 定位的多个涡流发生器, 所述安装线 (36) 具有最靠近所述根部端的近侧端点 (37A) 和最靠近所述尖部端的远侧端点 (37B), 其特征在于, 所述安装线从所述风力涡轮机叶片的所述后缘看为凹线, 其中所述近侧端点位于离所述根部端 0 至 0.12L 的叶片长度区间内且位于 2% 至 20% 的相对翼弦位置中, 而其中所述远侧端点位于离所述根部端 0.2L 至 0.5L 的叶片长度区间内且位于 25% 至 75% 的相对翼弦位置中。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述安装线沿所述叶片长度的 10% 至 50% 延伸。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述近侧端点位于离所述根部端 0 至 0.10L, 或 0 至 0.08L, 或 0 至 0.06L 的叶片长度区间内。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述近侧端点位于离所述前缘 2% 至 20%, 或 3% 至 15%, 或 5 至 15% 的相对翼弦位置中, 例如, 大约 10%。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述远侧端点位于离所述根部端 0.25L 到 0.45L, 或 0.3L 到 0.4L 的叶片长度区间内。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述远侧端点位于离所述前缘 25% 至 70%, 或 30% 至 60% 的相对翼弦位置中, 例如, 大约 50%。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述安装线的近侧端点的切线与所述俯仰轴线形成在从 0 到 10 度, 或从 0 到 5 度的范围内的角。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述安装线的远侧端点的切线与所述俯仰轴线形成在从 5 度到 45 度, 或 5 度到 35 度, 或 5 度到 25 度, 或 5 度到 15 度的范围内的角, 如, 8 度。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述安装线包括将所述安装线分成直的第一线段和第二线段的至少第一中点。

10. 根据权利要求 9 所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述第一中点位于离所述根部端 0.05L 到 0.30L, 或 0.08L 到 0.20L, 或 0.10L 到 0.17L 的叶片长度区间内。

11. 根据权利要求 9 至权利要求 10 中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述第一中点位于离所述前缘 2% 至 20%, 或 3% 至 15%, 或 5 至 15% 的相对翼弦位置中, 例如, 大约 10%。

12. 根据权利要求 9 至权利要求 11 中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述第一线段与所述俯仰轴线形成在从 0 到 10 度的范围内的第一角。

13. 根据权利要求 9 至权利要求 12 中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述第二线段为直的且与所述俯仰轴线形成在从 2 度到 60 度或 5 度到 45 度的范围内的第二角。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述成形轮廓被分成:
- 根部区域 (30), 所述根部区域 (30) 具有最靠近所述轮毂的基本圆形或椭圆形轮廓,

- 翼型区域 (34), 所述翼型区域 (34) 具有最远离所述轮毂的升力生成轮廓, 以及
- 在所述根部区域 (30) 与所述翼型区域 (34) 之间的过渡区域 (32), 所述过渡区域 (32) 具有在所述径向方向上从所述根部区域的圆形或椭圆形轮廓逐渐变化到所述翼型区域的升力生成轮廓的轮廓;

其中所述安装线基本沿所述叶片的整个所述过渡区域延伸。

15. 根据权利要求 14 所述的风力涡轮机叶片, 所述成形轮廓具有肩部 (39), 所述肩部 (39) 具有肩部宽度且位于所述过渡区域 (32) 与所述翼型区域 (34) 之间的边界处, 其中所述肩部位于离所述根部端 0.15L 到 0.25L、或 0.18L 到 0.25L、或 0.19L 到 0.24L 的区间内。

16. 根据前述权利要求中任一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 远侧涡流发生器位于所述远侧端点处, 所述远侧涡流发生器包括基部和导叶对, 所述导叶对包括从所述基部伸出的第一导叶和第二导叶, 其中所述第一导叶与所述俯仰轴线形成在从 65 度到 80 度或从 70 度到 75 度的范围内的第一冲角。

17. 一种用于改造在纵向方向上沿俯仰轴线延伸且具有尖部端和根部端以及叶片长度的风力涡轮机叶片的方法, 所述风力涡轮机叶片还包括成形轮廓, 所述成形轮廓包括压力侧和吸力侧以及具有翼弦的前缘和后缘, 所述翼弦具有在所述前缘与所述后缘之间延伸的弦长, 所述成形轮廓在受到入射空气流冲击时生成升力, 所述方法包括沿具有最靠近所述根部端的近侧端点和最靠近所述尖部端的远侧端点的安装线安装多个涡流发生器, 其特征在于, 所述安装线从所述风力涡轮机叶片的所述后缘看为凹线, 其中所述近侧端点位于离所述根部端 0 至 0.12L 的叶片长度区间内且位于 2% 至 20% 的相对翼弦位置中, 而其中所述远侧端点位于离所述根部端 0.2L 到 0.5L 的叶片长度区间内且位于 25% 至 75% 的相对翼弦位置中。

包括涡流发生器的风力涡轮机叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及包括涡流发生器的风力涡轮机叶片,尤其是包括布置在风力涡轮机叶片的吸力侧表面上的涡流发生器的风力涡轮机叶片。

背景技术

[0002] 风力涡轮机制造商不断努力改善其风力涡轮机的效率以便使年度能量产量最大化。此外,由于需要花费很长的时间和大量资源来开发新的风力涡轮机机型,故风力涡轮机制造商对延长其风力涡轮机机型的寿命感兴趣。用以改善风力涡轮机的效率的显著方式为改善风力涡轮机叶片的效率,以便风力涡轮机在给定的风速下能产生更高的功率输出。

[0003] WO 01/16482 公开了设有沿线布置成U形式样(pattern)的涡流发生器的叶片,当从风力涡轮机叶片的后缘看时,该线为凸形的。

[0004] WO 02/08600 公开了设有沿平行于叶片的压力侧上的前缘的线布置的涡流发生器的叶片。

[0005] WO 2010/100237 公开了设有沿直线布置的涡流发生器的叶片。

[0006] 因此,存在对用以改善新的和/或现有叶片的效率的方法的需要。

发明内容

[0007] 因此,本发明的目的在于提供具有改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片,使更高的能量产量成为可能。

[0008] 提供了用于具有基本水平的转子轴线的风力涡轮机的转子的风力涡轮机叶片,该转子包括轮毂,当安装到轮毂上时,风力涡轮机叶片从该轮毂基本在径向方向上延伸,风力涡轮机叶片在纵向方向上沿俯仰轴线(pitch axis)延伸且具有尖部端和根部端以及叶片长度,风力涡轮机叶片还包括成形轮廓,其包括压力侧和吸力侧,以及具有翼弦的前缘和后缘,该翼弦具有在前缘与后缘之间延伸的弦长,成形轮廓在受到入射空气流冲击时生成升力,其中风力涡轮机叶片的吸力侧设有沿安装线定位的多个涡流发生器,该安装线具有最靠近根部端的近侧端点和最靠近尖部端的远侧端点。从风力涡轮机叶片的后缘看,安装线为凹线,其中近侧端点位于离根部端0至0.12L的叶片长度区间中且位于2%至20%的相对翼弦的位置中,而其中远侧端点位于离根部端0.2L到0.5L的叶片长度区间中且位于25%至75%的相对翼弦位置中。

[0009] 此外,提供了用于改造在纵向方向上沿俯仰轴线延伸且具有尖部端和根部端以及叶片长度的风力涡轮机叶片的方法,该风力涡轮机叶片还包括成形轮廓,其包括压力侧和吸力侧,以及具有翼弦的前缘和后缘,该翼弦具有在前缘与后缘之间延伸的弦长,成形轮廓在受到入射空气流冲击时产生升力,该方法包括沿安装线安装多个涡流发生器,该安装线具有最靠近根部端的近侧端点和最靠近尖部端的远侧端点。从风力涡轮机叶片的后缘看,安装线为凹线,其中近侧端点位于离根部端0至0.12L的叶片长度区间中且位于2%至20%的相对翼弦位置中,而其中远侧端点位于离根部端0.2L至0.5L的叶片长度区间中且位于

25% 至 75% 的相对翼弦位置中。该方法可包括安装涡流发生器以提供如在此描述的风力涡轮机。

[0010] 凹形的安装线优选地沿整个安装线都是凹形的。换言之，在两个端点之间画出的线不应与安装线交叉。

[0011] 根据本发明的风力涡轮机叶片提供了风力涡轮机叶片上的改善的流，该风力涡轮机叶片具有改善的空气动力特性从而使来自具有相应风力涡轮机叶片的风力涡轮机能够有更高的能量产量。具体而言，提供了在叶片的过渡区域和翼型区域的第一部分中具有改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片。

附图说明

[0012] 通过参照附图的其示例性实施例的以下详细描述，本发明的以上及其它特征和优点对那些本领域中的技术人员将变得十分明显，在附图中：

图 1 示出了风力涡轮机，

图 2 示出了根据本发明的具有涡流发生器的风力涡轮机叶片的示意性视图，

图 3 示出了翼型轮廓的示意性视图，

图 4 示出了从上方和从侧部看的风力涡轮机叶片的示意性视图，

图 5 示出了在近侧端点处的风力涡轮机叶片的示例性截面，

图 6 示意性地示出了安装在风力涡轮机叶片的吸力侧上的涡流发生器，

图 7 为涡流发生器的透视图，

图 8 示出了根据本发明的示例性风力涡轮机叶片的一部分，以及

图 9 示出了根据本发明的示例性风力涡轮机叶片的一部分。

[0013] 标号清单

2 风力涡轮机

4 塔架

6 机舱

8 轮毂

10 叶片

14 叶片尖部 / 尖部端

16 叶片根部 / 根部端

18 前缘

20 后缘

22 俯仰轴线

30 根部区域

32 过渡区域

34 翼型区域

36 安装线

37A 近侧端点

37A' 近侧涡流发生器

37B 远侧端点

- 37B' 远侧涡流发生器
- 37C 第一中点
- 37C' 第一中间涡流发生器
- 37D 第二中点
- 37D' 第二中间涡流发生器
- 38 分离线
- 39 肩部
- 40A、40B 涡流发生器
- 42 基部
- 44A 第一导叶
- 44B 第二导叶
- 45 前缘
- 46 中心位置
- 48A 第一线段
- 48B 第二线段
- 48C 第三线段
- 50 翼型轮廓
- 52 压力侧
- 54 吸力侧
- 56 前缘
- 58 后缘
- 60 翼弦
- 62 弧线 / 中线
- C 弦长
- $d_{pp,1}$ 近侧端点离根部端的距离
- $d_{pp,2}$ 近侧端点离前缘的翼弦方向距离
- $d_{dp,1}$ 远侧端点离根部端的距离
- $d_{dp,2}$ 远侧端点离前缘的翼弦方向距离
- $d_{im1,1}$ 第一中点离根部端的距离
- $d_{im1,2}$ 第一中点离前缘的翼弦方向距离
- $d_{im2,1}$ 第二中点离根部端的距离
- $d_{im2,2}$ 第二中点离前缘的翼弦方向距离
- α_1 第一线段与俯仰轴线之间的第一角
- α_2 第二线段与俯仰轴线之间的第二角
- α_3 第三线段与俯仰轴线之间的第三角
- d_t 最大厚度的位置
- d_f 最大弧高 (camber) 的位置
- d_p 最大压力侧弧高的位置
- d_s 肩部距离

- f 弧高
- L 叶片长度
- P 功率输出
- R 局部半径、离叶片根部的径向距离
- T 厚度
- V_w 风速
- θ 扭转度、俯仰角(pitch)
- Δy 预弯曲。

具体实施方式

[0014] 为了清晰起见,附图为示意性的和简化的,且它们仅仅示出了对本发明的理解所必需的细节,而已经省略了其它细节。自始至终,相同的参考标号用于一致的或对应的部分。

[0015] 根据本发明的风力涡轮机叶片允许了涡流发生器构造,其中涡流发生器布置成靠近于没有涡流发生器的对应的风力涡轮机叶片的吸力侧上可能或预期的流分离区,该流分离由根部区域和过渡区域的固有的次最佳空气动力轮廓引起。因此,风力涡轮机叶片通过朝后缘移动该分离或甚至防止风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离来提供了改善的分离轮廓。同时,使来自从吸力侧表面伸出的涡流发生器的诱导阻力最小化,因为它们尽可能近地移到了叶片的后缘。

[0016] 由于在不同的操作条件期间分离线的位置改变,故涡流发生器与对于没有涡流发生器的风力涡轮机叶片的期望的分离线之间的翼弦方向距离不能太小。另一方面,由于涡流发生器的作用随增大的距离而减小,故离期望的分离线的翼弦方向距离不能太大。期望的是,涡流发生器定位在期望的分离线与前缘之间,以便获得最佳效果。此外,可期望的是,将涡流发生器布置成离前缘尽可能远或尽可能靠近后缘,以便减小或消除阻力效应。涡流发生器典型地布置在期望的分离线与风力涡轮机叶片的前缘之间。

[0017] 所认识到的是,风力涡轮机叶片自身的表面为弯曲的。因此,凹形的安装线将被理解为当投影到叶片的翼弦平面中时为凹形的线,或相等地,安装线在叶片的吸力侧的顶部视图中从后缘可为凹形。还应理解的是,多个涡流发生器包括位于近侧端点处的近侧涡流发生器和位于远侧端点处的远侧涡流发生器,以及在近侧涡流发生器与远侧涡流发生器之间的至少一个且优选为多个的中间涡流发生器。(多个)中间涡流发生器可位于安装线上的(多个)中点处。在一个实施例中,安装线的线段(即,安装线的一部分)可为凹形的。

[0018] 涡流发生器可包括具有中心位置的基部和一个或一对导叶,导叶包括从基部伸出的第一导叶和可选的第二导叶。涡流发生器的中心位置可限定安装线的端点和中点。

[0019] 多个涡流发生器可包括一组或多组涡流发生器,例如,沿安装线的第一线段定位的第一组涡流发生器和/或沿安装线的第二线段定位的第二组涡流发生器。多个涡流发生器或一组(多组)涡流发生器(如,沿第一线段定位的第一组涡流发生器和/或沿第二线段定位的第二组涡流发生器)可包括至少 10 个、至少 20 个、至少 30 个、至少 40 个或至少 50 个涡流发生器。

[0020] 安装线可沿着涡流发生器的中心位置或备选地沿着涡流发生器的前缘。安装线或

其(多个)线段可沿着线或基本与线一致,该线沿风力涡轮机叶片的吸力侧表面限定两点之间(例如,在安装线的两个中点之间或端点与中点之间)的最短路径。

[0021] 安装线可沿叶片长度的一部分延伸。安装线可沿叶片长度的 10% 到 50%(如,沿 15% 到 40%) 延伸。在一个或更多实施例中,安装线沿叶片长度的 20% 到 35% 延伸。

[0022] 安装线可形成平滑的凹形曲线。然而,实际上,沿平滑的凹形曲线布置涡流发生器可能很麻烦,尤其是由于涡流发生器通常安装在条上或经由条来安装。因此,根据尤其有利的实施例,凹形的安装线被分成两个或更多的直线段。

[0023] 风力涡轮机叶片的成形轮廓可被分成具有最靠近轮毂的基本圆形或椭圆形轮廓的根部区域、具有最远离轮毂的升力生成轮廓的翼型区域,以及在根部区域与翼型区域之间的过渡区域,该过渡区域具有在径向方向上从根部区域的圆形或椭圆形轮廓逐渐变化至翼型区域的升力生成轮廓的轮廓。成形轮廓可具有带有肩部宽度且位于过渡区域与翼型区域之间的边界处的肩部。肩部可位于离根部端 0.15L 到 0.25L、或 0.18L 到 0.25L、或 0.19L 到 0.24L 的区间内,其中 L 为风力涡轮机叶片的长度。安装线可基本沿叶片的整个过渡区域延伸。

[0024] 安装线的近侧端点靠近于根部端定位,例如,在离根部端 0 至 0.12L 的叶片长度区间内。在一个或更多实施例中,近侧端点位于离根部端 0 至 0.10L(如,0 至 0.08L 或 0 至 0.06L) 的叶片长度区间内。

[0025] 近侧端点位于离前缘的翼弦方向距离处。近侧端点位于离前缘 2% 至 20% 的相对翼弦位置中。在一个或更多实施例中,近侧端点位于离前缘 3% 至 15%、或 5% 至 15%(例如,大约 10%) 的相对翼弦位置中。

[0026] 远侧端点可位于过渡区域中或位于翼型区域中。安装线的远侧端点位于离根部端 0.2L 到 0.5L 的叶片长度区间内。在一个或更多实施例中,远侧端点位于离根部端 0.25L 到 0.45L(如,从 0.3L 到 0.4L) 的叶片长度区间内。

[0027] 远侧端点位于离前缘的翼弦方向距离处。安装线的远侧端点可位于离前缘 25% 至 75% 的相对翼弦位置中。在一个或更多实施例中,远侧端点位于离前缘 30% 至 60%(例如,大约 50%) 的相对翼弦位置中。

[0028] 安装线的近侧端点的切线可与俯仰轴线形成例如,在从 0 到 10 度、或从 0 到 5 度的范围内的角。

[0029] 安装线的远侧端点的切线可与俯仰轴线形成在从 5 度到 45 度、或 5 度到 35 度、或 5 度到 25 度、或 5 度到 15 度(如,8 度) 的范围内的角。

[0030] 在切角和 / 或离前缘的翼弦方向距离上的差异提供了尤其是在肩部和过渡区域附近或肩部和过渡区域处显示出了改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片。

[0031] 安装线可包括至少一个中点,中点包括第一中点,其中至少一个中点将安装线分成包括第一线段和第二线段的多个线段。第一线段可为直的和 / 或第二线段可为直的。直线段可限定为在翼弦平面中的直线,或同样地,该线段在叶片的吸力侧的顶部视图中为直的。此外,直线段可限定为限定沿风力涡轮机叶片的外表面的两点之间的最短距离的路径。

[0032] 直的第一线段可与俯仰轴线形成在从 0 到 10 度(如,从 0 到 5 度) 的范围内的第一角。

[0033] 直的第二线段可与俯仰轴线形成在从 2 度到 60 度或从 5 度到 45 度的范围内的第

二角。在一个或多个实施例中,第二角可为从 5 到 10 度,例如,大约 8 度。

[0034] 第一中点可位于离根部端 0.05L 到 0.30L 的叶片长度区间内。在一个或更多实施例中,第一中点位于离根部端 0.08L 到 0.20L(如,0.10L 到 0.17L)的叶片长度区间内。第一中点可位于根部端与肩部之间。

[0035] 第一中点可位于离前缘 2% 至 20% 的相对翼弦位置中。在一个或更多实施例中,第一中点位于离前缘 3% 至 15%、或 5 至 15%(例如,大约 10%)的相对翼弦位置中。

[0036] 安装线可包括第二中点。第二中点可位于离根部端 0.10L 到 0.4L 的叶片长度区间内。在一个或更多实施例中,第二中点位于离根部端 0.15L 到 0.3L 的叶片长度区间内。第二中点可位于肩部与尖部端之间。

[0037] 第二中点可位于离前缘 5% 至 30% 的相对翼弦位置中。在一个或更多实施例中,第一中点位于离前缘 15% 至 25%(例如,大约 20%)的相对翼弦位置中。

[0038] 直的第三线段(例如,在第二中点与远侧端点之间)可与俯仰轴线形成在从 2 度到 60 度或从 5 度到 45 度的范围内的第三角。在一个或更多实施例中,第三角可为从 5 度到 15 度,例如,大约 12 度。安装线的线段与俯仰轴线形成角。该角可随离根部端的距离而增大。例如,比第一线段更靠近尖部端的第二线段可与俯仰轴线形成比第一线段与俯仰轴线之间的第一角更大的第二角。此外或作为备选,比第二线段更靠近尖部端的第三线段可与俯仰轴线形成比第二线段与俯仰轴线之间的第二角更大的第三角。

[0039] 一般说来,沿安装线的涡流发生器可通过基本平行于在各自的涡流发生器位置处的安装线切线的涡流发生器的前缘对准。然而,一个或更多涡流发生器可围绕中心位置旋转,以便为各自的涡流发生器的(多个)导叶提供期望冲角。例如,第二线段或第三线段上的涡流发生器的前缘可平行于俯仰轴线或与俯仰轴线形成小于 3 度的角。

[0040] 例如,沿安装线的第二线段定位的第二组涡流发生器可布置成使得其第一导叶形成在从 65 度到 80 度或从 70 度到 75 度的范围内的各自的第一冲角(俯仰轴线与导叶线之间在基部处的角)。此外或作为备选,位于远侧端点处的远侧涡流发生器可包括与俯仰轴线形成在从 65 度到 80 度或从 70 度到 75 度的范围内的第一冲角的第一导叶。

[0041] 涡流发生器可提供为包括一排成对涡流发生器的涡流发生器布置。

[0042] 因此,提供了用于在翼型轮廓上(优选为在风力涡轮机叶片上)使用的涡流发生器(VGs)布置,所述翼型轮廓具有前缘和后缘,所述 VGs 提供为一排 VGs 对,所述 VGs 包括从所述翼型轮廓的表面伸出的基本三角形的 VG 导叶,所述对中的每一个均包括第一 VG 和第二 VG,其中所述 VGs 包括:

朝所述前缘提供的第一端;

朝所述后缘提供的第二端;

在邻近翼型的表面的所述第一端与所述第二端之间延伸的基部;以及

设在所述三角形的 VG 导叶的远端处的尖部,

其中所述 VGs 相对于翼型的流方向歪斜,且其中

l 为 VGs 的基部的长度;

s 为 VG 对中的第一和第二 VGs 的各自的第二端之间的距离;

h 为离 VG 对中的 VG 的所述尖部的所述表面的高度;

z 为在该排中相邻 VG 对的第一与第二 VGs 之间限定的标称中心线之间的距离;以及

β 为 VGs 关于翼型的流方向的歪斜角,其特征在于:

l/h 在 1 至 5 之间,优选为大约 2;

s/h 在 4 至 15 之间,优选为在 6 至 10 之间,最优选为大约 7;

z/h 在 7 至 20 之间,优选为在 8 至 15 之间,最优选为大约 10;以及

β 在大约 6 到 16 度之间,优选为在 9 至 13 度之间,最优选为大约 12 度。

[0043] 通过根据这些范围布置涡流发生器,当与现有技术相比较时,在翼型性能方面存在令人惊讶的改善。虽然发现单个值和比率的变化相对于现有技术增大了由涡流发生器产生的阻力,但对于这些范围发现了令人惊讶的效果,其中当与现有技术的系统相比较时,所提出的涡流发生器布置作用以减小阻力和增大升力。

[0044] 作为优选,所述 VGs 包括直角三角形 VG 导叶,其中所述导叶的斜边从在所述第一端处的基部延伸到在所述第二端处的远侧尖部。

[0045] 作为优选,所述 VG 对的 VGs 相对于翼型上的流方向成角。作为优选,所述 VG 对的 VGs 以会聚性布置提供在 VG 对的第一端处。

[0046] 作为优选,相邻的 VGs 的第一端形成 VG 对的较窄的相对会聚性的端,而相邻的 VGs 的第二端形成 VG 对的较宽的发散端。

[0047] 作为优选,角 β 从各自的第一端朝第二端测得。

[0048] 与 Godard[G. Godard & M. Stanislas; Control of a decelerating boundary layer. Part 1: Optimization of passive vortex generators; Aerospace Science and Technology 10 (2006) 181-191] (《航天科技》2006 年第 10 卷的 181-191 页收录的 G. Godard 和 M. Stanislas 所著的《减速边界层的控制,第一部分:被动涡流发生器的最优化》)中描述的现有技术相比较,虽然具有 4 至 15 之间的 l/h 比率,但通过将 s/h 的比率增大到 4 至 15 之间,将 z/h 的比率到增大到 7 至 20 之间,且将 β 减小到 6 至 16 度之间,发现了空气动力性能方面的令人惊讶的改善,导致翼型上的涡流发生器对的改善的构造。

[0049] 虽然对涡流发生器布置的上述调整的单独的任何一个将导致阻力上的增大和在空气动力性能上的负面影响,但这些特征调整的组合呈现了超过现有技术的改善,这些改善是现有技术中未被想到或被建议。

[0050] 还提供了具有如上所述的涡流发生器布置的风力涡轮机叶片和具有至少一个此类风力涡轮机叶片的风力涡轮机。

[0051] 图 1 示出了根据所谓的“丹麦概念”的具有塔架 4、机舱 6 和具有基本水平的转子轴的转子的常规现代逆风风力涡轮机 2。转子包括轮毂 8 和从轮毂 8 径向地延伸的三个风力涡轮机叶片 10,各个风力涡轮机叶片均具有最靠近轮毂的叶片根部或根部端 16 和离轮毂 8 最远的叶片尖部或尖部端 14。转子具有 R 表示的半径。

[0052] 图 2 示出了根据本发明的风力涡轮机叶片 10 的示意性视图。风力涡轮机叶片 10 具有常规风力涡轮机叶片的形状且包括最靠近轮毂的根部区域 30、离轮毂最远的成形区域或翼型区域 34 以及根部区域 30 与翼型区域 34 之间的过渡区域 32。叶片 10 包括当叶片安装到轮毂上时面向叶片 10 的旋转方向的前缘 18 和面向前缘 18 的相反的方向的后缘 20。

[0053] 翼型区域 34 (也称为成形区域) 具有关于产生升力的理想或几乎理想的叶片形状,而根部区域 30 由于结构性考虑而具有基本圆形或椭圆形的截面,例如,这使得更容易且更安全地将叶片 10 安装到轮毂上。根部区域 30 的直径 (或翼弦) 沿整个根部区 30 可

为恒定的。过渡区域 32 具有从根部区域 30 的圆形或椭圆形的形状逐渐变化到翼型区域 34 的翼型轮廓的过渡轮廓。过渡区域 32 的弦长典型地随离轮毂的距离 r 的增大而增大。翼型区域 34 具有带有在叶片 10 的前缘 18 与后缘 20 之间延伸的翼弦的翼型轮廓。翼弦的宽度随离轮毂的距离 r 的增大而减小。根部区域和过渡区域中的叶片的形状不是关于空气动力学最佳的,然而由于结构性考虑又是必需的。应注意的是,叶片的不同区段的翼弦通常不处于共同的平面中,因为叶片可扭转和/或弯曲(即,预弯曲),因此提供了具有对应地扭转和/或弯曲的路线(course)的翼弦或翼弦平面,这是最常见的情况以便补偿取决于离轮毂的半径的叶片的局部速度。

[0054] 风力涡轮机叶片的吸力侧设有沿安装线 36 定位的多个涡流发生器,该安装线 36 具有带有最靠近根部端的近侧涡流发生器 37A' 的近侧端点 37A 和带有最靠近尖部端的远侧涡流发生器 37B' 的远侧端点 37B。安装线 36 从风力涡轮机叶片的后缘 20 看为凹线。涡流发生器安装在期望的分离线 38 与风力涡轮机叶片的前缘 18 之间。具有第一中间涡流发生器 37C' 的第一中点 37C 将安装线 36 分成从近侧端点 37A 延伸到第一中点 37C 的直的第一线段以及从第一中点 37C 延伸到远侧端点 37B 的直的第二线段。

[0055] 图 3 和图 4 绘出了可用于阐释根据本发明的风力涡轮机叶片的几何形状的参数。

[0056] 图 3 示出了以各种参数描绘的风力涡轮机的典型叶片的翼型轮廓 50 的示意性视图,这些参数典型地用于限定翼型的几何形状。翼型轮廓 50 具有压力侧 52 和吸力侧 54,其在使用期间(即,在转子的旋转期间)通常分别面朝迎风(或逆风)侧和背风(或顺风)侧。翼型 50 具有带有在叶片的前缘 56 与后缘 58 之间延伸的弦长 c 的翼弦 60。翼型 50 具有厚度 t ,其限定为压力侧 52 与吸力侧 54 之间的距离。翼型的厚度 t 沿翼弦 60 变化。离对称轮廓的偏差由弧线 62 给出,该弧线为穿过翼型轮廓 50 的中线。中线能通过从前缘 56 向后缘 58 画内切圆来找到。中线沿着这些内切圆的中心且离翼弦 60 的偏差或距离叫做弧高 f 。该不对称还能通过使用叫做上弧高(或吸力侧弧高)和下弧高(压力侧弧高)的参数来限定,其分别限定为从翼弦 60 到吸力侧 54 以及到压力侧 52 的距离。

[0057] 翼型轮廓通常由以下参数表征:弦长 c 、最大弧高 f 、最大弧高 f 的位置 d_f 、最大的翼型厚度 t (其为沿中弧线 62 的内切圆的最大直径)、最大厚度 t 的位置 d_t ,以及翼尖半径(未示出)。这些参数典型地限定为与弦长 c 的比率。因此,局部相对的叶片厚度 t/c 给定局部最大厚度 t 与局部弦长 c 之间的比率。此外,最大压力侧弧高的位置 d_p 可用作设计参数,且当然还有最大吸力侧弧高的位置。

[0058] 图 4 示出了风力涡轮机叶片的其它几何参数。风力涡轮机叶片具有总的叶片长度 L 。如图 3 中所示,根部端位于 $r=0$ 的位置处,而尖部端位于 $r=L$ 处。叶片 10 的肩部 39 限定为其中叶片 10 具有其最大弦长的位置。肩部 39 典型地设在过渡区域 32 与翼型区域 34 之间的边界处。叶片的肩部 39 位于 $r=L_r$ 的位置处,且具有等于在肩部 39 处的弦长的肩部宽度 W 。根部的直径限定为 D 。过渡区域中的叶片的后缘的曲率可由两个参数限定,即,最小外曲率半径 r_o 和最小内曲率半径 r_i ,其分别限定为从外侧看(或在后缘后方)的后缘的最小曲率半径和从内侧看(或在后缘的前方)的最小曲率半径。此外,叶片可设有限定为 Δy 的预弯曲,其对应于离平行于叶片的纵向方向的俯仰轴线 22 的平面外偏差。

[0059] 图 5 示出了在近侧端点 37A 离根部端的距离 $d_{pp,1}$ 处垂直于纵向方向的风力涡轮机叶片的截面。近侧涡流发生器 37A' 的中心位置限定了近侧端点 37A。近侧端点 37A 位于离

前缘的翼弦方向距离 $d_{pp,2}$ 处。距离 $d_{pp,2}$ 可在从 $0.02c$ 到 $0.2c$ 的范围内,例如,如图所示的大约 $0.10c$,其中 c 为翼弦在离根部端的距离 $d_{pp,1}$ 处的长度。

[0060] 图 6 示出了安装在风力涡轮机叶片的吸力侧表面上的示例性涡流发生器 40A、40B。涡流发生器 40A、40B 各自包括基部 42,该基部 42 具有从基部 42 延伸的第一导叶 44A 和第二导叶 44B。基部 42 具有前缘 45 和可与安装线 36 一致或部分地限定安装线 36 的中心位置 46。一般说来,前缘 45 可平行于安装线和 / 或前缘 45 可基本平行于俯仰轴线。

[0061] 表 1 中示出了示例性涡流发生器 VG1、VG2 和 VG3 的参数值以及它们在风力涡轮机叶片的吸力侧上的构造。

参数	参考符号	单位	VG1	VG2	VG3
高度	h	[mm]	10(5-15)	20(15-25)	30(25-35)
长度(宽度)	l	[mm]	20(10-30)	40(30-50)	60(50-70)
长度(导叶顶部)	b	[mm]	2.4(1-4)	4.8(3-6)	7.5(6-9)
间距	s	[mm]	30(20-40)	60(40-80)	90(70-110)
	z	[mm]	50(30-70)	100(75-125)	150(100-200)
角	α	[deg]	6(3-9)		
	β	[deg]	18(10-25)		
	α	[deg]	0.9(0.5-1.5)		

[0062] 表 1 涡流发生器参数

在表 1 中,指出了用于同种类型的相邻涡流发生器 (VG1、VG2、VG3) 的间距参数值 z 。当在面板中或在相邻涡流发生器之间从 VG1 转移到 VG2 时, VG1 与 VG2 之间的距离 z 可在从 50mm 到 100mm 的范围内,例如,75mm。当在面板中或在邻近的涡流发生器之间从 VG2 转移到 VG3 时, VG2 与 VG3 之间的距离 z 可在从 100mm 到 150mm 的范围内,例如,125mm。相邻涡流发生器可相对于彼此围绕它们的中心位置旋转以便促进最佳冲角和穿过涡流发生器的风流。基部 42 可为平面的、单面弯曲或双面弯曲的,以便促进安装在风力涡轮机叶片的吸力侧上。

[0063] 图 7 为包括安装在基部 42 上的多个导叶组的涡流发生器的透视图,各个导叶组均包括第一导叶 44A 和第二导叶 44B。可从表 1 中的不同导叶的导叶角 β 增加补偿角或减去补偿角,以便使涡流面板适于相对于俯仰轴线以不同角安装,从而适应普遍的流入方向。

[0064] 图 8 示出了根据本发明的示例性风力涡轮机叶片的一部分。风力涡轮机叶片包括沿安装线 36 安装或布置的多个涡流发生器。安装线 36 的近侧端点 37A 位于靠近于根部端离根部端的距离 $d_{pp,1}=0.04L$ 处。近侧端点 37A 位于离前缘的翼弦方向距离 $d_{pp,2}=0.11c$ 处。近侧端点 37A 的切线基本平行于俯仰轴线,对应于与俯仰轴线成 0 度的角。安装线 36 的远侧端点 37B 位于离根部端的距离 $d_{dp,1}=0.35L$ 处的和位于离前缘的翼弦方向距离 $d_{dp,2}=0.5c$ 处的翼型区域中。安装线的远侧端点的切线与俯仰轴线形成大约 8 度的角。安装线 36 包括位于离根部端的距离 $d_{im,1}=0.13L$ 处且离前缘的翼弦方向距离 $d_{im,2}=0.10c$ 处的第一中点 37C。第一中点 37C 将安装线分成平行于俯仰轴线 22 的直的第一线段 48A 和与俯仰轴线 22

形成大约 8 度的第二角 α_2 的直的第二线段 48B。包括至少 10 个涡流发生器（如，大约 35 个涡流发生器）的第一组涡流发生器沿第一线段定位。包括至少 10 个涡流发生器的第二组涡流发生器沿第二线段定位。

[0065] 对于安装线上的涡流发生器离前缘的翼弦方向距离可朝尖部端增大。例如，对于安装线上的第一中间涡流发生器和第二中间涡流发生器， $d_{im1,2} < d_{im2,2}$ ，其中 $d_{im1,1} < d_{im2,1}$ 。

[0066] 图 9 示出了根据本发明的示例性风力涡轮机叶片的一部分，其中安装线 36 还包括在图 8 中的第一中点 37C 与远侧端点 37B 之间的肩部处具有第二中间涡流发生器 37D' 的第二中点 37D，以及与俯仰轴线 22 具有大约 12 度的第三角 α_3 的第三线段 48C。第一中点 37C 与第二中点 37D 之间的第二线段 48B 与俯仰轴线 22 形成大约 4 度的第二角 α_2 。距离 $d_{im2,1}$ 为 $0.21L$ 而 $d_{im2,2}$ 为 $0.2c$ 。

[0067] 应注意的是，除附图中示出的本发明的示例性实施例之外，本发明可体现为不同的形式且不应被看作是限于在此阐述的实施例。相反，提供这些实施例以便本公开内容将为深入且彻底的，且将向那些本领域中的技术人员全面传达本发明的构想。

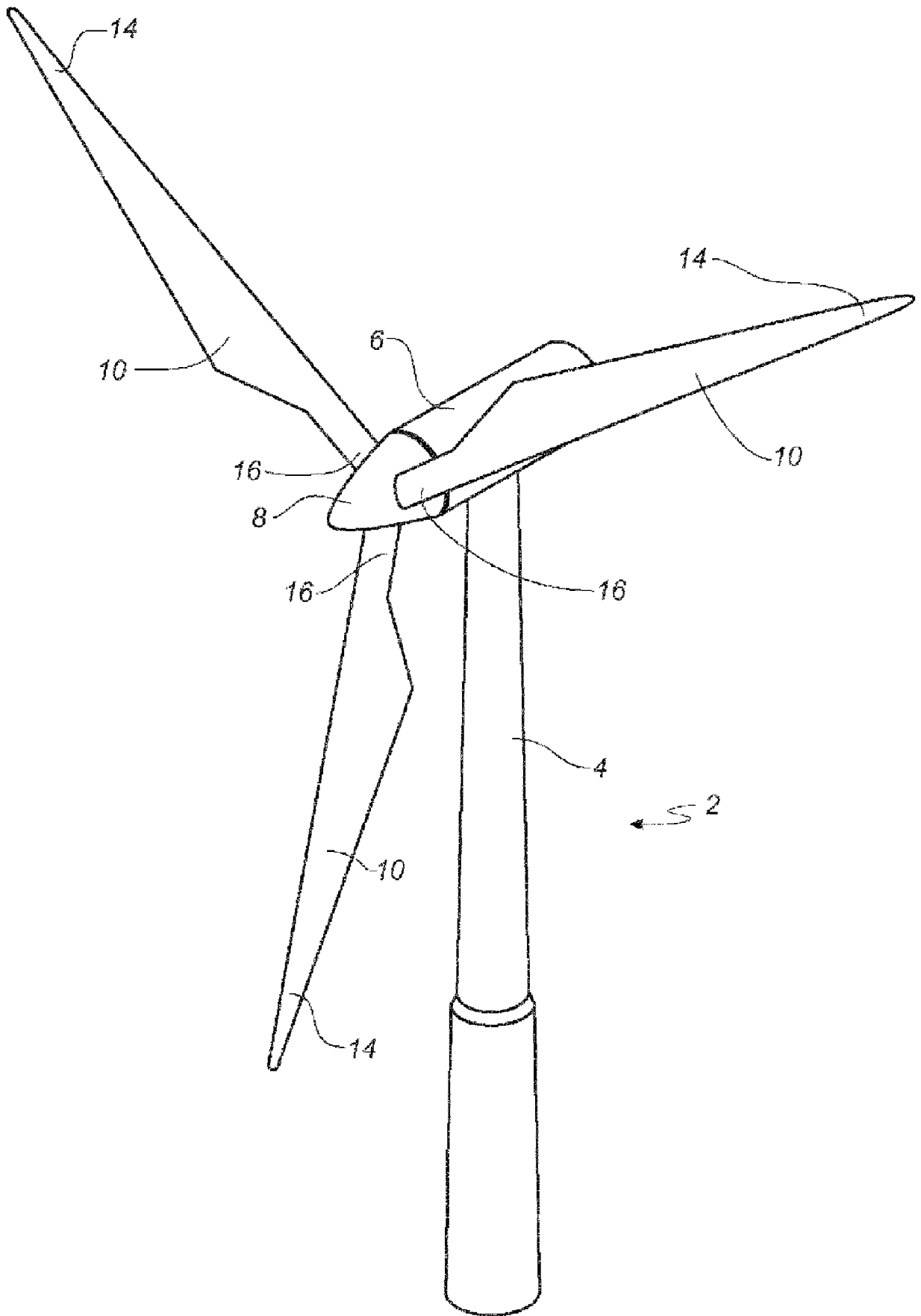


图 1

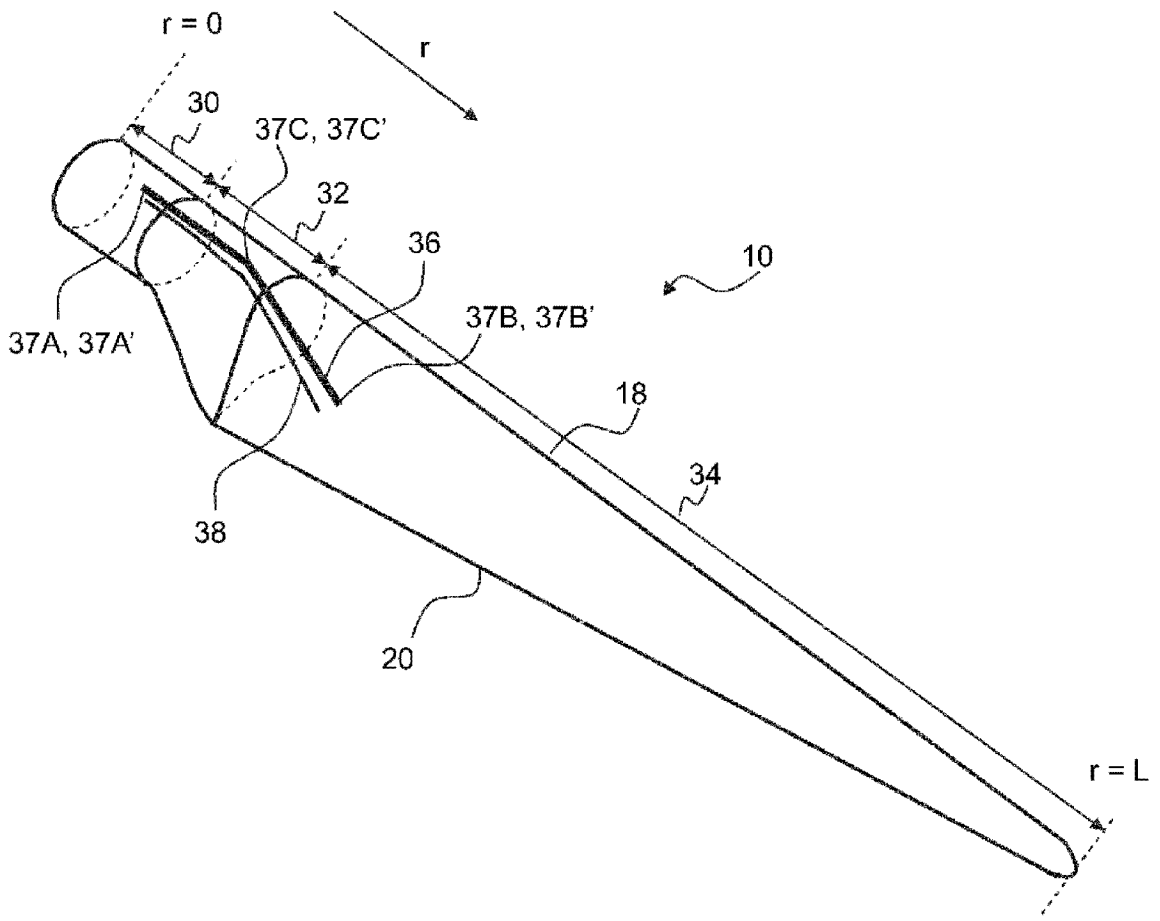


图 2

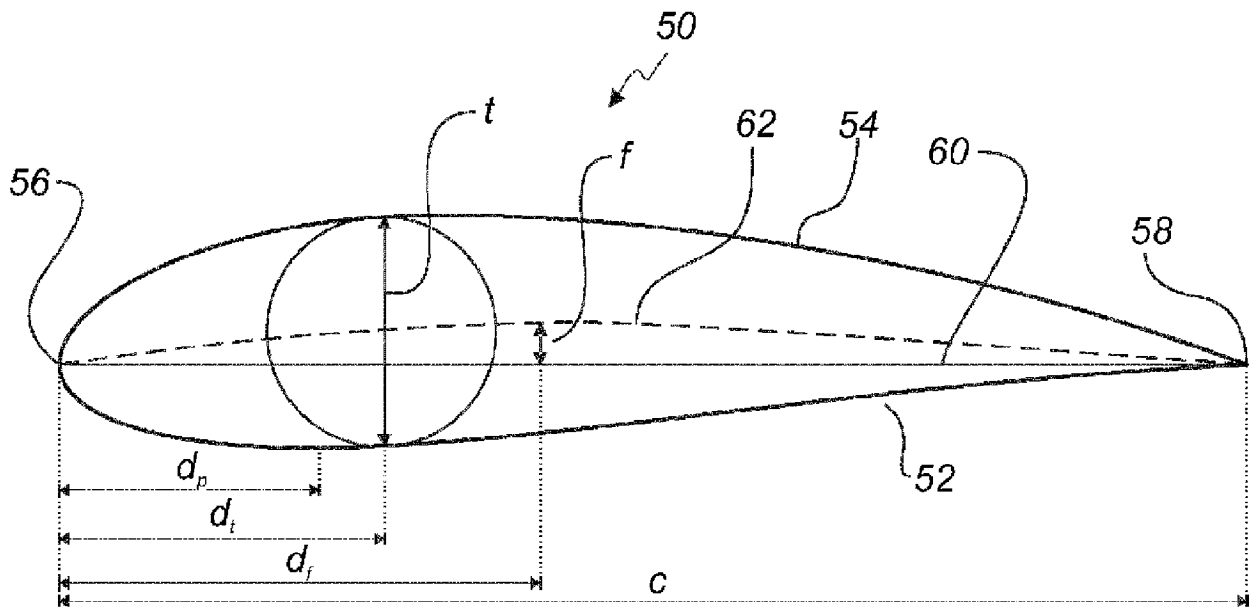


图 3

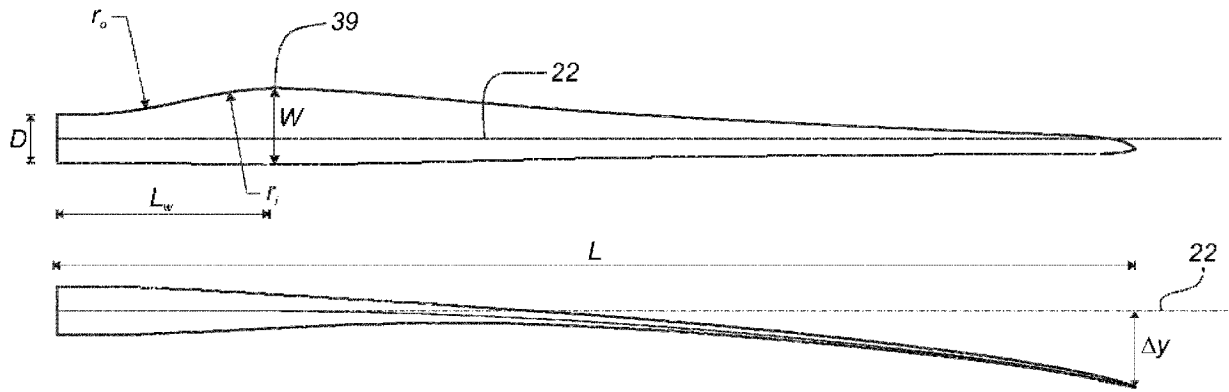


图 4

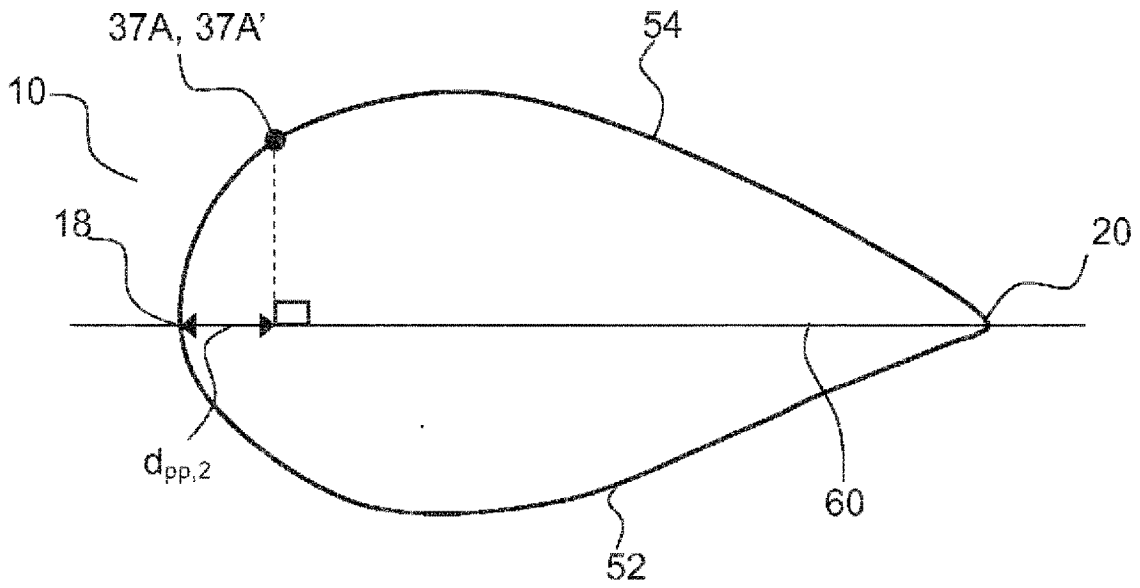


图 5

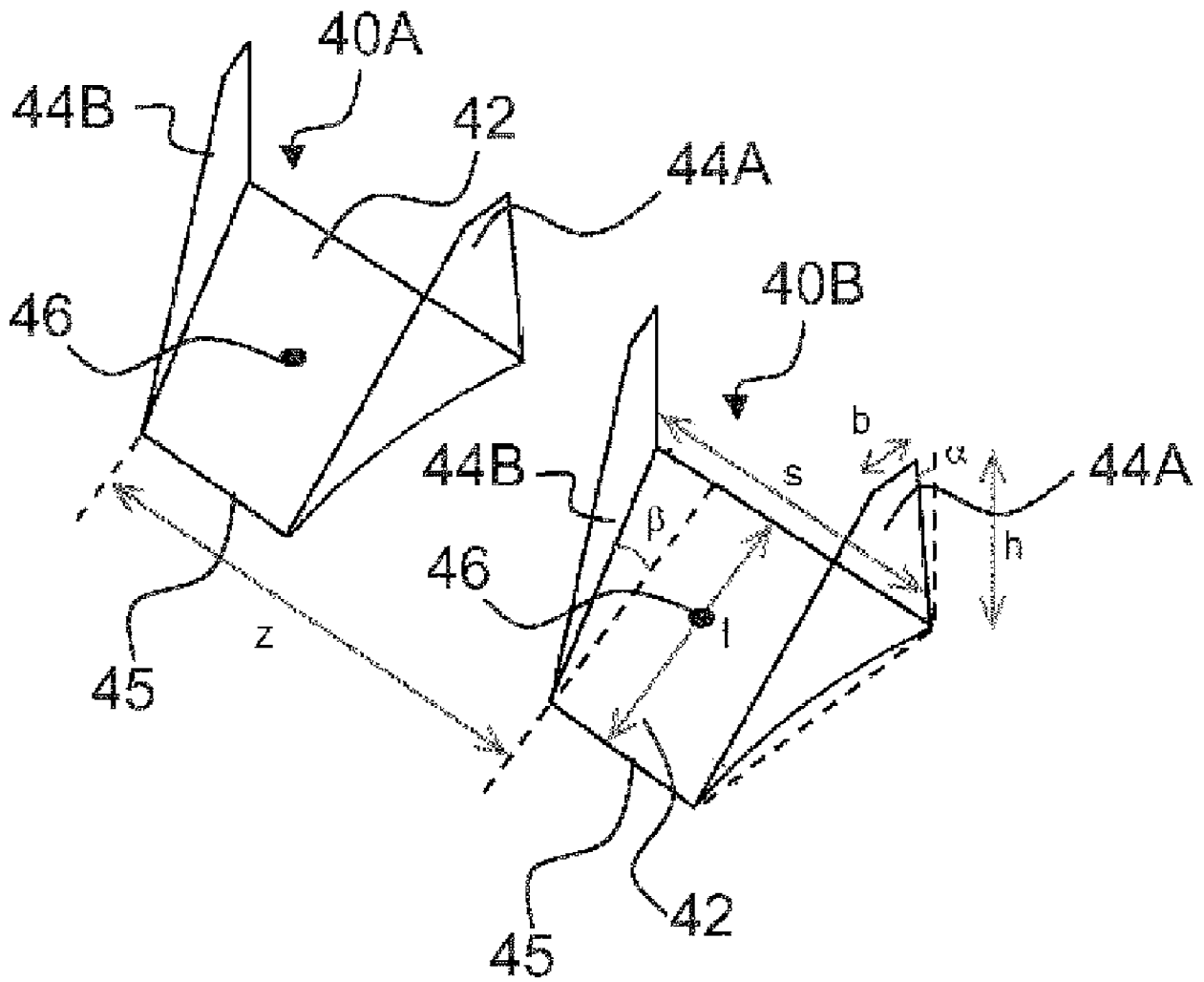


图 6

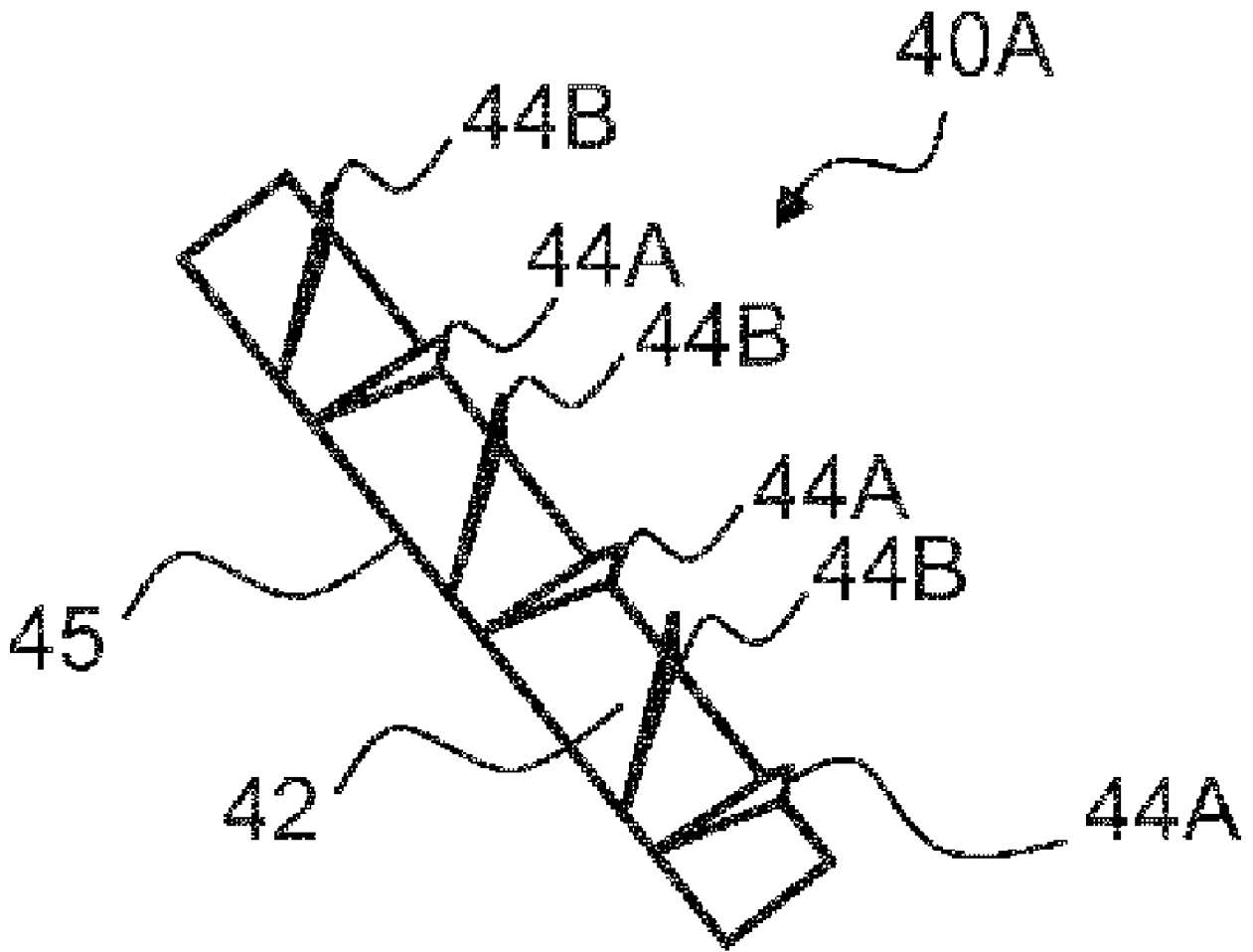


图 7

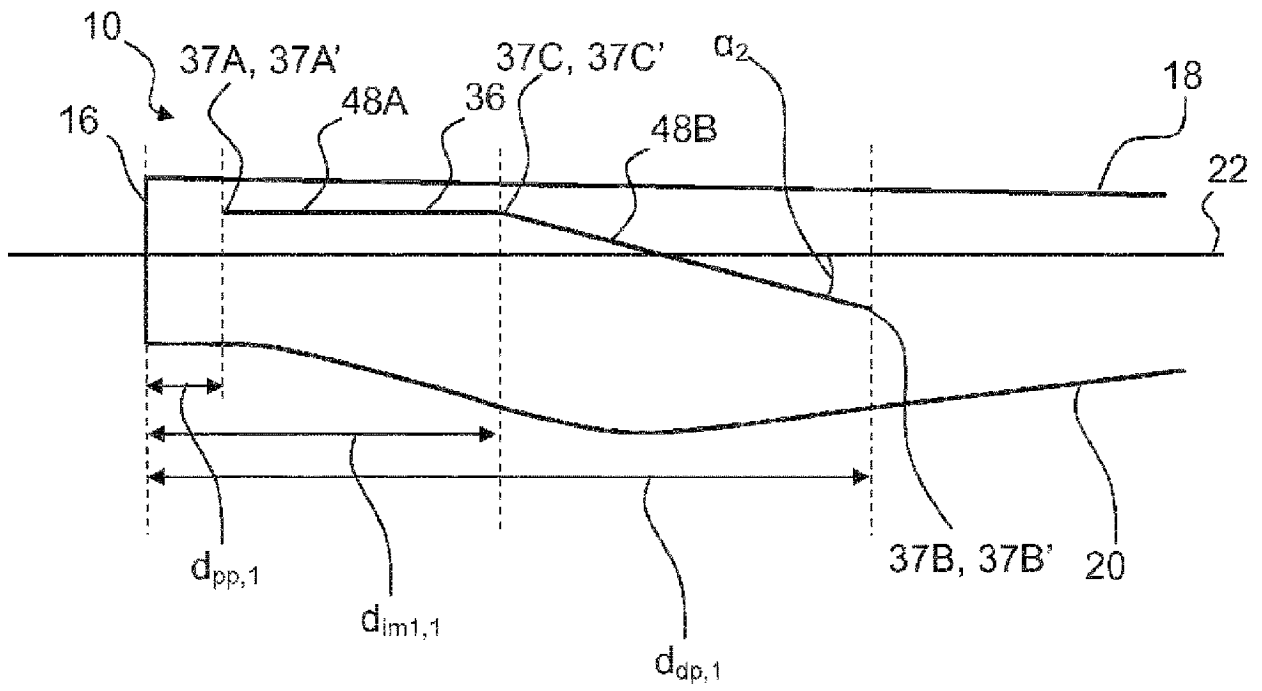


图 8

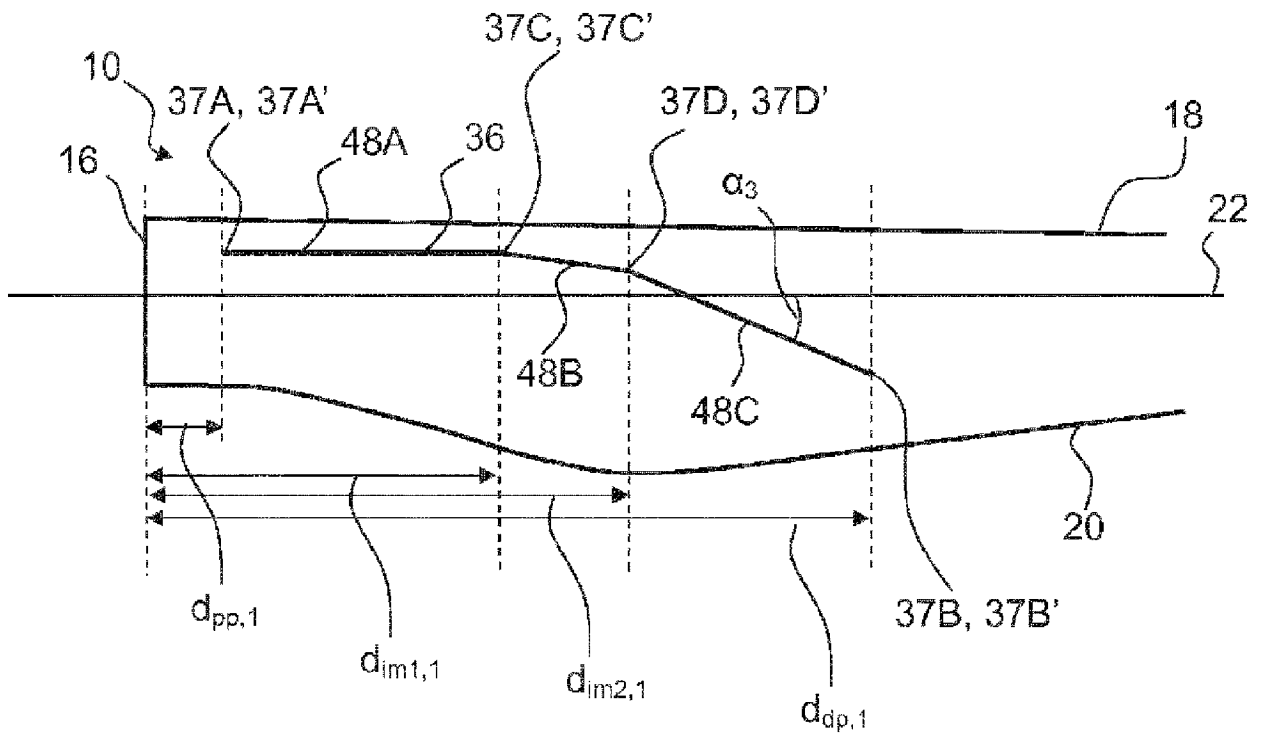


图 9