



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101454564 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 23

(21) 申请号 200780019244. 2

(22) 申请日 2007. 04. 02

(30) 优先权数据

1031492 2006. 04. 02 NL

2000302 2006. 11. 03 NL

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2008. 11. 25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/NL2007/050137 2007. 04. 02

(87) PCT国际申请的公布数据

W02007/114698 EN 2007. 10. 11

(73) 专利权人 考特能源有限公司

地址 荷兰阿尔克马尔

(72) 发明人 古斯塔夫·保罗·克尔滕

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 李冬梅 郑霞

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006. 01)

F03D 7/02 (2006. 01)

F03D 11/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 00/15961 A1, 2000. 03. 23,

US 3578264 A, 1971. 05. 11,

WO 2005/035978 A1, 2005. 04. 21,

审查员 刘云飞

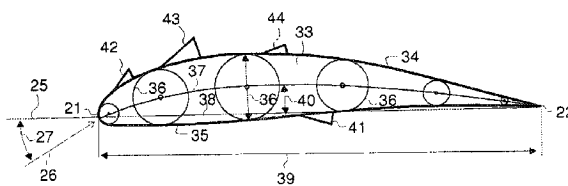
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

具有细长叶片的风力涡轮机

(57) 摘要

一种风力涡轮机具有转子叶片, 其中, 所述叶片对于湍流相对不敏感, 因为它比现有技术的叶片更细长, 而且能够通过流动增强装置来产生足够的升力, 该流动增强装置例如抗流体分离的涡流发生器。细长形由弦数C和D来确定, 该C定义为 $C = N c_r c_l r \lambda^2 / R^2$, 其中, N是叶片数目、 c_r 是局部弦, c_l 是升力系数, r是径向位置, λ 是叶尖速度比, R是转子半径。随后, 弦将小于由等式 $C = M$ 得出的值, 其中, $M = -1.19 + 9.74C_p - 21.01C_p^2 + 17.50C_p^3$, C_p 是功率系数。本发明的风力涡轮机与普通设计相比工作负载小大约2-12%, 并降低了残余风速负载大约5-40%。



1. 一种风力涡轮机,具有转子,其中所述转子的直径大于 60m,所述转子包括叶片,该叶片具有气动型面,其特征在于:所述气动型面在 0.5R 至 0.95R 的范围内具有大于 1.2 的设计升力系数 c_1 ,并且其中所述叶片包括至少 25% 厚度的型面,该型面用在大于 0.55R 的径向位置处,所述叶片包括翼形部分,其中 R 为所述风力涡轮机的所述转子的半径,并且其中所述厚度是所述翼形部分的最大圆(36)的直径与弦之间的比例。

2. 一种风力涡轮机,具有转子,其中所述转子的直径大于 60m,所述转子包括叶片,该叶片具有气动型面,其特征在于:所述气动型面在 0.5R 至 0.95R 的范围内具有翼形部分,其具有大于 1.2 的设计升力系数 c_1 ,并且所述叶片包括涡流发生器。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中:在从 0.4R 至 0.95R 的范围内,涡流发生器与所述叶片一体制成,或者作为单独元件安装在该叶片上。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,还包括:第一类型纤维,该第一类型纤维位于气动压力侧和气动吸力侧上在 5%c 和 70%c 之间,其中,在 0.3R 和 0.7R 的径向范围中,所述第一类型纤维在气动吸力侧(46)的截面比所述第一类型纤维在气动压力侧(48)的截面大至少 20%,其中 c 为所述叶片的局部弦。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,该风力涡轮机为水平轴线类型,其中:所述叶片沿从叶尖(19)朝着叶根(17)的方向在 0.7R 和 0.2R 之间的径向位置处在分开线(75)处分开成上部叶片(76)和底部叶片(77),在它们之间有自由空间(79),上部叶片和底部叶片有助于气动升力,在特定径向位置,在底部叶片和上部叶片之间的距离(74)大于 5%R。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中:所述叶片包括弯度大于 6%c 的翼形部分,其中 c 为所述叶片的局部弦。

7. 根据权利要求 3 所述的风力涡轮机,其中:所述涡流发生器包括塑料 PVDF 的表面。

8. 根据权利要求 3 所述的风力涡轮机,其中:所述涡流发生器布置成与旋转中心的切线所成的角度小于 10° 。

9. 根据权利要求 3 所述的风力涡轮机,其中:涡流发生器的有效性能够这样调节,即通过改变位置、或者使它们向外打开至更大或更小程度、或者使它们局部浸没在叶片表面中。

10. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中:所述风力涡轮机具有倾斜控制。

11. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中:所述风力涡轮机具有可变转速控制。

12. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中,所述气动型面在 0.5R 至 0.95R 的范围内具有大于 1.4 的设计升力系数 c_1 。

13. 根据权利要求 1 或 2 所述的风力涡轮机,其中:所述转子的直径大于 100m。

14. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮机,其中:所述至少 25% 厚度的型面用在大于 0.65R 的径向位置处。

15. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮机,其中:所述至少 25% 厚度的型面用在大于 0.75R 的径向位置处。

16. 根据权利要求 6 所述的风力涡轮机,其中:所述翼形部分的弯度大于 8%c。

17. 一种改进现有涡轮机的方法,通过该方法,除去现有的涡轮机的第一叶片,并用其它叶片更换,其中,具有所述其它叶片的所述现有的涡轮机具有气动型面,所述气动型面在 0.2R 至 0.95R 的范围内具有大于 1.1 的设计升力系数 c_1 ,且所述其它叶片在 0.7R 至 0.95R

的范围内包括局部弦 c_r , 该局部弦 c_r 比所述第一叶片的局部弦 c_r 小至少 10%, 且其中 R 为具有所述其它叶片的所述风力涡轮机的转子的半径。

18. 根据权利要求 17 所述的方法, 其中: 所述其它叶片的所述局部弦 c_r 比所述第一叶片的局部弦 c_r 小至少 20%。

具有细长叶片的风力涡轮机

[0001] 风力涡轮机包括转子,该转子有翼形部分,该翼形部分具有在升力变化和平均升力之间的减小比例。

[0002] 引言 & 定义

[0003] 风力涡轮机可以是水平轴线风力涡轮机或垂直轴线风力涡轮机,包括转子,该转子具有转子叶片,其中, N 表示转子叶片的数目, R 表示叶片半径。由于旋转,叶片尖端在半径 R 处获得叶尖速度 $v_{\text{叶尖}}$,该叶尖速度 $v_{\text{叶尖}}$ 等于转子转速 ω 和转子半径 R 的乘积: $v_{\text{叶尖}} = \omega R$ 。未干扰风速 V 是当风力涡轮机没有干扰流动时在转子轴线位置处的风速。在 $v_{\text{叶尖}}$ 和 V 之间的比例是叶尖速度比 $\lambda = \omega R/V$ 。翼形部分是气动优化型面,它在前缘处为圆的,在后缘处尖锐或进行切除。翼形部分的一侧是上侧或吸力侧,另一侧是底侧或压力侧。

[0004] 经过在翼形部分内与底侧和上侧都接触的圆的圆心的曲线称为上弯线 (camber line)。在前缘处,该线与翼形部分的轮廓连续。连接上弯线的最前侧部分和最后侧部分的线部分是弦 c 或在半径位置 r 处的局部弦 c_r 。转子叶片可以有在相同半径位置处的多个翼形部分。在这种情况下,翼形部分的弦的总和将认为是局部弦 c_r 。

[0005] 翼形部分的前缘位于 0% 弦处 (0% c),后缘位于 100% c 处。在上弯线和弦之间的最大距离是曲度。在翼形部分的最大圆的直径和弦之间的比例是翼形部分的厚度 t 。翼形部分的后部部分的柔性或可位置控制部分 (它可以相对于前缘运动超过 2.5%) 并不是弦的一部分。翼形部分的升力 $L = 1/2 \rho U^2 c_l c$ 和阻力 $D = 1/2 \rho U^2 c_d c$ 与线 c 成比例,并分别与升力系数 c_l 和阻力系数 c_d 成比例。

[0006] 弦从等式 $C = M$ 中得出。这里, M 是无量纲动量损失。 C 是弦数,该弦数对于水平轴线涡轮机是 $N r c_r c_l \lambda^2 / (2 \pi R^2)$,对于垂直轴线涡轮机是 $N r c_r c_l \lambda^2 / R^2$ 。该数规定了参数 N 、 c_r 、 c_l 、 r 、 R 和 λ 应当怎样选择,以便在流动中实现特定无量纲动量损失。接近旋转轴线时,弦数并不提供良好值,因此该数主要在开始于 0.3R-0.6R 和终止于 0.9R-1.0R 的范围内使用。水平轴线风力涡轮机的实例是 $M = 3/4$ 。当设计人员选择 $R = 50\text{m}$ 、 $\lambda = 8$ 、 $N = 3$ 和 $c_l = 0.9$ 时,随后得到 $c_r r = 68.2\text{m}^2$,因此,在 25m 半径位置处,弦应当为大约 2.73m。在例如 0.5R 至 0.9R 范围内的平均弦数为:

$$[0007] \quad \bar{C} = (1/0.4R) \int_{r=0.5R}^{r=0.9R} (N r c_r c_l \lambda^2) / (2 \pi R^2) dr$$

[0008] 风力涡轮机叶片的弦还可以通过等式 $N c_r r \lambda^2 / R^2 = 8 \pi a (1-a) / c_l$ 计算,其中, a 是根据 Lanchester-Betz 原理的轴向引入 (induction)。在等式左手侧的术语是弦数 D ,它在例如 0.4R 至 0.95R 的范围内的平均值为:

$$[0009] \quad \bar{D} = (1/0.55R) \int_{r=0.4R}^{r=0.95R} (N r c_r \lambda^2) / (R^2) dr$$

[0010] 功率系数 $C_p = P / (1/2 \rho A V^3)$,其中 P 是根据 Lanchester-Betz 原理从流体流中抽取的功率, ρ 是空气密度, A 是扫过面积 πR^2 。由于传递损失,抽取功率 P 将高于电功率 P_e 。对于在 0.5 $P_{\text{标称}}$ 和 $P_{\text{标称}}$ 之间的 P_e 值 (其中, $P_{\text{标称}}$ 是标称或额定功率),假定 $P = 1.2P_e$ 。当在 0.99R 处的局部弦位于叶片旋转平面内时,倾斜角为 0° 。当叶片朝着叶片位置倾斜时,该

角度变得正向更大。攻角是在 2D 情况下在弦和未干扰入流之间的角度。当叶片产生零升力时的攻角为 0 升力角。对于较小攻角（例如在 -0.8° 和 $+0.8^\circ$ 之间）升力（系数）近似随攻角线性增加。大部分可调倾斜可变速度的涡轮机在低于额定风速的情况下都基本以恒定叶尖速度比 λ 或接近恒定叶尖速度比 λ 而工作。涡轮机可以偏离该恒定 λ 而工作，例如以避免特定本征频率或降低声发射。它还对于特定 $\lambda_{\text{设计}}$ 进行优化，翼形部分平均在攻角 $\alpha_{\text{设计}}$ 下工作，该攻角 $\alpha_{\text{设计}}$ 提供最佳性能。在 $\alpha_{\text{设计}}$ 下，翼形部分形成升力系数 $c_{l,\text{设计}}$ ，并有升阻比 $L/D_{\text{设计}}$ 。当实际涡轮机在非极端情况下在额定风速时产生电力，攻角的平均值和升力系数的平均值接近设计值。由于湍流、偏转、切变等，这些参数的瞬间实现是随机的。确定风力涡轮机性能的一般方法是收集 (bin) 参数，例如 10 分钟平均功率、攻角或升力系数，作为 10 分钟平均风速的函数。当多个数据点在各收集器中收集并平均时，将获得对这些参数的平均值的精确程度不同的估计。在特定风速下所获得的（例如）升力系数值是平均升力系数或 10 分钟平均升力系数。当涡轮机根据该设计来制造时，这些平均或 10 分钟平均值对应于设计值。因此，参数例如升力系数或攻角的设计值、10 分钟平均值和平均值基本相等。翼形部分失速或表面流动分离时的角度取决于翼形部分。普通的失速角为 $+10^\circ$ ，在该失速角下，升力系数为大约 1.0 至 1.6。在更大角度下， c_l 稍微增加或者甚至降低，同时 c_d 增加，这样，转子叶片的效率降低。

[0011] 流动分离可以通过升力增强装置来避免，例如在文献中已知。这样的升力增强装置的示例是涡流产生器 (VG)、轮床折片、弦拉长、弯度增加、边界层抽吸、靠近前缘或靠近后缘的折片、在翼形部分后缘处的柔性部分变形、施加 Magnus 效应、FCS（例如在 Sinha, S. K., W003067169 中所述）、合成射流（该合成射流将能量供给边界层中，例如由 Gerhard, L., US4674717 已知）和 MEM 平移凸片。这些选择的大部分可以以被动和主动情况来施加，在所述主动情况下，控制可以通过气动、液压、电磁、压电、或者通过 MEM 平移凸片或由文献中已知的其它控制方法来进行。所有这些升力增强装置主要可以作为单独元件来安装在叶片上，或者能够与叶片形成一体。

[0012] VG 是产生涡流的元件，它将能量供给边界层中。VG 可以是或多或少浸没在表面中的元件，并已知多种不同形状。实例是翼形部分表面自身的特定曲线（例如凹腔）或者从翼形部分表面伸入流体流中的表面的特定曲线。可能与 VG 连接的部分（例如基座）并不认为是 VG 的一部分。VG 的弦位置涉及 VG 的、在最小弦位置的部分。基座可以基本扁平或遵循局部翼形部分形状。VG 的已知形状可以在以下文献中找到：Waring, J., US5734990；Kuethe, A. M., US3578264；Kabushiki, K. T., EP0845580；Grabau, P., W000/15961；Corten, G. P., NL1012949；Gyatt, G. W., DOE/NASA/0367-1 等。VG 的长度可以是弦的大约 3%，高度是弦的大约 1%，相互距离是弦的大约 5%。VG 使得失速延迟至更大攻角。具有 VG 的翼形部分通常在例如 $+12^\circ$ 至 $+25^\circ$ 的攻角下达到 1.5-2.5 的升力系数。以规则间隔基本安装在与垂直于流动方向的线偏离小于 30° 的线中的三个或更多 VG 定义为 VG 的基线。切线 (tangential) 是在适当的翼形部分的旋转平面中环绕旋转中心的圆。

[0013] 缺点

[0014] 风力涡轮机的成本很高，因为该负载需要大量材料。因此，风力涡轮机的设计者想要以较低负载产生较高电力。现有的风力涡轮机的缺点是风的负载变化，且该变化导致附加成本。不利的负载变化的极端情况是叶片弯曲，以致于使它撞上塔。在高于 $V_{\text{截断}}$ 的风速

下, 涡轮机必须停止以避免过载, 这降低了生产量, 并增加了预期生产的不确定性。另一缺点与在涡轮机通常停止时的高风速相关。在叶片上的风压产生高负载, 因为涡轮机叶片所需的弦较大。还一缺点是当涡轮机在其它涡轮机的尾流中工作时负载增加, 因此需要布置成相互远离, 这产生空间成本和附加电缆长度的成本。

[0015] 现有涡轮机的另一缺点是, 转子叶片的气动特征很难预计, 因此, 新样机在它们实现之前通常经历较长和较昂贵的测试和改型阶段。

[0016] 而且, 当涡轮机在降低的叶尖速度比下工作, 以便满足特定声音发射水平时, 效率将大大降低, 因为实际上叶片需要在这种情况下进行改变。

[0017] 还一缺点是, 当为细长叶片时, 较高力矩需要大量和坚固的材料。通过使用较厚的翼形部分来克服该缺点可能导致流动分离, 从而有更大阻力和更小升力。实际风力涡轮机的另一缺点是在风力涡轮机的中心附近的引入小于外侧。在转子中心的这一“泄漏”减小了在转子上的压力差, 从而降低了功率。

[0018] 现有转子的还一缺点是叶片性能将由于污染而大大降低。

[0019] 发明目的

[0020] 本发明的目的是降低在风力涡轮机叶片的升力变化和平均升力之间的比例, 特别是克服上述缺点。该目的通过用一种翼形部分代替现有技术翼形部分而实现, 该翼形部分在 $0.5R$ 和 $0.95R$ 之间的范围内具有超过 1.1 的 10 分钟平均升力系数, 更优选是超过 1.2 , 特别优选是超过 1.4 , 优选是超过 1.6 。在除了极端情况的一部分工作范围内, 特定优点通过使用在 $0.4R$ 和 $0.95R$ 之间具有高于 1.5 的平均升力系数的翼形部分而获得, 特别是高于 1.75 , 更特别是高于 2.0 。

[0021] 因为翼形部分的升力基本与 c_1 和 c 成比例, 因此乘积 cc_1 应当有用于达到所需升力的最小值。设计人员可以自由选择 c 和 c_1 , 只要乘积 cc_1 大于该最小值。在不预先知道的情况下, 设计人员将相同理论用于升力变化, 这是不正确的。令人惊讶的是, 升力变化与升力不同, 基本独立于升力系数 c_1 。当设计人员利用该新的理解时, 它将降低 c 和增加 c_1 , 这样, 升力变化变小。这特别与转子的外部部分 ($r > 0.5R$) 相关。

[0022] 这样, 由于湍流、风切变、涡轮机错配、叶片运动、控制误差等引起的升力变化可能降低超过 30% 。这减轻疲劳和极端负载, 这有利于整个风力涡轮机结构 (包括地基)。它能够在高湍流地点使用涡轮机。在风力农场中, 人们可以在涡轮机之间选择更小间隔。

[0023] 下文中介绍本发明很多优选实施例的背景技术, 后面的权利要求也参考这些优选实施例。

[0024] 当翼形部分应用为在与 0 升力角偏离超过 10° 的 10 分钟平均攻角下工作时, 将获得进一步的益处, 特别是超过 12° , 更特别是超过 14° , 优选是大约 16° 。

[0025] 对于功率系数 C_p 在 $1/3$ 和 $16/27$ 之间的风力涡轮机, 无量纲动量损失 M 可以以多种方式来确定。一种特别有利的方法是 $M = -1.19 + 9.74C_p - 21.01C_p^2 + 17.50C_p^3$ 。通过将这样获得的 M 设置成等于弦数 C , 并由 N 、 r 、 c_1 、 λ 、 R 代替, 可以确定局部弦 c_r 。当 c_r 选择为小于在假定 $c_1 = 1.1$ (特别是 1.3 , 更特别是 1.5 , 特别优选是 1.7) 时得到的值时, 可以获得进一步的优点。

[0026] 实例: 标准的水平轴线涡轮机具有翼形部分, 该翼形部分靠近顶端处具有 -3° 的 0 升力角, 在 10° 攻角下的最大升力系数 1.3 , 且升力系数在这些角度之间为 0.1 每度的线

性。高于 10° 攻角时,翼形部分失速,效率大大降低。假定平均攻角为 7° ,且由于湍流,它变化 $\pm 3^\circ$,这时,升力系数从 0.7 变化至 1.3,且它的平均值为 1.0。升力变化是 $0.6/1.0 = 60\%$ 的平均值。这是对于在叶片、传动装置、轴承、塔、地基等上的负载变化的测量值,且各处的成本增加。根据本发明的实施例,我们将具有 VG 的翼形部分选择为使得失速延迟至更大攻角。这时,最大升力系数例如为在 15° 攻角下的 1.8。转子设计成平均攻角为 12° ,平均升力系数为 1.5。因为对于较小 α ,升力与弦和升力系数的乘积成比例,因此我们选择弦减小系数 1.5,这样,升力和因此的产量相等。由于湍流,攻角在本例中在没有失速的情况下在 9° 和 15° 之间变化。而且同样假定升力系数在 1.2 和 1.8 之间变化。令人惊讶的是,变化只为平均值的 $0.6/1.5 = 40\%$,或者是非本发明的负载变化的 $2/3$ 。还有,由于偏转流入或风切变而引起的负载变化更小。通过使叶片在高于 $V_{\text{截断}}$ 时停止,将不会达到最大正升力,且升力优选是为负值,在叶片上的负载更小,减小系数大约与弦减小相同。特别有利的停止位置是当倾斜角设置在 $30^\circ - 100^\circ$ 之外时。

[0027] 根据本发明负载减轻的还一优点是需要更少(更便宜)的涡轮机控制选择。普通的主动控制选择是倾斜控制(对于叶片或对于失速)和可变转速。本发明的优选实施例考虑了风力涡轮机具有从所述主动控制选择中选定的 2 个(特别是 1 个,或者更优选是 0 个)主动控制选择。

[0028] 当升力增强装置例如 VG 用于转子叶片上(这些装置作为单独部件安装在转子叶片上)时,或者当这些装置与转子叶片成一体时,将获得进一步的优点。本领域中通过应用 VG 来改正具有较差性能的转子。这种情况在 Corten, G. P., "Flow Separation on Wind Turbine Blades", ISBN 90-393-2582-0 中介绍。在新近设计的转子中,专家反对使用 VG,因为它们的好处是增加了噪音和阻力,而没有进一步的优点。由风洞试验公知,对于小攻角,没有 VG 的翼形部分的阻力小于具有 VG 的相同翼形部分的阻力。令人惊讶的是,该意见并不正确,是基于不正确的试验。没有 VG 的翼形部分应当与具有 VG 且具有减小弦的翼形部分(它达到相同升力)比较。

[0029] 实例:假定没有 VG 的翼形部分具有 $c_l = 1.0$, $c_d = 0.01$ 和 $c = 1\text{m}$,且具有 VG 的翼形部分具有 $c_l = 1.5$, $c_d = 0.012$ 和 $c = 2/3\text{m}$ 。两个翼形部分产生相同的升力,因为乘积 cc_l 恒定。没有 VG 的翼形部分的阻力与 $cc_d = 0.01 \times 1 = 0.01$ 成比例,而具有 VG 的翼形部分的阻力是 $cc_d = 0.012 \times 2/3 = 0.008$ 。因此,具有 VG 时阻力更小,即使在阻力系数更高时。另外,阻力系数也可以通过安装 VG 而减小。还可以获得进一步的优点,因为 VG 大大调整了边界层,因此污染物的效果相对不重要。这使得在污染时生产损失更小。

[0030] 因为基本在吸力侧应用升力增强装置将增加正角度的最大升力,同时负攻角的最大升力基本不变,因此将获得进一步的优点。本发明的优选实施例的比例 $c_{l, \text{最大}}/c_{l, \text{最小}}$ 小于 $-1.2 - 0.2\%$ 弯度,特别是小于 $-1.4 - 0.2\%$ 弯度,其中, $c_{l, \text{最大}}$ 是在正攻角的最大升力, $c_{l, \text{最小}}$ 是在负攻角的最大升力,而 $\%$ 弯度是弯度(弦的百分数),这样,当弯度为 6% 时,所述比例优选是大于 2.2,特别是 2.4。因此,在气动吸力侧只需要更少的措施(附加泡沫材料或应用更高百分数的第二类型纤维)来避免弯曲。

[0031] 通过应用碳纤维而获得进一步的优点,该碳纤维适于在气动吸力侧增加刚性和吸收拉伸负载。这将使质量降低,并使叶尖偏离更小,这将降低整个涡轮机的成本。对于第一类型和第二类型纤维的定义,可以参考 Bech, A. e. a. 的 W02004/078465。在该专利中,已经

注意了不对称层叠部分。不过它并没有特别澄清什么是不对称,也没有澄清不对称结构的争论,同时这些争论(不对称气动性能)也没有出现,直到使用本发明的叶片。

[0032] 通过在翼形部分中在吸力侧在 5% c 和 60% c 之间应用空气进口例如狭槽,可以获得进一步的优点。这些进口优选是位于 0.05R 至 0.5R 的径向范围内。这些进口与叶片中的槽道连接,该槽道延伸至更大的径向位置,且该槽道具有在叶片后缘处的开口。在槽道中的空气上的离心力提供了自然抽吸。通过使径向位置差异超过 10% 的进口与不同槽道连接,可以获得进一步的优点。当进口可以通过使用 MEM 凸片或压电装置而主动打开或关闭时,可以获得进一步的优点。

[0033] 通过颠倒地应用叶片(吸力侧作为压力侧,而压力侧作为吸力侧),特别是在风速高于 12m/s 或更特别是高于 14m/s 时,可以获得进一步的优点。在工作术语中,这意味着涡轮机使叶片倾斜大约 150°,且涡轮机停止和以另一旋转方向再次起动。也可选择,吊舱偏转 180°,这样,转子从逆风方向转变成顺风方向。在本例中,转子的旋转方向保持相同。通过使叶片上下颠倒,由整个叶片产生的升力变化更小,极端升力更小,且升力作用在更小的径向位置上,因此偏转和叶片根部力矩更小。这些是 $V_{\text{截断}}$ 从 25m/s 的标准值增加至 30m/s 或 35m/s 或更高值的原因。

[0034] 随着涡轮机尺寸的增加,使用的材料比产量更快地增加,因此,对于更大的涡轮机,节省材料更重要。因此,本发明特别与转子直径大于 60m 的涡轮机相关,特别是大于 80m,更特别是大于 100m。

[0035] 在恒定相对厚度下,根据本发明的减小弦可能需要更多材料来承载负载。为了用更少的材料来承载负载以及增加叶片的刚性,叶片可以在例如 0.2R-0.7R 处分成上部叶片和底部叶片。当在压力侧的第一类型纤维从在上部叶片中的叶片未分开外部部分连续时,可以获得进一步的优点。也可选择,在叶片的未分开外部部分的吸力侧的第一类型纤维在底部叶片中连续。当上部和底部叶片达到至少 5% R 相互距离(特别是至少 10% R)时可以获得进一步的优点。叶片的不对称气动性能导致上部叶片主要承受压力负载,底部叶片主要承受拉伸负载。根据本发明的实例,底部叶片优选是弦比上部叶片(在相等径向位置处)短 20%,特别是 40%,更特别是 60%。还一优点是,增加底部和上部叶片的弦将增加产量,因为将避免从压力侧向吸力侧的“泄漏”。

[0036] 通过应用相对较厚的翼形部分来以更少材料承载负载和增加刚性,从而获得进一步的优点。原因是通过可能安装在两侧的 VG,流动分离可以避免,这样,厚翼形部分可以在较大攻角范围内具有很高效率。至少 $t = 25\% c$ 的翼形部分可用于径向位置 $>0.55R$ 处,特别是径向位置 $>0.65R$ 处,更特别是在径向位置 $>0.75R$ 处。

[0037] 通过在压力侧应用 VG 来避免流动分离,从而获得进一步的优点。这样,最大负升力并不增加或稍微增加,因为 VG 优选是布置成靠近后缘在大于 30% c 的弦位置处,特别是大于 50% c,更特别是大于 70% c。

[0038] 通过使用弯度大于 6% c 的翼形部分(特别是大于 8% c,更特别是大于 10% c),可以获得进一步的优点。增加弯度避免了在较大攻角下的较深吸力峰值,这降低了对于污染物的敏感性。而且,具有较高弯度的翼形部分通常在较大攻角下具有较高 L/D 比例。

[0039] 当多个 VG 或 VG 的基线沿流动方向一个定位在另一个后面时,我们可以称为前部、中部和后部 VG。前部 VG 对应于在最小弦位置处的 VG,后部 VG 对应于在最大弦位置处的

VG,且在它们之间的VG是中间VG。当在中间的VG大于前部VG,特别是当它们也大于后部VG时,将获得进一步的优点。

[0040] 通过将一些附加VG布置在VG基线的上游,将获得进一步的优点。附加VG保持流动更长地附连到基线下游。这些附加VG降低了 $c_1-\alpha$ 关系的滞后(当 α 经过失速角度时)。这些VG可以位于压力侧的3% c 和吸力侧的10% c 之间,特别是在吸力侧的0% c 和5% c 之间。优选是,沿流动方向一个位于另一个后面的VG产生相同旋转方向的涡系。

[0041] 通过将VG安装在翼形部分上并在停滞点位置和吸力峰值位置(在5°的攻角下)之间,将获得进一步的优点。在该范围,优点是VG位于在较小攻角下的低速区域中。当攻角增加时,吸力峰值(最大流速的位置)朝着VG移动,因此这更有效。因此,VG在较小角度时有较低活动性(因此阻力增加很小),当需要时在较大角度下有较高活动性。

[0042] 为了降低所述 $c_1-\alpha$ 的滞后,人们还可以应用较长VG,该较长VG沿弦方向延伸例如超过10%,或者甚至超过30%。在该设计中,叶片表面提供有与流体流成一定角度的肋,该肋的上游部分优选是位于比下游部分更小的径向位置处。

[0043] 当为垂直轴线涡轮机时,攻角在没有湍流的情况下也变化。攻角变化与叶尖速度比 λ 成反比。为了使攻角变化保持在-10°至+10°的范围内, λ 应当不小于大约4 1/2。对于更低 λ 值,翼形部分将失速。使用在两侧有VG的翼形部分将延迟失速至更大攻角,这样,可以在没有失速的情况下使用4、3 1/2、3或者甚至2 1/2的 λ 。VAT涡轮机(当用于空气中或水中时)的还一优点是它能够通过将VG安装在翼形部分或水翼部分的吸力侧和压力侧上少于20% c (特别是少于15% c ,更特别是少于10%)而自己起动。

[0044] 通过使用高升力系数获得进一步的优点,因为它能够在更低叶尖速度比下工作,这降低了噪音。

[0045] 优选是,多个VG(1、2、4或其它数目)和接地板制造为单件,或者甚至制造为柔性材料条,例如橡胶、聚氨酯或弹性体(可以有阻挡UV辐射的添加剂)。这称为VG元件,并优选是由PVDF、FEP、PEEK、PI、PEI、PES和PFTE族塑料来制造。

[0046] VG元件可以通过任意已知的技术来安装在转子叶片上。特别优选是提供接地板,该接地板局部有双面粘合剂,局部有流体粘接剂,例如氰基丙烯酸盐粘合剂。双面粘合剂提供了直接固定,然后流体胶水有时间固化。VG可以通过铰链安装,并只有在叶片安装在涡轮机上之后向外折叠。接地板的、将安装在叶片上的侧面可以稍微凹形,且曲率半径小于叶片在安装位置的曲率半径。

[0047] 还优选是,VG具有沿流动方向的曲率,这样,在没有VG干扰的流体流和VG之间的角度沿流动方向增加优选是5°至15°,特别是增加2°至30°的范围内是有效的。该曲率避免VG的Kelvin-Helmholtz不稳定性,因此提高耐久性。

[0048] 通过使用升力更少依赖于攻角的翼形部分(换句话说,在4°至7°的攻角范围内,该翼形部分的 $dc/d\alpha$ 小于1.1,特别是小于1.05,更特别是小于1.0),将获得进一步的优点。

[0049] 通过用本发明的新转子更换现有风力涡轮机的旧转子,将获得进一步的优点。该新转子可以在相同负载水平下更大,因此可以提高生产量。旧转子优选是由新转子代替,该新转子在0.6R至0.95R的范围内的弦在等径向位置处小至少10%,优选是小至少20%,更特别是在该范围内提供有VG。

[0050] 本发明的还一优点是,根据本发明制造的叶片的特性可以通过改变升力增强装置,特别是 VG 图形相关位置、类型、相互间隔、尺寸等而进行变化。当希望可以进一步延迟失速时, VG 图形改变为:增加 VG 尺寸(例如 25%)、降低在 VG 之间的间隔(例如 25%)、布置更多 VG(例如附加基线)、增大在流体流和 VG 之间的角度(例如 5°)、改变 VG 位置(例如 5% c)等。特别是,当涡轮机的声音发射太高时,叶尖速度比可以降低。这时,优选是叶片改变成在更高攻角下更好地工作。相关改变的其它情况是大约相同设计的叶片用于不同风力气候或不同涡轮机。

[0051] 通过应用可控制的 VG,可以获得进一步的优点。这可以用于减小高于额定风速时的最大升力,这可能是增加截断风速的原因。它还可以用作在故障、紧急停止或人工停止时降低转子扭矩的方法,这降低了其它制动系统的成本。VG 可以转换至优选是低分离延迟时的有效状态,在并不低分离延迟时转换至无效状态。根据本发明的优选实施例, VG 通过压电装置或通过 MEM 凸片来控制,特别是通过能够使涡流发生器直接旋转例如 15° 的气缸 MEM 装置或压电装置来控制。VG 可以安装在该压电装置或 MEM 装置上,这样,它相对于流体流的方位可以从无效转变成有效。有效可以通过改变在 VG 和流体流之间的角度、通过将它折入或者通过使它或多或少缩回至翼形部分表面中来进行控制。与倾斜叶片相比,可控制 VG 的优点是更快速地响应。本发明优选实施例涉及具有固定转子叶片和可控制涡流发生器的风力涡轮机。

[0052] 通过使本发明的转子叶片提供有至少一个增强点(例如提升点)而获得进一步的优点,该增强点适合升高叶片,其中,该点优选是位于叶片的质心小于 1 个弦长度。这避免了对 VG 的损害,因为在安装叶片的过程中不需要环绕叶片的提升带。

[0053] 通过使 VG 对齐成在大约 0 升力角 $\pm 3^\circ$ 处平行于局部未干扰(由 VG)流体流,或者平行于切线,从而获得进一步的优点。通过增加攻角,吸力侧的流体流将径向向外弯曲,这样,在 VG 和流体流之间的角度增加,并产生更强的涡流。这样, VG 在需要时在高攻角下为活动的,而当它们不需要时在较小攻角下几乎不增加阻力。

[0054] 当 VG 的上游侧定位在比下游侧更小的径向位置,这样, VG 迫使流体流向更大径向位置,从而增加在边界层中的自然径向流分量时,将获得进一步的优点。

[0055] 附图

[0056] 下面的附图表示了本发明的优选实施例。

[0057] 图 1 表示了升力相对于攻角的关系;

[0058] 图 2 表示了具有逆风转子的水平轴线涡轮机;

[0059] 图 3 是翼形部分的剖视图;

[0060] 图 4 是翼形部分的剖视图;

[0061] 图 5 是翼形部分的剖视图;

[0062] 图 6 是翼形部分的剖视图;

[0063] 图 7 是翼形部分的剖视图;

[0064] 图 8 表示了图 3 的水平轴线涡轮机,其中叶片上下颠倒;

[0065] 图 9 表示了具有 2 叶片转子的风力涡轮机;

[0066] 图 10 表示了风力涡轮机的叶片;

[0067] 图 11 表示了风力涡轮机的叶片。

[0068] 图 1 表示了升力 L 相对于攻角 α 的曲线图。曲线 3 表示了没有升力增强装置的普通翼形部分的关系图。为了达到给定升力 4, 流体将在攻角 5 下进入翼形部分。由于例如风中的湍流, 攻角在范围 6 中变化, 因此升力将在范围 7 中变化。具有更高升力系数和更短弦的本发明翼形部分的性能类似曲线 8, 它将达到相同升力 4。这在更大攻角 9 下实现。假定在风中的湍流相同, 攻角在与范围 6 一样宽的范围 10 中变化。这时, 令人惊讶的是: 具有更高升力系数的翼形部分的升力变化 11 小于普通翼形部分的升力变化 7。

[0069] 图 2 表示了作为本发明实例的、具有塔 14 和吊舱 15 的逆风涡轮机 13。半径 R 的涡轮机转子包括轮毂 16 和叶片 18, 该叶片 18 具有叶尖 19 和叶根 17。VG 安装在叶片的后侧, 该 VG 在图中不可见。叶片沿切线 20 方向旋转, 并包括前缘 21 和后缘 22。图 3 至 7 表示了翼形部分沿图 2 中的线 I-I 的剖视图。该剖视图表示了吸力侧 34 和压力侧 35。图 3 表示了攻角 α 27、延伸弦 25 和未干扰流体流 26。通过圆 36 的中心的线是弯度线 37。该线与长度 39 的弦 38 相交。翼形部分的前缘由 21 表示, 后缘由 22 表示。在吸力侧使用前部 42、中间 43 和后部 44 VG, 在压力侧使用 VG 41。图 4 表示了采用在较小弦位置的 VG 45 和在更大弦位置的 VG 44 的另一实施方式。以在范围 50 内的两个位置表示的柔性后缘 49 并不认为是弦 29 的一部分 (当范围 50 相对于前缘大于 $2.5\% c$ 时)。叶片包括在吸力侧 46 和压力侧 47 处的第一类型纤维, 该第一类型纤维垂直于剖面延伸。剪切腹板 48 位于吸力侧和压力侧之间。

[0070] 图 5 表示了两斜排的 VG, 其中, 在图中上部线的前部 VG61 定位在底部线的最后部 VG 62 的上游。优选是, VG 61 和 62 产生相同旋转方向的涡流。图 6 表示了具有 VG 63 的前部基线和具有 VG 64 的后部基线。图 7 表示了弦的相对较大部分上面延伸的 VG 65。图 8 表示了图 2 的涡轮机 15, 恰好在具有 VG 68 的叶片 18 转动至上下颠倒位置之后 (由箭头 68 表示)。在叶片的这样上下颠倒应用中, 气动压力侧和吸力侧的功能交换, 转子沿相反方向旋转。实际 VG 比图中所示更小和使用更大数量。图 9 表示了具有 2 叶片转子的涡轮机 15, 该 2 叶片转子的叶片 18 在分开线 75 处劈开成上部叶片 77 和底部叶片 76, 它们在主轴 78 的延伸部分处连接。在图 9 和 10 中, 空气可以流过在上部叶片和底部叶片之间的自由空间 79, 该上部叶片和底部叶片在相同径向位置处达到距离 74。局部弦是在相等径向位置处的上部叶片的弦和底部叶片的弦的总和。图 10 表示了具有叶尖 19 和根部 17 的叶片 18。在结构压力侧的基本第一类型纤维 81 从叶片根部通过上部叶片 76 和分开线 75 朝着叶尖延伸。在结构拉伸侧的第一类型纤维 80 从根部 17 通过底部叶片 77 和分开线 75 朝着叶尖 19 延伸。间隔器 82 位于上部叶片和底部叶片之间。图 11 表示了风力涡轮机的叶片 18, 它有在径向位置 r_1 处的进口 85, 该进口 85 在边界层中抽吸空气, 该抽吸由槽道 87 中的空气的离心力来驱动, 该槽道 87 延伸至在径向位置 r_{11} 处的出口 86。进口 88 相对于进口 85 定位在更大的径向位置 r_2 处, 优选是具有比进口 85 更强的吸力, 因此, 该进口具有单独槽道 90, 该槽道 90 优选是沿径向方向延伸至比槽道 87 更远。槽道 90 将抽吸的空气输送至在径向位置 r_{22} 处的出口 89。

[0071] 对于参数例如风速 (变化)、阻力和升力系数、额定风速、攻角变化等, 给出了数字值。本领域技术人员应当知道, 这些值只是示意性的, 实际上将取决于翼形部分、转子和风力涡轮机的设计以及工作条件。本领域技术人员还应当知道, 本文中的涡轮机是指垂直轴线和水平轴线涡轮机, 它只是类型指示, 并不规定轴线的方位。本领域技术人员还立即可

以知道,本发明将有利于基于升力工作的所有已知类型风力涡轮机:恒定和可变速度涡轮机、倾斜叶片和倾斜失速控制涡轮机、失速控制涡轮机,以及所有已知类型的飞行涡轮机,例如旋翼飞机型涡轮机和阶梯型涡轮机,所述阶梯型涡轮机是特殊类型的垂直轴线涡轮机(US6072245),它的整个叶片将在径向位置 R 处工作。前文中包括对于流动现象的物理解释。应当知道,这些解释的有效性并不与附加权利要求的有效性相关。本领域技术人员显然知道,当本发明与其它风力涡轮机概念组合时,也是很有利的,这些风力涡轮机概念例如循环倾斜、控制风力(US2006131889)以及热量与流量(US2006232073)。

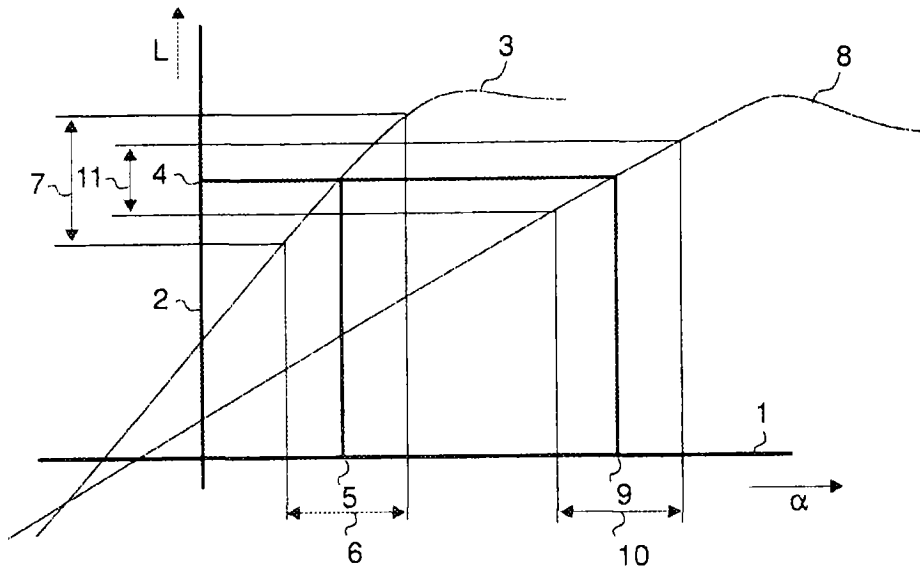


图 1

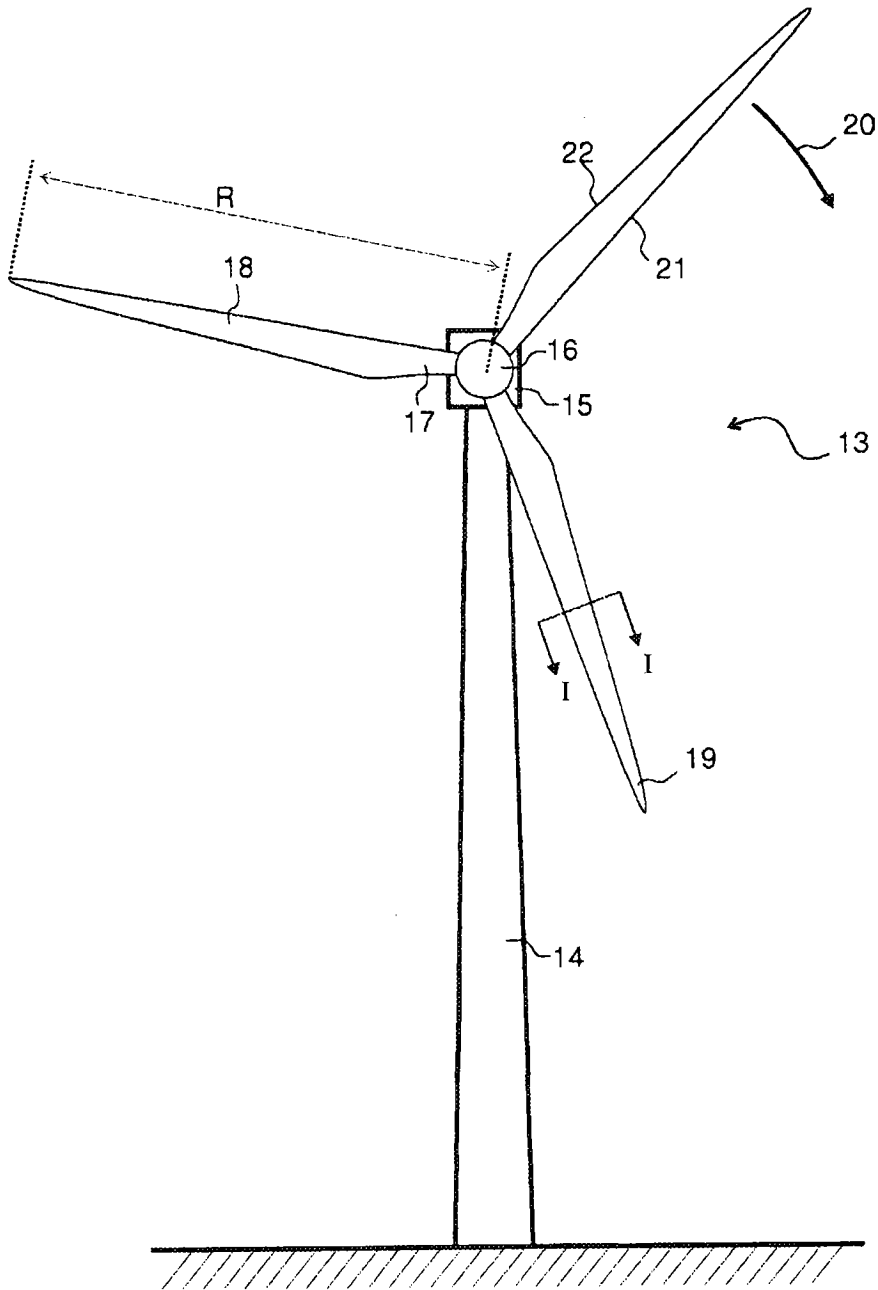


图 2

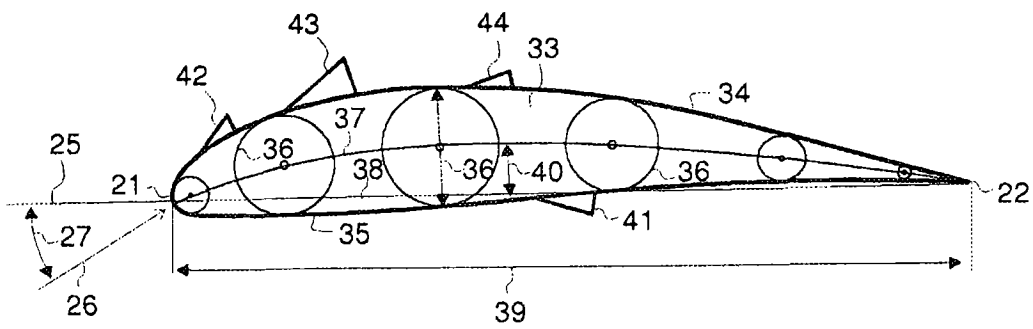


图 3

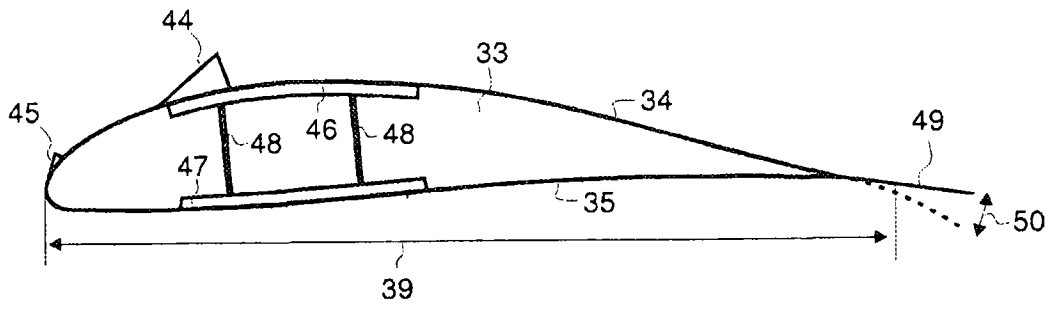


图 4

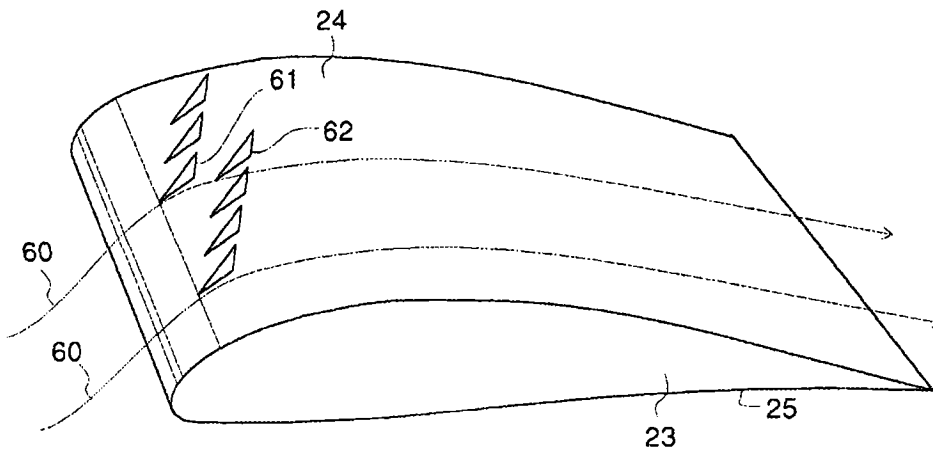


图 5

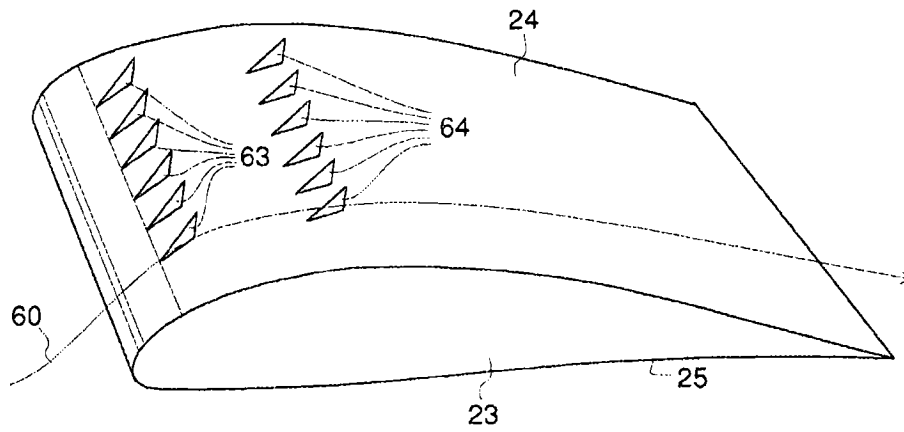


图 6

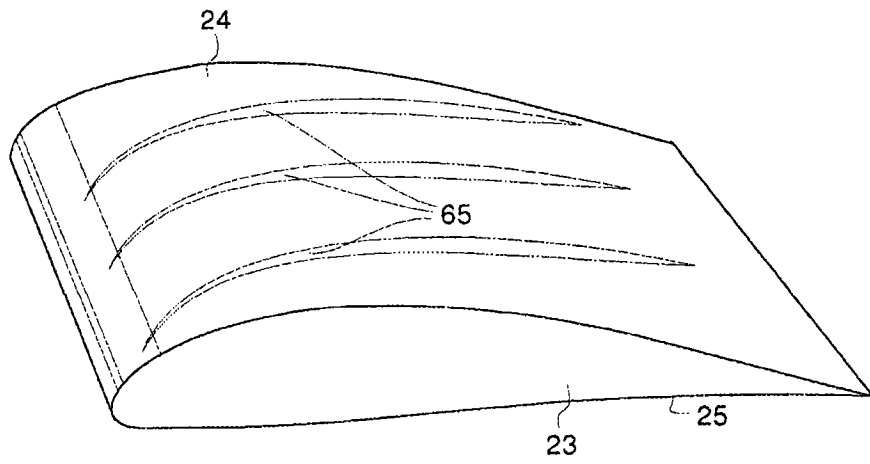


图 7

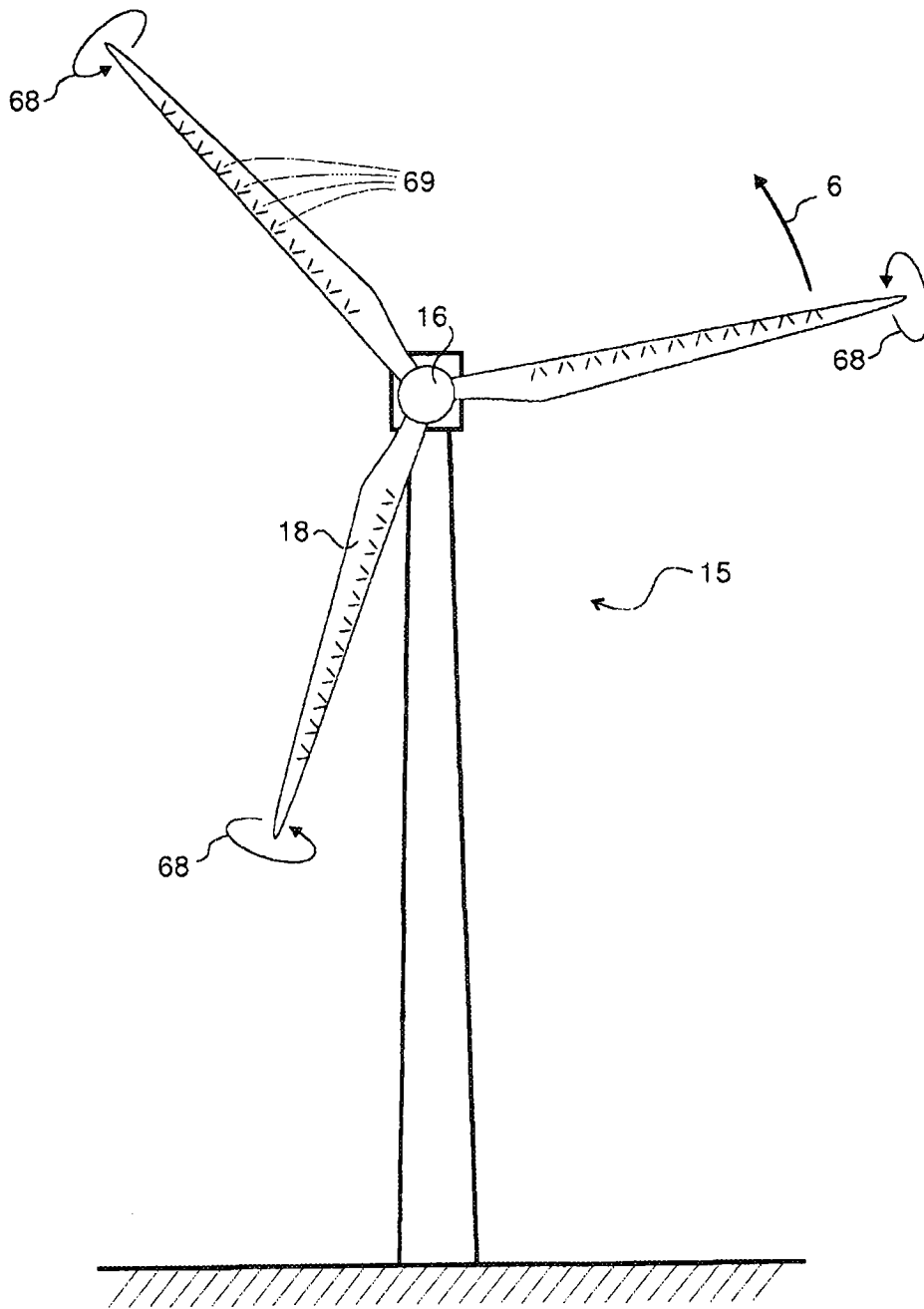


图 8

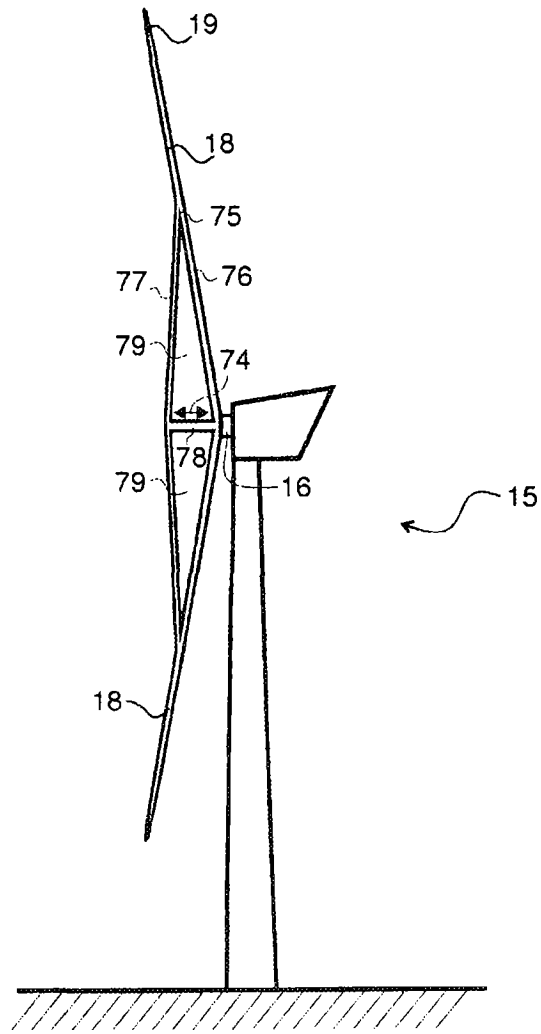


图 9

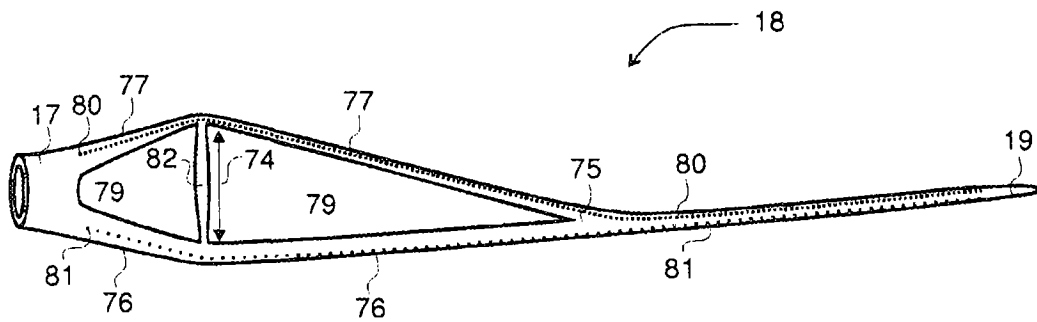


图 10

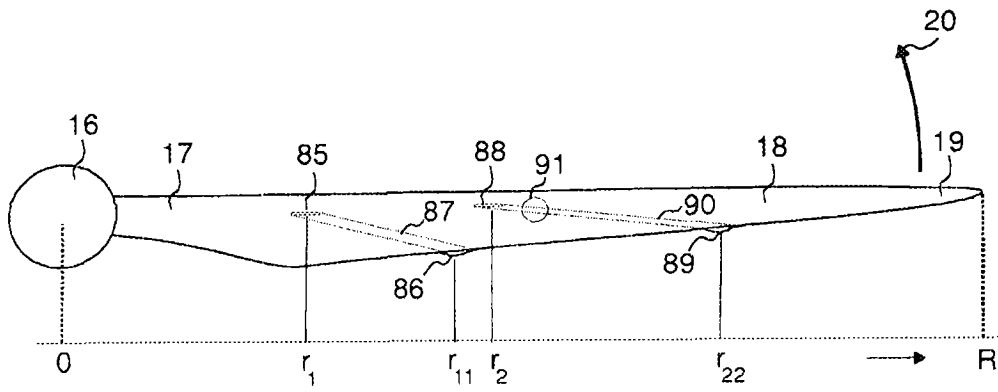


图 11