

## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101223356 B

(45) 授权公告日 2012.06.13

(21) 申请号 200580051091.0

(56) 对比文件

(22) 申请日 2005.05.17

WO 0116482 A1, 2001.03.08,

(85) PCT申请进入国家阶段日

US 5788191 A, 1998.08.04,

2008.01.16

GB 2186033 A, 1987.08.05,

(86) PCT申请的申请数据

US 4584486 A, 1986.04.22,

PCT/DK2005/000324 2005.05.17

US 5788191 A, 1998.08.04,

(87) PCT申请的公布数据

GB 2186033 A, 1987.08.05,

W02006/122547 EN 2006.11.23

WO 0015961 A1, 2000.03.23,

(73) 专利权人 维斯塔斯风力系统有限公司

WO 2004099608 A1, 2004.11.18,

地址 丹麦兰纳斯

审查员 李彩芬

(72) 发明人 K·B·戈德斯克 T·S·B·尼尔森

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 马江立 吴鹏

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 7 页

F03D 11/00 (2006.01)

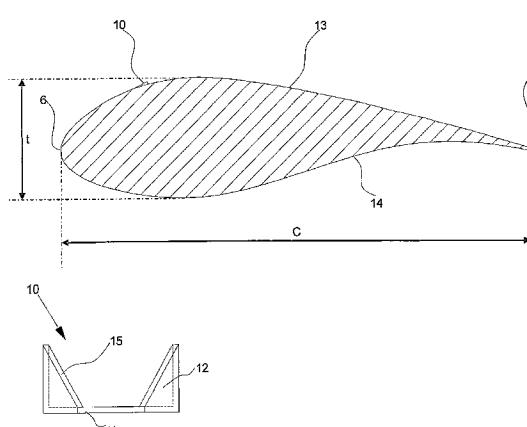
F03D 7/02 (2006.01)

(54) 发明名称

俯仰控制式风轮机叶片, 风轮机及其使用

(57) 摘要

本发明涉及俯仰控制式风轮机叶片(5)，所述风轮机叶片(5)包括压力表面侧(14)和背风表面侧(13)，其中所述表面(13、14)建立前缘(6)和尾缘(7)。该叶片(5)包括湍流发生机构(10)，其中所述机构放置在风轮机叶片(5)的背风表面侧(13)并且位于该风轮机叶片(5)的朝向尖端(8)的外段(OS)。本发明还涉及风轮机(1)，该风轮机(1)包括至少两个俯仰控制式风轮机叶片(5)和用于使叶片(5)俯仰的俯仰控制机构。该叶片(5)包括湍流发生机构(10)，其中所述机构放置在风轮机叶片(5)的背风表面侧(13)并位于风轮机叶片(5)的朝向尖端(8)的外段(OS)。



1. 一种俯仰控制式风轮机叶片 (5), 包括:  
压力表面侧 (14) 和背风表面侧 (13),  
所述压力表面侧 (14) 和背风表面侧 (13) 建立前缘 (6) 和尾缘 (7),  
其特征在于,  
所述叶片 (5) 包括湍流发生机构 (10), 其中所述湍流发生机构 (10) 安放在所述风轮机叶片 (5) 的背风表面侧 (13) 上, 并位于所述风轮机叶片 (5) 的朝向叶片尖端 (8) 的外段 (OS) 处, 该湍流发生机构是涡流发生器, 其中, 所述湍流发生机构 (10) 的最大高度 (H) 是所述风轮机叶片 (5) 的弦长度 (C) 的 0.01% 至 5%。
2. 按照权利要求 1 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 是气流噪音降低机构。
3. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 安放在其范围是所述叶片 (5) 的长度 (BL) 的 60% -100% 的外段 (OS) 中。
4. 按照权利要求 3 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 安放在所述风轮机叶片 (5) 的最外面的三分之一中。
5. 按照权利要求 3 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述外段 (OS) 细分成两个或更多子段 (SS1, SS2, SS3), 所述湍流发生机构 (10) 在每个所述子段内基本上都是均匀的。
6. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 的高度相等, 或者该高度在最靠近所述风轮机叶片 (5) 的尾缘 (7) 处比在最靠近所述风轮机叶片 (5) 的前缘 (6) 处高。
7. 按照权利要求 6 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 的最大高度 (H) 是所述风轮机叶片 (5) 的弦长度 (C) 的 0.1% 至 3%。
8. 按照权利要求 7 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 的最大高度 (H) 是所述风轮机叶片 (5) 的弦长度 (C) 的 0.2% 至 0.8%。
9. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 之间的距离基本上是恒定的。
10. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 安放在从所述风轮机叶片 (5) 的所述前缘 (6) 起的弦长度 (C) 的 5% 至 85% 之间的范围内。
11. 按照权利要求 10 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 安放在从所述风轮机叶片 (5) 的所述前缘 (6) 起的弦长度 (C) 的 10% 至 75% 之间的范围内。
12. 按照权利要求 10 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 安放在从所述风轮机叶片 (5) 的所述前缘 (6) 起的弦长度 (C) 的 15% 至 65% 之间的范围内。
13. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 通过连接装置单独或成对地连接到风轮机叶片 (5) 上。
14. 按照权利要求 13 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述连接装置为螺钉、螺栓、铆钉、焊接或胶粘剂。
15. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 作为绳串、线圈或带的一部分通过连接装置连接到风轮机叶片 (5) 上。
16. 按照权利要求 15 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述连接装置为螺钉、螺栓、铆钉、焊接或胶粘剂。

17. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 是板 (15), 该板 (15) 与所述风轮机叶片 (5) 背风表面侧 (13) 的表面以 60° 至 120° 的角度延伸。

18. 按照权利要求 17 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述板 (15) 与所述风轮机叶片 (5) 背风表面侧 (13) 的表面正交地延伸。

19. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 包括交替地以与气流方向成 50° 至 2° 以及 -50° 至 -2° 的角度 (A) 安放的侧边 (12)。

20. 按照权利要求 19 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 包括交替地以与气流方向成 30° 至 5° 以及 -30° 至 -5° 的角度 (A) 安放的侧边 (12)。

21. 按照权利要求 19 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 包括交替地以与气流方向成 20° 至 10° 以及 -20° 至 -10° 的角度 (A) 安放的侧边。

22. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述湍流发生机构 (10) 与风轮机叶片 (5) 整体形成。

23. 按照权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片 (5), 其特征在于, 所述风轮机叶片 (5) 包括至少一个俯仰控制单元 (16)。

24. 风轮机 (1), 包括 :

至少两个俯仰控制式风轮机叶片 (5), 以及

用于使所述叶片 (5) 俯仰的俯仰控制机构,

其特征在于,

所述叶片 (5) 包括湍流发生机构 (10), 其中所述机构放置在所述风轮机叶片 (5) 的背风表面侧 (13), 并且位于所述风轮机叶片 (5) 的朝向尖端 (8) 的外段 (OS) 处, 该湍流发生机构是涡流发生器, 其中, 所述湍流发生机构 (10) 的最大高度 (H) 是所述风轮机叶片 (5) 的弦长度 (C) 的 0.01% 至 5%。

25. 按照权利要求 24 所述的风轮机 (1), 其特征在于, 所述风轮机 (1) 是可变速俯仰控制式风轮机。

## 俯仰控制式风轮机叶片, 风轮机及其使用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及如权利要求 1 的前序所述的俯仰控制式风轮机叶片, 如权利要求 16 的前序所述的风轮机及其使用。

### 背景技术

[0002] 现有技术中已知的风轮机包括风轮机塔架和设置在塔架顶部的风轮机引擎舱。该引擎舱上通过低速轴连接有三个带有三个风轮机叶片的风轮机转子, 所述低速轴在前面伸出引擎舱, 如图 1 所示。

[0003] 在失速控制式风轮机中, 转子叶片通常以固定的角度连接。然而, 转子叶片轮廓的几何形状是按空气动力学设计的, 以保证在高风速状态下在转子叶片的背侧产生湍流, 从而使它失速。失速控制的主要优点是避免了转子中的移动部件和复杂的控制系统。

[0004] 失速控制式风轮机叶片的缺点是, 当边界层与叶片表面分开时, 失速是产生很大噪音的机制。所产生的噪音通常是高水平且高频率的, 例如在千赫区。

[0005] 为了防止在达到标称功率之前产生的风速下的早期失速, 已知为失速控制式叶片设置靠近叶片根部的涡流发生器, 在所述根部处叶片速度最低。应用涡流发生器可形成可控的湍流, 并因此可延迟边界层分离。

[0006] 另外从 WO0/15961 中已知, 在叶片上沿其整个长度上设置涡流发生器, 以防止在高风速下失速控制式叶片过早失速。

[0007] 然而, 失速控制式风轮机的叶片必须适当设计并坚固, 以防止由失速引起的振动并且承受高风速的力。失速控制式风轮机叶片的尺寸以及尤其是重量显著大于任何其它类型的风轮机叶片。因此在设计大型现代风轮机时, 失速控制不是典型的选择。

[0008] 另外, 在失速控制式风轮机中使用涡流发生器导致正常运行时的阻力和另外由涡流发生器自身产生噪音都有很大增加。

[0009] 本发明的目的是提供一种用于大型现代风轮机和风轮机叶片的有利的空气动力学叶片技术。

[0010] 尤其是, 本发明的目的是提供一种与噪音排放有关的用于俯仰控制式风轮机和风轮机叶片的有利技术。

### 发明内容

[0011] 本发明提供俯仰 (pitch) 控制式风轮机叶片, 其特征在于, 所述叶片包括涡流发生机构, 其中所述机构安放在所述风轮机叶片的背风表面侧上并且位于所述风轮机叶片的朝向尖端的外段。

[0012] 提供带有湍流发生机构的俯仰控制式风轮机叶片是有利的, 因为这可连续地优化与功率输出和噪音排放有关的叶片迎角。

[0013] 此外, 人耳是对窄频带中的噪音敏感。提供带湍流发生机构的叶片使噪音排放的频带变宽, 就可减小对人耳的刺激。

[0014] 另外,湍流发生机构可将一部分所产生的噪音频率从低频变速到高频。这是有利的,因为空气对高频噪音的吸收比低频噪音有效得多,因此减少了来自叶片以及由此来自叶片安装于其上的风轮机的人耳可感知的总噪音排放量。

[0015] 术语“背风表面侧”也可理解为吸风侧,即在正常运行期间逆风的风轮机上的叶片的面向塔架的侧面。

[0016] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构是气流噪音减小机构。

[0017] 当叶片穿过空气旋转时,风轮机产生噪音。因此,提供带气流噪音减小机构的叶片是有利的,即使这样可能增加阻力并因而较少地降低风轮机的效率。

[0018] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构安放在所述叶片长度 60% -100% 范围内的外段中,例如所述风轮机叶片的最外面三分之一中。

[0019] 当叶片的旋转速度增加时,来自风轮机叶片的噪音排放增加;叶片的相对于周围空气的速度朝向尖端变大。因此本范围提供了湍流发生机构相对于噪音排放的有利安放。

[0020] 在本发明的一个方面中,所述外段细分成两个或更多子段,所述湍流发生机构在每个所述子段内基本都是均匀的。

[0021] 将湍流发生机构制成均匀的是有利的生产方式,因为这样可大量生产,并因此显著降低单个湍流发生机构的生产成本。但为了有效地降低来自叶片的噪音排放,可有利地在其上分布湍流发生机构的整个叶片段中改变所述湍流发生机构的设计和尺寸。通过将外段细分成其中湍流发生机构基本均匀的两个或多个子段,可实现制造成本与降低噪音排放之间的有利关系。

[0022] 在本发明一个方面中,所述湍流发生机构的高度相等,或者最靠近所述风轮机叶片尾缘的机构的高度比最靠近所述风轮机叶片前缘的高。

[0023] 将湍流发生机构制成具有恒定高度或者当从叶片尖端或根部看去时后部较高是有利的,因此它提供具有良好湍流发生质量的机构。

[0024] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构的最高高度是所述风轮机叶片的弦长度的 0.01% -5%,优选是 0.1% -3% 间,最优选是 0.2% -0.8%。

[0025] 本高度范围使得湍流发生机构具有噪音排放和阻力间的有利关系。

[0026] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构间的距离基本恒定。

[0027] 使湍流发生机构间的距离保持基本恒定是有利的,因为这可容易地将湍流发生机构安装在预制的风轮机叶片上。此外,也可改善湍流发生机构噪音降低效率。

[0028] 在本发明的一个方面中,从风轮机片的前缘起,所述湍流发生机构放置在弦长度的 5% 至 85% 之间,优选在 10% 至 75% 之间,最优选在 15% 至 60% 之间的范围内。

[0029] 本范围为湍流发生机构提供了相对于噪音排放的有利安放。

[0030] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构通过连接装置例如螺钉、螺栓、铆钉、焊接或优选的胶粘剂单独或成对地连接到风轮机叶片上。

[0031] 单独或成对地连接湍流发生机构是有利的,因为它能使得能单独安放该机构以用于最佳地降低噪音。

[0032] 在本发明的一个方面中,所述湍流发生机构作为绳串、线圈或带的一部分通过连接装置例如螺钉、螺栓、铆钉、焊接或优选的胶粘剂连接到风轮机叶片上。

[0033] 将湍流发生机构作为绳串、线圈或带的一部分连接到叶片的表面上是有利的,因

为它提供一种简单而成本有效的机构连接方法。

[0034] 在本发明的一个方面中，所述湍流发生机构是以  $60^{\circ}$  至  $120^{\circ}$  的角例如正交于所述风轮机叶片背风表面侧的表面延伸的板。

[0035] 将湍流发生机构设计成以本角度范围从叶片吸风表面侧延伸的板为湍流发生机构提供了在降低噪音排放方面的有利设计。

[0036] 在本发明的一个方面中，所述湍流发生机构包括侧面，所述侧面交替地以与气流方向成一角度的安放，所述角度为  $50^{\circ}$  至  $2^{\circ}$  以及  $-50^{\circ}$  至  $-2^{\circ}$ ，优选为  $30^{\circ}$  至  $5^{\circ}$  以及  $-30^{\circ}$  和  $-5^{\circ}$ ，并且最优选为  $20^{\circ}$  至  $10^{\circ}$  以及  $-20^{\circ}$  至  $-10^{\circ}$ 。

[0037] 使湍流发生机构的侧面的角度相对于迎面气流的方向交替地为正和负值提供了湍流发生机构在湍流发生和噪音排放方面的有利设计。

[0038] 在本发明的一个方面中，所述湍流发生机构与风轮机叶片整体形成。

[0039] 使湍流发生机构例如在制造叶片期间与风轮机叶片整体形成是有利的，因为它提供带有湍流发生机构的叶片的简单而成本有效的方式。

[0040] 在本发明的一个方面中，所述湍流发生机构是涡流发生器。

[0041] 利用涡流发生器作为防止和尽量减小失速的机构在制造风轮机叶片、飞机机翼等的领域中是众所周知的。许多关于生产方法、连接方法及其它等问题已经涉及，因此在制造湍流发生机构时利用这些经验是有利的。

[0042] 在本发明的一个方面中，所述风轮机叶片包括至少一个俯仰控制单元。

[0043] 本发明还提供一种风轮机，所述风轮机包括至少两个俯仰控制式风轮机叶片和用于使所述叶片俯仰的俯仰控制机构，其特征在于，所述叶片包括湍流发生机构，其中所述机构安放在所述风轮机叶片的背风表面侧上，并位于所述风轮机的朝向尖端的外端。因而得到按照本发明所述的有利的设备。

[0044] 在本发明的一个方面中，所述风轮机是可变速俯仰控制式风轮机。

[0045] 可变旋转速度产生可变水平的可变噪音，所述可变噪音尤其是对人耳产生刺激。因此，利用可变速俯仰控制式风轮机中叶片上的湍流发生机构来降低声音排放是有利的。

[0046] 本发明还涉及对按照权利要求 1-15 之一所述的俯仰控制式风轮机叶片的使用，该使用与根据 16-18 之一所述的俯仰控制式风轮机有关，并用于调节叶片俯仰和噪音水平。

[0047] 在本发明的另一方面中，该使用涉及根据通过声音测量机构例如扩音器测量的噪音水平的结果来控制所述噪音水平。

## 附图说明

[0048] 下面将参照附图说明本发明，其中：

[0049] 图 1 示出从前面（正面）看去的大型现代风轮机，

[0050] 图 2 示出从前面看去的风轮机叶片，

[0051] 图 3 示出从叶片根部看去的风轮机叶片的剖视图，

[0052] 图 4 示出从前面看去的湍流发生机构的实施例，

[0053] 图 5 示出与图 4 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从侧面看去，

[0054] 图 6 示出与图 4 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从顶部看去，

- [0055] 图 7 示出从前面看去的实心湍流发生机构的实施例，
- [0056] 图 8 示出与图 7 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从侧面看去，
- [0057] 图 9 示出与图 7 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从顶部看去，
- [0058] 图 10 示出从前面看去的实心湍流发生机构的另一实施例，
- [0059] 图 11 示出与图 10 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从侧面看去，
- [0060] 图 12 示出与图 10 所示相同的湍流发生机构的实施例，其从顶部看去，
- [0061] 图 13 示出从背风侧看去的风轮机叶片段，其包括多个湍流发生机构，
- [0062] 图 14 示出从叶片前缘看去的风轮机叶片段，其包括多个湍流发生机构，以及
- [0063] 图 15 示出一系列试验结果的曲线图。

## 具体实施方式

[0064] 图 1 示出现代风轮机 1，该风轮机包括塔架（塔筒）2 和设置在该塔架 2 顶部的风轮机引擎舱（吊舱）3。引擎舱 3 上通过低速轴连接有风轮机转子 4，该转子包括三个风轮机叶片 5，该低速轴从引擎舱 3 的前面伸出。

[0065] 图 2 示出从前侧 / 压力侧 14 看去的风轮机叶片 5。风轮机叶片 5 包括前缘 6、尾缘 7、尖端 8 和根部 9。现有技术已知的风轮机叶片 5 通常用玻璃纤维、碳纤维增强的树脂复合材料、碳纤维增强的木材或它们的组合制成。

[0066] 叶片 5 的长度用 BL 表示。

[0067] 在根部 9 处，叶片 5 具有一俯仰控制单元 16，所述俯仰控制单元 16 可包括轴承、齿轮、用于使叶片 5 俯仰的机构和 / 或用于连接该使叶片 5 俯仰的机构的机构。

[0068] OS 表示本发明的这个实施中的叶片 5 的外段，该外段 OS 还细分成子段 1 即 SS1、子段 2 即 SS2 和子段 3 即 SS3。在本发明的另一实施例中，外段 OS 可细分成其它数量的子段，例如两个或四个具有相同或不同长度的子段。

[0069] 在本发明的这个实施例中，外段 OS 构成叶片长度 BL 的大约 40%，即当从根部 9 测量时，外段 OS 从叶片长度 BL 的大约 60% 处延伸到叶片长度 BL 的 100% 处。

[0070] 图 3 示出从叶片 5 的根部 9 所看到的风轮机叶片 5 的剖面。叶片 5 包括吸风侧 / 背风侧 13、压力侧 14、前缘 6 和尾缘 7。叶片 5 的弦长度示出为 C，该弦长度是前缘 6 和尾缘 7 之间的距离。叶片 5 的高度用 t 标示。

[0071] 在本发明的这个实施例中，在叶片 5 的背风侧 13，在距前缘 6 约 20% 弦长处安放有湍流发生机构 10。

[0072] 图 4 示出从前面看去的湍流发生机构 10 的实施例。在该实施例中，湍流发生机构 10 由整块板制成，其中该板的两端向上弯，从而形成从基底 11 的每端垂直延伸的翼或板 15。然后将基底 11 例如通过胶粘剂、螺钉、螺栓、铆钉或其它合适的固定装置连接到风轮机叶片 5 的表面上。

[0073] 在本发明的另一实施例中，翼 15 可以是通过用胶粘剂、焊接、螺钉、螺栓或其它方法固定到基底 11 上的单独的板，或者翼 15 可以例如通过用胶粘剂、螺钉、螺栓或其它方法直接连接到风轮机叶片 5 上，或者甚至在制造叶片 5 期间与叶片 5 一体形成。

[0074] 翼 15 也可以与由例如铝、不锈钢、塑料或任何其它适于该用途的材料制成的绳串、线圈或带整体形成。这种包含大量湍流发生机构 10 的绳串、线圈或带则例如通过胶粘

剂、螺钉、螺栓或其它方法连接到风轮机叶片 5。

[0075] 湍流发生机构 10 可以用与制造叶片 5 相同的材料制成,或者该机构可以用木材、金属如铝或不锈钢、塑料或任何其它适于制造湍流发生机构 10 的材料制成。

[0076] 图 5 示出从侧面看去的与图 4 所示相同的湍流发生机构 10 的实施例。在本发明的这个实施例中,湍流发生机构 10 的翼 15 是三角形,从而使翼 15 在后部最高。翼 15 的最高高度示出为测量值 H。

[0077] 在本发明的另一实施例中,翼 15 可以成形为圆形或锥形的一部分、鱼鳍形、矩形或任何其它适合于发生湍流的形状。

[0078] 图 6 示出从顶部看去的与图 4 所示相同的湍流发生机构 10 的实施例。湍流发生机构 10 前面的箭头示出当湍流发生机构 10 安装在风轮机叶片 5 上时,正常运行期间的气流方向。如角 A 所示,湍流发生机构 10 的两个侧边 12 设置成与气流方向成大约 16° 和 -16° 的角。在本发明的另一实施例中,两个侧边 12 可以设置成与气流方向成另一角度,或者两侧边 12 可以与气流方向平行。

[0079] 图 7 示出从正面看去的实心湍流发生机构 10 的实施例。在本发明的这个实施例中,湍流发生机构 10 制成包括基底 11 的实心元件,它可以比如通过胶粘剂、螺钉、螺栓、铆钉或其它合适的固定方法连接到风轮机叶片 5 的表面,或者湍流发生机构 10 可以在制造叶片 5 期间与叶片 5 整体形成。在本发明的另一实施例中,所示出的湍流发生机构 10 也可以是空心的。

[0080] 如角度 A 所示,实心湍流发生机构 10 的两侧边 12 与气流方向形成一大约 15° 和 -15° 的角度。在本发明的另一实施例中,两侧边 12 可以与气流方向成另一角度设置,或者两侧边 12 可以与气流方向平行。

[0081] 图 8 示出从侧面看去的与图 7 所示湍流发生机构 10 相同的实施例。

[0082] 图 9 示出从顶部看去的与图 7 所示湍流发生机构 10 相同的实施例。

[0083] 图 10 示出从前面看去的实心湍流发生机构 10 的另一实施例。

[0084] 图 11 示出从侧面看去的与图 10 所示湍流发生机构 10 相同的实施例。在本发明的另一实施例中,机构 10 的前面和后面可以相等,以将机构 10 形成从侧面看去基本是矩形或正方形。如果机构 10 是实心的、板或其它,则这可能是无关紧要的情况。

[0085] 图 12 示出从顶部看去的与图 10 所示湍流发生机构 10 相同的实施例。

[0086] 图 13 示出从背风侧看去的风轮机叶片 5 的外段中的一段,该段包括多个湍流发生机构 10。在本发明的这个实施例中,湍流发生机构 10 沿直线安置在叶片上,但在发明的另一实施例中,它们可以安置在从叶片 5 的前缘 6 或尾缘 7 开始的固定的或变动的范围内。

[0087] 湍流发生机构 10 以均匀的间距设置,但在本发明的另一实施例中,湍流发生机构 10 可安置成相邻的机构 10 之间具有变动的距离。在本发明的另一实施例中,湍流发生机构 10 也可安置成一排以上,例如两排或三排。

[0088] 在本发明的这个实施例中,所有湍流发生机构 10 都具有从前面看去的相同的尺寸和设计,但在另一实施例中,尺寸和设计都可在湍流发生机构 10 放置在其中的叶片段的整个长度上改变。

[0089] 图 14 示出从前缘 6 看去的风轮机 5 的外段中的一段,该段包括多个湍流发生机构 10。在本发明的这个实施例中,所述其中安放湍流发生机构 10 的外段细分成两个子段,其

中湍流发生机构 10 在不同的子段中具有不同的高度。

[0090] 图 15 示出一曲线图,该曲线图显示出在维斯塔斯 (Vestas) V90-2MW 风轮机上进行的一系列试验的结果。纵坐标轴表示所测得的以分贝 (dBA) 为单位的 A 加权的声能级,而横坐标轴表示所测得的以度 (deg) 为单位的迎角 (AoA)。

[0091] 在风轮机 1 的正常运行期间,叶片 5 相对于转子平面旋转。迎面风 (来风) 大致垂直于该转子平面,迎面风的有效角和速度 (即与稳定的叶片相对应) 取决于叶片的旋转速度。该有效角称为迎角 (AoA)。

[0092] 理想情况下,迎角约为 3° 至 8°,但当风速变得太大时,叶片则俯仰出风流,以保护风轮机。因此,本曲线图示出在不同的叶片 5 迎角,即不同风速下,从风轮机所产生的总噪音输出之间的关系。

[0093] 在该曲线图中,灰色点示出未在叶片 5 上安装任何湍流发生机构 10 之前在不同天气条件下进行的一系列测量的结果。灰色曲线示出灰点的方程拟合。

[0094] 暗灰色点示出在叶片 5 上安装有湍流发生机构 10 的情况下在坏天气条件下进行的一系列测量的结果。黑色点示出在叶片 5 上安装有湍流发生机构 10 的情况下在不可抗力天气 (god weather) 条件下进行的一系列测量的结果。黑色曲线示出暗灰色点和黑色点的组合的方程拟合。这两条曲线示出,为叶片 5 设置湍流发生机构 10 可在正常运行期间将 A 加权声能级减少达 3dBA,而在高迎角下减少达 5dBA。

[0095] 上面已经参照风轮机叶片 5 和涡流发生机构 10 的具有实施例举例说明了本发明。然而,应该理解,本发明不限于上述特定实施例,而是可以在如权利要求所述的本发明范围内进行各种各种设计和改变。

[0096] 标号列表

- [0097] 1 风轮机
- [0098] 2 塔架
- [0099] 3 引擎舱
- [0100] 4 转子
- [0101] 5 叶片
- [0102] 6 前缘
- [0103] 7 尾沿
- [0104] 8 尖端
- [0105] 9 根部
- [0106] 10 湍流发生机构
- [0107] 11 湍流发生机构的基底
- [0108] 12 湍流发生机构的侧面
- [0109] 13 背风侧
- [0110] 14 压力侧
- [0111] 15 板或翼
- [0112] 16 俯仰控制单元
- [0113] OS 外段
- [0114] C 弦长度

- [0115] T 叶片高度
- [0116] A 侧面角度
- [0117] H 湍流发生机构的最大高度
- [0118] AoA 迎角
- [0119] SS1 子段 1
- [0120] SS2 子段 2
- [0121] SS3 子段 3
- [0122] BL 叶片长度

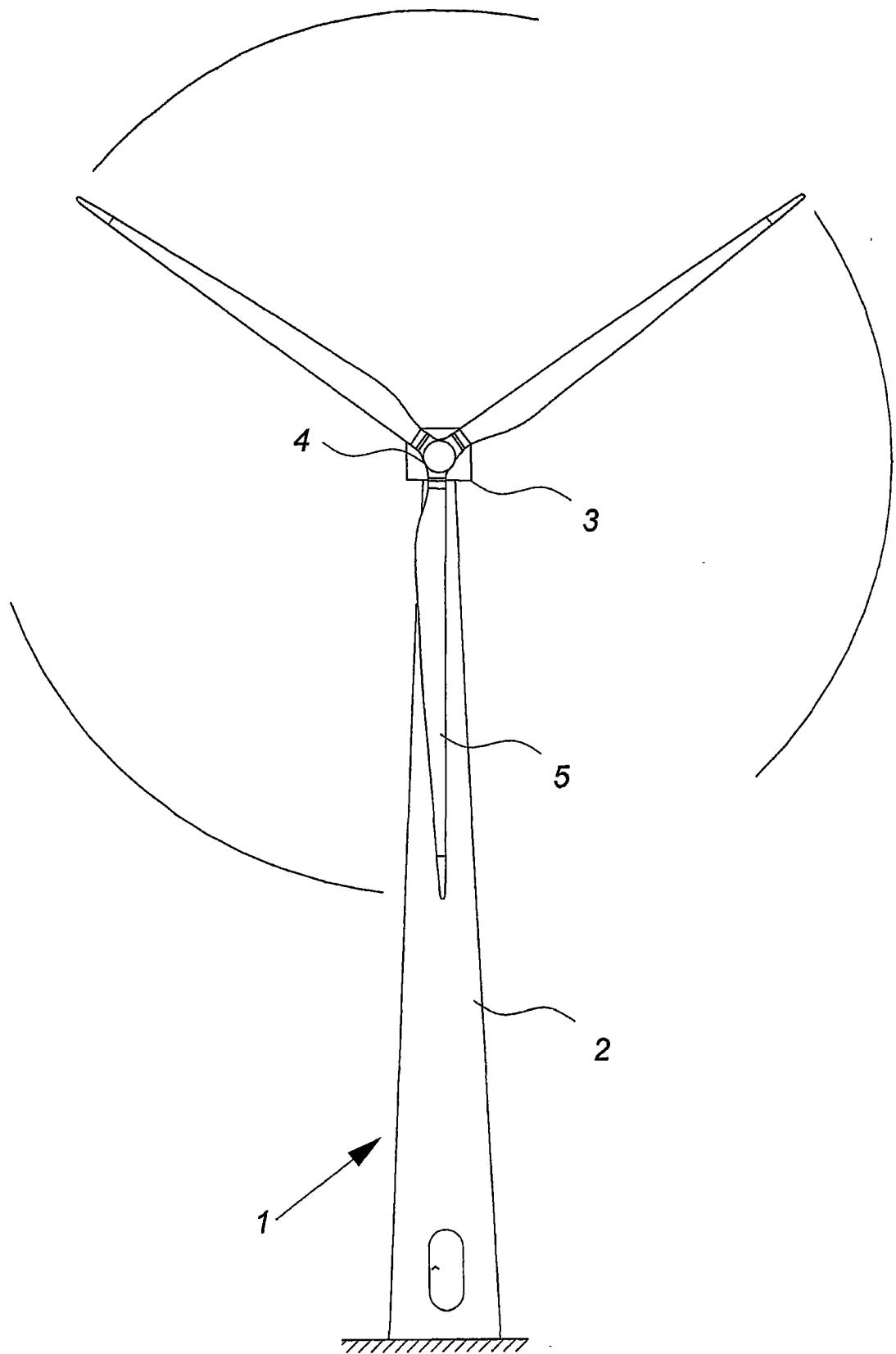


图 1

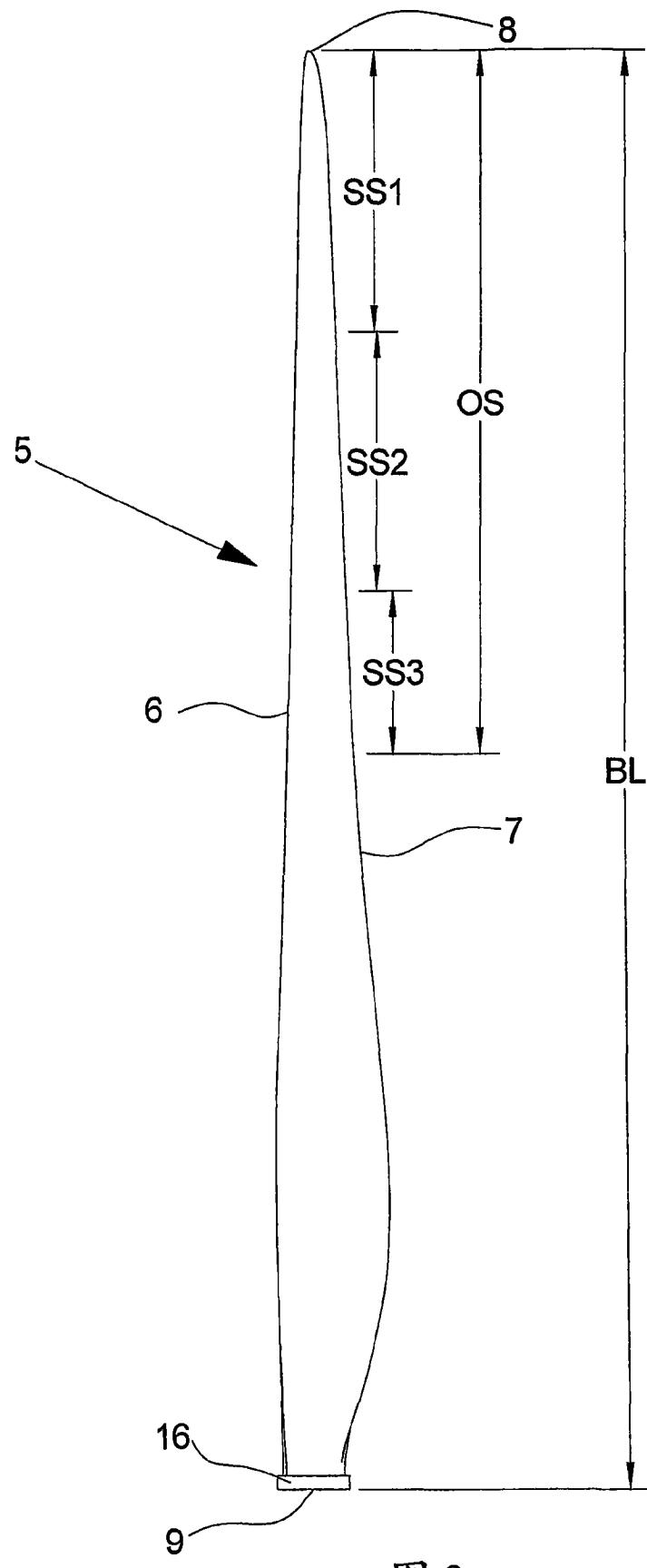


图 2

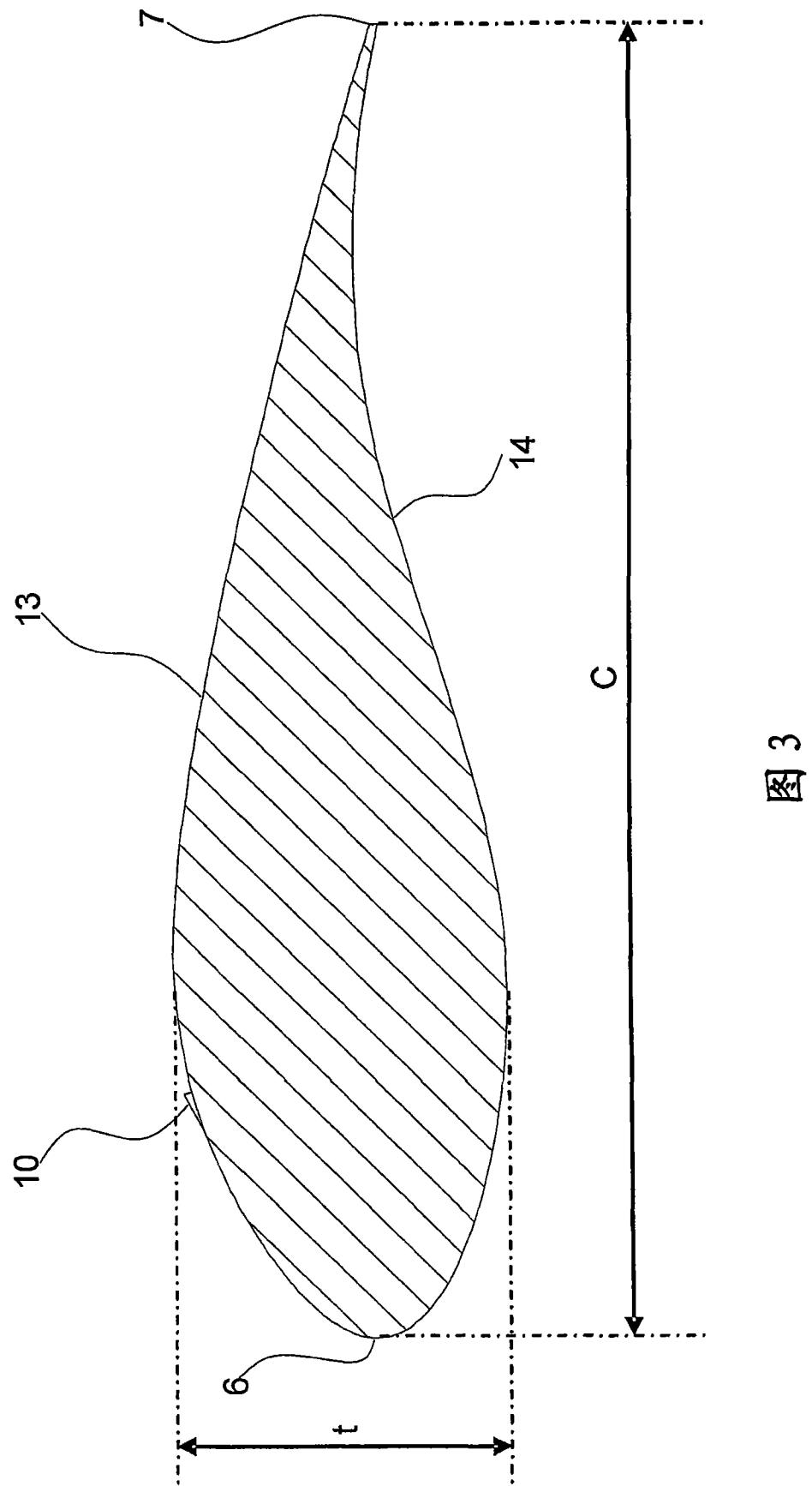


图 3

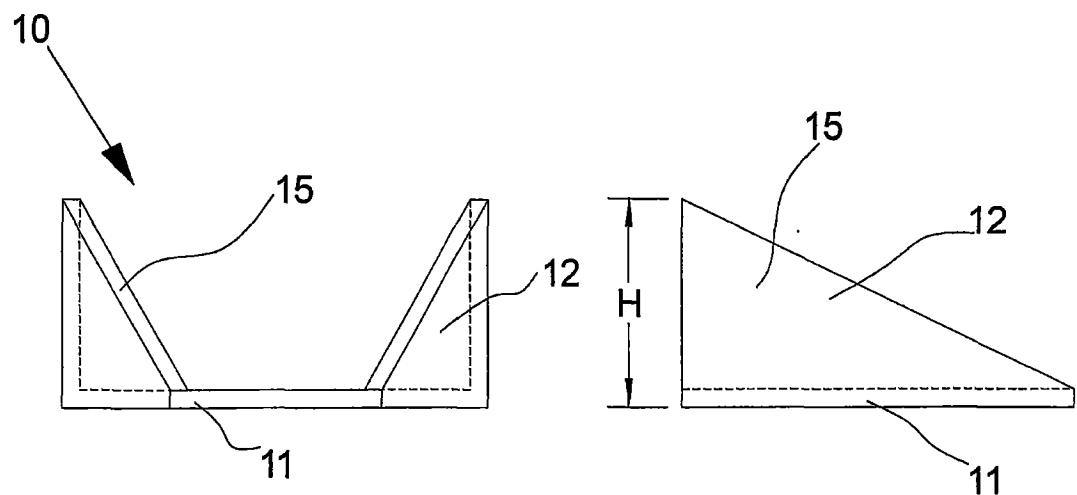


图 4

图 5

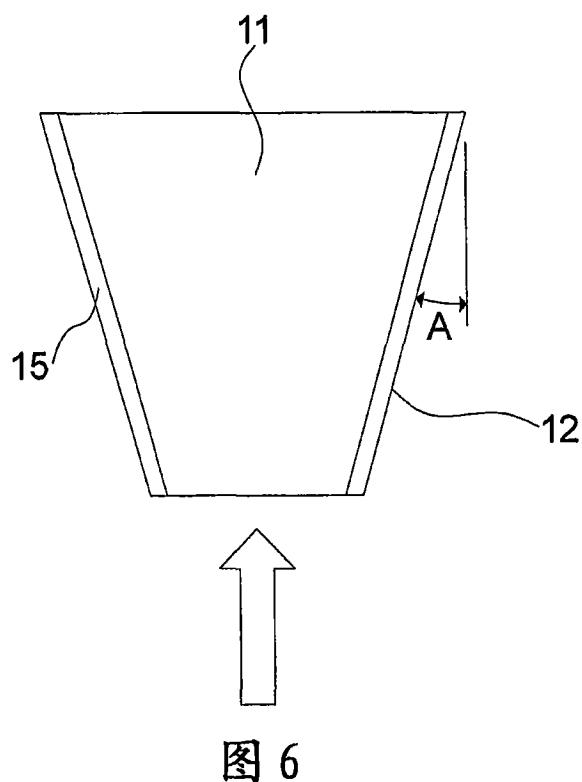


图 6

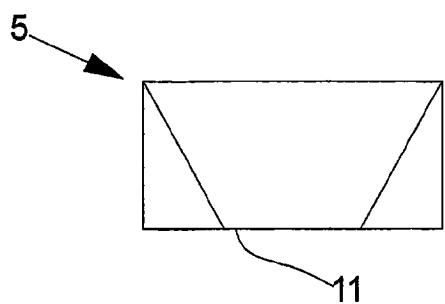


图 7

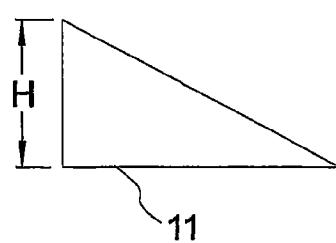


图 8

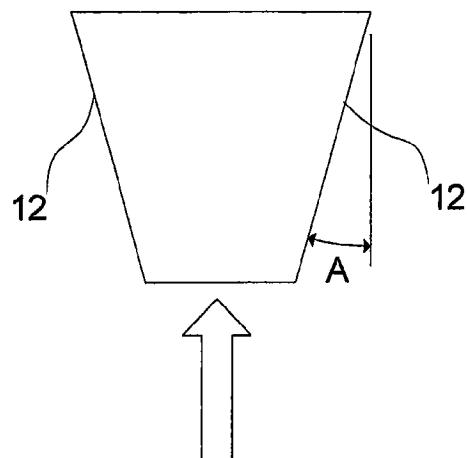


图 9

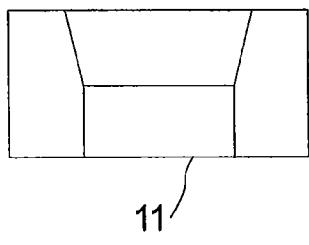


图 10

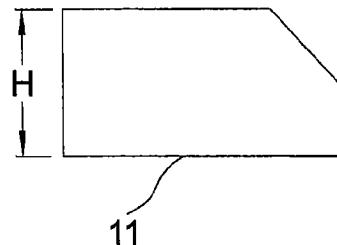


图 11

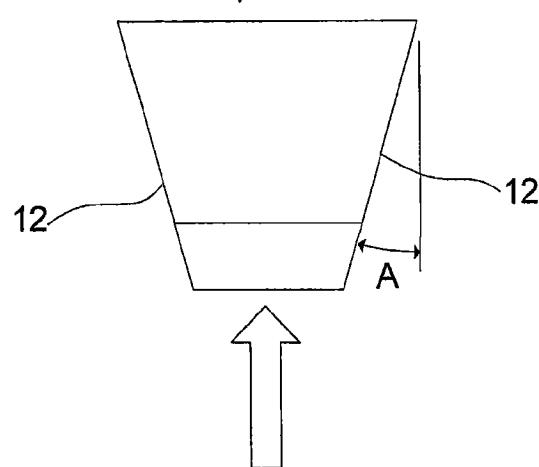


图 12

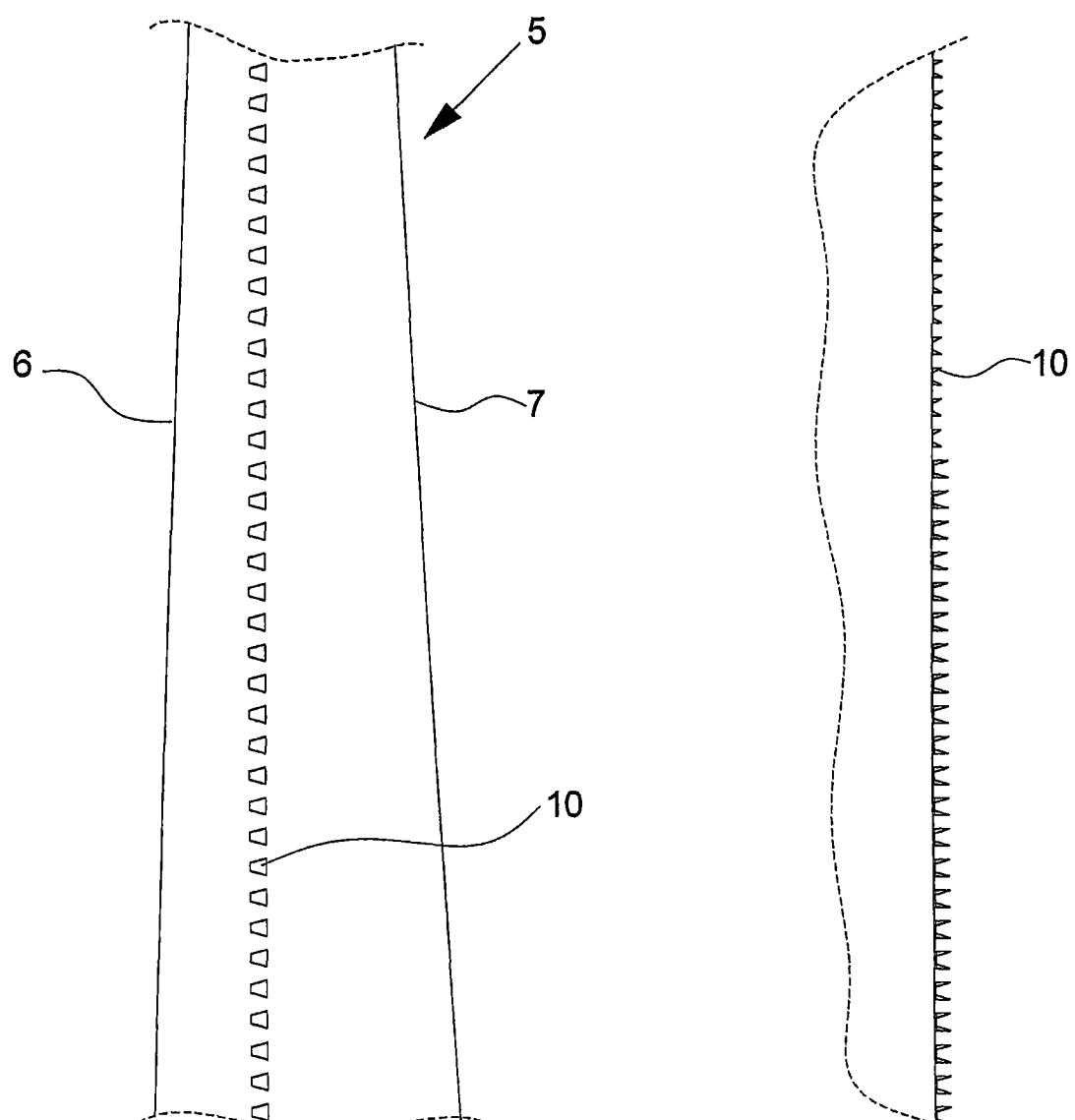


图 13

图 14

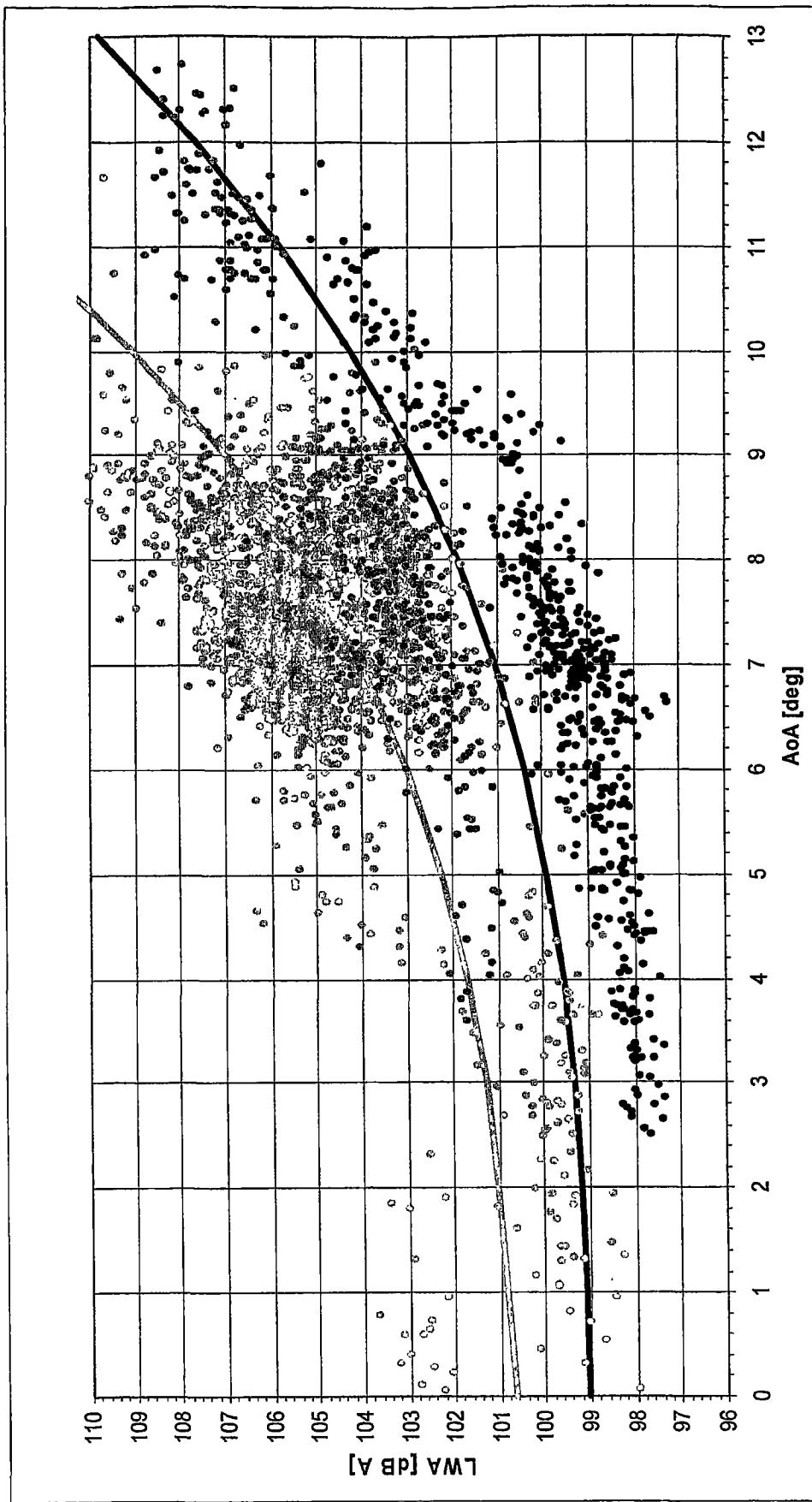


图 15