

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101592121 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 30

(21) 申请号 200910145905. 7

审查员 侯小锋

(22) 申请日 2009. 05. 31

(30) 优先权数据

12/129, 966 2008. 05. 30 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 S·赫尔 K·R·柯特利

K·W·坎奇 B·S·格伯

K·J·斯坦迪什 B·P·珀蒂让

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 陈江雄 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4324530 A, 1982. 04. 13, 全文.

EP 1832744 A1, 2007. 09. 12, 全文.

US 5199851 A, 1993. 04. 06, 全文.

CN 1755103 A, 2006. 04. 05, 全文.

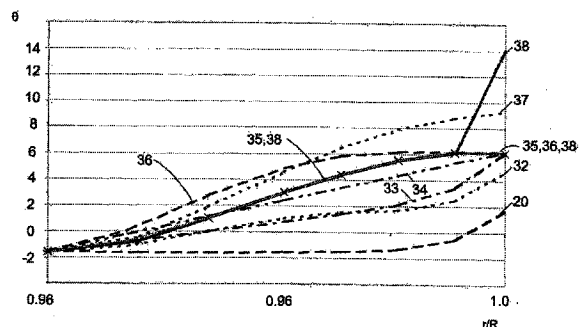
权利要求书3页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

具有扭曲和渐缩形叶尖的风力涡轮机叶片

(57) 摘要

本发明涉及具有扭曲和渐缩形叶尖的风力涡轮机叶片。具体而言,一种用于风力涡轮机(2)的叶片(10),包括叶片转子半径外部的大约1%至大约10%之间处于大约6度至大约15度之间的总的后向扭曲;以及叶片转子半径外部的大约1%至大约10%之间处于大约1%至大约2%之间的总的标称弦长变化。



1. 一种用于风力涡轮机 (2) 的叶片 (10), 包括:

在所述叶片的转子半径外部的大约 1% 至大约 10% 之间为大约 6 度至大约 15 度之间的总的后向扭曲; 以及

在所述叶片的转子半径外部的大约 1% 至大约 10% 之间为大约 1% 至大约 2% 之间的总的标称弦长变化。

2. 根据权利要求 1 所述的叶片, 其特征在于, 所述总的后向扭曲在所述叶片转子半径的外部大约 1% 至大约 10% 之间处于大约 6 度至大约 10 度之间。

3. 根据权利要求 1 所述的叶片, 其特征在于, 所述总的后向扭曲在所述叶片转子半径的外部大约 1% 至大约 5% 之间处于大约 6 度至大约 15 度之间。

4. 根据权利要求 2 所述的叶片, 其特征在于, 所述总的后向扭曲在所述叶片转子半径的外部大约 1% 至大约 5% 之间处于大约 6 度至大约 10 度之间。

5. 根据权利要求 4 所述的叶片, 其特征在于, 所述叶片具有叶尖扭曲分布:

r/R	θ
0.960	-1.63
0.967	-0.76
0.974	0.99
0.981	2.98
0.986	4.40
0.991	5.53
0.996	6.17

其中, “ r/R ” 为从所述叶片的旋转中心向外的近似标称距离, 而 θ 为扭曲的近似角度。

6. 根据权利要求 5 所述的叶片, 其特征在于, 所述叶尖扭曲分布还包括, 在 r/R 值为大约 0.996 至大约 1.0 之间的情况下 θ 值在大约 6.17 度至大约 14.0 度之间。

7. 根据权利要求 5 所述的用于风力涡轮机的叶片, 其特征在于, 所述叶尖扭曲分布还包括, 在 r/R 值为大约 1.0 的情况下 θ 值在大约 6.17 度至大约 14.0 度之间。

8. 根据权利要求 1 至权利要求 7 中任一项所述的叶片, 其特征在于, 所述总的标称弦长变化在所述叶片的转子半径外部的大约 1% 至大约 5% 之间处于大约 1.5% 至 2% 之间。

9. 根据权利要求 1 至权利要求 7 中任一项所述的叶片, 其特征在于, 所述叶片具有叶尖弦长分布:

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.88%
0.9740	1.76%
0.9806	1.58%
0.9856	1.33%
0.9906	0.98%
0.9956	0.55%
1.00	0.10%

其中, “ r/R ” 为从旋转中心沿所述叶片的跨度向外的近似标称距离, 而 “ c/R ” 为表示成

从所述旋转中心向外的百分比距离的近似弦长“c”。

10. 根据权利要求 1 至权利要求 7 中任一项所述的叶片,其特征在於,所述叶片具有叶尖弦长分布:

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.92%
0.9740	1.90%
0.9806	1.88%
0.9856	1.85%
0.9906	1.79%
0.9956	1.52%
1.00	0.70%

其中,“c/R”为表示成从所述旋转中心沿所述叶片的跨度向外的距离“R”的百分比的近似弦长“c”。

11. 根据权利要求 8 所述的叶片,其特征在於,所述叶片具有叶尖弦长分布:

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.88%
0.9740	1.76%
0.9806	1.58%
0.9856	1.33%
0.9906	0.98%
0.9956	0.55%
1.00	0.10%

其中,“c/R”为表示成从所述旋转中心沿所述叶片的转子半径向外的距离“R”的百分比的近似弦长“c”。

12. 根据权利要求 4 所述的叶片,其特征在於,所述叶片具有叶尖扭曲分布:

r/R	θ
0.960	-1.63
0.967	-0.47
0.974	1.87
0.981	4.52
0.986	6.41
0.991	7.92
0.996	8.77
1.00	9.30

其中,“r/R”为从所述叶片的旋转中心沿叶片转子半径向外的近似标称距离,而 θ 为

扭曲的近似角度；以及
具有叶尖弦长分布：

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.91%
0.9740	1.85%
0.9806	1.63%
0.9856	1.30%
0.9906	0.79%
0.9956	0.31%
1.00	0.10%

其中，“c/R”为表示成从所述旋转中心向外的所述距离的百分比的近似弦长“c”。

13. 根据权利要求8所述的叶片，其特征在于，所述叶片具有叶尖弦长分布：

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.88%
0.9740	1.76%
0.9806	1.58%
0.9856	1.33%
0.9906	0.98%
0.9956	0.55%
1.00	0.10%

其中，“r/R”为从旋转中心沿所述叶片的跨度向外的近似标称距离，而“c/R”为表示成从所述旋转中心向外的百分比距离的近似弦长“c”。

14. 根据权利要求8所述的叶片，其特征在于，所述叶片具有叶尖弦长分布：

r/R	c/R
0.9600	1.94%
0.9680	1.92%
0.9740	1.90%
0.9806	1.88%
0.9856	1.85%
0.9906	1.79%
0.9956	1.52%
1.00	0.70%

其中，“c/R”为表示成从所述旋转中心沿所述叶片的跨度向外的距离“R”的百分比的近似弦长“c”。

具有扭曲和渐缩形叶尖的风力涡轮机叶片

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本文所公开的主题大体上涉及关于“Wind Turbine Blades with Twisted Tips”(代理人卷号 230758) 的美国专利申请序列 No. _____ 和关于“Wind Turbine Blade Planforms with Twisted and Tapered Tips”(代理人卷号 232308) 的美国专利申请序列 No. _____ 中所公开的内容,各申请均与本申请同时提交,并且通过引用并入到本文中。

技术领域

[0003] 本文所描述的主题大体上涉及具有特殊叶片结构的流体反作用表面,并且更具体地涉及具有带扭曲和渐缩形叶尖的叶片的风力涡轮机。

背景技术

[0004] 风力涡轮机是一种用于将风中的动能转换成机械能的机器。如果机械能直接由机器使用,例如用以抽水或用以磨麦,则该风力涡轮机可称作风车。类似而言,如果机械能转换成电流,则该机器还可称作风力发电机或风力发电装置。

[0005] 风力涡轮机通常根据叶片围绕其旋转的垂直轴或水平轴来分类。一种所谓的水平轴风力发电机在图 1 中示意性地示出,其可从通用电器公司获得。用于风力涡轮机 2 的该特定构造包括塔架 4,塔架 4 支承封装传动系 8 的机舱 6。叶片 10 布置在浆毂上,以在传动系 8 的一端处于机舱 6 外侧形成“转子”。旋转的叶片 10 驱动齿轮箱 12,齿轮箱 12 连接到在传动系 8 另一端的发电机 14 上,传动系 8 连同从风速计 18 接收输入的控制系 16 一起设置在机舱 6 内。

[0006] 叶片 10 产生升力并从移动的空气中捕获动量,然后该动量当叶片在“转子平面”中旋转时施加给转子。各叶片通常均紧固在其“叶根”端上,且之后“转子半径”径向地“向外”至自由的“叶尖”端。叶片的前部或“前缘”连接最先接触空气的叶片最前点。叶片的后部或“后缘”是指已经由前缘隔开的气流在经过叶片的吸入表面和压力表面之后再次结合的位置。“翼弦线”在经过叶片的典型气流的方向上将叶片的前缘和后缘相连接。翼弦线的长度简单地称为“弦长”。

[0007] 叶片 10 的外侧端称为“叶尖”,而从叶尖至叶片相对端上的叶根的距离称为“转子半径”。由于叶片 10 的叶根在其连接到浆毂上时是从叶片的旋转中心进行移置,故从叶片 10 旋转中心至叶尖的距离称作“转子半径”,并且在此用字母“R”标示。由于许多叶片 10 在转子半径(以及对应的转子半径)上改变其弦长,故翼弦线长度在叶根附近称为“叶根弦长”而在叶片的叶尖附近则称为“叶尖弦长”。当垂直于流向进行观察时,叶片 10 所形成的形状称为“平面形状(planform)”。叶片 10 的厚度在整个平面形状上变化,而用语“厚度”通常用来描述对于任何特定的翼弦线在低压吸入表面与叶片相对侧上的高压表面之间的最大距离。

[0008] 用语“攻角”用于描述叶片 10 的翼弦线与表示在叶片与空气之间相对运动的矢量之间的角度。“倾斜(pitching)”是指使整个叶片 10 的攻角旋进或旋出风中,以便控制转速

和 / 或从风中吸收功率。例如,“朝顺浆”倾斜叶片使得叶片 10 前缘旋转进入风中,而“朝停机(stall)”倾斜叶片使得叶片前缘从风中旋转离开。

[0009] 由于叶片 10 相对于空气的速度沿旋转叶片的转子半径增大,故叶片形状通常是扭曲的,以便在沿叶片转子半径的大多数点上保持大体上一致的攻角。例如,图 2 示出了常规的叶片扭曲分布 20,在垂直轴上以度数示出了叶片 10 的“扭曲”角 θ 。图 2 中的水平轴示出了从叶片 10 的旋转中心沿浆毂和叶片转子半径向外的标称距离“ r/R ”,在此称作“转子半径的百分比”。由于相比于叶片 10 的长度,浆毂的尺寸较小,故该“转子半径百分比”还近似为从叶片的叶根开始向外的标称距离,或并非始于叶片旋转中心的“转子半径百分比”。

[0010] 在这些附图中,扭曲角 θ 的正值表示叶片 10 朝顺浆扭曲,而负值则表示叶片朝停机扭曲。扭曲角 θ 通常以内侧的较高正值(朝顺浆)开始,且之后在外侧方向上沿叶片的转子半径朝停机“旋转”。这种变化称为叶片的“前向扭曲”。当扭曲角朝顺浆旋转时,这种变化称为“后向扭曲”。扭曲角 θ 的零值表示,当叶片以零倾斜布置在转子 8 上时,叶片 10 部分将处于转子平面中。

[0011] 图 3 为图 2 中所示的扭曲分布 20 的放大部分,其中,整个叶片 10 也已经向前倾斜。由于图 3 示出了邻近叶尖的叶片 10 外部的扭曲分布,故其也称作“叶尖扭曲分布”。图 3 对应如下数值数据:

[0012]	r/R	θ -20
[0013]	96.00%	-1.63
[0014]	96.80%	-1.68
[0015]	97.40%	-1.66
[0016]	98.06%	-1.62
[0017]	98.56%	-1.54
[0018]	99.06%	-1.35
[0019]	99.56%	-0.58
[0020]	100.00%	1.67

[0021] 然而,也已经公开了其它的叶尖扭曲分布。例如,出版号为 NREL/SR-500-26173(1999 年 4 月)的“Design of Tapered and Twisted Blade for the NREL Combined Experiment Rotor”示出了从转子半径的大约 75%至叶片叶尖为负值的扭曲分布。

[0022] 风力涡轮机叶片 10 的噪音和动力性能部分地取决于在叶片叶尖处的涡流发展。已经提出了多种技术来控制这种涡流发展。例如,于 2007 年 7 月 12 日提交的共有的共同未决美国申请序列 No. 11/827,532(代理人卷号 225992)公开了一种具有用于减小噪音的涡流破坏系统的风力涡轮机叶片。尽管通常可通过最大限度地减小叶片叶尖上的空气动力负载来减小涡流发展,但所谓的“叶尖卸荷”通常会显著地降低由叶片所产生的动力。

[0023] 这种叶尖卸荷的缺点和优点还可通过减小叶尖附近的弦长来实现。例如,图 7 为弦长“ c ”作为总转子半径“ R ”的百分比(也称作“ c/R ”或“标称弦长”)相对于上文参照图 2 和图 3 进行论述的常规涡轮叶片的标称转子半径的曲线图。图 7 中所示的“叶尖弦长分布”22 对应于如下数据:

[0024]	r/R	c/R-22
[0025]	95.56%	1.95%
[0026]	96.00%	1.94%
[0027]	96.80%	1.92%
[0028]	97.40%	1.90%
[0029]	98.06%	1.88%
[0030]	98.56%	1.85%
[0031]	99.06%	1.79%
[0032]	99.56%	1.52%
[0033]	100.00%	0.70%

发明内容

[0034] 本文通过在各个实施例中提供一种用于风力涡轮机的叶片而解决了与该常规方式相关的这些和其它缺点,该叶片包括在叶片转子半径的外部大约 1%至大约 10%之间处于大约 6 度至大约 15 度之间的总的后向扭曲;以及在叶片转子半径的外部大约 1%至 10%之间处于大约 1%至大约 2%之间的总的标称弦长变化。

附图说明

[0035] 现在将参照如下附图(“图”)来描述本技术的各个方面,附图不必按比例绘制,但使用相同的参考标号来表示所有若干附图中各图的对应部分。

[0036] 图 1 为常规风力发电机的示意性侧视图。

[0037] 图 2 为示出用于图 1 中所示的叶片的常规扭曲分布的曲线图。

[0038] 图 3 为示出图 2 中的常规叶尖扭曲分布的放大部分的曲线图。

[0039] 图 4 为示出图 2 中的常规叶片扭曲分布和另一叶片扭曲分布的曲线图。

[0040] 图 5 为示出连同图 3 中的常规叶尖扭曲分布一起的另一叶片叶尖扭曲分布和公差范围的曲线图。

[0041] 图 6 为示出多种其它叶片叶尖扭曲分布的曲线图。

[0042] 图 7 为示出图 1 中所示的叶片的常规叶片叶尖弦长分布的曲线图。

[0043] 图 8 为示出图 1 中所示的叶片的多种其它叶片叶尖分布的曲线图。

具体实施方式

[0044] 图 4 为示出连同另一叶片扭曲分布 30 一起的图 2 中的常规叶片扭曲分布 20 的曲线图。除在叶片 10 的叶尖附近的叶片转子半径外部外,叶片扭曲分布 20 和 30 都是相同的,其中,所示扭曲分布 30 大体上对应于如下数值数据:

[0045]	r/R	$\theta -30$
[0046]	0.952128	-2.40979
[0047]	0.973404	-0.28983
[0048]	0.978723	0.999573
[0049]	0.984043	2.292061

[0050]	0.989362	3.421259
[0051]	0.994681	4.220788
[0052]	1	4.52427

[0053] 与常规扭曲分布 20 相比,分布 30 的外部包括比常规扭曲部分 20 的对应部分更大的总的后向叶尖扭曲。分布 30 的叶尖扭曲部分还可结合其它叶片使用,包括具有其它内侧扭曲分布的叶片。扭曲分布 30 还可是倾斜的。

[0054] 扭曲分布 30 的外部叶尖扭曲部分还可采用多种其它形式。例如,图 5 示出了连同另一叶尖扭曲分布 31 一起的常规叶尖扭曲分布 20,其中,叶片 10 已经倾斜,使得处于 $0.96r/R$ 标称转子半径(总转子半径的大约 96%)的扭曲布置在对应于零度扭曲的转子平面中。图 5 中的虚线 312 和 314 还示出了对于扭曲分布 31 的大部分叶尖部分的上下公差带为大约 ± 1.5 度的扭曲。图 5 中所示的扭曲分布 31 和公差带 312 和 314 对应于如下数值数据:

[0055]	r/R	$\theta -31$	$\theta -312$	$\theta -314$
[0056]	0.96	0	0	0
[0057]	0.968	0.865823127	2.365823127	-0.63418
[0058]	0.974	2.622128497	4.122128497	1.122128
[0059]	0.98064	4.613066853	6.113066853	3.113067
[0060]	0.98564	6.032056696	7.532056696	4.532057
[0061]	0.99064	7.160486604	8.660486604	5.660487
[0062]	0.99564	7.798481894	9.298481894	6.298482
[0063]	1	7.798481894	9.298481894	6.298482

[0064] 在图 5 中,上下公差极限 312 和 314 示为在转子半径的 96%处收敛于实际的扭曲分布,其中,对于叶片其它部分的扭曲公差带可相同或不同。然而,上下公差极限 312 和 314 不必彼此收敛或收敛于如图 5 中所示的扭曲分布 31。此外,还可使用其它公差范围,包括大到 ± 3 度、 ± 2 度,以及小到 ± 1 度、 ± 0.75 度、 ± 0.5 度、 ± 0.25 度和 / 或它们的组合。这些和其它适合的公差范围还可按照标称的和实际的转子半径,以及 / 或者标称的和实际的扭曲百分比来表示。

[0065] 图 6 示出了连同常规叶尖扭曲分布 20 一起的扭曲分布 30 外部的若干其它构造,其对应于如下数值数据:

[0066]	r/R	$\theta -20$	$\theta -32$	$\theta -33$	$\theta -34$	$\theta -35$	$\theta -36$	$\theta -37$	$\theta -38$
[0067]	96.00%	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63	-1.63
[0068]	96.70%	-1.68	-1.15	-0.84	-0.26	-0.76	0.06	-0.47	-0.76
[0069]	97.40%	-1.66	0.00	0.00	1.10	0.99	2.73	1.87	0.99
[0070]	98.06%	-1.62	1.01	0.71	2.40	2.98	4.84	4.52	2.98
[0071]	98.56%	-1.54	1.46	1.34	3.37	4.40	5.80	6.41	4.40
[0072]	99.06%	-1.35	1.65	2.10	4.35	5.53	6.17	7.92	5.53
[0073]	99.56%	-0.58	2.43	3.43	5.32	6.17	6.17	8.77	6.17
[0074]	100.00%	1.67	4.67	6.17	6.17	6.17	6.17	9.30	14.00

[0075] 从此数据和图 6 中将会清楚若干叶尖扭曲分布是重叠的。例如,叶尖扭曲分布 35

和 38 包括对于 r/R 小于 99.56% 的相同数据。

[0076] 图 6 中的叶尖扭曲分布具有在大约六度至十五度之间的总的后向扭曲。例如,分布 32 的总的后向扭曲为大约 6.30 度,而分布 38 的总的后向扭曲平均为大约 15.63 度。然而,这些和其它适合的叶尖扭曲分布可设有在大约六度至十度之间的总的后向扭曲。图 6 中所示的叶尖扭曲分布出现在叶片转子半径的外部 4% 上。然而,这些和其它适合的叶尖扭曲分布可设置在叶片转子半径外部的 1% 至 10% 之间,或在叶片转子半径外部的 1% 至 5% 之间。

[0077] 在图 6 中所示的各个实施例中,转子半径外部的至少一部分上的扭曲角 θ 增大,如由叶尖扭曲分布线的斜率所示。例如,由扭曲角 θ 相对于转子半径百分比 r/R 的变化所表示的叶尖扭曲分布的斜率,或“扭曲率”(或“扭曲比率”,或“扭曲速率”),对于叶尖扭曲分布 34 而言大致恒定。然而,叶尖扭曲分布还可如具有扭曲率的叶尖扭曲分布线的曲率所表示的那样进行弯曲,该扭曲率在转子半径的部分或所有的外部上增大和 / 或减小。例如,叶尖扭曲分布 32 的扭曲率在所示分布的外侧部增大,而叶尖扭曲分布的扭曲率在分布的外侧部减小。叶尖扭曲分布 35 的扭曲率在分布的内侧部增大,且之后在分布的外侧部减小。叶尖扭曲分布的变化斜率、扭曲分布的曲率,或“扭曲加速度”还可在这些和其它适合的叶尖扭曲分布上增大和 / 或减小。

[0078] 上文所述的各种叶尖扭曲分布提供了较高的叶片动力性能、较低的与叶尖相关的噪音,以及对湍流的较小敏感度。尽管典型的后向扭曲分布在叶片 10 的各个叶尖上提供了几乎所有的卸荷,但上文所述的许多叶尖扭曲分布在叶片叶尖内侧进行略微地卸荷,其中叶片的各个叶尖处的扭曲变化很小或没有。叶片 10 在其外侧端的有益卸荷产生了提高的动力性能和较低的噪音。本文所公开的叶尖扭曲分布还提供了趋于产生有噪音的叶尖涡流的各个叶片末端的空气动力负载急剧下降与导致大部分叶片的次最佳动力性能的叶片负载的更为缓和地减小之间的最佳平衡。此外,本文所公开的叶尖扭曲分布保持较长部分的叶片上的较大弦长,以便提供较高的动力性能和对风流入速度变化的较小的敏感度。这些坚固性较高的叶尖形状还允许制造精度较高的叶片,其在空气动力学上对物理上恒定的轮廓偏差的敏感度较小,且在叶片叶尖处具有更多用于排出孔和防雷保护的空间。

[0079] 图 8 示出了除图 7 中所示的常规叶尖弦长分布 22 外的多种叶尖弦长分布,其对应于如下数据:

[0080]	r/R	$c/R-42$	$c/R-43$	$c/R-44$	$c/R-45$	$c/R-46$	$c/R-47$	$c/R-48$	$c/R-22$
[0081]	92.76%	2.06%	2.06%	2.06%	2.06%	2.06%	2.06%	2.06%	2.06%
[0082]	95.56%	1.95%	1.95%	1.95%	1.95%	1.95%	1.95%	1.95%	1.95%
[0083]	96.00%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%	1.94%
[0084]	96.80%	1.88%	1.89%	1.91%	1.88%	1.89%	1.92%	1.92%	1.92%
[0085]	97.40%	1.64%	1.69%	1.85%	1.76%	1.79%	1.90%	1.90%	1.90%
[0086]	98.06%	1.23%	1.35%	1.63%	1.58%	1.64%	1.88%	1.89%	1.88%
[0087]	98.56%	0.83%	1.01%	1.30%	1.33%	1.43%	1.80%	1.82%	1.85%
[0088]	99.06%	0.44%	0.69%	0.79%	0.98%	1.14%	1.55%	1.61%	1.79%
[0089]	99.56%	0.14%	0.43%	0.31%	0.55%	0.78%	0.97%	1.13%	1.52%
[0090]	100.00%	0.10%	0.40%	0.10%	0.10%	0.40%	0.10%	0.40%	0.70%

[0091] 从此数据和图 8 中将会清楚这些叶尖弦长分布中的若干分布是重叠的。

[0092] 在外部的 4% 的转子半径上, 图 8 中的叶尖弦长分布 42 至 48 以及 22 具有在大约 1% 至 2% 之间的总的标称弦长变化。例如, 分布 42 的总的标称弦长变化为大约 1.84%, 而分布 22 的总的标称弦长变化为 1.24%。除常规叶尖弦长分布 22 外, 图 8 中所示的剩余叶尖弦长分布在外部的 4% 的转子半径上具有的总的叶尖弦长变化在大约 1.5% 至 2% 之间, 或 1.5% 至 1.9% 之间, 并且更确切地说, 如图 8 中所示, 在 1.54% 至 1.84% 之间。

[0093] 如上文参照图 8 所述的叶尖弦长分布出现在叶片转子半径的外部的 4% 上。然而, 这些和其它适合的叶尖扭曲分布可布置在叶片转子半径外部的 1% 至 10% 之间, 或在叶片转子半径外部的 1% 至 5% 之间。

[0094] 在图 8 中所示的各实施例中, 标称叶尖弦长 c/R 在转子半径外部的至少一部分上减小。相对于转子半径百分比“ r/R ”的“ c/R ”的该斜率或“标称弦长变化率”(或“弦长变化率”、“弦长变化比率”或“弦长变化速率”)可大致为恒定的。然而, 该斜率也可在部分或所有的转子半径外部上增大和 / 或减小。例如, 叶尖弦长部分 22, 45, 46, 47, 48 和 49 的弦长变化率在所示分布的外侧部中增大, 而叶尖弦长分布 42, 43 和 44 的弦长变化率在分布的外侧部中减小。实际上, 转子半径外部的 4% 上的叶尖分布 42, 43 和 44 的弦长变化率最初是增大的, 且之后再减小。

[0095] 通过利用具有上述任何叶尖扭曲分布 20 和 32 至 38 的叶尖弦长分布 42 至 49 和 22, 可获得和 / 或增强上述多种优点。例如, 叶尖扭曲分布 35 可结合叶尖弦长分布 49 (在此称作“高坚固性叶片叶尖”)使用, 或结合叶尖弦长分布 45 (在此称作“风力涡轮机叶片叶尖设计”)使用。叶尖扭曲分布 38 还可结合叶尖弦长分布 45 (在此称作“刺形叶尖”)使用, 而叶尖扭曲分布 37 可结合具有 S 形 (和 / 或其它) 平面形状的叶尖弦长分布 44 使用。

[0096] 应当强调的是, 上述实施例且特别是任何“优选”实施例仅为本文已阐述的多种实施方案的实例, 以提供对本技术的各个方面的清楚理解。一名普通技术人员将能够在基本上不脱离由所附权利要求的适当结构所单独限定的保护范围的情况下对这些实施例中的一些进行修改。

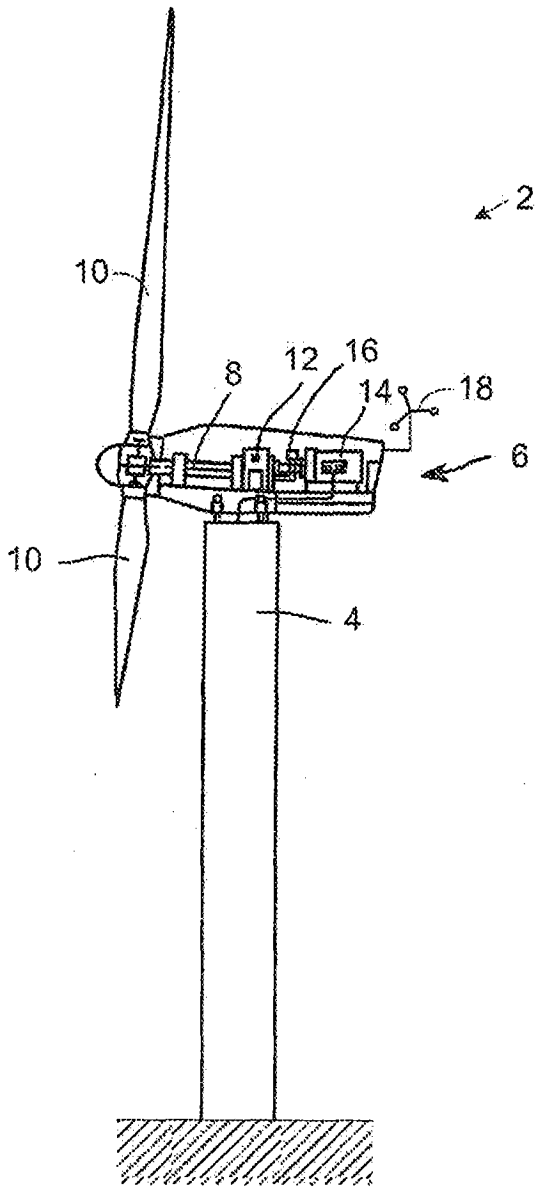


图 1

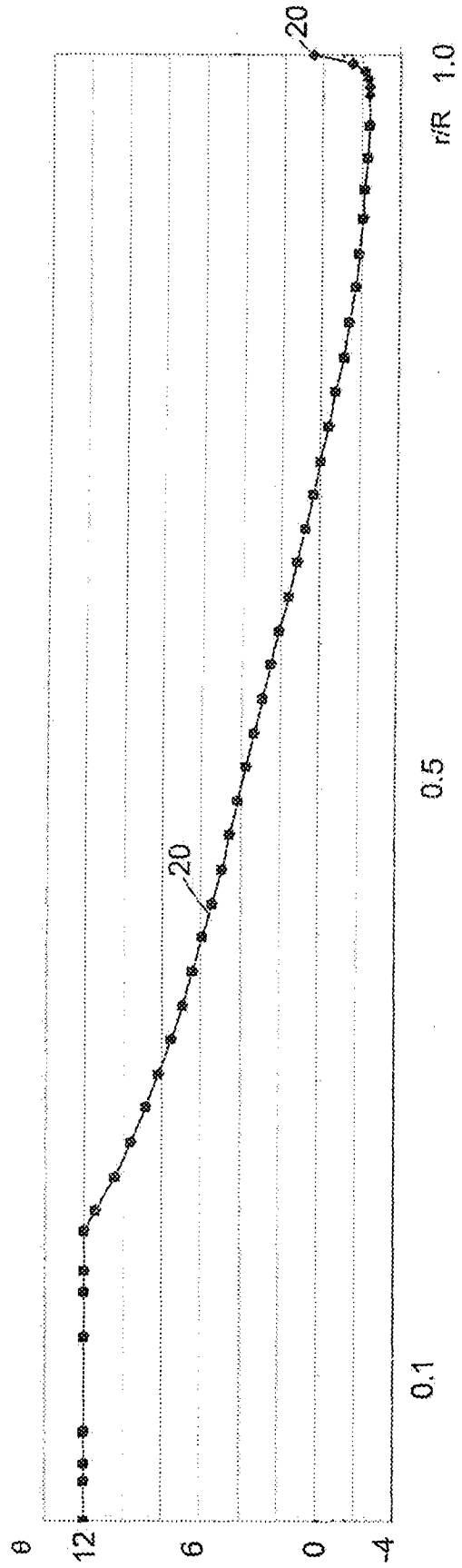


图 2

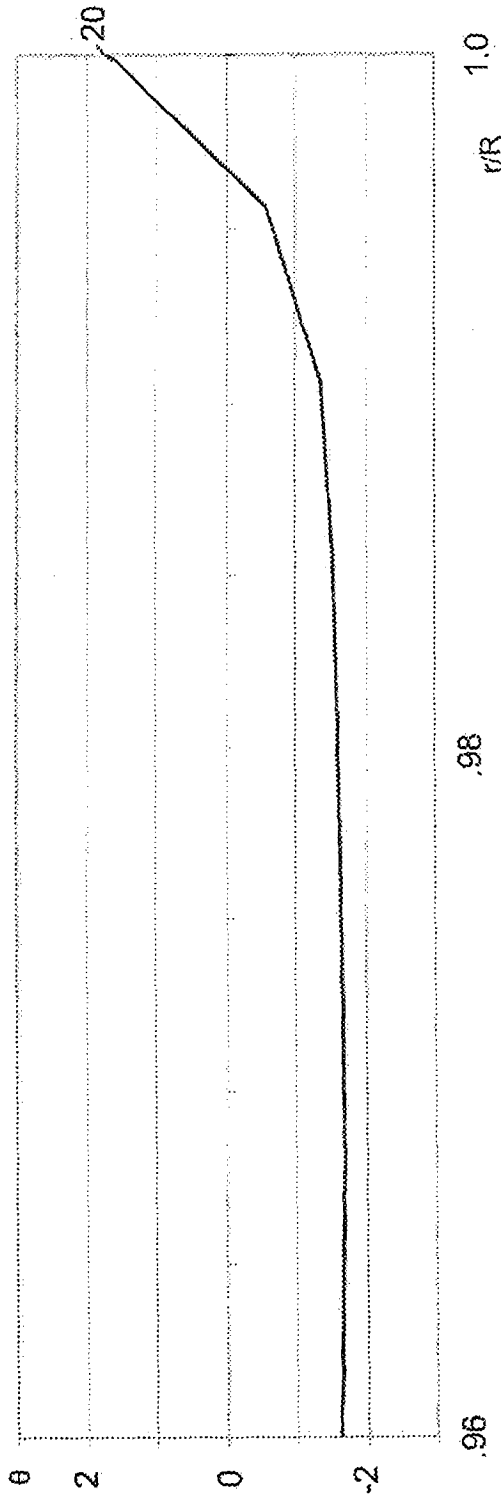


图 3

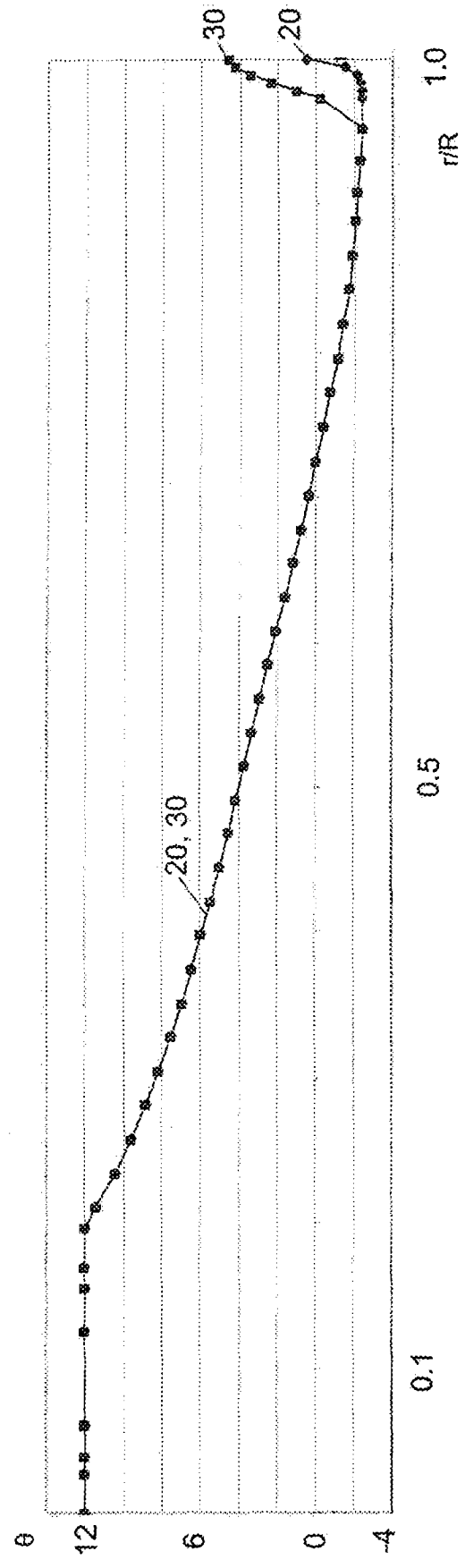


图 4

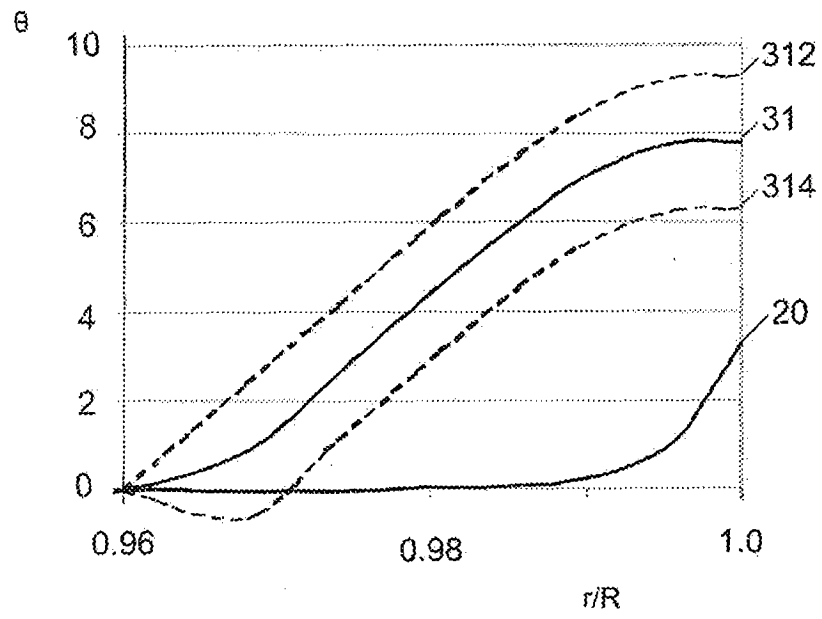


图 5

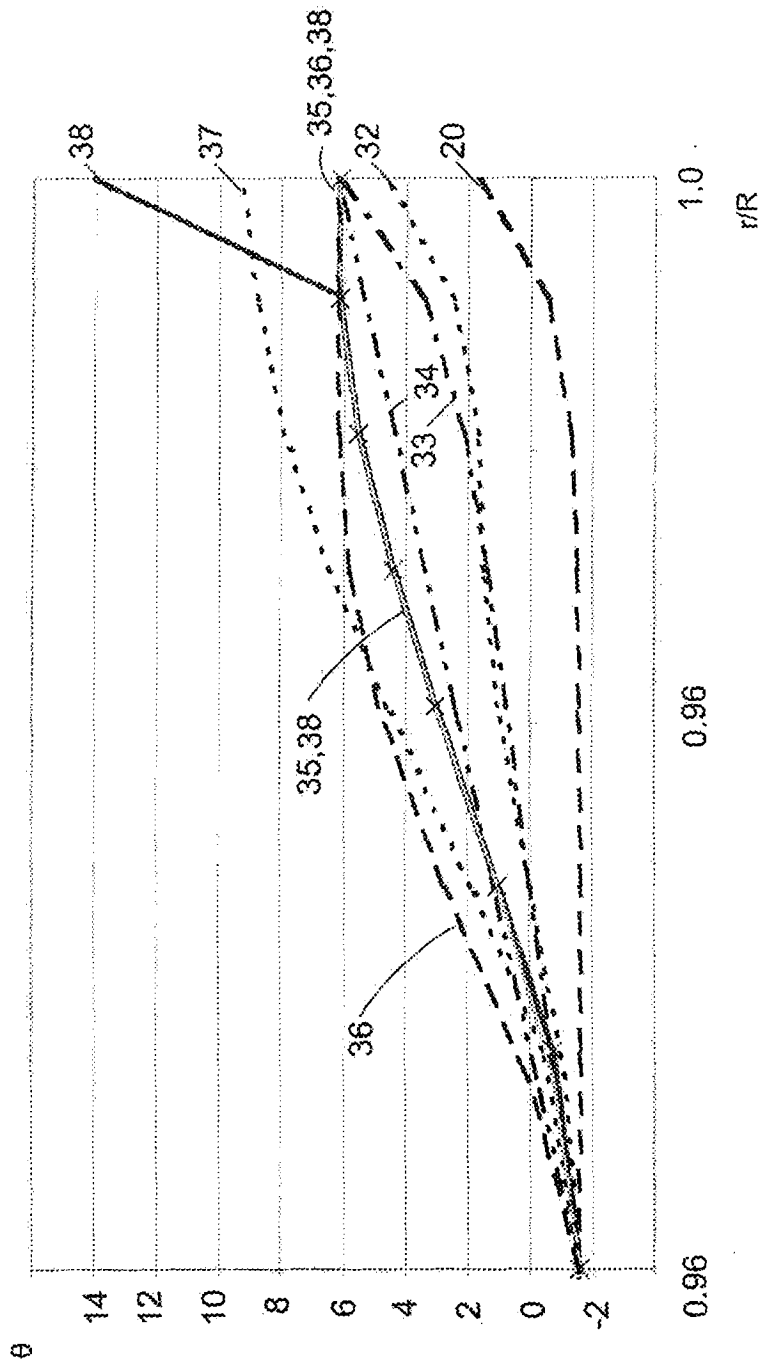


图 6

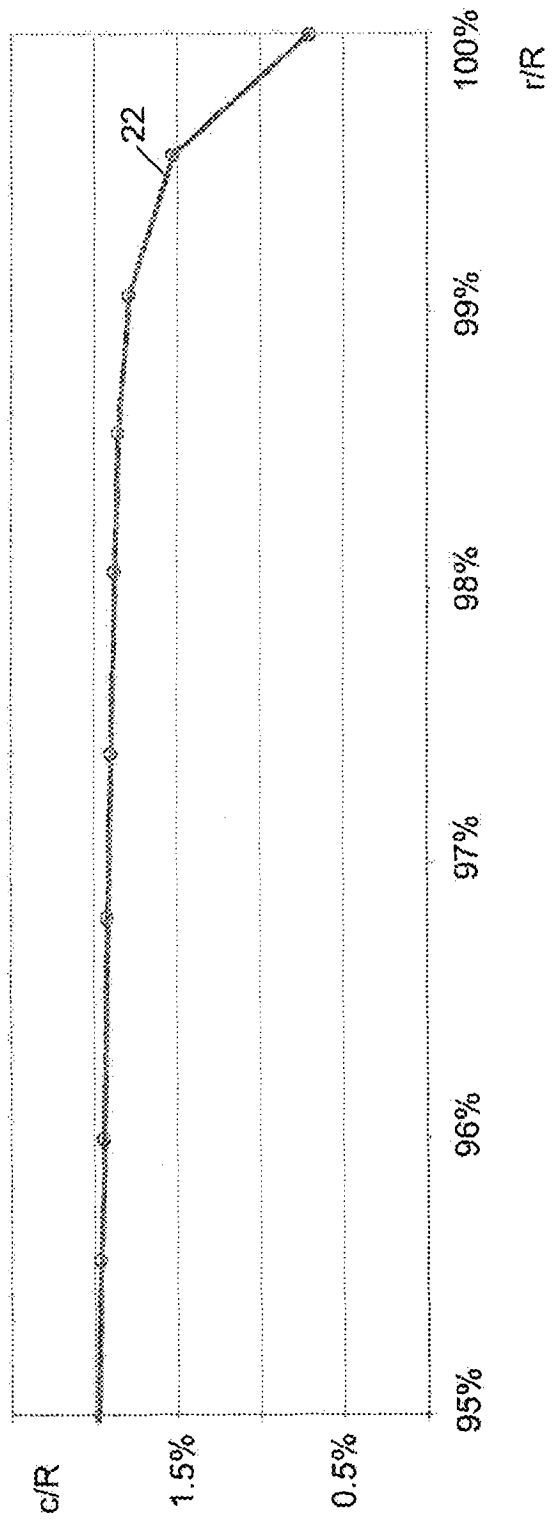


图 7

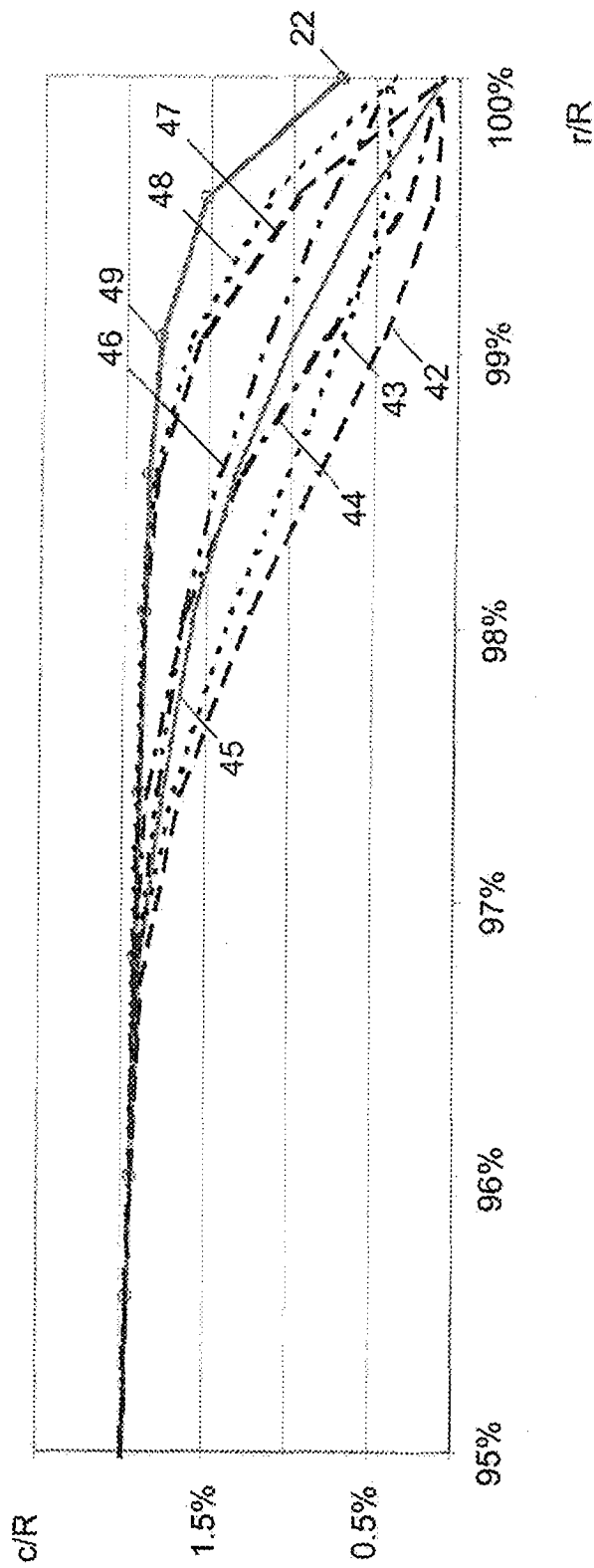


图 8