



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106953494 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(21)申请号 201710206600.7

(22)申请日 2017.03.31

(71)申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72)发明人 余海涛 封宁君 胡敏强 施振川
仲伟波 刘小梅

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.

H02K 35/02(2006.01)

H02K 7/18(2006.01)

F03B 13/18(2006.01)

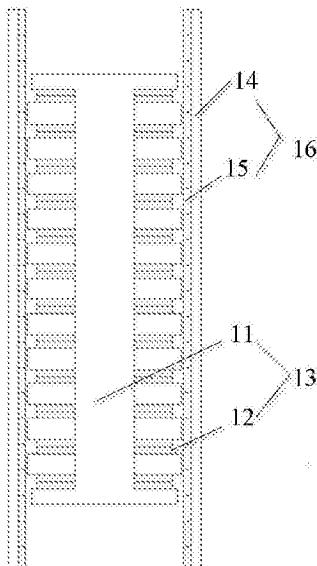
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，包括增速型直线永磁发电机、内浮筒、外浮筒、阻尼板、锚链等。整套装置为双浮子结构，通过锚链固定在海底，构成漂浮式系统，内浮筒与增速型直线永磁发电机的定子连接为一体，电机定子铁心、电枢绕组安装于内浮筒内部；外浮筒与增速型直线永磁发电机的动子连接为一体，外浮筒套设于内浮筒外侧；阻尼板提供足够浮力以保持与定子相连的圆杆静止。本发明提供了一种基于增速型直线永磁发电机的波浪发电装置，具有不需要额外增设庞大增速装置、体积较小、捕能以及发电效率高、整体的漂浮悬置结构便于电气控制系统的设
计调试和维修等优点。



1. 一种基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于：该系统包括增速型直线永磁发电机(1)、环绕所述增速型直线永磁发电机(1)设置的内浮筒(2)、环绕所述内浮筒(2)设置的外浮筒(3)、设置在所述内浮筒(2)下侧的阻尼盘(4)、固定在所述内浮筒(2)底端的锚链(5)；

所述增速型直线永磁发电机(1)包括定子(13)和环绕所述定子(13)设置的动子(16)，所述定子(13)包括定子铁心(11)和设置在所述定子铁心(11)上的电枢绕组(12)，所述动子(16)包括动子铁心(14)和沿动子铁心(14)内表面以表贴或内嵌方式排布的动子永磁体(15)。

2. 根据权利要求1所述的一种基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于，所述增速型直线永磁发电机(1)的定子铁心(11)、电枢绕组(12)安装于所述内浮筒(2)内部；所述增速型直线永磁发电机(1)的动子铁心(14)、动子永磁体(15)安装于所述外浮筒(3)内部。

3. 根据权利要求1所述的一种基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于，所述动子永磁体(15)的磁极对数为N₁，所述电枢绕组(12)极对数为N_h，所述定子(13)的电枢齿数为N_p=N_h+N₁，电机所获得的速比为G_r=N₁/N_h，N_h和N₁均为自然数，且N_h<N₁。

4. 根据权利要求3所述的一种基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于，所述动子(16)与外浮筒(3)相连，波浪运动速度即为发电机动子(16)的运动速度v₁，定子(13)和动子(16)之间气隙有效谐波磁场的极对数等于电枢绕组(12)的极对数N_h，有效谐波磁场运动速度为v_h=G_r×v₁。

5. 根据权利要求1、2、3或4所述的基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于，所述定子铁心(11)由导磁硅钢片叠压形成基块，在所述基块上设置镂空槽，在镂空槽内放置电枢绕组(12)，所述导磁硅钢片和电枢绕组(12)均为环状结构，二者在动子直线运动方向上间隔排列，所述基块在动子直线运动方向上的长度a与镂空槽在动子直线运动方向上的长度b满足： $0 < \frac{a}{a+b} < 1$ 。

6. 根据权利要求1、2、3或4所述的基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统，其特征在于，所述定子铁心(11)的齿部采用矩形齿或弧形齿，用作磁通调制极片，调制定子(13)和动子(16)之间的气隙谐波磁场。

基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种综合利用直线磁齿轮与永磁直线电机的波浪能发电的装置。

背景技术

[0002] 自20世纪70年代开始,随着生化能源的日益减少以及环境污染的加剧,在能源的摄取与应用上人们越来越青睐于无污染、清洁、可持续发展的可再生能源。波浪能是一种取之不尽用之不竭的可再生能源,与风能、太阳能相比,波浪能又具有功率密度大、可预测性强等优点,受到了国内外专家学者的关注。我国作为一个海洋大国,海岸线长超过1.8万千米,海岛岸线1.4万千米,波浪能资源丰富,根据中国沿海海洋观测站台的资料估算,中国沿海理论波浪年平均功率约为 1.3×10^7 KW,若将其合理充分的利用,将会使得我国能源的结构更加合理,资源利用更加的充分。

[0003] 传统利用波浪能发电的系统中多采用旋转电机,在低速时效率低下、耐久性差,从而严重的制约了波浪发电技术的发展。近年来,有学者提出采用直线电机直接利用波浪的直线运动并将其转化为电能。然而,由于波浪上下振动的速度比较缓慢,所以不论是采用旋转电机还是直线电机,发电机的体积与质量一般较大,从而会带来制造成本高、安装调试维护困难等一系列的问题;如果采用传统齿轮箱或是液压系统来进行增速达到增加发电机动子速度的目的,必然会造成整体系统效率降低,维护复杂等问题。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明提供一种能够增速传动,有效减小电机的尺寸,具有更好的吸收波浪能和经济效应的基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统。

[0005] 技术方案:本发明的基于增速型直线永磁发电机的双浮子直驱式波浪发电系统,包括增速型直线永磁发电机、环绕所述增速型直线永磁发电机设置的内浮筒、环绕所述内浮筒设置的外浮筒、设置在所述内浮筒下侧的阻尼盘、固定在所述内浮筒底端的锚链;增速型直线永磁发电机包括定子和环绕所述定子设置的动子,所述定子包括定子铁心和设置在所述定子铁心上的电枢绕组,所述动子包括动子铁心和沿动子铁心内表面以表贴或内嵌方式排布的动子永磁体。

[0006] 进一步的,本发明系统中,所述增速型直线永磁发电机的定子铁心、电枢绕组安装于所述内浮筒内部;所述增速型直线永磁发电机的动子铁心、动子永磁体安装于所述外浮筒内部。

[0007] 进一步的,本发明系统中,所述动子永磁体的磁极对数为N₁,所述电枢绕组极对数为N_h,所述定子的电枢齿数为N_p=N_h+N₁,电机所获得的速比为Gr=N₁/N_h,N_h和N₁均为自然数,且N_h<N₁。

[0008] 进一步的,本发明系统中,所述动子与外浮筒相连,波浪运动速度即为发电机动子的运动速度v₁,定子和动子之间气隙有效谐波磁场的极对数等于电枢绕组的极对数N_h,有效谐波磁场运动速度为v_h=G_r×v₁。

[0009] 进一步的,本发明系统中,所述定子铁心由导磁硅钢片叠压形成基块,在所述基块上设置镂空槽,在镂空槽内放置电枢绕组,所述导磁硅钢片和电枢绕组均为环状结构,二者在定子直线运动方向上间隔排列,所述基块在定子直线运动方向上的长度a与镂空槽在定子直线运动方向上的长度b满足: $0 < \frac{a}{a+b} < 1$ 。

[0010] 进一步的,本发明系统中,所述定子铁心的齿部采用矩形齿或弧形齿,用作磁通调制极片,调制定子和动子之间的气隙谐波磁场。

[0011] 本发明采用增速型直线永磁发电机,去除传统波浪发电系统中直线-旋转传动装置和机械齿轮箱,形成一体化结构,结构紧凑,同时实现能量捕获和能量转换功能。

[0012] 增速型直线永磁发电机动子永磁体的磁极对数为N1,定子电枢绕组极对数为Nh,发电机定子的电枢齿数为Np=Nh+N1,电机所获得的速比为Gr=N1/Nh,Nh和N1均为自然数,且Nh<N1。这样才能保证气隙中的高速谐波磁场与绕组极对数匹配。根据磁齿轮原理,定子电枢齿可以作为磁通调制极片调制气隙中的谐波磁场。

[0013] 此种结构的波浪发电系统由两个浮筒组成。内浮筒的作用是提供浮力,使得装置始终漂浮于海平面。外浮筒的作用是连接直线电机的动子,跟随波浪往复运动,从而将波浪能转换为电能。增速型直线永磁发电机定子安装于内浮筒,电机轴通过硬连接和外浮筒相连。内浮筒底部设计了阻尼盘,其作用是尽量减小内浮筒在海水中的上下运动,增大内外浮筒之间的相对运动,提高系统的发电效率。锚链通过沉石将系统固定于海底。在波浪的垂直方向力作用下,内浮筒在波浪中更接近于静止状态,如此也就使外浮筒和内浮筒之间产生较大的相对运动速度和位移。

[0014] 外浮筒运动时带动发电机的动子以速度v1运动,根据磁齿轮原理,运动速度为vh=Gr*v1的高速谐波磁场在电枢绕组中感应出高幅值的感应电动势,向负荷提供电能,实现了能量转换的功能。

[0015] 优选的,装置中的永磁材料可以使用具有“自屏蔽”效应的准Halbach结构的钕铁硼永磁体。

[0016] 优选的,所述定子电枢齿由导磁硅钢片叠压形成基块,在基块上均匀间隔设置镂空槽,在镂空槽内嵌置电枢绕组,相邻电枢绕组之间的导磁硅钢片部分形成导磁体。

[0017] 优选的,所述定子铁心、动子铁心均由普通硅钢片材料制成。

[0018] 优选的,增速型直线永磁发电机动子永磁体的磁极对数为N1,定子电枢绕组极对数为Nh,发电机定子的电枢齿数为Np=Nh+N1,电机所获得的速比为Gr=N1/Nh,Nh和N1均为自然数,且Nh<N1。这样才能保证气隙中的高速谐波磁场与绕组极对数匹配。根据磁齿轮原理,定子电枢齿可以作为磁通调制极片调制气隙中的谐波磁场。

[0019] 优选的,电机的定子部分采用环氧树脂材料进行密封。

[0020] 优选的,装置采用阻尼板以保持与所述电机定子铁心相连的圆杆静止。

[0021] 优选的,三相集中绕组采用新型的模块化饼式结构,电机定子采用凸定子与辅助槽结构。

[0022] 优选的,为了达到永磁直线发电机防水和密封的效果,内浮筒的所有气隙区域用聚氨酯硬泡充满。可以采用聚氨酯硬泡把外浮筒的内部空间充满。

[0023] 优选的,在系统正常运行的情况下,由于阻尼盘浸没在海水之中,所以阻尼盘的材料采用不锈钢316,以保障其抗海水腐蚀的能力。外浮筒和内浮筒通过三角支架平台连接。

[0024] 优选的，内浮筒和外浮筒采用超高分子量聚乙烯材料加工而成。超高分子量聚乙烯其材料特性化学稳定性极高。

[0025] 优选的，锚链U形环的作用是连接锚链和沉石，配重块U形环的作用是调整内浮筒的吃水深度。

[0026] 本发明采用增速型直线永磁发电机，去除传统波浪发电系统中直线-旋转传动装置和机械齿轮箱，形成一体化结构，结构紧凑，同时实现能量捕获和能量转换功能。

[0027] 有益效果：本发明与现有技术相比，具有以下优点：

[0028] 1、相比于传统的基于旋转电机的波浪能发电装置，本发明的发电装置能够直接利用波浪的上下起伏将其转化为电能，不需要先将波浪的直线运动通过转化为旋转再驱动旋转发电机发电的中间转换装置，结构简单，大大减小了系统的复杂性，转换效率高，从而提高了整个发电系统的发电效率。

[0029] 2、相比于单一基于直线电机的波浪发电装置，本发明的发电装置由于直线磁齿轮的增速作用，从而能够大大减小直线电机的尺寸，进而减小制造的成本以及安装调试的复杂程度。

[0030] 3、将直线磁齿轮与直线永磁电机相复合的结构，磁齿轮低速侧与浮筒相连，在波浪作用下做直线运动，并由磁齿轮进行增速，大大减小了发电机的体积，同时避免了传统装置中发电机前另外增设齿轮箱或者液压系统来增速所引起的损耗以及发热等问题。

[0031] 4、采用磁力传动方案，因为其为非接触传动，所以不存在润滑以及机械磨损等问题，同时磁齿轮具有很好的过负荷保护能力，能够有效降低大风浪对系统造成的破坏。

[0032] 5、采用准Halbach结构的钕铁硼永磁体材料，由于其具有“自屏蔽”效应，该方式使得线圈边的磁场加强，铁心边的磁场减弱，可以减小铁心的厚度，从而减小制造成本并且提高发电效率，同时，准Halbach结构相比于径向充磁结构，能够提高气隙密度的正弦程度，从而可以提高空载反电动势的正弦程度。

[0033] 6、绕组采用模块化饼式结构，具有绕线结构简单、便于安装等优点；凸定子和辅助槽用于减小电机的定位力，并且辅助槽齿可以有效的平衡三相反电动势。

[0034] 7、采用阻尼板的结构，可以提供系统的浮力并且保持和定子相连的圆杆静止，选择合适的距离以及重量，即可以保证阻尼板对振荡浮子和波浪能转换效率的影响忽略不计。

[0035] 8、该装置采用双浮子漂浮式结构，通过锚链固定在海底，故对水深的要求不高。

附图说明

[0036] 图1为增速型直线永磁发电机示意图；

[0037] 图2为本发明发电系统结构示意图。

具体实施方式

[0038] 下面结合实施例和说明书附图对本发明作进一步的说明。

[0039] 本发明的直驱式波浪发电系统包括增速型直线永磁发电机1、内浮筒2和外浮筒3、阻尼盘4、锚链5等组成；所述增速型直线永磁发电机1包括定子13和动子16；发电机定子13由定子铁心11和电枢绕组12组成；发电机动子16由动子铁心14和沿动子铁心14内表面以表

贴或内嵌方式排布的动子永磁体15组成；

[0040] 所述增速型直线永磁发电机1的定子铁心11、电枢绕组12安装于所述内浮筒2内部；所述增速型直线永磁发电机1的动子铁心14、动子永磁体15安装于所述外浮筒3内部；

[0041] 本发明采用增速型直线永磁发电机，去除传统波浪发电系统中直线-旋转传动装置和机械齿轮箱，形成一体化结构，结构紧凑，同时实现能量捕获和能量转换功能。

[0042] 增速型直线永磁发电机动子永磁体15的磁极对数为N1，定子电枢绕组12极对数为Nh，发电机定子13的电枢齿数为Np=Nh+N1，电机所获得的速比为Gr=N1/Nh，Nh和N1均为自然数，且Nh<N1。这样才能保证气隙中的高速谐波磁场与绕组极对数匹配。根据磁齿轮原理，定子电枢齿可以作为磁通调制极片调制气隙中的谐波磁场。

[0043] 此种结构的波浪发电系统由两个浮筒组成。内浮筒2的作用是提供浮力，使得装置始终漂浮于海平面。外浮筒3的作用是连接直线电机的动子16，跟随波浪往复运动，从而将波浪能转换为电能。增速型直线永磁发电机定子13安装于内浮筒2，电机轴通过硬连接和外浮筒3相连。内浮筒2底部设计了阻尼盘4，其作用是尽量减小内浮筒在海水中的上下运动，增大内外浮筒之间的相对运动，提高系统的发电效率。锚链5通过沉石将系统固定于海底。在波浪的垂直方向力作用下，内浮筒2在波浪中更接近于静止状态，如此也就使外浮筒3和内浮筒2之间产生较大的相对运动速度和位移。

[0044] 外浮筒3运动时带动发电机的动子16以速度v1运动，根据磁齿轮原理，运动速度为vh=Gr*v1的高速谐波磁场在电枢绕组12中感应出高幅值的感应电动势，向负荷供电能，实现了能量转换的功能。

[0045] 浮筒是波浪发电系统中吸收能量的载体。根据波浪能量以及波浪宽度等理论，尽可能多的吸收波浪能，要求其重量和体积之间满足一定的关系。根据点吸式波浪发电系统的特点，外浮筒跟直线发电机的动子通过法兰盘相连，因此，外浮筒的内径跟直线发电机的外径相等。

[0046] 根据规则物体漂浮在波浪中的理论，在波浪的周期性运动过程中，外浮筒本身固有频率与波浪频率接近或者一致，内浮筒本身固有频率与波浪频率相差较远。这样，内浮筒和外浮筒在海洋波浪的作用下，其二者会产生相对运动，并直接促使永磁圆筒直线发电机的动子永磁体磁场切割定子绕组，从而产生电能。

[0047] 永磁直线电机定子通过法兰盘安装于内浮筒内，在内浮筒中用聚氨酯泡沫，对浮体起到强力支撑，避免了漏水。阻尼盘同样用钢骨架和内浮筒连接，其作用为减小内浮筒跟随波浪运动的幅度，增大内外浮筒之间的相对运动，从而增大发电机的行程，提高系统的发电效率。

[0048] 内外浮筒采用超高分子量聚乙烯材料，其材料特性化学稳定性极高，在海水中数十年不会分解，不会污染环境；浮体及尾管具有自润滑性，任何水生物不会粘连浮体及尾管，节省了铲除水生物的人力物力；具有很高的弹性和硬度，被外力撞击后，迅速吸收撞击能量，恢复原形。相比于不锈钢材料，该种材料重量轻，惯性小，被撞击后可迅速移位，化解了撞击力，避免了破坏。其余材料均选用耐海水腐蚀的316L不锈钢材料。

[0049] 上述实施例仅是本发明的优选实施方式，应当指出：对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和等同替换，这些对本发明权利要求进行改进和等同替换后的技术方案，均落入本发明的保护范围。

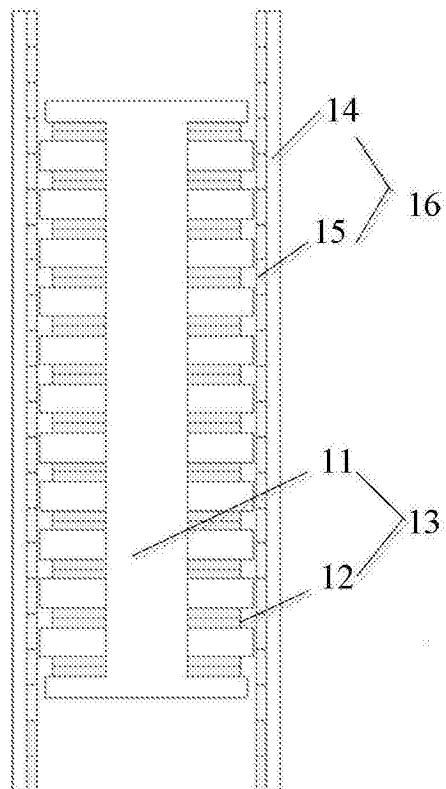


图1

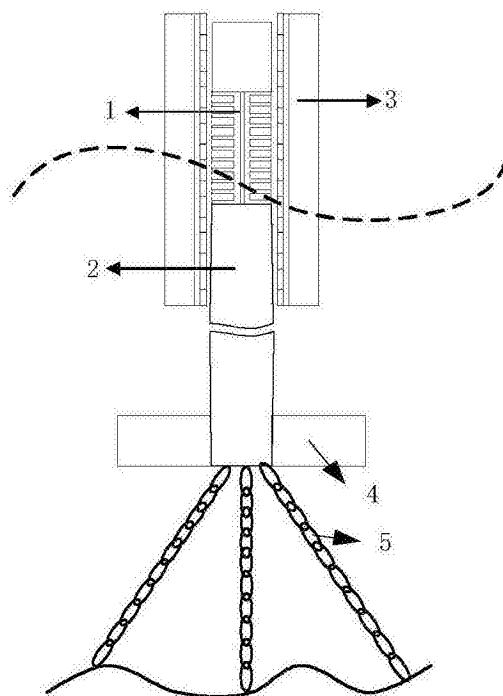


图2