



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107210645 B

(45)授权公告日 2020.04.14

(21)申请号 201580075128.7

(22)申请日 2015.12.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107210645 A

(43)申请公布日 2017.09.26

(30)优先权数据

14/557,752 2014.12.02 US

14/564,982 2014.12.09 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.01

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/063165 2015.12.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/089855 EN 2016.06.09

(73)专利权人 管理服务集团股份有限公司贸易  
用名全球技术系统

地址 美国弗吉尼亚

(72)发明人 S·E·格罗夫斯 S·K·奥尔特

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
利商标事务所 11038

代理人 朱海涛

(51)Int.Cl.

H02K 7/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 1719692 A, 2006.01.11,

US 2013033136 A1, 2013.02.07,

US 6995529 B2, 2006.02.07,

US 5285699 A, 1994.02.15,

US 6211589 B1, 2001.04.03,

审查员 宗雪娇

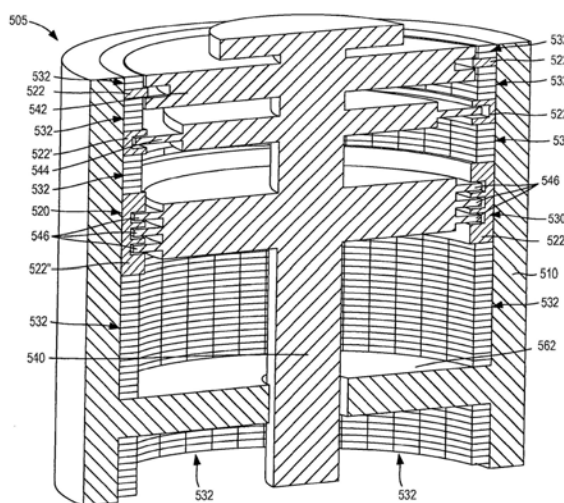
权利要求书6页 说明书24页 附图16页

(54)发明名称

用于复合材料飞轮储能装置的设备

(57)摘要

本发明提供一种飞轮,所述飞轮由复合材料形成,所述复合材料具有纤维,所述纤维基本围绕飞轮沿着圆周方向取向并且嵌入基质材料中。飞轮具有内表面、外表面和在其之间的厚度,并且限定转动轴线。在内表面上在沿着轴线的纵向分段处圆周地分配多个质量负载。飞轮围绕轴线转动,转动速度在纤维中沿着圆周方向产生环向应力,并且在基质材料中沿着径向方向产生穿透厚度的应力。每个质量负载都在内表面上产生力,所述力操作成随着飞轮围绕轴转动而减小基质材料中的最大穿透厚度的应力。以其它方式足以产生基质材料的结构失效的转动速度产生纤维的结构失效而非基质材料的结构失效。



1. 一种用于复合材料飞轮储能装置的设备,其包括:

用于电动机/发电机的中空圆柱形飞轮,

所述飞轮由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕所述飞轮沿着圆周方向取向并且嵌入所述基质材料中,

所述飞轮具有纵向转动轴线、径向内表面、径向外表面以及在所述径向内表面与所述径向外表面之间的径向厚度,

所述飞轮围绕所述纵向转动轴线的转动在所述纤维中沿着所述圆周方向产生环向应力,并且在所述基质材料中沿着所述径向方向产生穿透厚度的应力,所述纤维的材料特性和所述基质材料的材料特性使得所述飞轮围绕所述纵向转动轴线以高到足以产生所述飞轮的结构失效的转动速度的转动产生沿着所述径向方向的所述基质材料的失效,而不产生沿着所述圆周方向的所述纤维的失效,这种转动速度是第一转动速度;和

多个质量负载,所述多个质量负载在沿着所述纵向转动轴线的纵向分段处围绕所述飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到所述飞轮的径向内表面,所述飞轮的转动促使所述多个质量负载中的每个质量负载都在所述飞轮的径向内表面上产生径向向外指向的力,该向外指向的力起作用以减小所述基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得高到足以在所述纵向分段中产生所述飞轮的结构失效的转动速度产生沿着所述圆周方向的纤维的失效,而不产生沿着所述径向方向的基质材料的失效,这种转动速度是比所述第一转动速度大的第二转动速度。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,每个质量负载都由永磁材料形成。

3. 根据权利要求1所述的设备,其中,每个质量负载都由惰性材料形成。

4. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述多个质量负载是多个第一质量负载,并且所述纵向分段是第一纵向分段,并且所述设备还包括多个第二质量负载,所述多个第二质量负载在沿着所述纵向转动轴线的第二纵向分段处围绕所述飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到所述飞轮的径向内表面,所述飞轮的转动促使所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载在所述飞轮的径向内表面上产生径向向外指向的力,该向外指向的力起作用以减小所述基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得所述基质材料不会在所述第二转动速度下在所述第二纵向分段处沿着所述径向方向失效。

5. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都由永磁材料形成,并且所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由永磁材料形成。

6. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都由永磁材料形成,并且所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由惰性材料形成。

7. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个质量负载都由永磁材料形成并且具有磁极性,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个质量负载的磁极性围绕所述飞轮圆周地交替,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都布置成与所述多个第二质量负载中的相对应第二质量负载轴向对准并且具有沿着与所述多个第二质量负载中的所述相对应第二质量负载的磁极性相同的方向取向的磁极性,所述多个第一质量负载与所述多个第二质量负载轴向地间隔开以在两者之间限定轴向定子间隙,所述轴向定子间隙具有纵向间隙长度,并且所述设备还包括定子,所述定子具有布置在其上的多个导电绕组,并且具有比所述纵向间隙长度小的轴

向厚度,所述定子布置成与所述飞轮有操作的关系,以便使所述导电绕组的至少一部分在所述轴向定子间隙中轴向地布置在所述多个第一质量负载与所述多个第二质量负载之间,使得所述飞轮相对于所述定子的转动在所述导电绕组中产生电流的流动。

8. 根据权利要求1所述的设备,其中,每个质量负载都具有圆周尺寸、轴向尺寸和径向尺寸,并且其中,每个质量负载的每种尺寸都是基本相同的。

9. 根据权利要求1所述的设备,其中,每个质量负载都配置成当所述飞轮以所述第二转动速度转动时维持其结构完整性。

10. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述多个质量负载是多个第一质量负载,所述纵向分段是第一纵向分段,并且所述飞轮具有轴向长度,并且所述设备还包括多种附加的多个质量负载,每种附加的多个质量负载都在沿着所述纵向转动轴线的相应的附加的纵向分段处围绕所述飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到所述飞轮的径向内表面,所述第一纵向分段和多个附加的纵向分段沿着所述飞轮的轴向长度基本均匀地分配,所述飞轮的转动促使每种附加的多个质量负载中的每个质量负载都在所述飞轮的径向内表面上产生径向向外指向的力,该径向向外指向的力起作用以减小所述基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得所述基质材料不会在所述第二转动速度下在所述附加的纵向分段中的任一个处沿着所述径向方向失效。

11. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述多个质量负载中的每个质量负载都由永磁材料形成并且都具有磁极性,所述质量负载的磁极性围绕所述飞轮圆周地交替,并且所述设备还包括定子,所述定子具有布置在其上的多个导电绕组,所述定子布置成与所述多个质量负载有操作的关系,使得所述飞轮相对于所述定子的转动在所述导电绕组中产生电流的流动。

12. 根据权利要求7所述的设备,其中:

所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个质量负载都具有径向尺寸,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的所有质量负载的径向尺寸基本等于第一径向尺寸,

所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个质量负载都具有密度,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的所有质量负载的密度基本等于第一密度,

在所述飞轮以所述第一转动速度转动时,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个质量负载都在所述飞轮的径向内表面上产生与第一压力基本相等的压力,

并且所述设备还包括多个第三质量负载,所述多个第三质量负载在所述轴向定子间隙内围绕所述飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到所述飞轮的径向内表面,

所述多个第三质量负载中的每个第三质量负载都具有径向尺寸,所述多个第三质量负载中的每个第三质量负载的径向尺寸基本等于比所述第一径向尺寸小的第二径向尺寸,所述第一径向尺寸与所述第二径向尺寸之间的差限定所述轴向定子间隙的径向范围,在所述轴向定子间隙的径向范围内布置有所述导电绕组的至少一部分,

所述多个第三质量负载中的每个第三质量负载都具有密度,所述多个第三质量负载中的每个第三质量负载的密度基本等于比所述第一密度大的第二密度,

在所述飞轮以所述第一转动速度转动时,所述多个第三质量负载在所述飞轮的径向内表面上产生与所述第一压力基本相等的压力。

13. 一种用于复合材料飞轮储能装置的设备,其包括:

转子,所述转子配置成布置在复合材料飞轮储能装置内,所述转子由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕所述转子沿着圆周方向取向并且嵌入所述基质材料中,所述转子具有纵向转动轴线和径向内表面,所述转子配置成相对于定子围绕所述纵向转动轴线转动,

多个第一质量负载,所述多个第一质量负载联接到所述转子的径向内表面,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都具有第一密度和第一尺寸,所述多个第一质量负载的第一部分在沿着所述纵向转动轴线的所述第一纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述径向内表面分配,并且所述多个第一质量负载的第二部分在沿着所述纵向转动轴线的第二纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述径向内表面分配;和

多个第二质量负载,所述多个第二质量负载联接到所述转子的径向内表面,所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都具有比所述第一密度大的第二密度和比所述第一尺寸小的第二尺寸,所述多个第二质量负载在沿着所述纵向转动轴线的第三纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述径向内表面分配,所述第三纵向分段介于所述第一纵向分段与所述第二纵向分段之间,

所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载覆盖所述径向内表面,以便当所述转子相对于所述定子围绕所述纵向转动轴线转动时使基本均匀的压力施加在所述转子的径向内表面上。

14. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都由永磁材料形成。

15. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由非磁性材料形成。

16. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载和所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由永磁材料形成。

17. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载的所述第一尺寸是径向厚度,所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载的所述第二尺寸是径向厚度。

18. 根据权利要求17所述的设备,其中,当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时由所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载施加在所述转子的所述径向内表面上的有效压力等于当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时由所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载施加在所述转子的所述径向内表面上的有效压力。

19. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述转子围绕所述定子可转动地布置,使得所述定子的一部分布置在所述多个第一质量负载的所述第一部分与所述多个第一质量负载的所述第二部分之间,所述多个第二质量负载在所述定子的圆周表面与所述转子的径向内表面之间布置在所述第三纵向分段处。

20. 根据权利要求19所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都由永磁材料形成,并且所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由非磁性材料形成,

布置在所述多个第一质量负载的所述第一部分与所述多个第一质量负载的所述第二

部分之间的所述定子的所述一部分具有布置在其上的多个导电绕组,所述转子配置成使所述多个第一质量负载相对于所述定子转动以在所述导电绕组中感应电流的流动。

21. 根据权利要求19所述的设备,其中,所述多个第一质量负载中的每个第一质量负载都由永磁材料形成,并且所述多个第二质量负载中的每个第二质量负载都由非磁性材料形成,

布置在所述多个第一质量负载的所述第一部分与所述多个第一质量负载的所述第二部分之间的所述定子的所述一部分具有布置在其上的多个导电绕组,所述转子配置成响应于在所述导电绕组中的电流的流动而相对于所述定子转动。

22. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述转子具有径向外表面,所述转子在所述径向内表面与所述径向外表面之间具有厚度,

所述转子围绕所述纵向转动轴线的转动在所述纤维中沿着所述圆周方向产生环向应力,并且在所述基质材料中沿着所述径向方向产生穿透厚度的应力,所述纤维的材料特性和所述基质材料的材料特性使得高到足以产生所述转子的结构失效的转动速度产生沿着所述径向方向的所述基质材料的失效,而不产生沿着所述圆周方向的所述纤维的失效,这种转动速度是第一转动速度,

所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载在所述转子的径向内表面上共同地施加基本均匀的压力,所述压力起作用以减小所述基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得高到足以产生所述转子的结构失效的转动速度产生沿着所述圆周方向的所述纤维的失效,而不产生沿着所述径向方向的所述基质材料的失效,这种转动速度是比所述第一转动速度大的第二转动速度。

23. 根据权利要求13所述的设备,其中,所述多个第一质量负载和所述多个第二质量负载基本覆盖所述转子的整个径向内表面。

24. 一种用于复合材料飞轮储能装置的设备,包括:

转子,所述转子配置成布置在复合材料飞轮储能装置内,所述转子由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕所述转子沿着圆周方向取向并且嵌入所述基质材料中,所述转子具有纵向转动轴线和内表面,

所述转子包括多个第一磁体和多个第二磁体,所述多个第一磁体在沿着所述纵向转动轴线的所述第一纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述内表面分配,所述多个第二磁体在沿着所述纵向转动轴线的所述第二纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述内表面分配,所述多个第一磁体和所述多个第二磁体在两者之间限定空间;

定子,所述定子构造成布置在所述复合材料飞轮储能装置内,所述定子的一部分布置在所述多个第一磁体与所述多个第二磁体之间所限定的所述空间内;和

多个质量负载,所述多个质量负载在所述圆周方向上沿着所述内表面分配,所述多个质量负载由非磁性材料形成,所述多个质量负载布置在所述多个第一磁体与所述多个第二磁体之间所限定的所述空间内,以便使所述多个质量负载位于所述转子的所述内表面与所述定子的所述一部分的圆周表面之间,

当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时,所述多个第一磁体、所述多个第二磁体和所述多个质量负载在所述转子的内表面上共同施加基本均匀的压力,所述基本均匀的压力操作成减小所述转子内的径向应力。

25. 根据权利要求24所述的设备, 其中, 所述多个第一磁体中的每个第一磁体都具有磁极性, 所述多个第一磁体的磁极性围绕所述转子的所述内表面圆周地交替,

所述多个第二磁体中的每个第二磁体都具有磁极性, 所述多个第二磁体的磁极性围绕所述转子的所述内表面圆周地交替。

26. 根据权利要求25所述的设备, 其中, 布置在所述多个第一磁体与所述多个第二磁体之间所限定的所述空间内的所述定子的所述一部分具有布置在其上的多个导电绕组, 所述转子配置成相对于所述定子转动以在所述导电绕组中感应电流的流动。

27. 根据权利要求25所述的设备, 其中, 布置在所述多个第一磁体与所述多个第二磁体之间所限定的所述空间内的所述定子的所述一部分具有布置在其上的多个导电绕组, 所述转子配置成响应于在所述导电绕组中的电流的流动而相对于所述定子转动。

28. 根据权利要求24所述的设备, 其中, 所述多个第一磁体中的每个第一磁体和所述多个第二磁体中的每个第二磁体都具有第一密度和第一径向厚度,

所述多个质量负载中的每个质量负载都具有第二密度和第二径向厚度, 所述第二密度大于所述第一密度, 所述第二径向厚度小于所述第一径向厚度。

29. 根据权利要求28所述的设备, 其中, 当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时由所述多个第一磁体中的每个第一磁体施加在所述转子的所述内表面上的有效压力等于:

(1) 当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时由所述多个第二磁体中的每个第二磁体施加在所述转子的所述内表面上的有效压力;

(2) 当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时由所述多个质量负载中的每个质量负载施加在所述转子的所述内表面上的有效压力。

30. 根据权利要求24所述的设备, 其中, 所述定子的所述一部分布置在所述多个第一磁体与所述多个第二磁体之间所限定的空间中, 使得所述定子的所述一部分的第一表面与所述多个第一磁体中的每个第一磁体的表面间隔开一距离, 并且所述定子的所述一部分的第二表面与所述多个第二磁体中的每个第二磁体的表面也间隔开所述距离,

所述定子的所述一部分的圆周表面与所述多个质量负载中的每个质量负载的表面也间隔开所述距离。

31. 根据权利要求24所述的设备, 其中, 所述多个质量负载是多个第一质量负载, 所述多个第一磁体、所述多个第二磁体、所述定子的所述一部分以及所述多个第一质量负载共同形成所述复合材料飞轮储能装置的电动机/发电机部分。

32. 根据权利要求31所述的设备, 其中, 所述定子的所述一部分是所述定子的第一部分, 所述复合材料飞轮储能装置的所述电动机/发电机部分是所述复合材料飞轮储能装置的第一电动机/发电机部分,

所述转子包括多个第三磁体和多个第四磁体, 所述多个第三磁体在沿着所述纵向转动轴线的第三纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述内表面分配, 所述多个第四磁体在沿着所述纵向转动轴线的第四纵向分段处在所述圆周方向上沿着所述内表面分配, 所述多个第三磁体和所述多个第四磁体在两者之间限定空间, 所述定子具有布置在所述多个第三磁体与所述多个第四磁体之间所限定的所述空间内的第二部分, 所述设备还包括:

多个第二质量负载, 所述多个第二质量负载在所述圆周方向上沿着所述内表面分配, 所述多个第二质量负载由非磁性材料形成并且布置在所述多个第三磁体与所述多个第四

磁体之间所限定的所述空间内,使得所述多个第二质量负载位于所述转子的所述内表面与所述定子的所述第二部分的圆周表面之间,

所述多个第三磁体、所述多个第四磁体、所述定子的所述第二部分和所述多个第二质量负载共同地形成所述复合材料飞轮储能装置的第二电动机/发电机部分;和

多个第三质量负载,所述多个第三质量负载在所述圆周方向上沿着所述内表面分配,所述多个第三质量负载由非磁性材料形成并且布置在沿着所述纵向转动轴线的第五纵向分段处,沿着所述纵向转动轴线的所述第五纵向分段布置在所述第一电动机/发电机部分与所述第二电动机/发电机部分之间。

33. 根据权利要求32所述的设备,其中,当所述转子围绕所述纵向转动轴线转动时,所述多个第一磁体、所述多个第二磁体、所述多个第三磁体、所述多个第四磁体、所述多个第一质量负载、所述多个第二质量负载以及所述多个第三质量负载在所述转子的所述内表面上共同地施加基本均匀的压力,该基本均匀的压力操作成减小在所述转子内的径向应力。

34. 根据权利要求32所述的设备,其中,所述多个第一磁体、所述多个第二磁体、所述多个第三磁体、所述多个第四磁体、所述多个第一质量负载、所述多个第二质量负载以及所述多个第三质量负载基本覆盖所述转子的整个内表面。

## 用于复合材料飞轮储能装置的设备

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请是2014年12月2日提交的、题名为“High Energy Density Composite Flywheels/Electromechanical Batteries”的美国专利申请No.14/557,752的部分继续申请,其整个公开内容通过参考包含于此。

[0003] 本申请也是2014年12月9日提交的、题名为“High Power Density Electromechanical Energy Storage Flywheel”的美国专利申请No.14/564,982的部分继续申请,其整个内容通过参考包含于此。

### 背景技术

[0004] 本文说明的某些实施例涉及电磁机器,并且更具体地,涉及用于增大复合材料飞轮储能系统中的能量和/或功率密度的装置和方法。

[0005] 机电飞轮装置可以用于较大容量的储能以改善例如公用事业、工业、军事和/或其它合适的电网基础设施的经济性能和稳定性。这种飞轮装置是机械的,其经由转动动能储存能量并且经由至少电连接到飞轮装置的电动机/发电机系统将能量送回到电网或本地通电部件。然而,某些已知的飞轮储能系统的应用会至少部分地基于与机械系统相关联的物理限制条件(例如,与转动速度和加速度相关联的较大的力,这会导致部件材料失效和/或灾难性系统失效和/或类似情况)而受限制。

[0006] 例如,通常希望使能量密度(每单位质量的能量, $W-h/kg$ )最大化。与飞轮相关联的动能可以经由电动发电机通过施加电能而增加(例如,添加或插入)或通过提取电能而减少,所述电动发电机可操作地被联接到装置的初级储能部分和/或以其它方式被包含在装置的初级储能部分中。一种增大飞轮的每单位质量的能量的方式是至少部分地由高强度、低密度的复合材料(例如,碳纤维)形成飞轮。因为碳纤维比其它材料(例如,玻璃纤维或钢)具有更高的每单位质量的拉伸强度,所以由碳纤维所形成的飞轮可以以较高的转动速度(由于较高的拉伸强度以抵抗圆周应力)转动给定量的质量,从而增加用于该量的质量的转动动能,即,每单位质量的密度。然而,诸如由碳纤维所形成的那些的复合材料沿径向方向的强度比沿圆周方向的强度低得多,这是因为径向应力由复合材料的基质材料承载,例如,聚合树脂。基质材料的拉伸强度比纤维材料(例如,碳纤维)的拉伸强度低得多。因而,由碳纤维所形成的飞轮的转动速度受到基质的强度的限制,而非受到碳纤维的强度的限制。

[0007] 因而,需要存在这样的装置和方法,即,所述装置和方法用于改变在由高强度的复合材料所形成的飞轮中的径向应力和圆周应力之间的关系以实现飞轮的能量和/或功率密度的增大。

### 发明内容

[0008] 本文说明了用于复合材料飞轮储能系统中的力分配的设备和方法。在某些实施例中,一种设备包括用于电动机/发电机的中空圆柱形飞轮。飞轮由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕飞轮沿着圆周方向取向并且嵌入



基质材料中。飞轮具有径向内表面、径向外表面和介于径向内表面与径向外表面之间的径向厚度。飞轮配置成围绕由飞轮所限定的纵向轴线转动。飞轮的转动在纤维中沿着圆周方向产生环向应力并且在基质材料中沿着径向方向产生穿透厚度的应力。纤维的材料特性和基质材料材料特性使得飞轮围绕纵向轴线以高到足以产生飞轮的结构失效的第一转动速度转动而产生沿着径向方向的基质材料的失效,但不产生沿着圆周方向的纤维的失效。该设备还包括多个质量负载,所述多个质量负载在沿着纵向轴线的纵向分段处围绕飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到飞轮的径向内表面,以便使飞轮的转动促使来自多个质量负载的每个质量负载都在径向内表面上产生沿着径向向外的方向的力。该力起作用以减小基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得比第一转动速度大的、高到足以在纵向分段中产生飞轮的结构失效的第二转动速度产生沿着圆周方向的纤维的失效,但不产生沿着径向方向的基质材料的失效。

### 附图说明

- [0009] 图1是根据实施例的电磁机器结构的示意图。
- [0010] 图2是根据另一个实施例的电磁机器结构的示意图。
- [0011] 图3和图4是各自根据不同的实施例的电磁机器结构的部分的示意图,其示出例如电磁机器结构的电动机/发电机部分。
- [0012] 图5是根据实施例的飞轮的剖视透视图。
- [0013] 图6是根据另一个实施例的飞轮的剖视透视图。
- [0014] 图7是被包含在图6的电磁机器结构中的定子组件的透视图。
- [0015] 图8是配置成布置在图6的电磁机器结构内的磁体组件的部分的透视图。
- [0016] 图9是图7的磁体组件的部分的示意图。
- [0017] 图10是根据实施例的磁性组件的部分的示意图。
- [0018] 图11是根据另一个实施例的飞轮的剖视透视图。
- [0019] 图12是配置成布置在图11的电磁机器结构内的磁体组件的部分的俯视图。
- [0020] 图13至图16是曲线图,其各自示出在不同条件下由电磁机器结构所经历的应力量度和与电磁机器结构相关联的半径之间的关系。

### 具体实施方式

[0021] 在某些实施例中,一种设备包括用于电动机/发电机的中空圆柱形飞轮。飞轮由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕飞轮沿着圆周方向取向并且嵌入基质材料中。飞轮具有径向内表面、径向外表面和介于径向内表面与径向外表面之间的径向厚度。飞轮配置成围绕由飞轮所限定的纵向轴线转动。飞轮的转动在纤维中沿着圆周方向产生环向应力并且在基质材料中沿着径向方向产生穿透厚度的应力。纤维的材料特性和基质材料材料特性使得飞轮围绕纵向轴线以高到足以产生飞轮的结构失效的第一转动速度转动而产生沿着径向方向的基质材料的失效,但不产生沿着圆周方向的纤维的失效。该设备还包括多个质量负载,所述多个质量负载在沿着纵向轴线的纵向分段处围绕飞轮的径向内表面圆周地分配并且联接到飞轮的径向内表面,以便使飞轮的转动促使来自多个质量负载的每个质量负载都在径向内表面上产生沿着径向向外的方

向的力。该力起作用以减小基质材料中的最大穿透厚度的应力,使得比第一转动速度大的、高到足以在纵向分段中产生飞轮的结构失效的第二转动速度产生沿着圆周方向的纤维的失效,但不产生沿着径向方向的基质材料的失效。

[0022] 在某些实施例中,一种设备包括配置成布置在飞轮储能装置内的转子。转子由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕转子沿着圆周方向取向并且嵌入基质材料中。转子具有纵向转动轴线和径向内表面。转子配置成相对于定子围绕纵向轴线转动。多个第一质量负载和多个第二质量负载被联接到转子的内表面。来自多个第一质量负载的每个质量负载都具有第一密度和第一尺寸。多个第一质量负载的第一部分在沿着转动轴线的第二纵向分段处在圆周方向上沿着所述内表面分配,并且多个第一质量负载的第二部分在沿着转动轴线的第三纵向分段处在圆周方向上沿着所述内表面分配。来自多个第二质量负载的每个质量负载都具有比第一密度大的第二密度和比第一尺寸小的第二尺寸。多个第二质量负载在介于第一纵向分段与第二纵向分段之间的、沿着转动轴线的第三纵向分段处在圆周方向上沿着所述内表面分配。多个第一质量负载和多个第二质量负载覆盖所述内表面,以便当转子相对于定子围绕纵向轴线转动时使基本均匀的压力施加在转子的内表面上。

[0023] 在某些实施例中,一种设备包括转子、定子和多个质量负载,所述转子配置成布置在飞轮储能装置内。转子由复合材料形成,所述复合材料包含有基质材料和纤维,所述纤维至少部分地围绕转子沿着圆周方向取向并且嵌入基质材料中。转子包括多个第一磁体,所述多个第一磁体在沿着由转子所限定的转动轴线的第二纵向分段处在圆周方向上沿着转子的内表面分配。转子包括多个第二磁体,所述多个第二磁体在沿着所述转动轴线的第三纵向分段处在圆周方向上沿着所述内表面分配。多个第一磁体和多个第二磁体在它们之间形成有空间。定子被布置在转子内,以便使定子的部分处于在多个第一磁体与多个第二磁体之间所限定的空间内。多个质量负载由非磁性材料形成,并且在多个第一磁体与多个第二磁体之间所限定的空间内在圆周方向上沿着所述内表面分配,以便使多个质量负载处于转子的内表面与定子的所述部分的圆周表面之间。当转子围绕纵向轴线转动时,多个第一磁体、多个第二磁体和多个质量负载在转子的内表面上共同地施加基本均匀的压力,所述基本均匀的压力可操作地减小转子内的径向应力。

[0024] 如在本说明书中所使用的,单数形式的不定冠词“一”和定冠词“所述”包括复数参照物,除非上下文另有明确规定以外。因而,例如,术语“一构件”旨在表示单个构件或多个构件的组合,“一材料”旨在表示一种或多种材料或其组合。

[0025] 如本文所使用的,术语“一组”可以指的是多个特征或具有多个部件的单个特征。例如,当提及一组壁时,该组壁可以被认为具有多个部分的一个壁,或者该组壁可以被认为具有多个不同的壁。因而,整体构造的物品可以包括一组壁。这种一组壁可以包括彼此连续的或不连续的多个部分。一组壁也可以由被分开制造且随后被一起连结(例如,经由焊接、粘结剂或任何适当的方法)的多个物品制成。

[0026] 如本文所使用的,当与几何关系和/或特性(例如,“圆柱形”、“线性”、“平行”、“垂直”等)相关地使用时,术语“基本”旨在表达,如此定义的结构名义上是如此定义的几何关系和/或特性。作为一个示例,被描述为“基本线性”的部件的表面的部分旨在表达,尽管表面的线性是期望的,但是在“基本线性”的表面中会出现某些非线性。这种非线性可以由制

造公差或其它实际考虑(例如,作用在其上的力)所导致。因而,由术语“基本”所修改的几何构造包括在例如所述几何构造的 $\pm 5\%$ 的公差内的这种几何性质,除非另有明确说明以外。例如,“基本线性”的表面是在线性的 $\pm 5\%$ 内限定沿着平面的平面或轴的表面。

[0027] 如本文所使用的,术语“轴向方向”可以指的是例如与电磁机器的部件的转动轴线平行地延伸的方向。例如,在具有可相对于定子可转动地运动的转子的电动机/发电机中,当力矢量与沿着转子的转动轴线的方向基本平时,力可以说是沿着轴向方向的。

[0028] 如本文所使用的,术语“转动方向”和/或“圆周方向”可以指的是例如沿着具有固定半径的部件(例如,被包含在电动机/发电机中的转子的部件)的表面延伸且在所述部件的转动方向上的方向。例如,考虑到,部件的较小部分和/或沿着该部件的表面的点,转动方向可以被认为是“切线方向”。

[0029] 如本文所使用的,术语“径向方向”可以指的是例如从部件的转动轴线在恒定轴向位置处例如延伸到该部件的外表面的方向。例如,当力矢量从转子的转动轴线以基本固定的轴向位置朝向转子的外表面延伸时,力可以说是沿着径向方向的。

[0030] 如本文所用的,术语“拉伸强度”和“剪切强度”指的是在施加的力下材料抵抗断裂的能力。更具体地,术语“拉伸强度”指的是材料当经受拉伸或压缩力时抵抗断裂的能力。例如,当材料的第一部分相对于材料的第二部分被拖拉时,材料可以暴露于张力。术语“剪切强度”指的是当材料经受剪切力时抵抗断裂的能力。例如,当材料的第一部分在平面方向上(例如,沿着由该部分和材料的第二部分所限定的平面)从材料的第二部分被拉开时,该材料可以暴露于剪切力。

[0031] 如本文所用的,术语“张力”指的是响应于沿着轴向方向拖拉物体的外力在该物体内的内力(即,应力)。例如,具有在一个端部处从绳索悬挂且在另一个端部处固定地附装到支撑件的质量的物体施加力以使绳索置于承受张力中。承受张力的物体内的应力可以根据物体的横截面积来表征。例如,在具有较大横截面积的物体上比在具有较小横截面积的另一个物体上施加较小的应力。在塑性变形(例如,诸如颈缩和/或类似变形的永久变形)之前施加在承受张力的物体上的最大应力以物体的拉伸强度来表征。拉伸强度是构成材料的强度性质(即,是构成材料所固有的)。因而,承受张力的物体的最大应力可以通过由具有较大拉伸强度的物体形成而增加或通过由具有较小拉伸强度的材料形成而减少。

[0032] 如本文所使用的,术语“刚度”指的是物体对由施加的力所产生的偏转、变形和/或位移的抵抗,并且通常被理解为与物体的“柔度”相对。例如,当暴露于力时,具有较高刚度的材料比具有较低刚度的材料更能抵抗偏转、变形和/或位移。类似地规定,具有较高刚度的物体可以被表征为比具有较低刚度的物体更坚硬。刚度可以根据施加到物体的力的量和由物体的第一部分相对于物体的第二部分偏转、变形和/或位移所得到的距离来表征。当表征物体的刚度时,所偏转的距离可以被测量为与直接施加力的物体的部分不同的物体的部分的偏转。换句话说,在某些物体中,偏转的点与施加力的点是有区别的。

[0033] 刚度(因而,柔度)是描述的物体的广泛性质,并且从而取决于形成物体的材料以及物体的某些物理特性(例如,横截面形状、长度、边界条件等)。例如,物体的刚度可以通过在物体中选择性地包含具有期望的弹性模量、挠曲模量和/或硬度的材料而增大或减小。弹性模量是构成材料的强度性质(即,是构成材料所固有的),并且描述了物体响应于所施加的力弹性地(即,非永久性地)变形的倾向。具有较高弹性模量的材料在存在等同施加的

应力下将不与具有较低弹性模量的材料差不多偏转。因而，物体的刚度可以例如通过向物体中引入具有较高弹性模量的材料和/或通过用具有较高弹性模量的材料构造物体来增大。如本文进一步详细地说明的，诸如碳纤维复合材料的复合材料（例如，由两种或更多种具有不同物理性质或化学性质的构成材料形成的材料）通常沿着与碳纤维的方向平行的方向增大基质材料（例如，塑料树脂或玻璃）的刚度。

[0034] 如本文所述的电磁机器可以是任何适当的类型或机器，其例如用作储能装置、电动机、发电机和/或类似物。通过示例的方式，尽管实施例中的某些在此参照在诸如飞轮或类似物的电磁机器内的用法来说明，但是应当理解，本文所述的实施例也可以在其它机器或机构中使用。此外，虽然实施例在此被说明为在包括成一体电动机/发电机的飞轮中或上实施，但是应当理解，本文所述的实施例可以在可操作地联接到电动机/发电机和/或任何其它合适的电气、机电和/或电磁装置的飞轮中或上实施。虽然本文所述的电动机/发电机和/或其它电磁机器是通常永磁的电磁机器，例如，轴向磁通机器和/或径向磁通机器，但是实施例和/或其部件可以在任何适当类型的机器中实施。

[0035] 本文所述的实施例可以在配置成以转动动能的形式储能的机电飞轮中或上实施。例如，能量（例如，电能、机械能和/或类似能量）可以被供给到飞轮，这促使转动质量（例如，转子）围绕轴线转动。因而，飞轮可以存储提供给其的能量的至少一部分。相反地，通过减小转子的转动速度，例如通过在电动机/发电机的绕组中感应电流，所述电动机/发电机的绕组继而将电流输送到负载，可以从飞轮释放能量。

[0036] 通常，期望在维持安全操作条件的同时增大与飞轮相关联的能量密度（W-h/kg）。因而，在某些情况下，期望由重量较轻的和/或密度较低的材料形成飞轮（例如，转子）的转动部件。对于给定的系统所储存的转动能量由以下等式1表示：

$$[0037] \quad E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad \text{等式 1}$$

[0038] 其中，E是能量，I是质量惯性矩， $\omega$ 是转动速度。

[0039] 因而，随着转动部件的质量惯性矩I和转动速度 $\omega$ 增大，飞轮储能装置储存更多的能量。用于转动的每个单独组分的质量惯性矩I由以下等式2表示：

$$[0040] \quad I = \frac{1}{2} m (r_o^2 + r_i^2) \quad \text{等式 2}$$

[0041] 其中，m是转动质量， $r_o$ 和 $r_i$ 分别是每个单独质量组分的位置的外半径和内半径。

[0042] 因而，转动质量离其转动轴越远，质量惯性矩越大，并且对于给定的转动速度所储存的转动能量越高。当由飞轮储存的能量随着转动部件的转动速度和尺寸增大而增加时，增大转动速度就增大了构成材料内的应力。具体地，飞轮的转动部件经受圆周拉伸应力（环向应力）和穿透厚度的应力（径向应力）。随半径变化的穿透厚度的应力的分量是内应力，在所述内应力中分量的径向外部分与径向内部分拉开（例如，径向偏转和/或径向变形）。这种内应力在部件内引起较高的径向取向的拉伸应力。因而，虽然通常期望使用重量较轻的材料来增大飞轮的每单位质量的能量，但是也希望重量轻的材料尤其具有较高的强度性能。

[0043] 因而，本文所述的实施例包括飞轮，所述飞轮具有转子，所述转子由高强度复合材料形成，所述高强度复合材料即为具有嵌入基质材料中的长丝材料的材料，其中长丝材料

具有较高的拉伸强度,其可以维持较高的圆周或环向应力。虽然本文公开的装置和方法包括特定的材料,但是本文所述的装置和方法中的任一个可以使用和/或可以包括任何复合长丝材料,例如,碳纤维、凯夫拉尔、玻璃纤维、高强度聚乙烯纤维(例如,**Dyneema®**和**Spectra®**)、玄武岩纤维和/或纳米碳纤维,以便增大飞轮的每单位质量的能量和/或功率密度(例如,通过使用具有较高的每单位质量的拉伸强度的材料)。具体地,在某些实施例中,这种碳纤维可以是例如来自Toray的T1000g或来自Toho的IMS65,其拉伸强度分别为925000磅/平方英寸(psi)和870000psi。然而,因为高拉伸强度长丝(例如,碳纤维)通常圆周地取向,复合材料由于沿着径向方向或穿透厚度的方向的张力(例如,径向偏转和/或变形)而具有较低的抵抗失效的能力。结果,复合材料的一个或多个其它成分(例如,碳纤维复合材料的聚合物基质材料或类似物)承载穿透厚度的拉伸应力。因而,这里描述的实施例配置成在维持与飞轮相关联的高储能密度的同时减轻穿透厚度的拉伸应力对形成飞轮的转子的至少一部分的构成复合材料的影响。

[0044] 在讨论图1至图12中所示的实施例之后,简要讨论与本文所述的实施例和/或方法相关联的数学和分析结果。应当理解,通过示例的方式提出理论和/或数学证明的讨论以总结一种分析方法并且为相关负责人提供依据;该讨论旨在不是其完全的解释。反而,提出了理论和/或数学证明的讨论以提供本文所述的具体实施例和方法的背景。

[0045] 图1是根据实施例的电磁机器结构100的示意图。电磁机器结构100可以是任何适当的机器、系统或其部分。例如,电磁机器结构100包括飞轮105、支撑结构160和至少一组轴承162。如本文进一步详细地说明的,飞轮105可以是配置成储能任何适当的装置和/或组件。例如,飞轮105可以是配置成以转动动能的形式储能的装置和/或系统。

[0046] 支撑结构160可以例如是配置成支撑飞轮105的至少一部分的毂、壳体、轴等。一个或多个轴承162可以被可操作地联接在支撑结构160与飞轮105的转子110之间。这样,一个或多个轴承162可以允许转子110的至少一部分相对于支撑结构160的至少一部分转动和/或以其它方式围绕支撑结构160的至少一部分转动。在某些实施例中,一个或多个轴承162可以是诸如球轴承、销轴承等的机械轴承。在其它实施例中,一个或多个轴承162可以是磁悬浮、主动或被动磁稳定轴承、气体轴承或类似物,其配置成经由磁力和/或流体(气体)悬浮或类似方式可转动地支撑转子110的部分。在其它实施例中,一个或多个轴承162可以是混合轴承(例如,机械/磁性混合轴承或类似物)。因而,支撑结构160和/或一个或多个支承162支撑转子110的至少一部分以允许其至少部分转动运动。

[0047] 在该实施例中,飞轮105是从电气负载/电源170接收能量和/或向电气负载/电源170输送(释放)能量的机电装置。电气负载/电源170可以例如是公用事业、工业、军事和/或任何其它合适的电网基础设施。在其它实施例中,电气负载/电源170可以例如是任何合适的商业和/或住宅电气负载/电源。另外,可以在飞轮105与电气负载/电源170之间电连接有任何适当的电气调节装置和/或系统172。这种电气调节装置172例如可以改变、更改和/或以其它方式调节与从电动机/发电机130接收的电能相关联的电压、电流、相位、频率和/或类似参数。

[0048] 如图1中所示,飞轮105包括至少转子110和定子组件140,所述转子110具有磁体组件120,所述定子组件140具有一组定子绕组或线圈(图1中未单独地示出),所述一组定子绕

组或线圈共同地形成包含在飞轮105中的成一体的电动机/发电机130。飞轮105和/或其部件可以具有任何适当的布置和/或构型,如本文参照具体实施例说明的。例如,飞轮105和/或电动机/发电机130可以是轴向磁通或径向磁通永磁机。在这种实施例中,飞轮105的转子110可以相对于定子组件140转动,以便使与包含在磁体组件120中的永磁体的转动相关联的磁通在定子绕组140的定子绕组内感应电流的流动。

[0049] 飞轮105配置成从电气负载/电源170接收足够的电能以在期望的转动能量和速度下转动转子110,由此将输入功率(例如,电能)转变为与转子110相对于定子组件140的转动相关联的动能(例如,参见以上等式1和等式2)。例如,在某些实施例中,与转子110相关联的转动速度可以介于约1000每分钟转数(rpm)与约10000rpm之间,介于约10000rpm与约20000rpm之间,介于约20000rpm与约30000rpm之间,介于约30000rpm与约40000rpm之间,介于约40000rpm与约50000rpm之间,或更高。在至少一个实施例中,与转子110相关联的转动速度可以是约36000rpm。飞轮105还配置成例如通过感应电动机/发电机130的部分(例如,包含在定子组件140中的定子绕组或线圈)内流动的电流来释放动能的至少一部分,这减慢了转子110的转动速度。此外,转子110可以由支撑结构160和一个或多个轴承162以最小的损失(例如,由于摩擦或类似情况)被可转动地支撑,使得当飞轮105处于稳定状态(例如,转子110以基本恒定的速度旋转,并且电动机/发电机130几乎没有向电气负载/电源170输送电能或其与电气负载/电源170电隔离)时,飞轮105“储存”与转子110的转动相关联的动能。

[0050] 在某些实施例中,转子110可以具有基本环形的横截面形状。换言之,转子110具有限定转子110的内半径的内表面和限定转子110的外半径的外表面。转子110可以由复合材料形成,例如,以上所述的那些。磁体组件120配置成联接到转子110的内表面。磁体组件120可以包括沿着转子110的内表面圆周布置的任何数量的磁体。在某些实施例中,磁体组件120的圆周布置的磁体可以形成磁体环,所述磁体环沿着转子110的纵向轴线布置在内表面的分段处或上。另外,磁体组件120可以包括任何适当数量的磁体环,所述磁体环中的每个都沿着转子110的纵向轴线布置在不同的分段处。

[0051] 磁体组件120的布置使得在每个磁体环之间和/或在轴向相邻的磁体之间限定有空间。在某些实施例中,包含在磁体环中的和/或共同形成磁体环的磁体可以被分段。也就是说,多个磁体围绕内表面的圆周布置以形成磁体环,在每个圆周相邻的磁体之间限定有基本均匀的空间。在某些实施例中,对磁体分段可以例如减小磁体内的环向应力、弯曲应力和/或穿透厚度的应力,所述环向应力、弯曲应力和/或穿透厚度的应力否则会导致失效。另外,磁体组件120的磁体(例如,形成圆周的磁体环的多个磁体)的分段量可以至少部分地控制与转子110的转动相关联的电流(例如,输送到定子组件140以使转子110转动的电流或通过转子110相对于定子组件140转动而产生的电流)的频率。在某些实施例中,转子110的角转动和磁体组件120的磁体的分段会导致与飞轮相关联的较高的电流的频率。

[0052] 定子组件140可以具有基本圆形(例如,非中空)的或基本环形的横截面形状。此外,定子组件140的尺寸可以与例如转子110的内半径相关联,由此允许定子组件140待布置在转子110内,在定子组件140的外表面的至少一部分与转子110的内表面(例如,具有内半径的表面)的至少一部分之间有期望的气隙。在某些实施例中,定子组件140可以联接到支撑结构160和/或联接到一个或多个轴承162的固定部分,以便在转子110相对于定子组件

140转动的同时使该定子组件140维持在基本固定的位置中。

[0053] 转子110和定子组件140的布置可以使得定子组件140的部分布置在轴向相邻的磁体之间所限定的空间内。例如,定子绕组的至少一部分(图1中未示出)可以布置在轴向相邻的磁体(或轴向相邻的磁体环)之间。因而,随着转子110相对于定子组件140转动,介于包含在磁体组件120中的磁体之间的和/或通过所述磁体的磁通流动路径内流动的磁通可操作成在定子组件140的定子绕组中感应电流。此外,如上所述,传递到飞轮105和/或从飞轮105提取的电能量可以具有较高频率的电流(例如,基于转子110的角速度和磁体组件120的磁体的分段)。因此,定子组件140和/或定子绕组可以配置成使得与沿着定子绕组的导体承载较高频率的电流和/或高电感相关联的损耗和/或加热最小化(例如,导体具有足以支持高频率和/或高电感而没有短路和/或过热的表面积)。

[0054] 在某些实施例中,磁体组件120的轴向相邻的磁体和布置在所述轴向相邻的磁体之间的定子组件140的部分共同地形成和/或共同地用作电动机/发电机130的部分。此外,在某些实施例中,转子110的内表面可以包括沿着其轴线的长度均匀地间隔的任何适当数量的磁体和/或磁体环。在某些实施例中,转子110包括沿着转子110的基本整个轴向长度均匀地间隔的多个磁体和/或磁体环。类似地,定子组件140可以包括多个具有定子绕组的部分,所述多个具有定子绕组的部分中的每个都布置在不同的轴向相邻的磁体对之间。换言之,电动机/发电机130可以基本延伸飞轮105的整个轴向长度。在某些情况下,增加形成电动机/发电机130的飞轮105的部分可以例如增加由飞轮105所储存的能量(例如,增大能量密度)以及增大由飞轮105可以进行充电或放电的速率(例如,增大功率密度)。

[0055] 在某些实施例中,电磁机器结构100配置成产生具有高能量密度的储能和/或以其它方式与具有高能量密度的储能相关联。例如,如在等式1和等式2中所示,由飞轮105储存的能量 $E$ 是转子110的转动速度 $\omega$ 和转子110的质量惯性矩 $I$ 的函数,所述转子110的质量惯性矩 $I$ 则是转子110的质量 $m$ 、内半径 $r_i$ 和外半径 $r_o$ 的函数。因而,可以通过增大转子110的转动速度 $\omega$ 、转子110的质量 $m$ 和/或转子110的内外半径 $r_i$ 、 $r_o$ 中的至少一个来增大与飞轮105相关联的能量密度。此外,如由以上等式1和等式2所示,转子110的质量是一个数量级的变量,而转子110的转动速度 $\omega$ 是两个量级的变量。因此,由转子110的增大的每单位质量的强度(例如,由于使用复合材料)而引起的转子110的转动速度的增益以指数方式增加与转子110相关联的动能。

[0056] 如图1中所示,飞轮105包括联接到转子110的内表面的一组质量负载132。质量负载132可以是磁性的(例如,质量负载132形成包含在磁体组件120中的磁体),或者可以是惰性的(例如,非磁性的)并且与包含在磁性组件130中的磁体有区别。例如,在某些实施例中,质量负载132可以形成磁体组件120的磁体,并且可以例如在定子组件140的定子绕组中感应电流的流动和/或经由磁力轴承布置使转子110稳定。

[0057] 在其它实施例中,质量负载132由不锈钢、钨合金、负载金属的聚合物和/或其它非磁性材料形成。例如,质量负载132可以布置在沿着转子110的内表面的离散位置处。在其它实施例中,质量负载132可以基本整体上覆盖转子110的内表面。此外,质量负载132可以具有较高的密度,并且从而可以在维持相同质量的同时具有较小的尺寸。类似地,质量负载132可以具有在转子的内表面上的每单位面积的质量和/或密度,其基本等于磁体组件120中和/或磁稳定系统中的磁体的每单位面积的质量和/或密度。因而,当质量负载132和磁体



组件120的磁体基本整体上覆盖转子110的内表面时,磁体组件120的磁体和质量负载132随着转子110围绕其轴线转动而在转子110的内表面上施加基本均匀的力。在某些实施例中,质量负载132被分段成结构上离散的元件,并且任选地使得在相邻的磁体之间-沿着圆周方向或沿着轴向方向限定期望的距离。通过对质量负载132分段,可以减小由转子转动的离心效应所引起的、施加在质量负载132上和/或中的应力。另外,对质量负载132分段可以允许用于增大的可扩展性。

[0058] 在转子110的内表面上的质量负载132的布置在转子110转动时所引起的应力状态与以其它方式与转子110相关联的应力状态不同。例如,质量负载132配置成由于与转子110的转动相关联的离心效应而在转子110的内表面上施加额外的力。照此,减小最大穿透厚度的径向拉伸应力,否则所述最大穿透厚度的径向拉伸应力限制转子110的转动速度。更具体地,由质量负载132施加在转子110的内表面上的力在某些情况下可以将转子110(或形成转子110的构成材料)置于穿透厚度的压缩状态中,所述穿透厚度的压缩状态与穿透厚度的张力相比由于在穿透厚度的压缩下的复合材料的强度而是期望的。另外,施加在转子110的内表面上的力的均匀性可以使与增大和/或减小转子110的转动速度相关联的非均匀的动态加载稳定。

[0059] 图2是根据实施例的质量负载的复合材料转子210的示意图。在某些实施例中,质量负载的复合材料转子210(在此也称为“转子”)可以是配置成包含在飞轮储能装置中的任何适当的转子,所述飞轮储能装置例如是以上参照图1所述的飞轮105。照此,转子210可以配置成相对于定子组件(图2中未示出)围绕轴线A转动。如以上参照转子110所述的,转子210可以被促使转动而例如以转动动能的形式储能。此外,转子210相对于定子组件(例如,定子组件140)的转动可以使得与包含在转子210中和/或联接到转子210的永磁体的转动相关联的磁通在定子组件140的定子绕组内感应电流的流动。

[0060] 转子210可以是任何适当的形状、尺寸和/或构型。例如,在某些实施例中,转子210具有基本环形的形状,在所述形状内可以布置有定子组件或类似物的至少一部分。转子210可以由诸如以上所述的那些的复合材料形成。更具体地,如在图2中所示,转子210包括复合层212,并且任选地包括顺应层216。复合层212例如可以由高强度的碳纤维复合材料形成。复合层212包括聚合物基质材料,例如,其中嵌入有碳纤维的环氧树脂或类似物。在这样的实施例中,碳纤维可以基本沿着圆周方向布置和/或取向。如上所述,复合层212可以提供较高的强度性能以及较低的密度,由此增大转子210的强度和增大由转子210在由于离心效应而失效之前可以转动的速率。

[0061] 如在图2中所示,任选的顺应层216被布置在复合层212内,与复合层212的内表面接触并且联接(例如,经由化学或机械联接)。顺应层216可以由具有比复合层212的弹性模量低的弹性模量的大致顺应性的材料形成。例如,在某些实施例中,顺应层216由玻璃或玻璃复合材料形成。如本文进一步详细地说明的,顺应层216可以配置成分配以其它方式施加在复合层212上的力F以降低例如局部应力集中。

[0062] 转子210还包括联接到顺应层216的内表面的一组或多组质量负载232。质量负载232可以是磁性的并且/或者可以是惰性的(例如,非磁性的)。例如,在某些实施例中,质量负载232可以是包含在飞轮的磁体组件中的磁体。当与例如顺应层216和/或复合层212相比时,质量负载232可以具有更高的密度。如在图2中所示,每个质量负载232组都圆周地布置,



并且这些质量负载组沿着与轴线A平行的转子210的长度均匀地分配。在其中定子绕组轴向地布置在磁性质量负载232的相邻组之间的实施例中,质量负载232的轴向相邻的组被轴向地间隔以接收定子绕组。

[0063] 尽管质量负载232在图2中示出为在它们之间限定有空间,但是在其它实施例中,转子210可以包括这样的质量负载232,即,所述质量负载232配置成覆盖转子210的基本整个内表面(即,如果包含有顺应层216的话为顺应层216,或者如果不包含顺应层216的话为复合层212)。例如,在某些实施例中,质量负载232的第一部分可以是磁性质量,其可以在形式和/或功能上与包含在以上参照图1详细说明了磁体组件120中的磁体基本类似。在这样的实施例中,质量负载232的第二部分可以例如布置在轴向相邻的磁性质量负载232之间。在某些实施例中,质量负载232的第二部分可以具有与质量负载232的第一部分的密度基本相同的密度或者可以具有比质量负载232的第一部分的密度大的密度。当质量负载232(例如,质量负载232的第一部分和第二部分)基本整体上覆盖顺应层216的内表面时,质量负载232随着转子210围绕轴线A转动而在顺应层216的内表面上施加每单位面积基本均匀的力F。如上所述,顺应层216布置成使得由质量负载232施加在顺应层216上的、每单位面积以其它方式局部化的力F被均匀地分配在复合层212的内表面上。因而,随着转子210围绕轴线A转动,在复合层的内表面上施加(例如,经由顺应层216)基本均匀的应力。在某些情况下,这种布置可以例如提高整个转子系统的动态稳定性。

[0064] 如以上参照转子110所述的,质量负载232由于与转子210的转动相关联的离心效应而在复合层212的内表面上施加额外的力。照此,由质量负载232均匀地施加在复合层212的内表面上的力F(经由顺应层216)减小穿透厚度的径向拉伸应力,否则所述穿透厚度的径向拉伸应力限制转子210的转动速度。在某些情况下,力F可以将转子210(或形成转子210的构成材料)置于贯穿转子的穿透厚度的压缩状态中。此外,如以上参照飞轮105所述的,通过均匀地分配质量负载232(例如,磁性质量负载),其中包含有转子210的飞轮的能量密度和/或功率密度可以通过使共同形成和/或配置为电动机/发电机的飞轮的部分基本最大化而增大。

[0065] 图3是根据另一个实施例的飞轮305的部分的示意图。飞轮305的该部分可以被包含在配置成接收、储存和释放能量的任何适当的机器和/或系统中。在某些实施例中,飞轮305的该部分可以基本类似于和/或被包含在例如以上参照图1所述的飞轮105中。因而,在此不进一步详细地说明飞轮305的该部分的方面。

[0066] 飞轮305(或其部分)包括转子310,所述转子310配置成相对于定子340转动,如以上参照飞轮105所述的。定子340可以是任何适当的形状、尺寸或构型。例如,在某些实施例中,定子340可以基本类似于以上参照图1所述的定子组件140。因此,尽管在图3中未示出,定子340可以包括配置成接收电流的流动的任何数量的定子绕组或类似物,如本文进一步详细地说明的。

[0067] 飞轮305的转子310包括第一层312、第二层314和第三层316。第一层312可以是高强度的复合层,例如,碳复合层,如以上参照转子110(图1)和/或转子210(图2)所述的。第二层314可以是具有比第一层312的强度小的强度的复合层。例如,在某些实施例中,第二层314可以是玻璃/碳复合层或类似物。在这样的实施例中,玻璃/碳纤维可以被嵌入诸如环氧树脂的聚合物基质材料中。因而,第二层314可以类似于第一层312;然而,当暴露于力时,使

用玻璃纤维引起更顺应的复合材料。第三层316可以是具有比第二层314的强度小的强度的顺应层。例如,在某些实施例中,第三层316可以是顺应的玻璃层或玻璃复合层或类似物。在这样的实施例中,当暴露于力时,玻璃材料和/或玻璃复合材料可以比例如玻璃/碳纤维复合材料和/或碳纤维复合材料更为顺应。

[0068] 如在图3中所示,转子310包括磁体组件320和联接到第三层316(例如,玻璃层)的表面的一组质量负载332。磁体组件320包括两个磁体322组。这些磁体322组可以经由任何适当的联接方式联接到第三层316,所述任何适当的联接方式例如是粘结剂、机械紧固件、过盈配合、附装到第三层316的介入结构和/或类似方式。此外,这些磁体322组在沿着转子310的轴向长度的不同位置处联接到第三层316,使得在它们之间限定距离 $D_1$ 。如图所示,距离 $D_1$ 足以允许定子340的部分布置在磁体322之间。

[0069] 质量负载332可以是任何适当的形状、尺寸和/或构型。例如,在图3中所示的实施例中,转子310包括一组质量负载332,其在磁体322组中的每个磁体组的每一侧上联接到第三层316。更具体地,第一质量负载332组可以布置在第一磁体322组的第一侧上,第二质量负载332组可以布置在第二磁体322组的第一侧上,并且第三质量负载332组可以布置在第一磁体322组的第二侧上和第二磁体322组的第二侧上(即,轴向地处于两个磁体322组之间)。在某些实施例中,质量负载332组可以布置成与一个或多个磁体322相邻并且与之接触。换言之,磁体322组和质量负载332组可以基本整体上基本覆盖第三层316的内表面。如本文进一步详细地说明的,通过覆盖第三层316的整个内表面,随着转子310围绕其轴线转动,质量负载332组和磁体322组可以在第三层316上施加基本均匀的压力。

[0070] 在该实施例中,质量负载332组中的每个质量负载都可以由惰性(例如,非磁性的)材料形成,例如,不锈钢、钨合金和/或类似物。此外,形成质量负载的构成材料可以是较高密度的材料。例如,在某些实施例中,质量负载和/或形成质量负载332组中的质量负载的构成材料的密度大于磁体322组中的磁体的密度。如在图3中所示,通过包含有其密度比与磁体相关联的密度大的质量负载,在维持基本相同的质量的同时,质量负载的尺寸(例如,径向厚度)可以小于磁体的相关尺寸。

[0071] 如上所述,在磁体322组之间所限定的空间中布置有定子340的部分。更具体地,定子340的该部分可以沿着轴向方向在磁体322组之间居中,使得在定子340的相对表面与相应磁体322组的相关表面之间限定距离 $D_2$ ,如在图3中所示。此外,转子310布置成使得在定子340的径向外表面与布置在磁体322之间的质量负载332的径向内表面之间限定距离 $D_3$ 。在某些实施例中,距离 $D_2$ 可以与距离 $D_3$ 基本相同,即,可以在定子340与磁体322组和/或质量负载332组之间限定相同的气隙。这种布置可以例如随着转子310围绕定子340转动而增大飞轮305的部分的稳定性。

[0072] 如以上参照飞轮105(图1)和飞轮205(图2)所述的,转子310和定子340共同地形成包含在飞轮305中的成一体的电动机/发电机330。更具体地,设置在相邻磁体322组之间的定子340的部分的布置形成例如轴向磁通永磁电动机/发电机。因而,定子340可以接收电流的流动,所述电流的流动继而激励定子绕组。照此,流入定子绕组中或沿着定子绕组流动的电流可以与在磁体组件320的相邻磁体322组之间流动的和/或通过磁体组件320的相邻磁体322组流动的磁通相互作用,以使转子310相对于定子340转动。照此,飞轮305的部分可以将电能的至少一部分储存为转动动能。另外,飞轮305的部分可以转变为例如放电状态,在

所述放电状态中在磁体322组之间流动的和/或通过磁体322组流动的磁通在定子绕组内感应流向电负载或类似物的电流流动。

[0073] 在某些实施例中,在第三层316的内表面上的质量负载332组和磁体322组的布置在转子310的第一层312、第二层314和第三层316中的每个内都引起与将通过转子310的转动以其它方式产生的应力不同的应力。例如,随着转子310围绕其轴线转动,质量负载332组和磁体322组由于与转子310的转动相关联的离心效应而在第三层316的内表面上施加额外的径向向外指向的力。照此,在第一层312、第二层314和/或第三层316内的最大穿透厚度的径向拉伸应力减小,所述最大穿透厚度的径向拉伸应力否则将限制转子310的转动速度。在某些实施例中,由质量负载332组和磁体322组所施加的力可以将转子310的层312、314和316置于完全压缩的穿透厚度的状态中,如以上参照图1中的飞轮105所述的。此外,通过用根据转子310的半径连续地增大强度的层312、314和316形成转子310,与转子310、磁体322和质量负载332上的离心效应相关联的力通过层312、314和316被均匀地分配,这可以使与转子310的转动速度的增大和/或减小相关联的非均匀的动态加载稳定。

[0074] 尽管以上参照图3尤其示出和说明包含在飞轮305的部分中的转子310,但是在其它实施例中,飞轮的部分可以包括具有任何适当的布置和/或构型的转子。例如,图4是根据又一个实施例的飞轮405的部分的示意图。飞轮405的该部分可以被包含在配置成接收、储存和释放能量的任何适当的机器和/或系统中。在某些实施例中,飞轮405的该部分可以基本类似于例如以上参照图1所述的飞轮105和/或包含在例如以上参照图1所述的飞轮105中。此外,飞轮405的该部分的方面在形式和/或功能上与飞轮305的该部分的相关方面基本类似。因而,本文没有更进一步详细地说明飞轮405的该部分的方面。

[0075] 飞轮405(或其部分)包括配置成相对于定子440转动的转子410,如以上参照飞轮105所述的。定子440可以是任何适当的形状、尺寸或构型。例如,在某些实施例中,定子440可以基本类似于以上参照图1说明的定子组件140。因此,尽管在图4中未示出,定子440也可以包括配置成接收电流的流动的任何数量的定子绕组或类似物,如本文进一步详细地说明的。

[0076] 飞轮405的转子410包括第一层412、第二层414和第三层416。第一层412可以是高强度的复合层(例如,碳复合层或类似物),如以上参照转子110(图1)和/或转子210(图2)所述的。第二层414可以是具有比第一层412的强度小的强度的复合层(例如,玻璃复合层或类似物),如以上参照图3中所示的飞轮305所述的。第三层416可以是具有比第二层414的强度小的强度的顺应层(例如,柔性玻璃或类似物),如以上参照图3中所示的转子310所述的。

[0077] 如在图4中所示,转子410包括磁体组件420和一组质量负载432,所述磁体组件420联接到第三层416(例如,柔性玻璃层),所述一组质量负载432联接到例如第二层414(例如,玻璃复合层)的表面。磁体组件420包括一对磁体422组。磁体组件420基本类似于以上参照图3说明的磁体组件320,并且因而,在此没有进一步详细地说明。虽然转子310的第三层316在图3中示出为基本延伸了转子310的部分的整个长度,但是在图4中所示的实施例中,第三层416布置在磁体422与第二层414之间,而不是布置在质量负载432与第二层414之间。在某些实施例中,将第三层416限制到与磁体422组相关联的、沿着转子410的轴向长度的分段,可以例如减小转子410的重量,而同时仍然减轻在磁体422组和转子410上的离心效应(例如,剪切应力、穿透厚度的应力等)。

[0078] 质量负载432组中的质量负载可以是任何适当的形状、尺寸和/或构型。例如,在图4中所示的实施例中,转子410包括一组质量负载432,其在磁体422组中的每个磁体组的每一侧上联接到第二层414,与图3中所示的转子310的布置类似。在该实施例中,质量负载432组例如被分段成比磁体422的相关横截面积小的横截面积(例如,在径向平面中)。在某些情况下,对质量负载432组分段可以是至少部分地基于质量负载的密度和由转子410的转动所引起的相关应力。因而,通过减小每个质量负载的横截面尺寸,可以减小作用在质量负载上或中的应力以及作用在转子410上的那些应力。此外,通过将质量负载分段成更小的横截面积,例如,可以允许质量负载联接到转子410的第二层414,而在质量负载与第二层414之间没有布置第三层416。这样,飞轮405的部分可以在至少功能上与本文所述的飞轮105、205和/或305中的任一个类似。

[0079] 图5是根据实施例的飞轮505的剖视图。飞轮505可以是任何适当的机器、系统或其部分。例如,飞轮505可以是配置成以转动动能的形式储能的装置、机器和/或系统。这样,飞轮505是从电气负载/电源接收能量和/或向电气负载/电源输送(释放)能量的机电装置,所述电气负载/电源例如是公用事业、工业、军事和/或任何其它合适的电网基础设施。在其它实施例中,电气负载/电源可以例如是任何合适的商业和/或住宅电气负载/电源。在某些实施例中,飞轮505的部分可以与上述飞轮105、205、305和/或405的相关部分类似和/或基本相同,并且因而在此不进一步详细地说明与先前说明的那些类似的飞轮505的部分。

[0080] 如在图5中所示,飞轮505包括至少转子510和定子540,所述转子510具有磁体组件520和多组质量负载532,所述定子540具有一组定子绕组或线圈(图5中未示出)。飞轮505和/或其部件可以具有任何适当的布置和/或构型。例如,如在图5中所示,飞轮505的部分可以形成电动机/发电机530,其配置为轴向磁通永磁机。在这样的实施例中,飞轮505的转子510可以相对于定子540转动,以便使与包含在磁体组件520中的永磁体的转动相关联的磁通在定子540的定子绕组内感应电流。

[0081] 飞轮505配置成从电气负载/电源接收足够的电能以在期望的转动速度下转动转子510,由此将输入能量(例如,电能)转变为转动动能(例如,参见以上等式1和等式2),如以上参照图1中所示的飞轮105所述的。飞轮505还配置成例如通过感应电动机/发电机530的部分(例如,包含在定子540中的定子绕组或线圈)内流动的电流来释放转动动能的至少一部分,这减慢了转子510的转动速度。

[0082] 如在图5中所示,定子540具有基本圆形(例如,非中空的)横截面形状,其可以与例如转子510的内表面相关联,由此允许定子540待布置在转子510内。在某些实施例中,定子540可以联接到任何适当的支撑结构(未示出),其配置成在转子510相对于定子540转动的同时将定子540维持在基本固定的位置中。此外,转子510和/或定子540可以包括布置在它们之间的轴承562,所述轴承562配置成随着转子510相对于定子540转动而支撑转子510的至少一部分。在某些实施例中,轴承562可以例如是静态机械轴承,例如,球轴承或销轴承。定子540包括轴承部分542、稳定部分544以及电动机/发电机部分546,它们中的每个都配置成与转子510的不同部分相互作用,如本文进一步详细地说明的。

[0083] 如在图5中所示,转子510具有基本环形的横截面形状。换言之,转子510具有限定转子510的内半径的内表面和限定转子510的外半径的外表面。转子510可以由复合材料形成,例如,以上所述的那些。此外,虽然转子510在图5中示出为包括单个层和/或示出为由单

一复合材料形成,但是在其它实施例中,转子510可以包括任何适当数量的层,每个层都可以由不同的复合材料形成。例如,在某些实施例中,转子510可以包括三个层(例如,高强度的碳复合材料外层、玻璃/碳复合材料中间层、以及玻璃和/或玻璃复合材料内层,如以上参照转子310和转子410所述的。

[0084] 磁体组件520联接到转子510的内表面。磁体组件520可以在一个或多个轴向分配的磁体组中包括沿着转子510的内表面圆周布置的任何数量的磁体。例如,如在图5中所示,磁体组件520包括一组一个或多个轴承磁体522、一组一个或多个稳定磁体522' 和一组或多组电动机/发电机磁体522"。圆周布置的磁体(例如,一个或多个轴承磁体522、一个或多个稳定磁体522' 和一个或多个电动机/发电机磁体522")可以是一个磁体或可以是任何适当数量的分段的磁体。在某些实施例中,对磁体的分段可以在转子510转动期间减小在磁体内的和/或由磁体以其它方式施加的应力(例如,弯曲应力、剪切应力、穿透厚度的应力、环向应力或类似应力),如以上参照转子110(图1)所述的。在某些实施例中,磁体组件520的圆周布置的磁体可以形成磁体环,所述磁体环沿着转子510的纵向轴线布置在内表面的期望分段处或上。例如,一组一个或多个轴承磁体522可以沿着纵向轴线布置在第一位置处,一组一个或多个稳定磁体522' 可以沿着纵向轴线布置在与第一位置不同的第二位置处,并且一组或多组电动机/发电机磁体522"可以沿着纵向轴线布置在与第一位置和第二位置不同的第三和其它位置处。

[0085] 一个或多个轴承磁体522、一个或多个稳定磁体522' 和一个或多个电动机/发电机磁体522" (每个今后都被称为单个“磁体”)可以是任何适当的磁体。例如,在某些实施例中,磁体可以由诸如钕-铁-硼化物、钐-钴、铝-镍-钴和/或类似物的稀土金属形成。在其它实施例中,磁体可以是电磁体。在某些实施例中,包含在磁体组件520中的磁体可以是基本类似的(例如,包含基本相同的构成材料)。在其它实施例中,在该一组轴承磁体522、该一组稳定磁体522' 和/或该一组或多组电动机/发电机磁体522"中的磁体不必是类似的。

[0086] 该一组轴承磁体522和该一组稳定磁体522' 各自都可以具有适于限定期望的磁通流动路径的任何布置和/或构型。例如,在某些实施例中,该一组轴承磁体522可以产生与定子540的轴承部分542相互作用的磁通。例如,在某些实施例中,从该一组轴承磁体522流动和/或穿过该一组轴承磁体522的磁通可以排斥定子540的轴承部分542的分段和/或以其它方式使其悬浮。照此,该一组轴承磁体522和定子540的轴承部分542可以经由磁悬浮共同充当低摩擦轴承。该一组稳定磁体522' 可以产生与定子540的稳定部分544相互作用的磁通。照此,例如,在转子510的加速或减速期间,该一组稳定磁体522' 和定子540的稳定部分544可以共同使转子510和/或定子540稳定。在某些情况下,转子510的稳定可以降低冲击力和/或非均匀的加载或运动,否则会损坏转子510和/或定子540。因而,轴承562、转子510的一组轴承磁体522和一组稳定磁体522' 以及定子540的轴承部分542和稳定部分544随着转子510围绕定子540转动而共同支撑转子510和/或使转子510稳定。

[0087] 磁体组件520的一组或多组电动机/发电机磁体522"配置成与定子540的电动机/发电机部分546相互作用以共同限定电动机/发电机530。虽然该组电动机/发电机磁体522"在图5中示出为具有限定例如三个凹口的连续的横截面形状,在所述三个凹口内布置有定子540的部分,但是在其它实施例中,该组电动机/发电机磁体522"可以包括任何适当数量的组的轴向布置的磁体,其共同形成电动机/发电机磁体522"。换言之,该组电动机/发电机

磁体522”可以具有适于限定流动路径的任何布置和/或构型,在所述流动路径中磁通在该组电动机/发电机磁体522”之间流动和/或通过该组电动机/发电机磁体522”流动以与定子540的至少一部分相互作用。

[0088] 转子510和定子540的布置使得定子540的电动机/发电机部分546设置在由该组电动机/发电机磁体522”所限定的空间内。例如,在某些实施例中,该组电动机/发电机磁体522”限定了一组凹口,其配置成接收定子540的电动机/发电机部分546。在其它实施例中,该组电动机/发电机磁体522”由多组磁体形成,所述多组磁体被轴向地布置以在轴向相邻的磁体组之间限定空间,所述空间配置成接收定子540的电动机/发电机部分546。在某些实施例中,定子540的电动机/发电机部分546可以包括例如定子绕组和/或线圈(在图5中未示出),其布置在轴向相邻的磁体(或轴向相邻的磁体环)之间的凹口和/或空间内。转子510的该组电动机/发电机磁体522”和定子540的电动机/发电机部分546的布置使得在它们之间限定期望的气隙。更具体地,设置在一组或多组电动机/发电机磁体522之间的定子540的电动机/发电机部分546的布置共同形成例如轴向磁通永磁电动机/发电机(例如,电动机/发电机530)。因而,飞轮505可以配置成接收电流的流动,所述电流的流动可操作成使转子510相对于定子540转动,并且/或者飞轮505可以感应电流的流动(例如,在定子绕组和/或线圈内),所述电流的流动可以被输送到负载,如以上参照飞轮105、205、305和/或405详细地说明的。

[0089] 如上所述,转子510包括质量负载532组。质量负载532组可以是磁性的(例如,质量负载532形成包含在磁体组件520中的磁体),或者可以是惰性的(例如,非磁性的)并且与包含在磁组件530中的磁体不同。例如,在某些实施例中,质量负载532可以形成磁体组件520的磁体,并且可以例如在定子540的定子绕组中感应电流的流动和/或使转子510稳定。然而,在该实施例中,质量负载532组由不锈钢、钨合金、负载金属的聚合物和/或其它非磁性材料形成。如图5所示,质量负载532组基本覆盖转子510的整个内表面,除了转子510的分段以外,所述转子510的分段以其它方式由一组轴承磁体522、一组稳定磁体522’以及一组或多组电动机/发电机磁体522”覆盖和/或联接到所述一组轴承磁体522、所述一组稳定磁体522’以及所述一组或多组电动机/发电机磁体522”。

[0090] 在某些实施例中,质量负载532组中的每个质量负载都可以具有质量和径向面对的面积,其基本等于磁体组件520中的每个磁体的质量。因而,当磁体组件520的质量负载532组和磁体522、522’和522”组基本整体上覆盖转子510的内表面时,随着转子510围绕其轴线转动,质量负载和磁体在转子510的内表面上每单位面积施加基本均匀的力(或压力)。在某些实施例中,质量负载可以具有比磁体的密度大的密度,并且因而可以在维持相同的质量(并且例如,每单位面积的质量)的同时具有较小的尺寸(例如,径向厚度)。在某些实施例中,每个质量负载532组都被圆周地分段成圆周地间隔开或邻接的、结构上离散的质量负载。类似地,质量负载532组可以轴向地间隔开,使得在相邻的磁体组之间限定期望的轴向距离,或者质量负载532组可以是邻接的。通过分段每个质量负载532组,可以减小由离心效应所引起的、施加在每个单独质量负载上和/或中的应力。因而,在转子510的内表面上的质量负载532组和磁体组件520的布置引起与转子510的转动相关联的应力状态,所述应力状态不同于在没有质量负载532组的情况下以其它方式与转子510的转动相关联的应力状态。结果,可以增大转子510的转动速度,这继而增大与飞轮505相关联的能量和/或功率密度,

如以上参照至少飞轮105 (图1) 和/或飞轮205 (图2) 详细地说明的。

[0091] 在某些实施例中, 飞轮可以配置成用于较高功率储存密度以及较高能量储存密度。例如, 图6至图9示出根据实施例的飞轮605 (或其部分)。飞轮605可以是任何适当的机器、系统或其部分。例如, 在某些实施例中, 飞轮605配置成接收电能以在期望的转动速度下转动其部分, 由此将电能转变为转动动能 (例如, 参见以上等式1和等式2), 并且还配置成例如通过感应从飞轮605流向电负载的电流 (如以上详细地说明的) 而释放转动动能的至少一部分。在某些实施例中, 飞轮605的部分可以与上述飞轮105、205、305、405和/或505的相关部分类似和/或基本相同, 并且因而在此不进一步详细地说明与先前说明的那些类似的飞轮605的部分。

[0092] 如在图6中所示, 飞轮605包括至少转子610、定子640和轭660, 所述转子610具有磁体组件620和质量负载632组, 所述定子640具有一组电动机/发电机部分646。飞轮605和/或其部件可以具有任何适当的布置和/或构型。例如, 如在图6中所示, 飞轮605的部分可以形成电动机/发电机630, 其配置为轴向磁通永磁机。在这样的实施例中, 飞轮605的转子610可以相对于定子640转动, 以便使与包含在磁体组件620中的永磁体的转动相关联的磁通在定子640的定子绕组内感应电流的流动。此外, 飞轮605布置成以较高的能量和功率密度储存能量, 如本文进一步详细地说明的。

[0093] 如在图6和图7中所示, 定子640具有中心结构650, 从所述中心结构650延伸电动机/发电机部分646。中心结构650 (并且因而定子640) 可以具有基本环形的横截面形状, 其可以与例如转子610的内表面相关联, 由此允许定子640待布置在转子610内。中心结构650限定一组开口652, 其配置为便于将电线连接到定子线圈, 而且还减小定子640的重量, 以及允许接近飞轮605的部分以用于服务等。定子640被固定地联接到轭660, 所述轭660配置成在转子610相对于定子640转动的同时将定子640维持在基本固定的位置中。

[0094] 如在图7中所示, 每个电动机/发电机部分646都从定子640的中心结构652延伸。电动机/发电机部分646可以是基本薄的环, 其包括例如一组定子绕组648 (或线圈)。在某些实施例中, 定子绕组648可以是缠绕线或类似物。在其它实施例中, 定子绕组648可以是在例如印刷电路板上的导电迹线。尽管在图7中未示出, 定子绕组648可以电联接到任何适当的装置、负载、系统、电网等, 使得电流可以在它们之间流动。如本文进一步详细地说明的, 电动机/发电机部分646配置成与转子610的磁体组件620相互作用以共同形成飞轮605的电动机/发电机630。

[0095] 转子610具有基本环形的横截面形状, 如在图6中所示。换言之, 转子610具有限定转子610的内半径的内表面和限定转子610的外半径的外表面。转子610可以由复合材料形成, 例如, 以上所述的那些。虽然转子610在图6中示出为包括单个层和/或示出为由单一复合材料形成, 但是在其它实施例中, 转子610可以包括任何适当数量的层, 每个层都可以由不同的复合材料形成。例如, 在某些实施例中, 转子610可以包括三个层 (例如, 高强度的碳复合材料外层、玻璃/碳复合材料中间层、以及玻璃和/或玻璃复合材料内层, 如以上参照转子310或转子410所述的。此外, 转子610包括轴承部分618, 其配置成接合轭660的轴承662。在某些实施例中, 轴承662可以例如是静态机械轴承, 例如, 球轴承或销轴承。在其它实施例中, 轴承662可以是磁悬浮轴承、主动或被动磁稳定轴承、气体轴承和/或类似物或它们的组合。因而, 轭660和轴承662随着转子610相对于轭660和定子640转动而支撑转子610 (经由至



少轴承部分618)。

[0096] 磁体组件620联接到转子610的内表面。磁体组件620可以包括任何数量的磁体622组,每个磁体组都包括沿着转子610的内表面圆周布置的磁体。磁体622组中的磁体可以是任何适当类型的磁体,例如本文所述的那些。在某些实施例中,磁体组件620的圆周布置的磁体组中的每个组都可以是如例如在图8中所示的磁体622环的形式。例如,在某些实施例中,每个磁体622组中的磁体都可以联接到环形环624,所述环形环624配置成固定磁体并且将磁体622组稳固地联接到转子610的内表面。

[0097] 圆周布置的磁体622环中的每个都可以包括任何适当数量的分段的磁体。在某些实施例中,对磁体的分段可以在转子610转动期间减小在磁体内的和/或由磁体以其它方式施加的应力(例如,剪切应力、穿透厚度的应力、环向应力和/或类似应力),如以上参照转子110(图1)所述的。如在图6和图9中所示,圆周的磁体622环中的每个都可以沿着转子610的纵向轴线布置在内表面的期望的分段处或上。例如,第一磁体622环可以布置在沿着纵向轴线的第一个位置处,第二磁体622'环可以沿着纵向轴线布置在与第一个位置不同的第二个位置处,第三磁体622环可以沿着纵向轴线布置在与第一个位置和第二个位置不同的第三个位置处,诸如此类。

[0098] 磁体622和/或圆周的磁体622环可以在任何适当的布置中联接到转子610的内表面。例如,如图9所示,磁体622可以联接到转子610的内表面,以便使每个圆周的磁体622环与其轴向相邻的圆周的磁体622环分开距离 $D_4$ 。类似地,包含在圆周的磁体622环中的每个磁体622(例如,分段的磁体)与其圆周相邻的磁体622分开距离 $D_5$ 。如图所示,磁体可以布置成使得具有在第一方向上的极性的磁体622A与具有在与第一方向相反的第二方向上的极性的磁体622B圆周相邻(并且反之亦然)。因而,磁通可以在预定的磁通流动路径内在磁体622A和622B之间流动和/或通过所述磁体622A和622B流动。

[0099] 如在图9中所示,圆周的磁体622环可以从它们的轴向相邻的磁体622环偏移了预定的角度。例如,顶部磁体环的每个磁体622A和622B在沿着内表面的圆周位置处联接到转子610;中间磁体环的每个磁体622A和622B在从顶部磁体环的磁体622A和622B偏移的、沿着内表面的圆周位置处联接到转子610;并且底部磁体环的每个磁体622A和622B在从顶部磁体环的磁体622A和622B以及中间磁体环的磁体622A和622B偏移的、沿着内表面的圆周位置处联接到转子610。在其它实施例中,磁体622A和622B不需要被偏移。换言之,圆周的磁体622环可以在轴向方向上沿着内表面以基本相同的圆周取向分配。

[0100] 返回参照图6,转子610和定子640的布置使得定子640的电动机/发电机部分646布置在轴向相邻的磁体622环之间所限定的空间(例如,在图9中具有距离 $D_4$ 的空间)内。转子610的磁体622环和定子640的电动机/发电机部分646的布置使得在它们之间限定期望的气隙。更具体地,布置在磁体622环之间的定子640的电动机/发电机部分646的布置共同形成例如轴向磁通永磁电动机/发电机(例如,电动机/发电机630)。因而,飞轮605可以配置成接收电流的流动(例如,经由定子绕组648),所述电流可操作成使转子610相对于定子640转动,并且/或者飞轮605可以在定子绕组648内感应电流的流动,所述电流的流动可以被输送到负载,如以上参照飞轮105、205、305、405和/或505详细说明的。

[0101] 如在图6中所示,转子610的磁体622和/或磁体环以及定子的电动机/发电机部分646在轴向方向上沿着飞轮605的基本整个长度均匀地分配。因而,配置为电动机/发电机



630的飞轮605的部分被增大和/或基本最大化。照此,飞轮605的功率密度增大,即,可以将能量传递到飞轮605和/或从飞轮605传递能量(经由定子绕组648)的速率增大。例如,如果定子绕组648具有最大的电容量(例如,可以在不发生失效的情况下沿着定子绕组648传递的最大电压、电流和/或功率),则可以通过增加包含在飞轮605中的定子绕组648的数量而增大与飞轮605相关联的电功率密度。因而,可以将配置为电动机/发电机630的飞轮605的部分增大来产生具有较高的功率密度的飞轮605。

[0102] 如上所述,转子610包括质量负载632组。质量负载632组可以是磁性的(例如,质量负载632组形成包含在磁体组件620中的磁体622的至少一部分),或者可以是惰性的(例如,非磁性的)并且与包含在磁体组件620中的磁体622组或环不同。在该实施例中,质量负载632由不锈钢、钨合金、负载有金属的聚合物和/或其它非磁性材料形成。在某些实施例中,质量负载632被分段成结构上离散的分段,并且可以布置成使得在相邻的磁体之间-沿着圆周方向或沿着轴向方向限定期望的距离。通过对质量负载632分段,可以减小由离心效应所引起的、施加在质量负载632上/或中的应力,如以上参照飞轮105、205、305、405和/或505所述的。

[0103] 如在图6中所示,质量负载632组布置在轴向相邻的磁体622环或组之间所限定的空间(在图9中具有距离 $D_4$ 的空间)内。在某些实施例中,质量负载632中的每个都可以具有与磁体组件620中的每个磁体的质量基本相等的质量。进一步扩展,每个质量负载632的质量都可以与其沿着转子610的半径的位置(例如,质量的平均半径)相关联和/或取决于所述位置。例如,当磁体组件620的质量负载632组和磁体622、622' 和622'' 组基本整体上覆盖转子610的内表面并且具有基本类似的径向位置(即,平均半径)时,磁体组件620的质量负载632组和磁体622、622' 和622'' 组可以具有基本相同的质量。因而,随着转子610围绕其轴线转动,质量负载632和磁体可以在转子610的内表面上施加基本均匀的压力。

[0104] 在其它实施例中,质量负载632中的每个都可以具有与磁体组件620中的每个磁体的质量不相等的质量,尽管如此,随着转子610围绕其轴线转动而共同地在转子610的内表面上施加基本均匀的压力。例如,质量负载632中的每个都可以具有比每个磁体小的径向厚度或尺寸,并且从而质量负载632中的每个都可以具有比与包含在磁体组件620中的每个磁体相关联的平均半径大的平均半径。在这样的实施例中,每个质量负载632都可以具有比磁体622、622' 和/或622'' 中的每个的密度大的密度,并且从而,质量负载632和磁体在具有较小的尺寸(径向厚度)的同时可以在转子610上施加基本均匀的压力加载。这样,质量负载632组中的每个组都可以布置在定子部分646中的相对应一个的圆周端面与转子610之间,而同时它们在它们之间维持期望的气隙。因而,在转子610的内表面上的质量负载632组和磁体组件620的布置引起与转子610的转动相关联的应力状态,所述应力状态不同于在没有质量负载632的情况下与转子610的转动相关联的应力状态。结果,可以增大转子610的转动速度,这继而增大与飞轮605相关联的能量和功率密度,如以上参照至少飞轮105(图1)和/或205(图2)详细地说明的。

[0105] 尽管磁体622以上示出和说明为经由环形环624联接到转子610,但是在其它实施例中,磁体可以经由具有任何适当构型的磁体挡圈联接到转子。例如,图10是根据实施例的磁体组件720的部分的示意图。磁体组件720可以被包含在任何适当的转子或类似物中和/或被联接到任何适当的转子或类似物,例如,本文所述的转子110、210、310、410、510和/或

610。在某些实施例中，磁体组件720可以联接到例如转子的复合层714（例如，碳复合层、玻璃/碳复合层和/或玻璃复合层），如以上参照转子310（图3）和转子410（图4）所述的。

[0106] 如在图10中所示，磁体组件720包括磁体挡圈724和与其联接的一组磁体722。磁体722可以是任何适当的磁体，例如，本文所说明的那些。磁体挡圈724限定一组凹口726和一组开口728。凹口726配置成接收磁体722的部分以将磁体固定地联接到磁体挡圈724。例如，在某些实施例中，磁体722可以被压入凹口726中并且经由粘结剂、摩擦配合、机械紧固件、焊接或烧结接头和/或类似方式被稳固在所述凹口中。

[0107] 开口728配置成允许磁体挡圈724在置于负载下时变形。例如，在某些实施例中，磁性挡圈724可以随着磁体722被压入开口726中而变形。在某些实施例中，由于与转子的转动相关联的离心效应而施加在磁体挡圈724上的力可以足以使磁体挡圈724的部分变形。虽然磁体挡圈724被示出为限定开口728，但是在其它实施例中，磁体挡圈724可以限定狭槽、凹口、凹槽、通道和/或任何其它合适的的不连续部，其配置成允许磁体挡圈724在加载期间扩张和/或以其它方式重新分配在磁体挡圈724内的应力的量。

[0108] 磁体挡圈724可以由具有较低弹性模量的较柔性的金属、金属合金、复合材料和/或类似物形成。照此，磁体挡圈724的部分可以配置成响应于与转子的转动相关联的应力（例如，径向应力和环向应力）而弹性地（例如，非永久地）扩张。在某些实施例中，磁体挡圈724的扩张可以促使由每个磁体722所施加的各个力的均匀分配。因而，通过扩张，随着转子围绕轴线转动，磁体挡圈724可以在转子的复合层714的内表面上施加均匀的力。此外，通过将磁体722布置在磁体挡圈724的凹口726中，响应于角加速度/角减速度而与磁体722相关联的剪切应力由磁体挡圈724支撑，所述剪切应力将否则用于从转子的内表面剪切（例如，脱开）磁体722。通过单片地形成磁体挡圈724，磁体挡圈724的与转子的内表面接触并联接的表面积可以提供更大的表面积，磁体722上的加速度负载越过所述更大的表面积可以由转子的内表面承载，即，减小用于给定的角加速度的剪切应力的量级。结果，可以增大转子的角加速度/角减速度的速率的变化，这继而可以增大这样的速率，即，所述速率是可以将能量传递到其中布置这种转子的飞轮或从所述飞轮传递能量的速率（即，增大飞轮的功率密度）。

[0109] 虽然飞轮205、305、405、505和605已经示出并且说明为是轴向磁通永磁机，但是在其它实施例中，配置成至少部分地基于质量负载而具有较高储能密度和/或较高功率密度的飞轮可以是任何适当类型的电磁机器。例如，图11和图12示出根据实施例的飞轮805。飞轮805可以在至少功能方面与本文说明的飞轮105、205、305、405、505和/或605基本类似。因而，本文将不进一步详细地说明飞轮805的部分。

[0110] 如在图11中所示，飞轮805包括至少转子810、定子840和毂860，所述至少转子810具有磁体组件820，所述定子840具有一组电动机/发电机部分846。定子840具有中心结构850，其配置成将定子840联接到毂860。虽然定子840示出并且说明为具有从中心结构850径向延伸的电动机/发电机部分846，但是在图11和图12中所示的实施例中，电动机/发电机部分846沿着中心结构850的圆周布置。因而，定子840配置成用于在径向磁通电磁机器中使用。如以上参照定子640所述的，定子840的电动机/发电机部分846可以包括定子绕组，例如，缠绕线材或线圈、导电迹线和/或类似物。如本文进一步详细地说明的，电动机/发电机部分846配置成与转子810的磁体组件820相互作用以共同形成飞轮805的电动机/发电机

830。

[0111] 转子810具有基本环形的横截面形状,其具有内表面和外表面。转子810可以由复合材料形成,例如,以上所述的那些。尽管转子810在图11中示出为包括单个层和/或示出为由单一复合材料形成,但是在其它实施例中,转子810可以包括任何适当数量的层,每个层都可以由不同的复合材料形成。例如,在某些实施例中,转子810可以包括三个层(例如,高强度的碳复合材料外层、玻璃/碳复合材料中间层、以及玻璃和/或玻璃复合材料内层,如以上参照转子310或转子410所述的。此外,转子810包括轴承部分818,其配置成与联接到毂860的轴承接合。照此,随着转子810相对于毂860和定子840转动,毂860可转动地支撑转子810(经由至少轴承部分818),如以上参照飞轮605所述的。

[0112] 磁体组件820联接到转子810的内表面。磁体组件820可以包括沿着转子810的内表面圆周布置的任何数量的磁体822。磁体822可以是任何适当类型的磁体,如本文所述的那些。在某些实施例中,磁体组件820的圆周布置的磁体可以形成磁体822环,如例如在图8中所示。例如,在某些实施例中,磁体822可以联接到磁体挡圈(未示出),其配置成固定磁体822并且将磁体822稳固地联接到转子810的内表面(例如,与图10的磁体挡圈724类似)。

[0113] 圆周布置的磁体822环中的每个都可以是任何适当数量的分段的磁体822。在某些实施例中,对磁体822的分段可以在转子810转动期间减小在磁体内的和/或由磁体以其它方式施加的应力(例如,剪切应力、穿透厚度的应力、环向应力和/或类似应力),如以上参照转子110(图1)所述的。如在图11中所示,圆周的磁体822环可以沿着转子810的纵向轴线布置在内表面的期望的分段处或上,使得圆周的磁体822环与定子840的电动机/发电机部分846基本对准。

[0114] 如在图12中所示,可以将磁体布置成使得每个磁体都具有在期望方向上对准的极性。例如,第一磁体822A具有在第一圆周方向上的极性;第二磁体822B与第一磁体822A相邻,并具有在第一径向方向上的极性;第三磁体822C与第二磁体822B相邻,并且具有在与第一圆周方向相反的第二圆周方向上的极性;并且第四磁体822D与第三磁体822C相邻,并且具有在与第一径向方向相反的第二径向方向上的极性。圆周的磁体822环可以包括以相同的极性模式布置的任何数量的磁体。因而,磁通可以在预定的磁通流动路径内在磁体822A、822B、822C和822D之间流动和/或通过磁体822A、822B、822C和822D流动。例如,在图12中所示的实施例中,磁体822可以布置成海尔贝克(Halbach)阵列或类似情况,其配置成例如沿着径向向内的方向指向磁通的流动,而同时使磁通沿着径向向外的方向的流动最小化。这种布置可以避免需要护铁或类似物,其以其它方式配置成限定磁通返回路径。照此,在磁体822之间流动的和/或通过磁体822流动的磁通可以与定子840的电动机/发电机部分846相互作用以产生电磁力,所述电磁力操作成使转子810相对于定子840转动或者在定子840的电动机/发电机部分846内感应电流。

[0115] 尽管在图11中未示出,转子810可以包括一组质量负载。质量负载可以是磁性的(例如,质量负载形成包含在磁体组件820中的磁体822的至少一部分),或者可以是惰性的(例如,非磁性的)并且与包含在磁体组件820中的磁体822不同。在某些实施例中,质量负载被分段,使得在相邻的磁体之间-沿着圆周方向或沿着轴向方向限定期望的距离。通过对质量负载分段,可以减小由离心效应所引起的、施加在质量负载上/或中的应力,如以上参照飞轮105、205、305、405和/或505所述的。

[0116] 如上所述,质量负载可以布置在轴向相邻的磁体822之间所限定的空间内。在某些实施例中,每个质量负载都可以具有与磁体组件820中的每个磁体的质量基本相等的质量,并且因而,质量负载和磁体组件820的磁体可以在转子810的内表面上施加基本均匀的压力。在其它实施例中,每个质量负载的质量和平均半径可以与磁体组件820中的每个磁体的质量和平均半径不同。换言之,质量负载可以具有与磁体组件820中的每个磁体的质量和径向厚度不同的质量和径向厚度。因此,在这样的实施例中,通过将质量和磁体的例如密度、径向厚度和局部加速度的乘积(其中,局部加速度等于质量的平均半径和转动速度的平方的乘积)“调谐”和/或匹配,可以在转子810的内表面上施加基本均匀的压力。因而,当质量负载和磁体组件820的磁体822基本整体上覆盖转子810的内表面时,质量负载和磁体组件820的磁体822随着转子810围绕其轴线转动而在转子810的内表面上施加基本均匀的压力。质量负载和磁体组件820在转子810的内表面上的布置引起与转子810的转动相关联的应力状态,所述应力状态不同于在没有质量负载的情况下以其它方式与转子810的转动相关联的应力状态。结果,可以增大转子810的转动速度,这继而增大与飞轮805相关联的能量密度,如以上参照至少飞轮105(图1)和/或飞轮205(图2)详细地说明的。

[0117] 分析与结果

[0118] 如以上参照具体实施例所述的,飞轮储能装置和/或系统可以包括配置成相对于定子转动的转子。飞轮的转子可以例如是被认为具有薄壁的环形圆筒。可以通过考虑到在轴向、径向和切向(环向)方向上的应力-应变关系来评估转子内的应力。通过在沿着转动轴线的给定的位置处进行评估(例如,假设单位轴向厚度),在给定的位置处的环向应力和径向应力可以根据其由以下等式3表示的应力-应变关系而是相等的:

$$[0119] \quad 0 = (\sigma_h - \sigma_r)(1 + \nu) + r \left( \frac{d\sigma_h}{dr} - \nu \frac{d\sigma_r}{dr} \right) \quad \text{等式 3}$$

[0120] 其中, $\sigma_r$ 是径向应力, $\sigma_h$ 是环向应力(也被称为“圆周拉伸应力”或“切向应力”),并且 $\nu$ 是泊松比。

[0121] 在使用中,飞轮的转子围绕其轴线转动。与转动相关的离心效应在转子的壁上产生压力,所述压力可以在假设单位轴向厚度的情况下根据环向应力和径向应力来评估,如由以下等式4所表示:

$$[0122] \quad \sigma_h - \sigma_r = \rho r^2 \omega^2 + r \frac{d\sigma_r}{dr} \quad \text{等式 4}$$

[0123] 其中, $\rho$ 是材料的密度(例如,形成转子的碳复合材料的密度), $r$ 是转子的半径,并且 $\omega$ 是转动速度。

[0124] 通过将等式4代入等式3中(并且积分、替代和简化),施加在转子上或转子中的径向应力和环向应力可以作为独立的函数被解出。此外,通过将在内半径和外半径处的转子的边界条件考虑为零,施加在转子上或转子中的径向应力和环向应力可以表达为如分别由以下等式5和等式6所表示的、给定的半径和给定的转动速度的两个单独函数:

$$[0125] \quad \sigma_r = \frac{(3+\nu)}{8} \rho \omega^2 \left[ R_i^2 + R_o^2 - \frac{R_i^2 R_o^2}{r^2} - r^2 \right] \quad \text{等式 5}$$

$$[0126] \quad \sigma_r = \frac{(3+\nu)}{8} \rho \omega^2 \left[ R_i^2 + R_o^2 + \frac{R_i^2 R_o^2}{r^2} - \frac{(1+3\nu)}{(3+\nu)} r^2 \right] \quad \text{等式 6}$$

[0127] 其中,  $R_i$  是转子的内半径, 并且  $R_o$  是转子的外半径。

[0128] 如上所述, 在某些实施例中, 飞轮可以包括具有任何适当数量的离散的质量的转子, 所述离散的质量配置成随着转子围绕轴线转动而在转子的内表面 (即, 内半径) 上施加力。在某些实施例中, 质量的布置使得在转子的内表面上施加基本均匀的压力。由与质量负载相关联的压力所引起的应力分配在转子上或转子中产生如作为压力的函数的径向应力和环向应力。由质量负载所产生的压力引起的环向应力可以等于由转子的转动速度引起的环向应力, 并且从而通过取代, 由质量负载引起的径向应力和环向应力可以如分别由以下等式7和等式8所示而表示为转动速度和转子的半径的函数:

$$[0129] \quad \sigma_r = -\rho_m r_m t \omega^2 \frac{R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \left( 1 - \frac{R_o^2}{r^2} \right) \quad \text{等式 7}$$

$$[0130] \quad \sigma_h = \rho_m r_m t \omega^2 \frac{R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \left( 1 + \frac{R_o^2}{r^2} \right) \quad \text{等式 8}$$

[0131] 其中,  $\rho_m$  是每个离散的质量的密度,  $r_m$  是离散的质量的平均半径,  $t$  是离散的质量的厚度,  $\omega$  是转子的转动速度,  $r$  是转子的给定的半径,  $R_i$  是转子的内半径, 并且  $R_o$  是转子的外半径。

[0132] 因此, 由离散的质量施加在转子上的有效压力由等式7和等式8中的首项表示, 其中有效质量负载压力等于  $\rho_m r_m t \omega^2$ 。如上所述, 由每个质量和由每个磁体所施加的有效质量负载压力可以被匹配和/或被均匀地分配在飞轮系统中, 使得基本均匀的压力作用在复合材料转子的内表面上。

[0133] 如由等式7和等式8所示, 质量加载转子的内表面可以改变复合材料转子在其转动时的应力状态。在某些情况下, 复合材料转子的质量负载可以促使将复合材料转子置于径向压缩下而不是径向张力下, 所述径向压力以其它方式由转动的离心效应引起。诸如碳纤维复合材料的复合材料典型地具有非常高的环向应力失效极限和明显更低的径向应力失效极限。因而, 复合材料转子通常由于径向应力而失效。然而, 通过质量加载复合材料转子, 复合材料转子可以置于径向压缩中, 这当与在径向张力下的其失效极限相比具有更高的径向应力失效极限 (例如, 高达20倍或更高)。因而, 通过将复合材料转子置于径向压缩下, 可以增大与转子的转动相关联的角速度, 所述角速度继而促使飞轮的能量和功率储存密度增大。

[0134] 例如, 图13至图16示出具有质量负载和没有质量负载的碳复合材料转子的应力状

态的曲线图。在这些实施例中,碳复合材料可以具有约5000磅/平方英寸(psi)的径向拉伸应力失效极限和约400000psi的切向(环向)应力失效极限。在这些示例中,转子具有7.5英寸(in.)的内半径和12英寸的外半径。

[0135] 例如,图13是示出作为转子的半径(例如,内半径为7.5英寸并且外半径为12英寸)的函数的碳复合材料转子中的径向应力的曲线图1000。如图所示,当质量加载时并且当以每分钟36000转(rpm)的转速转动时,复合材料转子内的径向应力在转子的内半径和外半径之间的每个径向位置处保持在5000psi的径向应力失效极限下。相比之下,在没有质量负载的情况下并且当以相同的36000rpm转动时,相同的复合材料转子内的径向应力超过介于约7.75英寸和约11.5英寸之间的5000psi的失效极限。这与其中转子在边界条件(例如,内半径为7.5英寸并且外半径为12英寸)下不经受应力的假设一致。如图所示,通过质量加载复合材料转子,当以约36000rpm转动复合材料转子时,飞轮可以产生或储存约94兆焦耳(MJ)的能量。

[0136] 图14是示出作为转子半径的函数的碳复合材料转子中的切向(环向)应力的曲线图2000。再次,转子以约36000rpm的转动速度转动。如图所示,通过质量加载复合材料转子,切向应力增大;然而,对于在转子的内半径和外半径之间的每个径向位置而言,切向应力保持在400000psi的切向应力失效极限以下。

[0137] 图15是示出在不对复合材料转子质量加载的情况下作为转子半径的函数的碳复合材料转子中的径向应力的曲线图3000。如图所示,在质量加载的情况下并且当以19000转每分钟(rpm)的速度转动时,复合材料转子内的径向应力在转子的内半径和外半径之间的每个径向位置处保持在5000psi的径向应力失效极限下。更具体地,径向应力在转子的约中心处逼近5000psi极限。因而,与当质量加载时的36000rpm相比,在没有质量加载的情况下,复合材料转子在19000rpm下逼近5000psi的径向应力极限。结果,当以19000rpm转动时,飞轮可以仅产生或储存约22.2MJ的能量。

[0138] 图16是示出在不对复合材料转子质量加载的情况下作为转子半径的函数的碳复合材料转子中的切向(环向)应力的曲线图4000。再次,转子以约19000rpm的转动速度转动。如图所示,复合材料转子内的切向应力保持远低于对于转子的内半径与外半径之间的每个径向位置的400000psi切向应力失效极限。更具体地,最大切向应力保持低于100000psi,从而转子几乎不受在切向方向上的复合材料转子的高强度的影响。因而,如在图13至图16中所示,对复合材料转子的质量加载可以允许转子以更高的速度转动,这继而当与非质量负载的复合材料转子相比时引起更高的储能密度。

[0139] 虽然以上已经说明了各种实施例,但是应当理解,它们仅作为示例而非限制地呈现,并且可以进行形式和细节的各种改变。在上述示意图和/或实施例指示以某些方向或位置布置的某些部件的情况下,可以修改部件的布置。虽然已经具体地示出和说明了实施例,但是应当理解,可以进行形式和细节的各种改变。

[0140] 除了相互排斥的组合之外,本文所述的设备和/或方法的任何部分可以以任何组合来组合。本文所述的实施例可以包括所说明的不同实施例的功能、部件和/或特征的各种组合和/或子组合。例如,用于电磁机器的结构可以包括与参照具体实施例所示的那些不同的量和/或组合的磁体、质量、定子部分等。

[0141] 另外,应当理解,在本文中针对各种实施例中的每个所说明的特征、部件和方法可

以在各种不同类型的电磁机器中实现,所述电磁机器例如是轴向和径向机器,其可以支持转子组件相对于定子组件的转动运动。

[0142] 在上述方法和/或事件指示以某种顺序发生的某些事件和/或程序时,可以修改某些事件和/或过程的顺序。另外,某些事件和/或过程可以在并行过程中被同时执行,以及如上所述被依次执行。

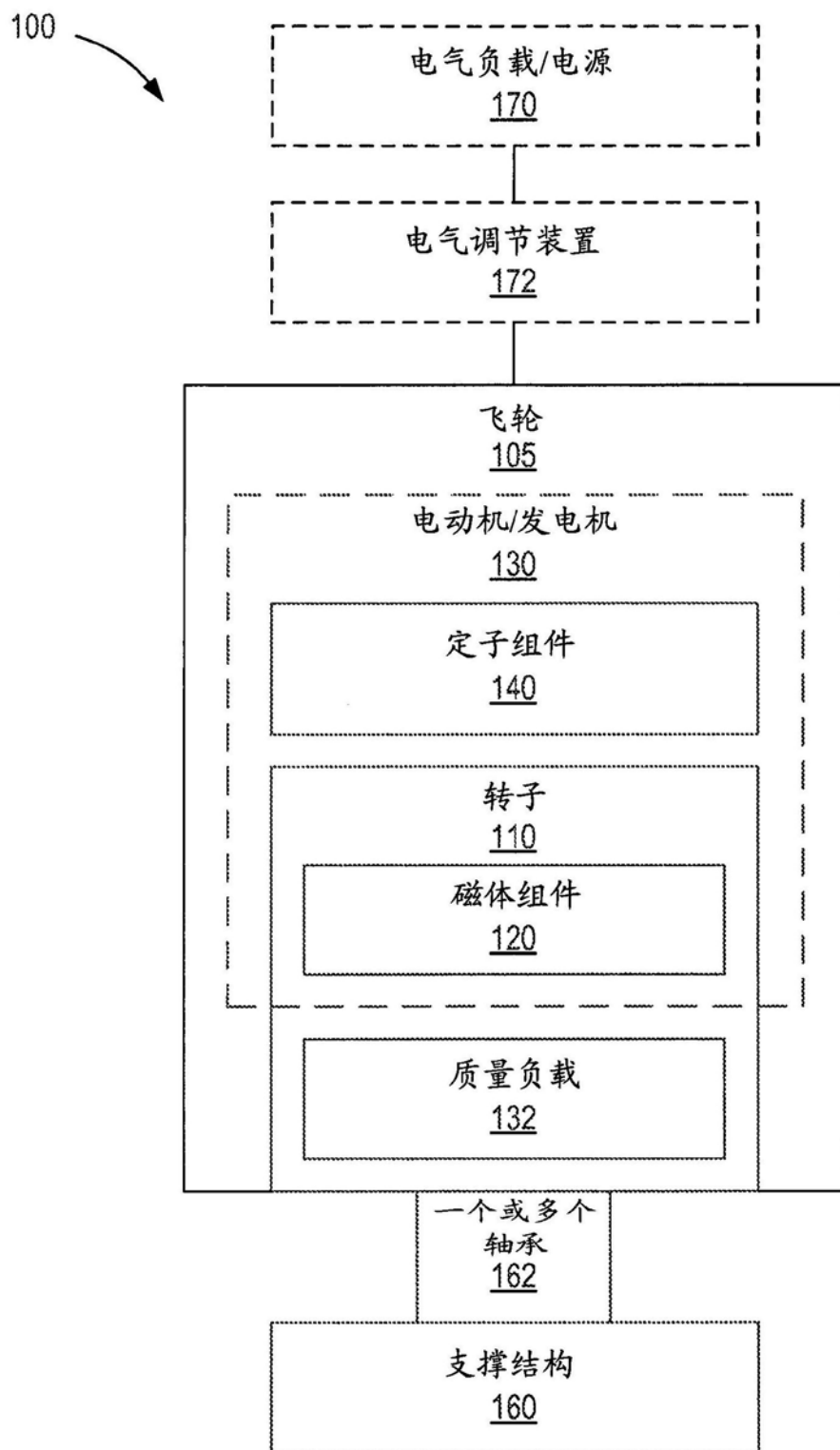


图1



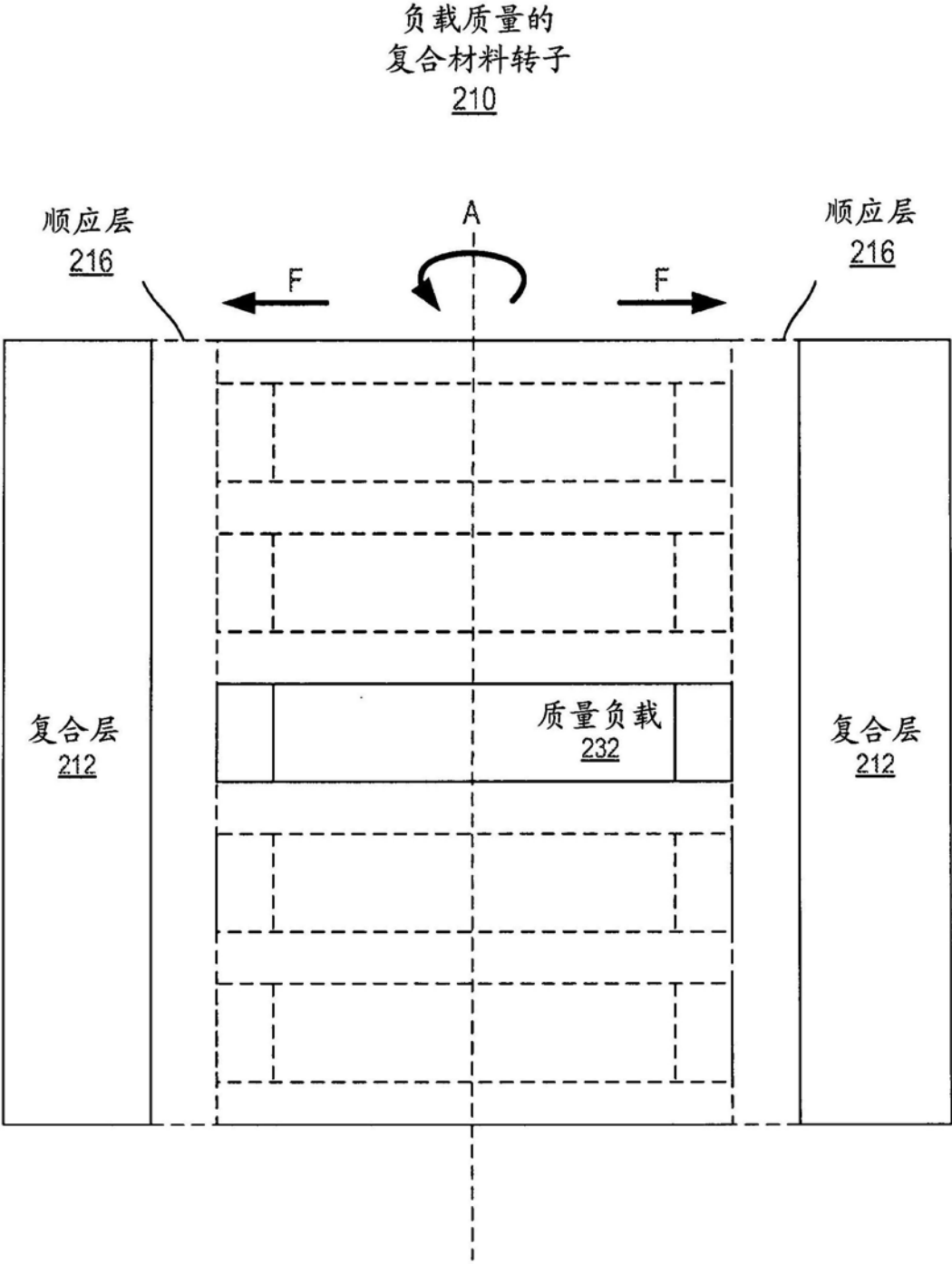


图2







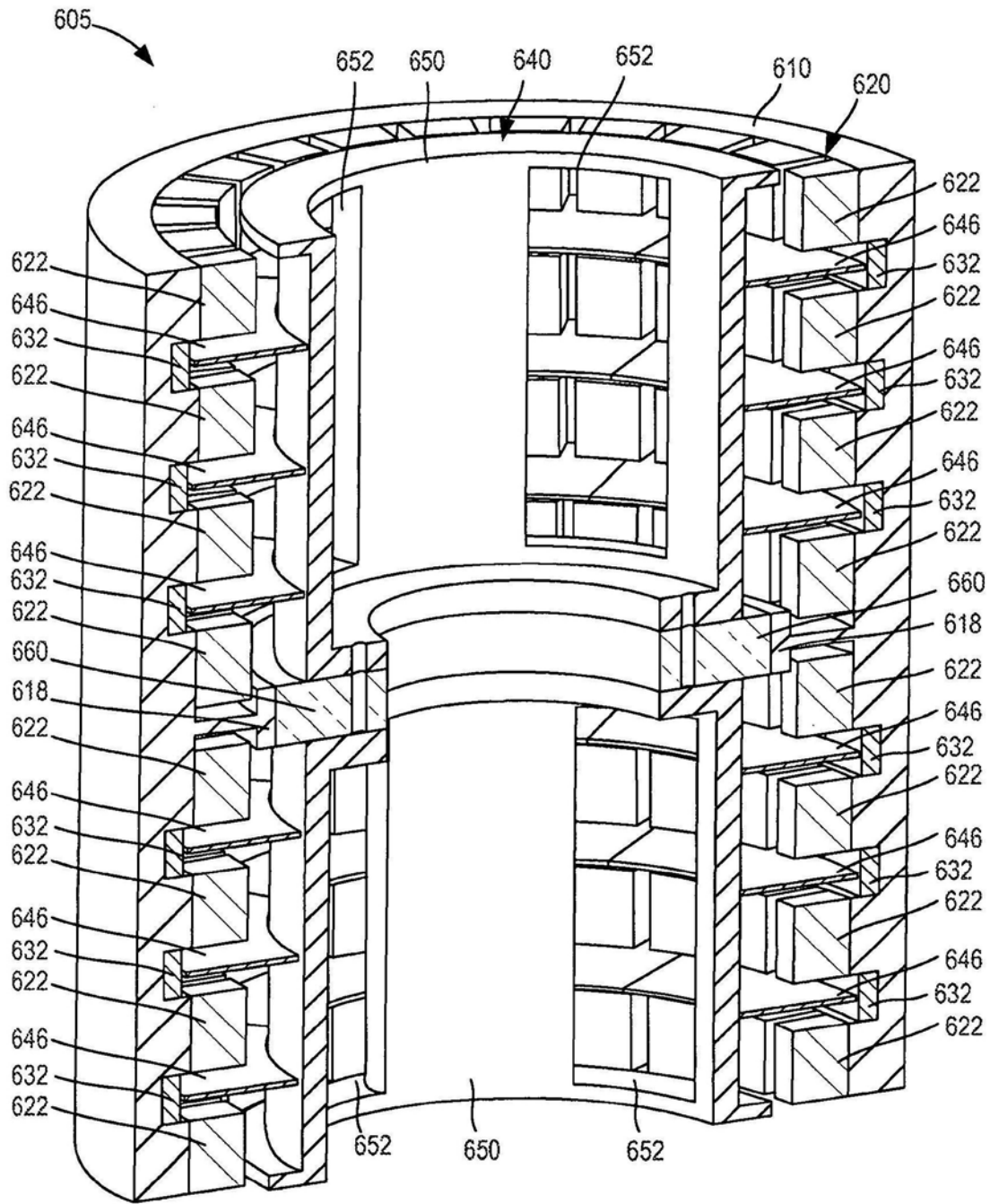


图6

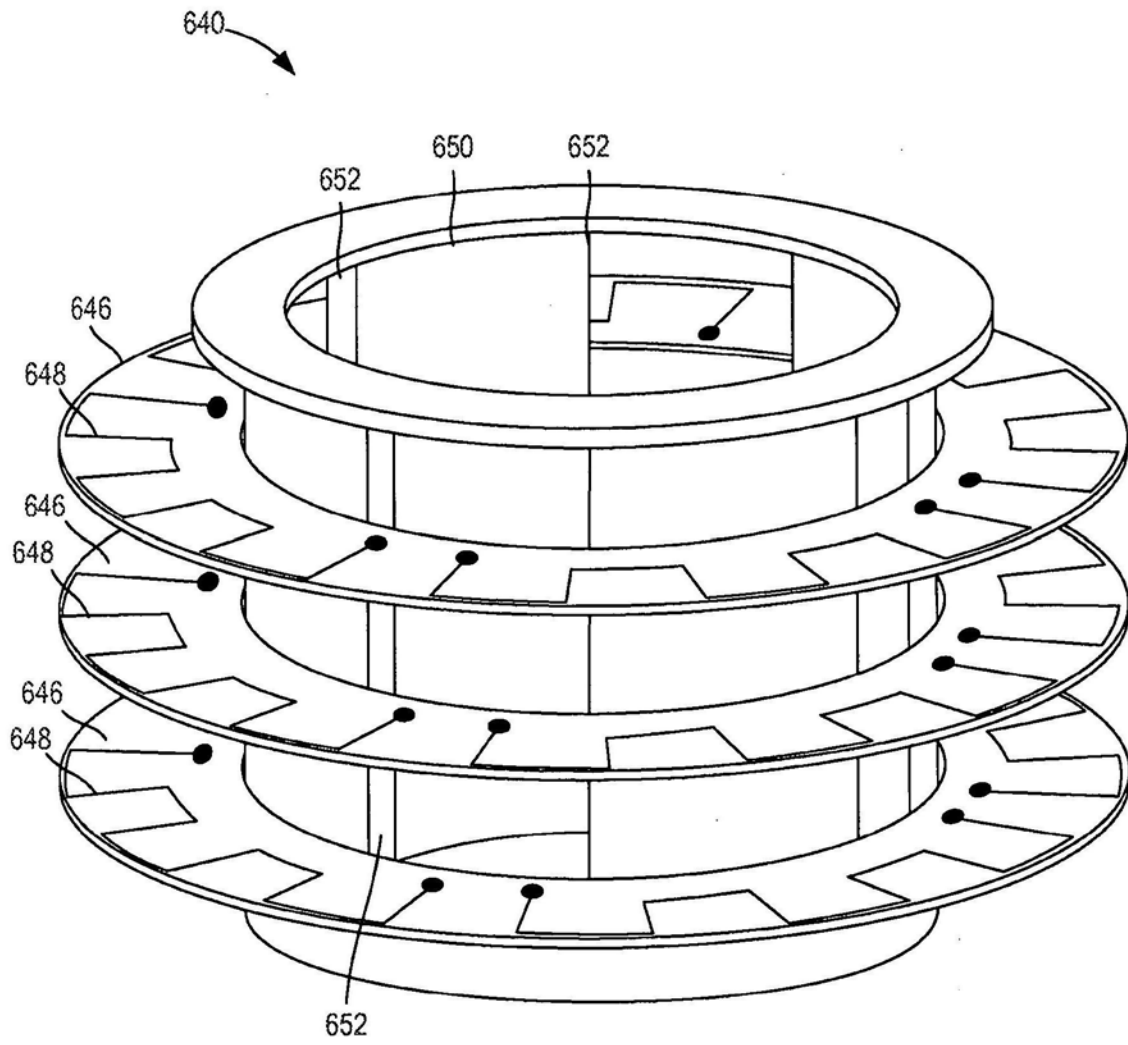


图7

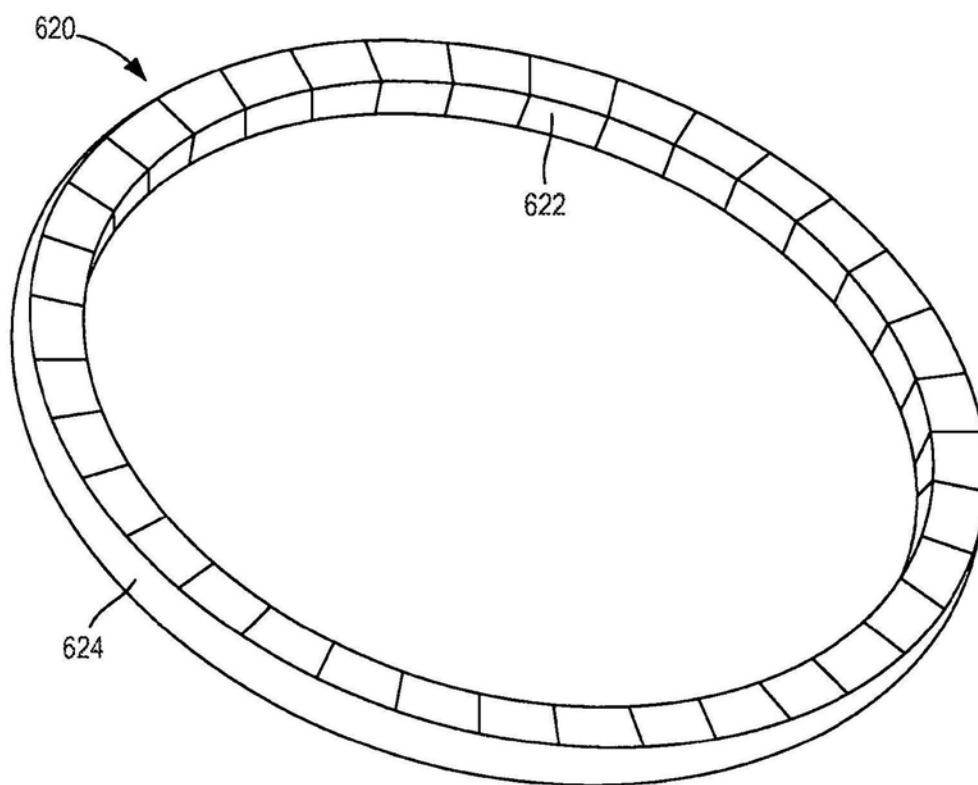


图8

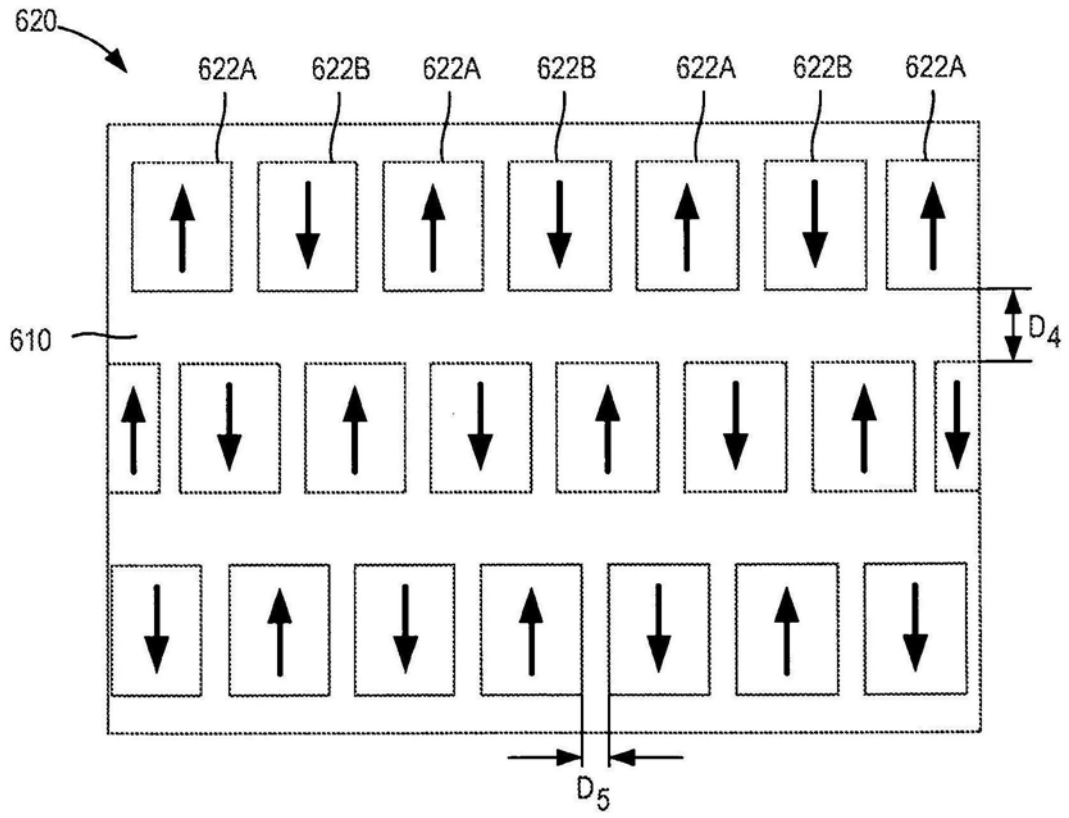


图9



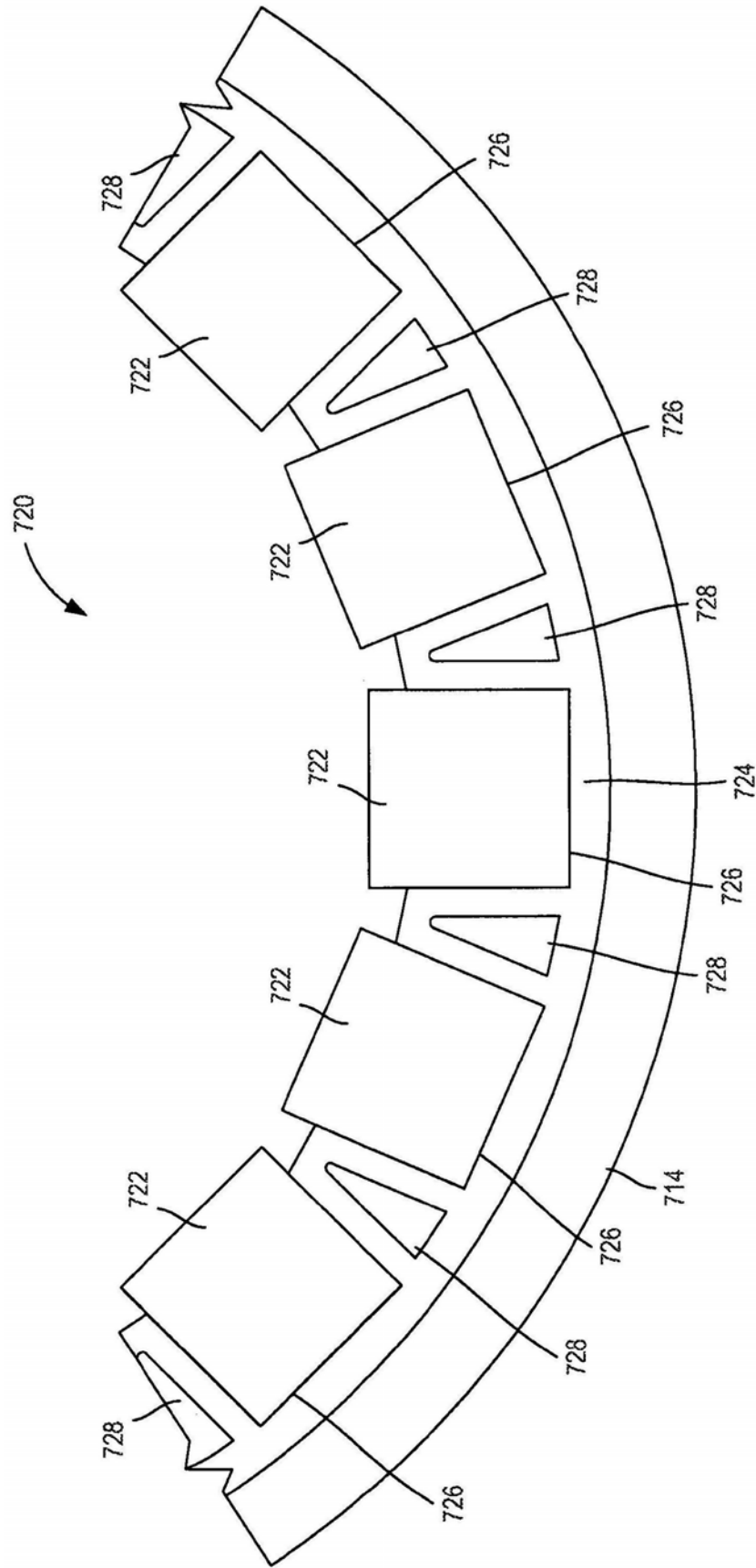


图10

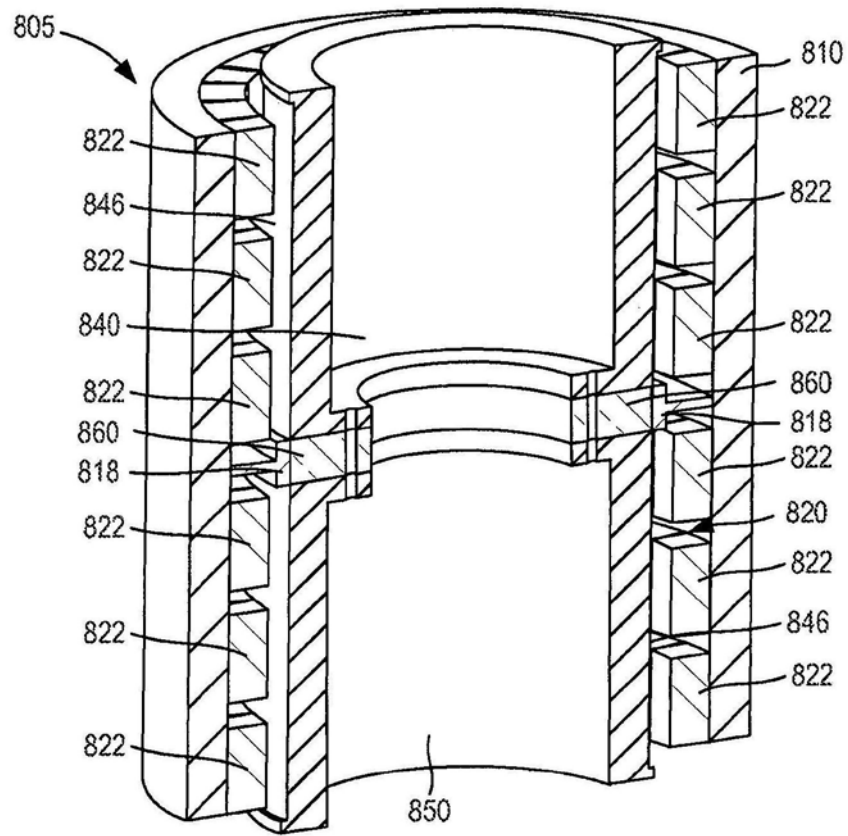


图11

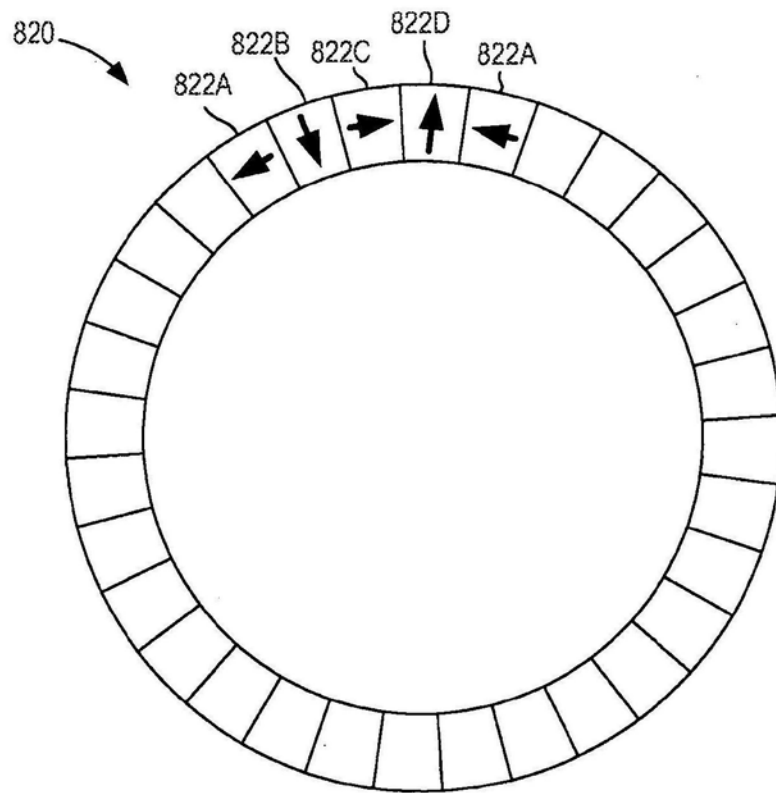


图12

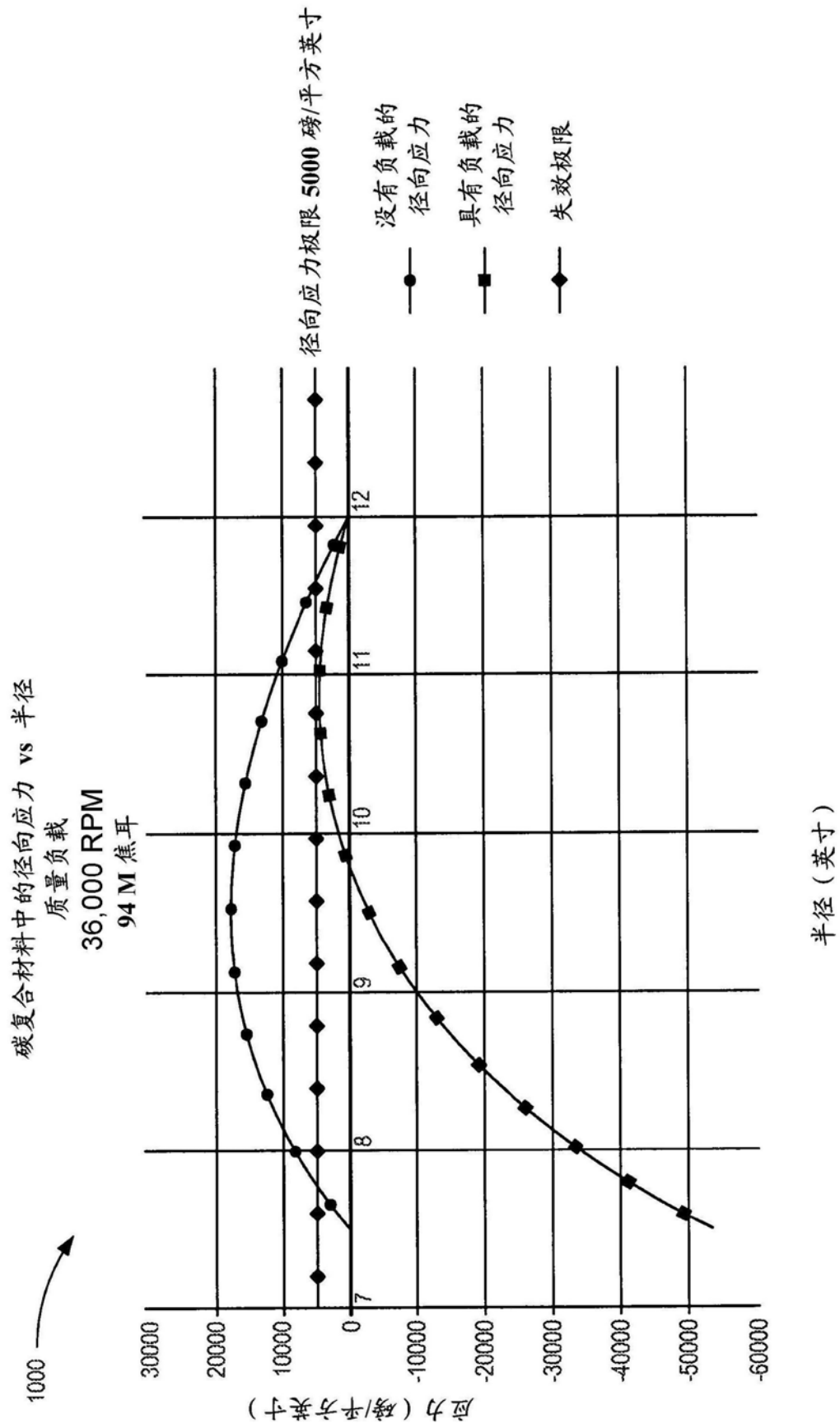


图13

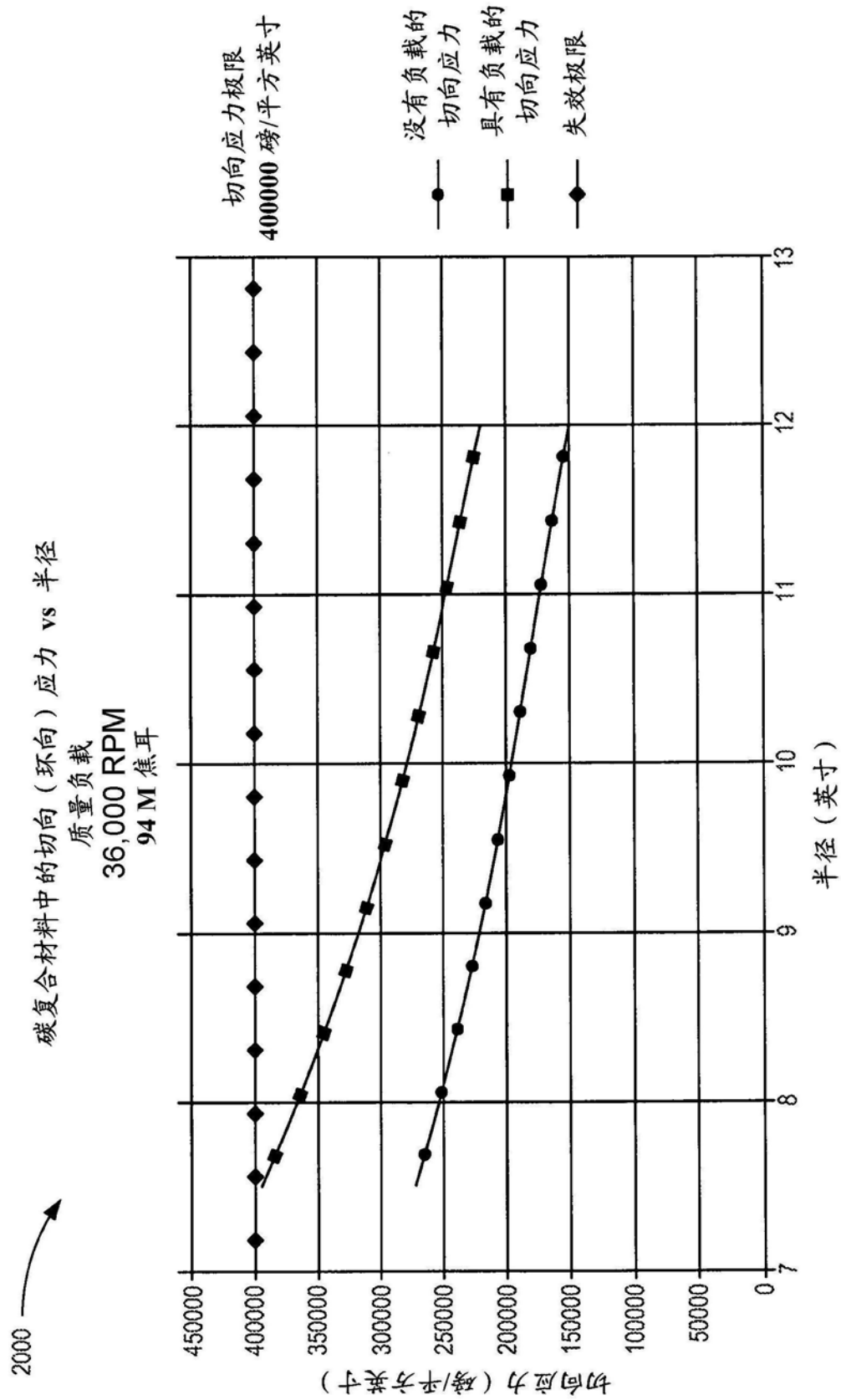


图14

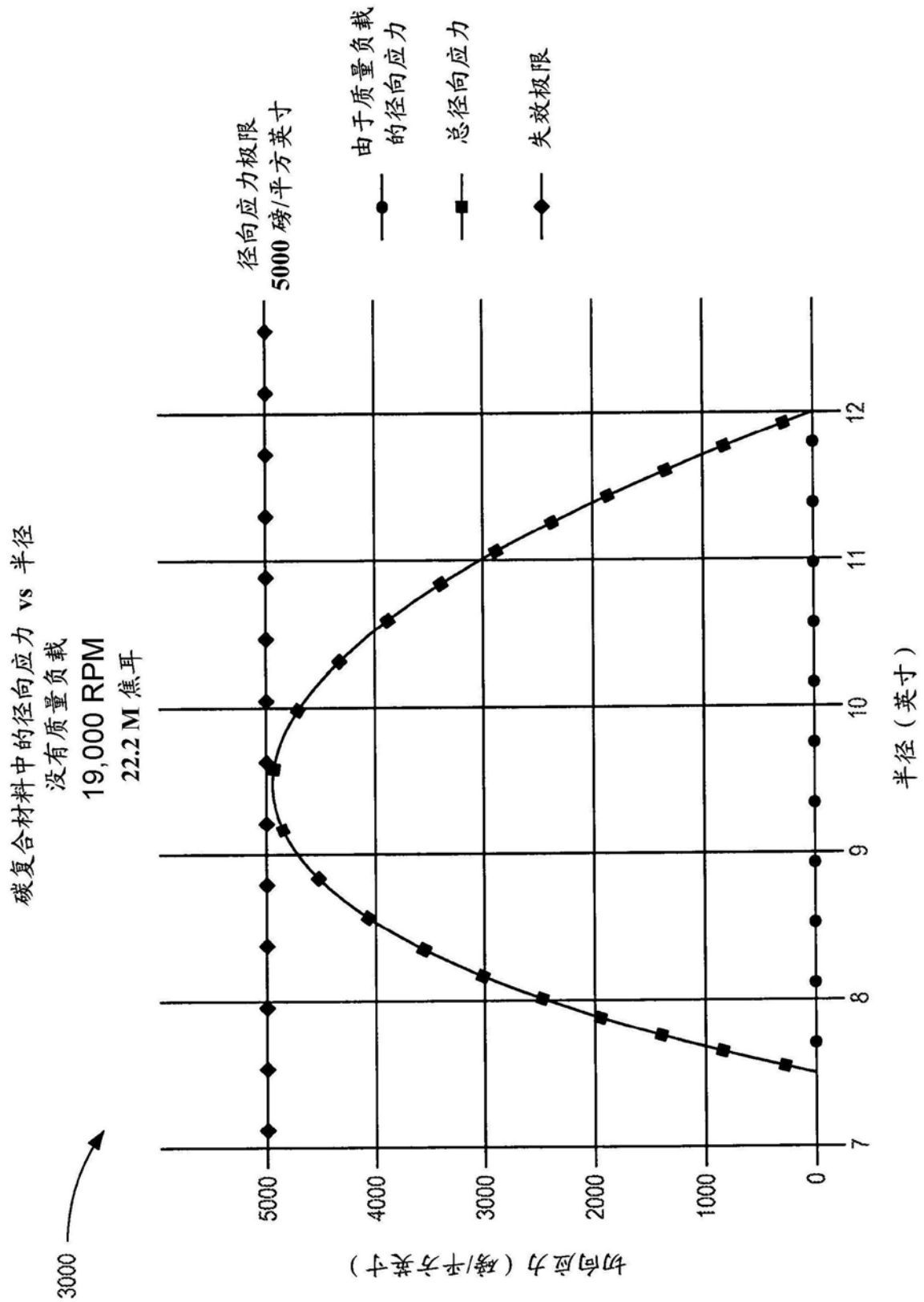


图15

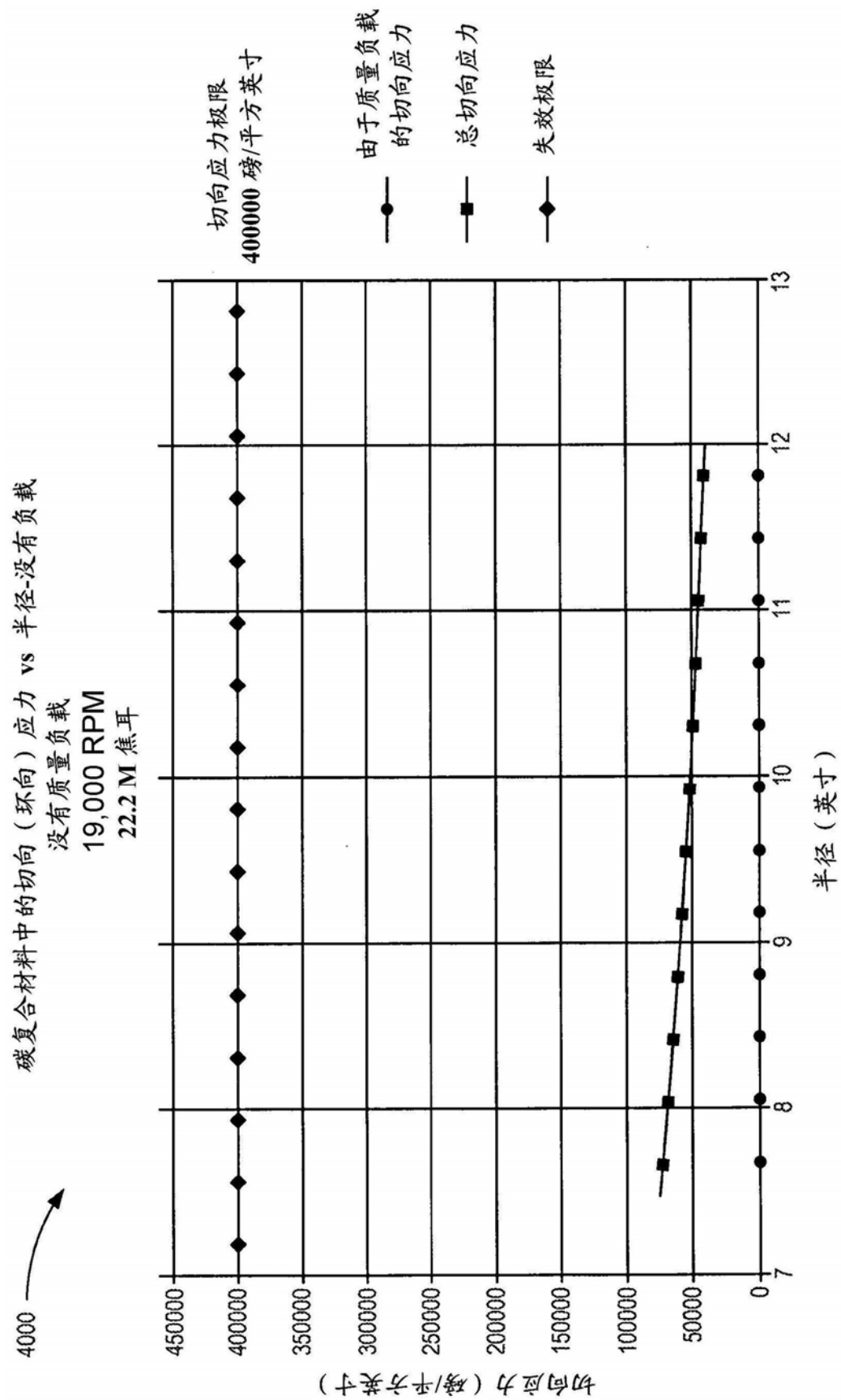


图16