

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710160950.0

[51] Int. Cl.

F02C 7/32 (2006.01)
F02C 7/36 (2006.01)
H02K 7/18 (2006.01)
H02K 1/12 (2006.01)
H02K 1/22 (2006.01)
H02M 5/293 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 6 月 18 日

[11] 公开号 CN 101201017A

[22] 申请日 2007. 12. 11

[21] 申请号 200710160950.0

[30] 优先权

[32] 2006. 12. 13 [33] US [31] 11/610115

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 A·M·F·埃尔-雷菲 吴 畏
J·M·凯恩

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 刘华联

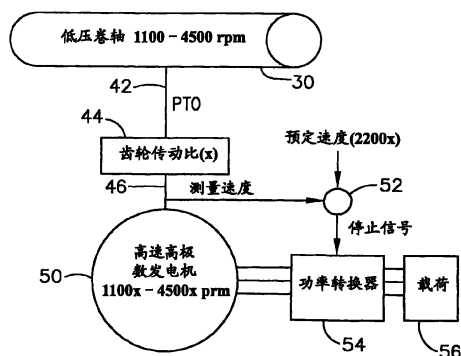
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

高速高极数发电机

[57] 摘要

一种用于从涡轮发动机(10)的低压(LP)涡轮卷轴(30)中产生辅助电力的系统,包括高速高磁极数的发电机(50)、变速箱(44)、控制器(52)和功率转换器(54)。LP 涡轮卷轴(30)通过用于驱动发电机部分(50)的变速箱(44)机械地联结到发电机部分(50)上。控制器部分(52)具有用于检测 LP 涡轮速度的速度感应元件。控制器部分(52)使得功率转换器(54)当发电机(50)超出预定速度时停止下来,而当发电机部分(50)低于或等于该预定速度时启动功率转换器(54)。当 LP 涡轮卷轴(30)超出该预定速度时,发电机(50)上的有效载荷下降至接近于零,从而允许发电机(50)电限制到高达该预定速度并且机械地限制到超过该预定速度。



1. 一种用于从涡扇发动机的低压(LP)涡轮卷轴中产生辅助电力的系统,所述系统包括:

用于产生电力的发电机部分(50),用于驱动所述发电机部分(50)的变速箱(44),用于控制所述发电机(50)的输出的控制器部分(52);和用于转换发电机电力以便向载荷提供动力的功率转换器(54);

低压涡轮卷轴(30),所述低压涡轮卷轴(30)通过用于驱动所述发电机部分(50)的所述变速箱(44)机械地联结到所述发电机部分(50)上;和

控制器部分(52),所述控制器部分(52)与用于检测所述低压涡轮卷轴(30)速度的速度感应元件电连通;

其中,在发动机(10)运转期间,所述控制器部分(52)构造成响应所述发电机部分(50)的速度超出预定速度时使得功率转换器(54)停止下来,并当所述发电机部分(50)的速度未超出所述预定速度时启动所述功率转换器(54),使得当所述低压涡轮卷轴(30)超出所述预定速度时,所述发电机部分(50)上的有效载荷下降至接近于零。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)具有速度和高磁极数,并且所述磁极数制约所述发电机部分(50)的速度以免超出所述功率转换器(54)的基本频率界限。

3. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述功率转换器(54)为电主动功率转换器。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述基本频率界限由最大脉冲宽度调制(PWM)频率所确定,所述脉冲宽度调制频率可在所述功率转换器(54)中获得。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)在飞机空转下降期间主动发电,所述空转下降与低于或等于所述预定速度的发动机速度相关联,并且当所述发电机(50)超出所述预定速

度时,所述发电机(50)以接近于零的载荷被动地旋转。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)具有处于大约 1100 倍的所述变速箱(44)的传动比至包括 2200 倍的所述变速箱(44)的传动比之间的主动发电速度范围;并且具有大于 2200 倍的所述变速箱(44)的传动比至大约 4500 倍的所述变速箱(44)的传动比的被动旋转速度范围。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述变速箱(44)的传动比处于 5 至 10 的范围内。

8. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)具有十个磁极(64)和十二个定子绕组。

9. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)具有多个邻近的非重叠的磁极对(64)。

10. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述发电机部分(50)具有定子护铁部分(68a)和转子护铁部分(68b),所述定子护铁部分(68a)和所述转子护铁部分(68b)相对于低磁极(64)数的发电机(50)具有大大减小的厚度。

高速高极数发电机

技术领域

本发明涉及一种用于燃气涡轮发动机的发电机，更具体地涉及一种具有高极数(pole count)的高速发电机。

背景技术

燃气涡轮发动机通常包括一个或多个压缩机，该一个或多个压缩机依次紧接着燃烧室和高压涡轮及低压涡轮。这些发动机部件布置成连续地流动连通并设置在环形外壳内的发动机的纵轴中心线附近。在操作期间压缩机通过各自的涡轮和压缩机空气进行驱动。压缩机空气与燃料相混合并在燃烧室内点燃以便产生热的燃烧气体。燃烧气体流经高压涡轮和低压涡轮，该高压涡轮和低压涡轮提取热的燃烧气体所产生的能量以便驱动压缩机，并产生附属的输出功率。

发动机动力作为轴动力或推力被传送以便向飞行中的飞机提供动力。例如，以其它的可旋转载荷诸如旁通涡扇发动机中的风扇转子或者燃气涡轮螺旋桨发动机内的螺旋桨，自高压涡轮和低压涡轮中提取动力以便驱动各自的风扇转子或螺旋桨。

很好理解，涡扇发动机的单独部件在操作中要求不同的动力参数。例如，风扇旋转速度一定程度上受制于尖端速度，而由于风扇直径很大，旋转速度则必须很低。另一方面，核心发动机由于其小得多的尖端直径而可以较高的旋转速度驱动。因此，需要具有独立的动力传输设备的分离的高压涡轮和低压涡轮，以便驱动飞机燃气涡轮发动机内的风扇和核心压缩机。此外，由于涡轮在较高旋转速度时效率最高，故驱动风扇的较低速度的涡轮需要额外的级以便提取必要的动力。

许多新的飞机系统设计成供应(accommodate)远远大于当前飞机系统上所能供应的电力载荷(electrical load)。当前正在研制的商用客机设计的电力系统规格要求两倍于当前商用客机的电力。这种提高的电力需求必须是源自于从向飞机提供动力的发动机中所提取的机械动力。当以相对低的动力水平操作飞机发动机时,例如空转地自飞行高度下降时,从发动机的机械动力中提取这种额外电力可降低正确运转发动机的能力。

传统地,从燃气涡轮发动机中的高压(HP)发动机卷轴(spool)中提取电力。HP 发动机卷轴相对高的运转速度使其成为理想的机械动力源以便驱动连接到发动机上的发电机。然而,为了驱动发电机需要从发动机内的额外源中抽取动力而不是独自地依赖于 HP 发动机卷轴。尽管低压(LP)发动机卷轴提供了备选的动力传送源,但 LP 发动机卷轴相对较低的速度通常要求使用变速箱,因为低速发电机常常大于以较高速度运转的相似的额定(rated)发电机。

然而,当发动机以相对低的动力水平运转时(例如,以或接近空转地从飞行高度下降,用于滑行(taxi)的低动力等)从其中提取该种额外的机械动力会引起发动机运转性能的下降。传统地,该动力从高压(HP)发动机卷轴中提取。高压发动机卷轴相对高的运转速度使其成为理想的机械动力源以便驱动装接在发动机上的发电机。然而,有时需要通过经由一些其它装置传送扭矩和动力以便增加在该卷轴上可获得的动力数量。

对于该转换存在许多可能的解决方案,包括各种类型的常用变速器、机械传动装置以及电动机械构造。一种这样的解决方案是涡轮发动机,该涡轮发动机采用第三的中间压力(IP)卷轴以便独立地驱动发电机。然而,该第三卷轴有时也要求联结到 HP 卷轴上。用来联结 IP 卷轴和 HP 卷轴的装置为机械联轴器(clutch)或粘性类型的联结机构。

2005 年 5 月 24 日公布的标题为“具有扭矩调制能力的差动齿轮

涡轮发动机”的美国专利号 6895741，公开了一种具有三个轴的机械齿轮传动发动机。风扇、压缩机和涡轮轴通过应用额外的行星齿轮配置被机械地联结。有效齿轮比根据电磁机器和功率变换器的使用而是可变化的。

高速电机差不多总是制造成具有低的极数，以免磁性材料在引起转子设计效率低下的较高频率时经历过多的磁芯损耗。这主要地涉及到当前绝大多数的转子所使用的软材料为硅铁合金的事实。众所周知，在常用的硅铁基材料中以大于 400Hz 左右的频率改变磁场所产生的损耗会导致材料发热，常常会达到不能通过任何适当方法进行冷却的程度。

发明内容

本发明涉及一种用于高速发电机的新的系统和设备，该高速发电机能机械地旋转高达非常高的速度但会产生基于较低旋转速度时的电力。通常，高速发电机设计的其中一个关键限制在于磁极的数量，因为它决定了基本的电频率以及因此造成的功率转换器 PWM 频率。PWM 频率不能超出特定限制以便将转换器开关损耗保持在可接受范围内。磁极数量对定子护铁(back iron)的尺寸和转子护铁的尺寸以及因此造成的发电机的尺寸和重量具有重大影响。具有高磁极数量的发电机必须体积小且重量轻以便保持在通过转换器运转而施加的频率限制内。此外，高的磁极数量允许使用容错的齿形绕组构造，这在各种应用中尤其是在航空航天应用中很关键。如果以宽的速度范围(在直接驱动构造中)运转的电机仅要求产生超过其宽的速度范围内的较窄部分的电力，建议增加速度以便磁极数量仅由用于发电的最高速度时的频率所限定。电机仍能机械地旋转到高达最高速度。速度的增加将会有助于减小电机的尺寸。在低得多的速度时限定频率将允许使用较高的磁极数量，这将对电机尺寸和重量的减小具有重大影响。该电机可以为任何类型，例如开关磁阻、永磁体等。而

且,该电机可联合以双面双转子发电机或单定子双转子发电机形式的其它电机以便进一步减小整体系统尺寸和重量。该电机可以是径向磁通电机或轴向磁通机器。

发动机内的另一动力源为低压(LP)卷轴,该低压卷轴通常以比高压(HP)卷轴低很多并在相对较宽速度范围内的速度运转。不转换地分出(tap)该低速机械动力源通常会产生不实用的大的发电机。LP 卷轴具有较宽的运转速度范围,通常为 1100rpm 至 4500rpm,然而,LP 发电机可在空转下降期间相应于 2200rpm 左右时要求发电,即使其因为不能脱离 LP 卷轴而仍将旋转高达 4500rpm。一种减小发电机尺寸的方法是通过例如使用变速箱逐步增大速度范围,以便该电机尺寸设置成用于相同动力的较小扭矩。由于主动功率转换器控制发电机,故为了降低转换器开关损耗以及因此获得良好的整体系统效率而在转换器 PWM 频率上施加实际限制。对 PWM 频率的该种限制限定了最大电机基本频率的界限,该最大电机基本频率又限定了磁极数量。如果该界限在较低速度时施加,则电机可具有较高的磁极数量,从而引起定子部分和转子部分的护铁厚度的减小。因此,减小了作为航空航天应用中的重要参数的整体电机尺寸和重量。

本发明涉及一种从涡扇发动机的低压(LP)涡轮卷轴中产生辅助电力的系统。该系统包括高速高磁极数的发电机、变速箱、控制器和功率转换器。LP 涡轮卷轴通过用于驱动发电机部分的变速箱机械联结到发电机部分上。控制器部分具有速度传感元件以便检测 LP 涡轮速度。控制器部分使得功率转换器在发电机超出预定速度时停止下来,并在发电机部分低于或等于该预定速度时启动功率转换器。当 LP 涡轮卷轴超出预定速度时,发电机上的有效载荷下降至接近于零,从而允许发电机电限制到高达该预定速度并且机械地限制到超过该预定速度。

本发明还涉及从涡扇发动机的低压(LP)涡轮卷轴中产生辅助电力的系统,该系统具有用于产生电力的发电机部分,该发电机部分具

有定子护铁部分和转子护铁部分，该定子护铁部分和该转子护铁部分相对于低磁极数发电机具有大大减小的厚度。该系统还包括用于驱动发电机部分的变速箱、用于控制发电机输出的控制器部分、用于转换发电机电力以便向载荷提供动力的功率转换器以及通过用于驱动发电机部分的变速箱机械联结到发电机部分上的 LP 涡轮卷轴。该系统进一步包括与用于检测 LP 涡轮卷轴速度的速度感应元件电连通的控制器部分。在发动机运转期间，控制器部分构造成响应发电机部分的速度超出预定速度时使得功率转换器停止下来，并在发电机部分的速度未超出该预定速度时启动功率转换器，以便当 LP 涡轮卷轴超出该预定速度时，发电机部分上的有效载荷下降到接近于零。

本发明的优点在于使用的磁极数量大于常用相关装置的磁极数量，这使得集中隔离的电枢绕组切实可行并展现出增强的容错特性。为了更进一步减小整体发电机的重量，高速发电机可联合以双面双转子构造或单定子双转子构造形式的其它 HP 卷轴发电机。

另一优点在于从 LP 卷轴和 HP 发电机与 LP 发电机的联合中提取电力的能力，以便大大减小发电机的重量和尺寸。

结合通过以示例的方式说明了本发明原理的附图，并根据下文中对优选实施例更为详尽的描述，将会清楚本发明的其它特征和优点。

附图说明

图 1 为示范性飞机涡扇燃气涡轮发动机的纵截面示意图。

图 2 为本发明发电机传动链的示意图。

图 3 为发电机主动速度范围和被动速度范围的简图。

图 4 为现有技术的低极数永磁体电机的示意图。

图 5 为本发明的高极数永磁体电机的示意图。

图 6 为现有技术的具有分布重叠绕组的低极数永磁体电机的示意图。

图 7 为本发明的具有集中非重叠绕组的高极数永磁体电机的示意图。

图 8 为联合由 HP 涡轮驱动的另一发电机的高速高极数进行构造的发电机的备选实施例。

具体实施方式

图 1 示出了示范性涡扇发动机 10，该涡扇发动机 10 具有总体上轴向延伸的轴线或总体上沿前向 14 和后向 16 延伸的中心线 12。旁通涡扇发动机 10 包括核心发动机 18(也称作气体发生器)，该核心发动机 18 包括高压压缩机 20、燃烧室 22 和具有一排高压涡轮叶片 24 的高压涡轮(HPT)23，所有的都布置成连续的轴向流动关系。高压压缩机 20 的高压压缩机叶片 64 通过较大直径的环形核心发动机轴 26 以传动接合的方式固定连接到高压涡轮叶片 24 上，该环形核心发动机轴 26 关于发动机 10 的中心线 12 同轴设置从而形成高压卷轴 21。

核心发动机 18 内的燃烧室 22 将来自高压压缩机 20 的压缩空气与燃料混合并点燃随之产生的燃料和空气的混合物以便产生燃烧气体。通过高压涡轮叶片 24 从这些气体中提取了若干功从而导致叶片 24 旋转，并且通过该旋转驱动了高压压缩机 20。燃烧气体从核心发动机 18 中排出进入到具有一排低压涡轮叶片 28 的动力涡轮或低压涡轮(LPT)27 中。低压涡轮叶片 28 固定装接到较小直径的环形低压轴 30 上，该环形低压轴 30 关于发动机 10 的中心线 12 同轴设置，从而在核心发动机 26 内形成低压卷轴 29。低压轴 30 转动发动机风扇段 35 的轴向间隔开的第一级风扇 31 和第二级风扇 33。第一级风扇 31 和第二级风扇 33 分别包括通常径向向外延伸和周向间隔开的第一级风扇叶片 32 的第一级排和第二级风扇叶片 36 的第二级排。

风扇旁通导管 40 界定(circumscribe)了第二级风扇 33 和核心发动机 18 的范围。从低压涡轮 27 排出的核心排出气流 170 与从风扇旁通导管 40 排出的旁通气流 178，经由后部可变区域的旁通喷射器

(VABI)53 混合。混合发生在尾管 69 内,在该尾管 69 内形成了经由可变区域的废气喷嘴 122 排出的废气流。可选的后燃室 130 可用来提高发动机 10 的推力势能。

接着参照图 2,本发明的电磁发电机 50 经由连接轴 46 与变速箱 44 联结。变速箱 44 通过 LP 卷轴 30 经由动力输出装置(PTO)42 进行驱动。指定变速箱 44 的传动比为 x 。传动比 x 通常为 5 至 10 范围内的乘数,然而若需要时该范围对于特定应用而言可或高或低。电磁发电机设计成机械地以高达 $4500x$ 转/分钟(rpm)的速度旋转。在飞机的空转下降期间,当发动机 10 在 1100rpm 至 2000rpm 范围内运转时,要求发电机产生高达 $2200x$ rpm 的电力。在正常的飞行运转期间,发动机 10 在 2200rpm 至 4500rpm 的较高速度范围内运转。

当发电机 50 以超过 $2200x$ rpm 的速度通过变速箱 44 驱动时,发电机控制器 52 停止连接到发电机输出上的功率转换器 54 的工作,例如通过使用接触器或通过停止通向功率转换器内半导体装置的门信号,从而有效地将发电机 50 上的载荷 56 降低至零。这允许机器以高速运转而同时又具有高的磁极数量,由此防止了发电机 50 超出 $2200x$ rpm 的基本频率界限。基本频率界限由可在电主动功率转换器(electrical active power converter)内获得的最大实际脉冲宽度调制(PWM)频率所施加。根据电力水平,基于所使用半导体装置的开关能力(switching capabilities)和可获得的功率转换器的热管理,设定对 PWM 频率的限制。开关损耗与 PWM 成比例地增加,从而影响了功率转换器效率和系统效率。而且,较高的 PWM 频率产生更多的热量,因而要求较大的冷却能力。高的磁极数量允许使用实质上容错的集中隔离的电枢绕组。

图 3 图解示出了主动发电的速度范围同发电机 50 处于被动机械旋转模式时速度范围的对比。主动速度范围 200 优选出现在 1100x 和 $2200x$ 之间,这如上文所指定的那样为空转下降期间发动机 50 的正常运转范围。被动速度范围 202 大于 $2200x$ 并高达 $4500x$ 左右,

这为正常飞行时的发动机速度。

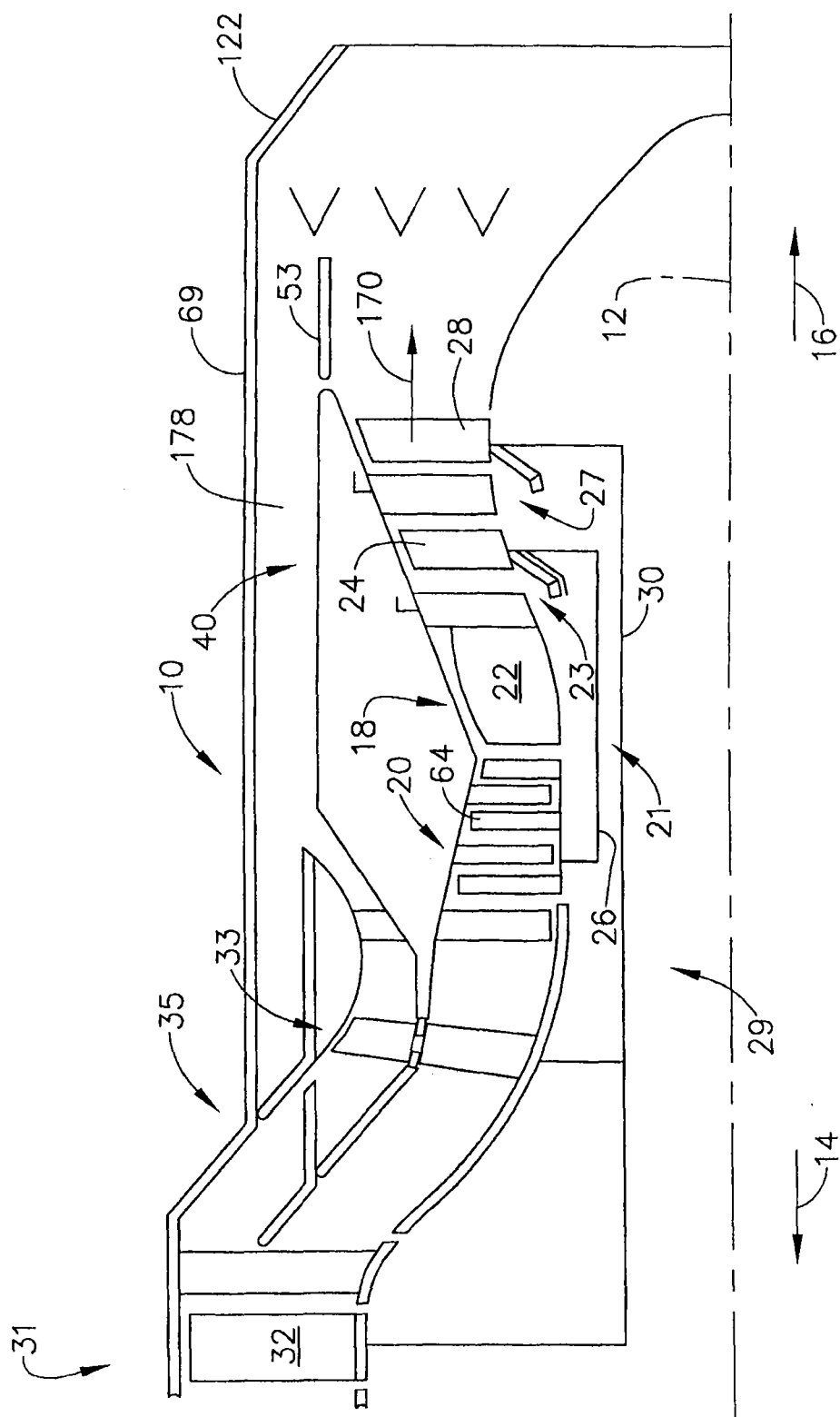
在图中所示的实施例 50 中，发电机 50 为永磁体，但该发电机 50 可以是任何类型的适当的发电机例如但不局限于像开关磁阻、永磁体、缠绕场(wound-field)和其它构造，以及径向磁通电机或轴向磁通电机。而且，发电机 50 可具有任意相数。

接着参照分别示出了现有技术的定子和转子以及本发明的定子和转子的图 4 和图 5，其说明了减小尺寸的定子和转子护铁。图 4 中，示出了具有十二个开槽 62 和四个极 64 的低极数电机 60。开槽由邻近的齿形部分 67 所限定。极 64 附在转子护铁 68a 上，而开槽 62 接收极绕在定子齿形部分 67 周围的绕组(未示出)。齿形部分 67 自定子护铁 66a 径向向内延伸。相反地，在图 5 中，本发明的高极数发电机 50 具有十二个开槽 62 和十个极 64。高极数发电机 50 内的定子护铁 66b 和转子护铁 68b 相对于低极数发电机 50 大大减小了厚度。由于极数和每极的磁通之间的反向关系(也就是极数越高，每极的磁通越低)，可获得减小的尺寸。较低的磁通/极需要较少的护铁以便容纳相同的磁通密度。

接着参照图 6 和图 7，为对比目的示出了现有技术的电机示例和高极数发电机。在图 6 的低极数电机中，示出了现有的分布重叠绕组以及本发明的分布重叠绕组。指定为 A、B 和 C 的相绕组示出为相互重叠。例如，相绕组 A 在开槽(s1)和开槽(s4)之间连接；相绕组 B 在开槽(s2)和开槽(s11)之间连接；和相绕组 C 在开槽(s3)和开槽(s6)之间连接。由于每个相在非邻近开槽之间连接，所以在各自的定子护铁 66 和齿形部分 67 内循环的磁通路线内存在重叠。相反地，图 7 说明了高极数电机 50。发电机 50 内的相绕组集中有在邻近开槽之间连接的相绕组 A、相绕组 B 和相绕组 C，因而提供了非重叠的容错的定子绕组。非重叠的集中的相绕组 A、B 和 C 由于在各个相之间具有极小的联结而改善了电机的容错特性。例如，如果在相 A 内出错时，不会对相 B 和相 C 产生很大影响，而电机仍能继续产生有用水

平的功率，且如果电机相位被认为超过实际额定功率时则电机能产生该额定功率。参照图 8，高速 LP 发电机 50 可作为联合电机 80 的一部分，该联合电机 80 具有以双面双转子构造或单定子双转子构造的一个或多个 HP 卷轴发电机 82。双面双转子构造允许大大减小整体框架尺寸和冷却设备尺寸，并减小了重量。根据双电机构造内磁通量的矢量总量，可获得共享定子轭的尺寸和重量的进一步减小。

尽管通过参照优选实施例说明了本发明，但本领域技术人员应当理解，可作出的各种变化以及可用于替代其中元件的等同物并未脱离本发明的范围。此外，为适应本发明技术的特定情形或特定材料而可作出的多种修改仍未脱离其本质范围。因此，本发明并不是试图局限于作为打算实施本发明的最佳方式而公开的特定实施例，而是本发明将会包括落入所附权利要求范围内的全部实施例。



一四

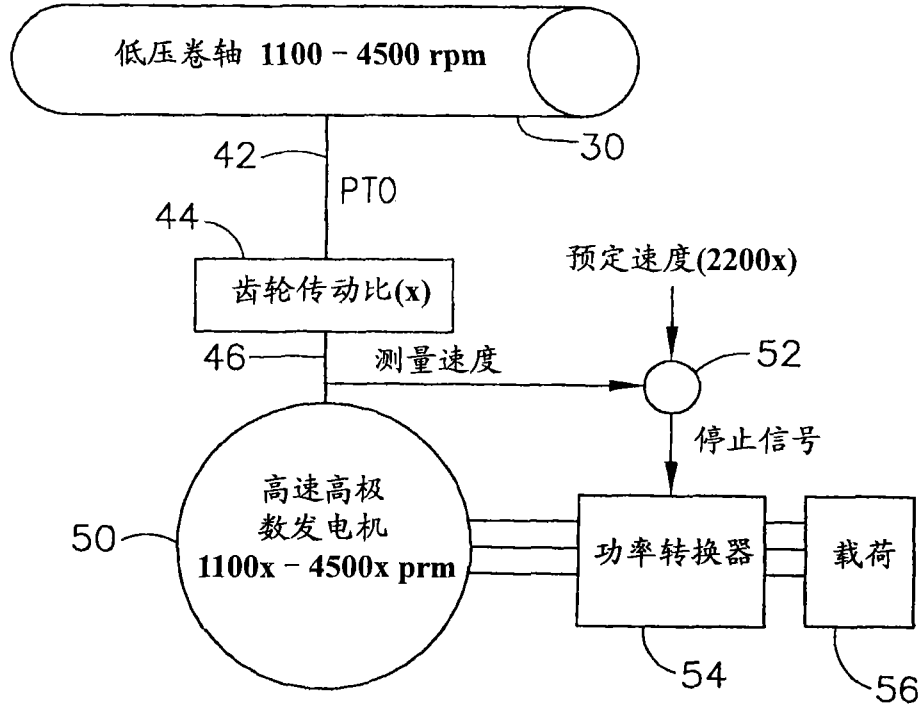


图 2

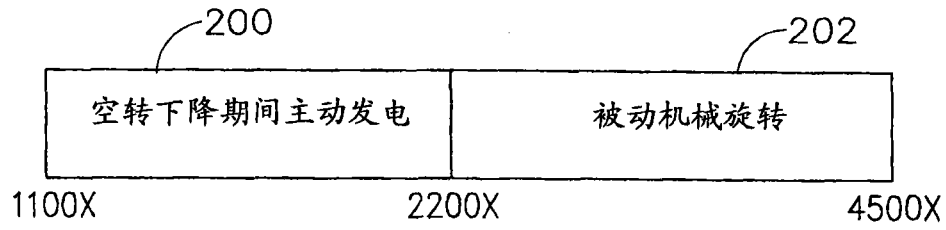


图 3

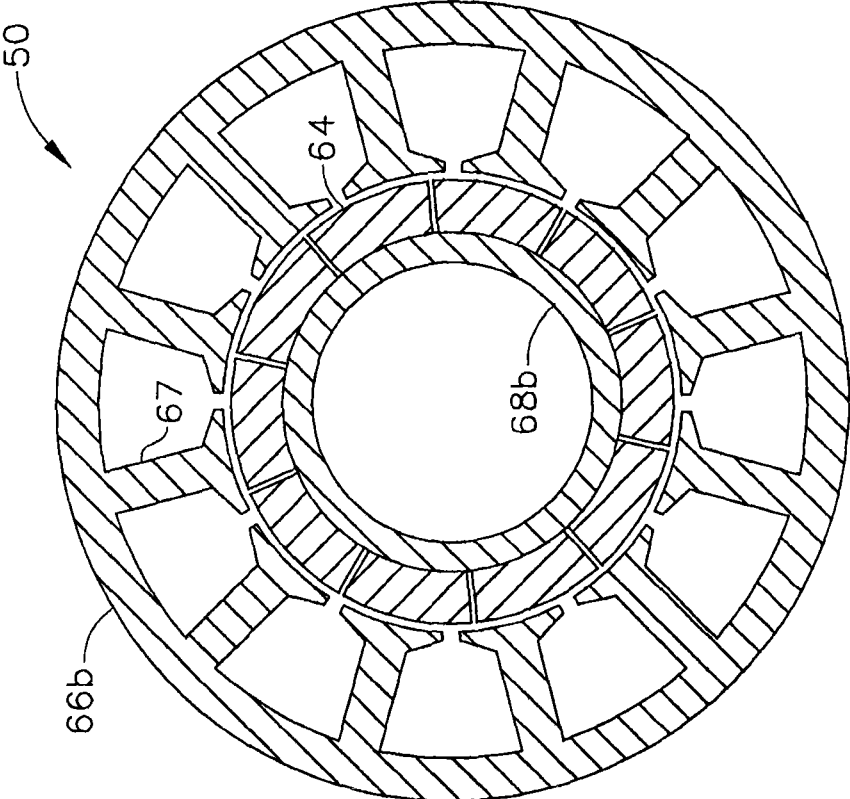


图 5

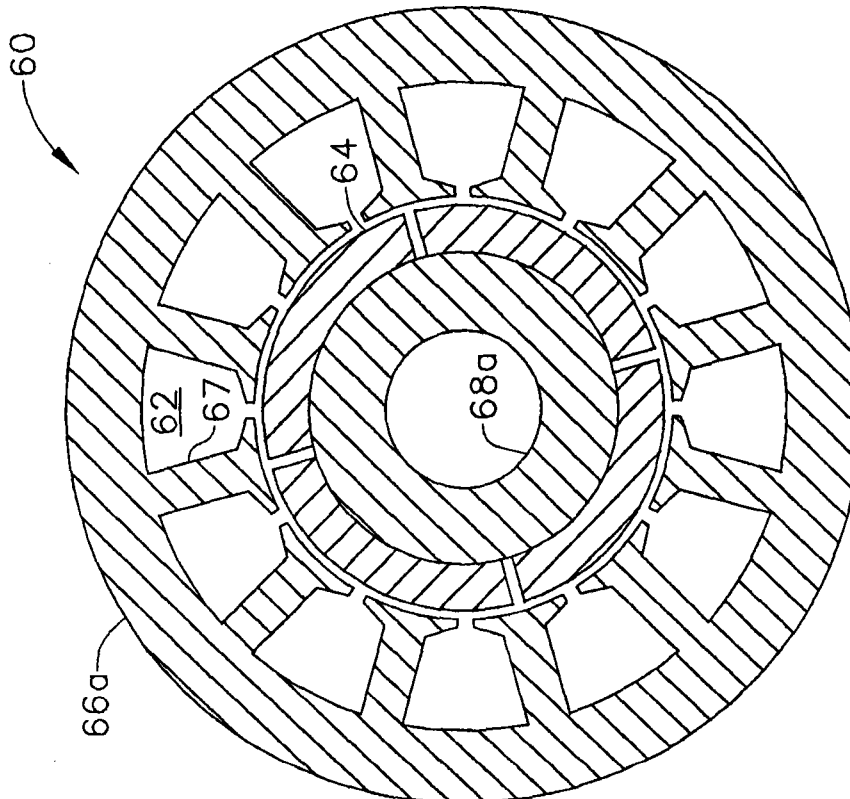


图 4
(现有技术)

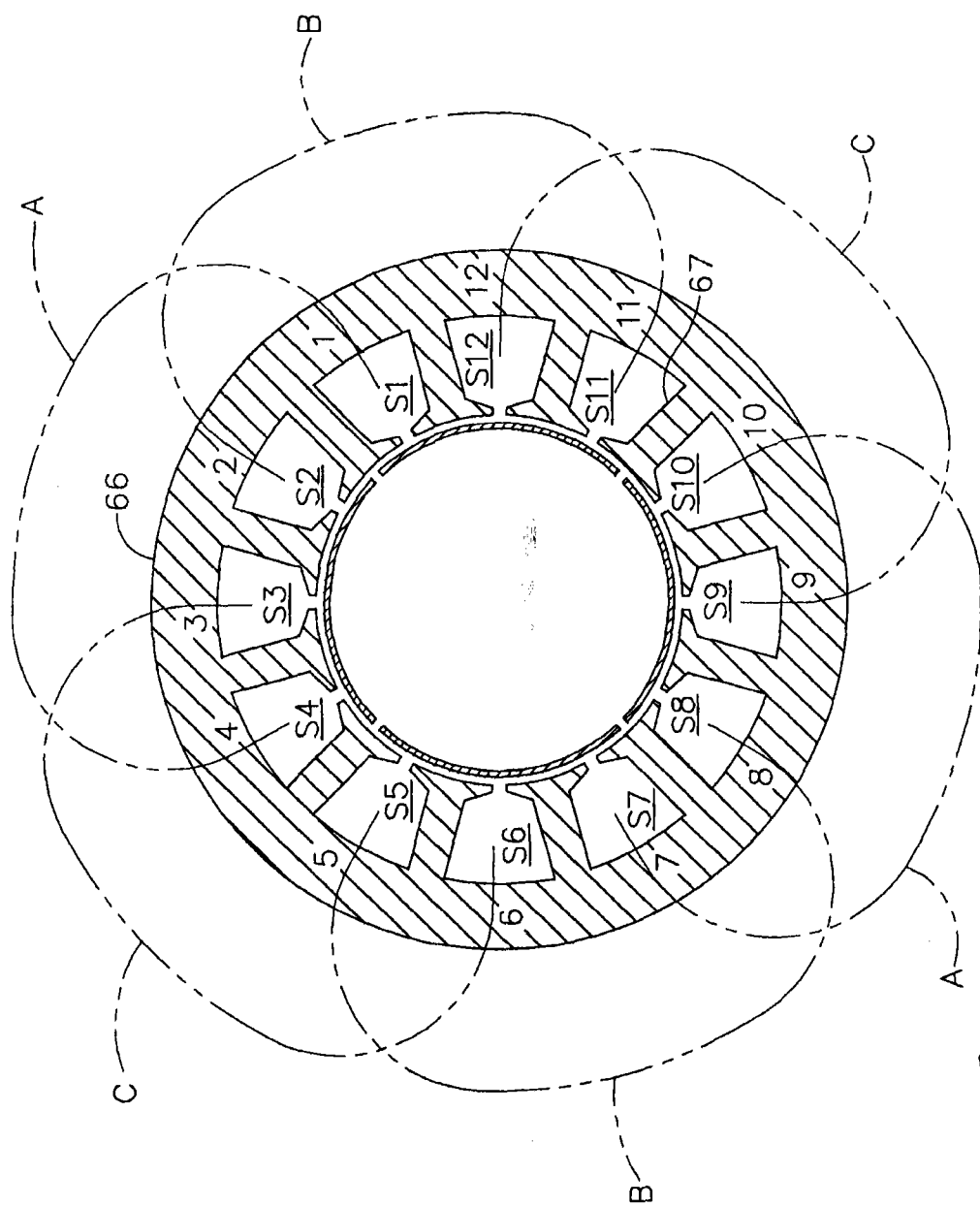


图6
(现有技术)

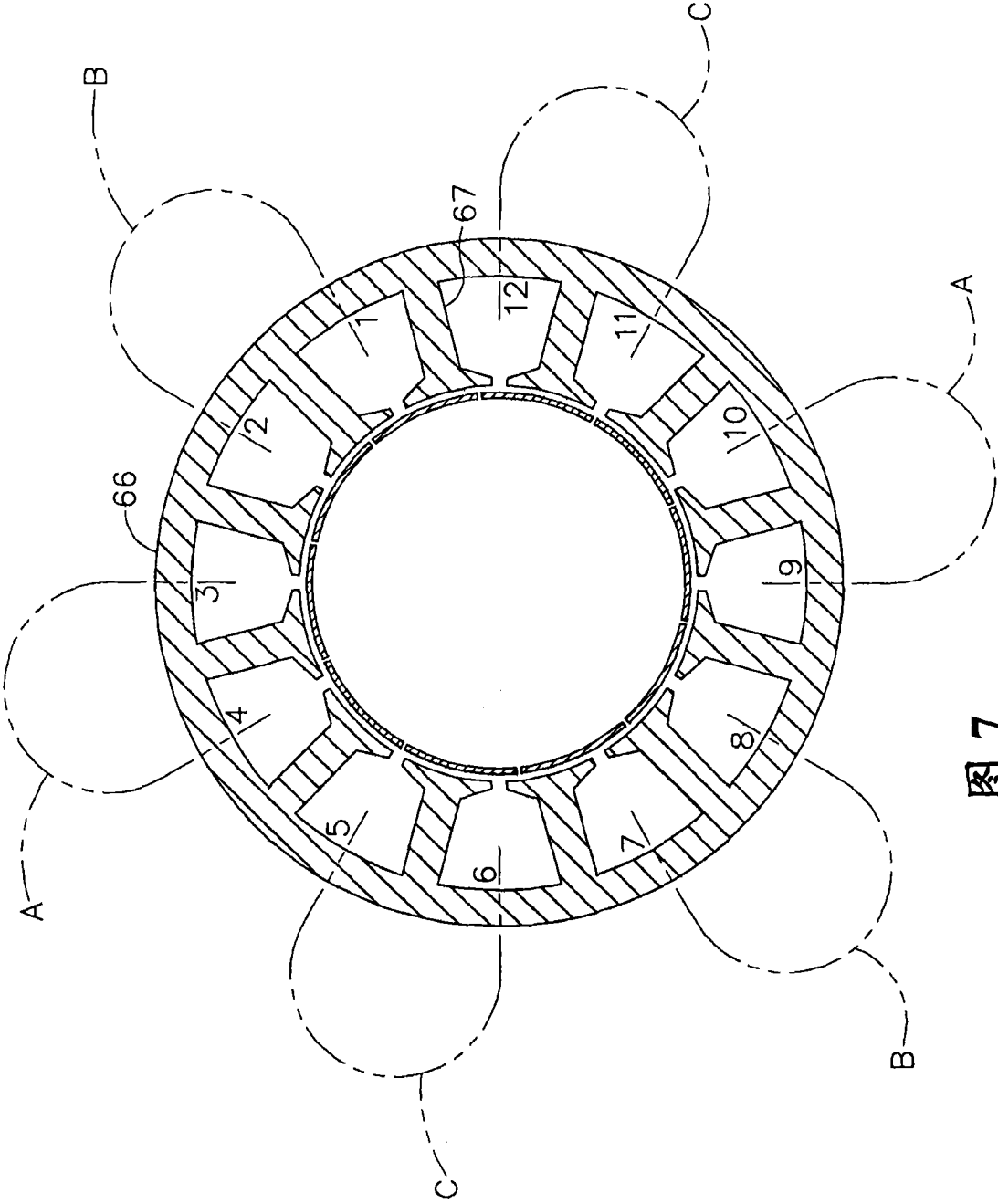


图7

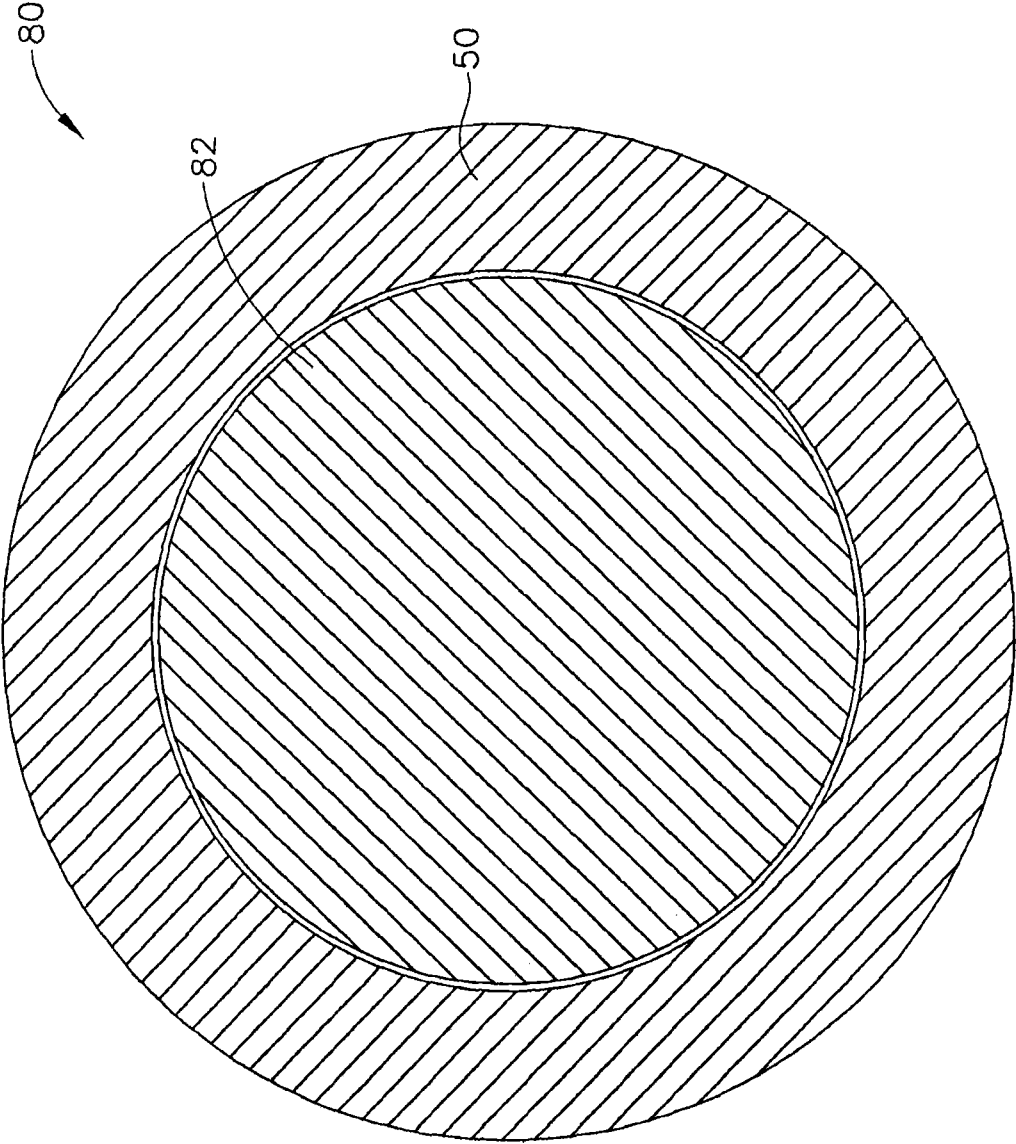


图 8